

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Uso de bioinsumo à base de Lithothamnium spp no crescimento e na
produção da soja**

Carlos Valmison da Silva Araújo
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

CARLOS VALMISON DA SILVA ARAÚJO

**Uso de bioinsumo à base de *Lithothamnium* spp no crescimento e na
produção da soja**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Junia Maria Clemente

Coorientadores: Ricardo H. Silva Santos
Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A663u
2025

Araújo, Carlos Valmison da Silva, 1992-
Uso de bioinsumo à base de *Lithothamnium* spp no
crescimento e na produção da soja / Carlos Valmison da Silva
Araújo. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (37 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Júnia Maria Clemente.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2025.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.725>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Soja - Cultivo. 2. Soja - Crescimento. 3. Algas.
I. Clemente, Júnia Maria, 1985-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.346

CARLOS VALMISON DA SILVA ARAÚJO

Uso de bioinsumo à base de *Lithothamnium* spp no crescimento e na produção da soja

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 4 de agosto de 2025.

Assentimento:

Carlos Valmison da Silva Araújo
Autor

Junia Maria Clemente
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 03/11/2025 às 16:08:39 e pela orientadora em 03/11/2025 às 17:14:50. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **WVL4.TYQG.8FVA** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, mesmo diante todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

As duas mulheres incríveis, que em minha vida são essenciais, minha tia (Maria Alzerina Silva Araujo) e minha avó (Raimunda Alves Araujo). Que mesmo diante todas as dificuldades, nunca negaram apoio, incentivo e acima de tudo colo durante uma tempestade. Aqui deixo expresso meu carinho de gratidão, respeito e meu muito obrigado, por terem assumido em minha vida o papel de pai e mãe. Lembra quando disse que, tudo isso é por vocês, e para vocês? Então, sintam-se parte primordial dessa conquista. Eu amo vocês!

Agradeço também, a minha orientadora Júnia Maria Clemente pela paciência, responsabilidade afetiva e pelos valiosos ensinamentos. Em conjunto, meu muito obrigado aos Coorientadores Ricardo Henrique S. Santos e Paulo Roberto Cecon e a banca avaliadora, Thais Lopes Leal Cambraia, Jaqueline do Carmo Alexandre, Ricardo Henrique S. Santos e Ivan Francisco de Souza pelas contribuições científicas.

Agradeço ao Grupo de Estudos em Nutrição Mineral de Plantas da UFV pelo espaço e parceria durante a execução da pesquisa, em especial aos colaboradores Sr. Itamar e Sr. Edinaldo pelo suporte nas análises. Em consonância, agradeço imensamente aos meus amigos Lucas Guilherme, Sabrina Emily, Pedro Hermínio e Cláudio Siébra que direto ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta etapa.

Agradeço a Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela excelência no ensino, pesquisa e extensão, assim como pela oportunidade de aprimoramento técnico-científico frente à docência e a arte do transmitir conhecimento com fluidez e responsabilidade social.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

ARAÚJO, Carlos Valmison da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Uso de bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* no crescimento e na produção da soja.** Orientadora: Junia Maria Clemente. Coorientadores: Ricardo Henrique Silva Santos e Paulo Roberto Cecon.

Bioinsumos à base de algas, como as *Lithothamnium spp.*, podem ser aplicados em cultivos agrícolas para controlar pragas e doenças, melhorar o desenvolvimento das plantas, serem fontes de nutrientes, aumentar a produtividade, entre outras vantagens, especialmente quando aplicados no solo. No entanto, a aplicação via foliar, de doses de bioinsumo à base de algas *Lithothamnium spp.* ainda não foi estudada em plantas de soja. Duas linhagens de soja, L1 e L2, estão sendo desenvolvidas na Universidade Federal de Viçosa (UFV), por isso, foi conduzido um experimento em casa de vegetação em vasos, entre out/24 a fev/25 para estudar quatro doses do bioinsumo à base *Lithothamnium spp.* (0; 1,0; 3,0 e 5,0 kg ha⁻¹), com cinco repetições, delineamento inteiramente casualizados. As avaliações realizadas ao longo do experimento foram: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa de matéria seca da parte aérea (*mMSPA*), massa de matéria seca da raiz (*mMSR*), volume de raiz (*vR*), número de vagens por planta (*nVP*), número de grãos por vagem (*nGV*), massa de cem grãos (*m100*), avaliação do estado nutricional de macro e micronutrientes e teor de proteína bruta no grão (% PB). Os dados foram submetidos a testes de normalidade, análise de variância, e teste de Tukey a 5 % de probabilidade. A aplicação do bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* influenciou positivamente o NF, especialmente na linhagem L2, com aumento de até 42,62 % em relação a aplicação de 0,0 kg ha⁻¹. Houve incremento na produção de biomassa aérea e radicular, para a dose de 5,0 kg ha⁻¹ na L2, que apresentou os maiores valores de *mMSPA* e *vR*. A linhagem L1 obteve maior *nVP* e *m100*, enquanto a L2 apresentou maior % PB, com valores superiores a 36 %. Os teores de macronutrientes nas folhas diagnóstico do estado nutricional aumentaram para nitrogênio (N) e enxofre (S). Em contrapartida, não influenciaram para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) quando as plantas receberam o biofertilizante via foliar. Quanto aos micronutrientes, os teores de ferro (Fe), zinco (Zn) e boro (B) não foram influenciados pela aplicação do biofertilizante, enquanto os teores de cobre (Cu) e manganês (Mn) apresentaram diferenças entre as linhagens, mas não foram significativamente alterados pelas doses do biofertilizante. A aplicação do bioinsumo em linhagens de soja tem potencial para melhorar

o estado

nutricional das plantas e pode ser promissor para aumentar a produtividade de grãos.

Palavras-chave: extrato de algas; bioestimulantes; *Glycine max* (L.) Merrill; *Lithothamnium spp*

ABSTRACT

ARAÚJO, Carlos Valmison da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Use of bioinput based on *Lithothamnium* spp in soybean growth and production.** Adviser: Junia Maria Clemente. Co-advisers: Ricardo Henrique Silva Santos and Paulo Roberto Cecon.

Algae-based bioinputs, such as those derived from *Lithothamnium* spp., can be applied in agricultural crops to control pests and diseases, enhance plant development, serve as nutrient sources, and increase productivity, among other advantages—especially when applied to the soil. However, foliar application of *Lithothamnium* spp.-based bioinputs has not yet been studied in soybean plants. Two soybean lines, L1 and L2, are currently being developed at the Federal University of Viçosa (UFV). Therefore, a greenhouse pot experiment was conducted from October 2024 to February 2025 to evaluate four doses of the *Lithothamnium* spp.-based bioinput (0, 1.0, 3.0, and 5.0 kg ha⁻¹), with five replications, in a completely randomized design. The evaluated parameters throughout the experiment included: plant height (PH), stem diameter (SD), number of leaves (NL), shoot dry matter (SDM), root dry matter (RDM), root volume (RV), number of pods per plant (NPP), number of grains per pod (NGP), hundred-grain weight (HW), nutritional status of macro- and micronutrients, and crude protein content in the grain (% CP). The data were subjected to normality tests, analysis of variance, and Tukey's test at a 5% probability level. The application of the *Lithothamnium* spp.-based bioinput positively influenced NL, especially in line L2, with an increase of up to 42.62% compared to the 0.0 kg ha⁻¹ treatment. There was also an increase in shoot and root biomass production at the 5.0 kg ha⁻¹ dose in L2, which showed the highest SDM and RV values. Line L1 showed higher values for the number of pods per plant (NPP) and hundred-grain weight (HW), whereas line L2 exhibited a higher crude protein content (% CP), with values exceeding 36%. The macronutrient contents in diagnostic leaves used to assess the nutritional status increased for nitrogen (N) and sulfur (S). In contrast, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg) were not affected when the plants received the foliar application of the biofertilizer. Regarding micronutrients, the concentrations of iron (Fe), zinc (Zn), and boron (B) were not influenced by the biofertilizer application, while copper (Cu) and manganese (Mn) levels varied between the lines but were not significantly affected by the biofertilizer doses. The application of the bioinput in soybean lines has the potential to improve plant nutritional status and may be a promising strategy to increase grain yield.

Keywords: seaweed extract; biostimulants; *Glycine max* (L.) Merrill; *Lithothamnium spp*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo utilizado no experimento.....	15
Tabela 2 - Doses, métodos de aplicações e épocas de aplicação do bioinsumo à base da alga <i>Lithothamnium spp</i>	16
Tabela 3 - Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas – NF em L1 e L2 em resposta ao bioinsumo à base de <i>Lithothamnium spp</i>	19
Tabela 4 - Massa de matéria seca da parte aérea – <i>mMSPA</i> (g), massa de matéria seca da raiz – <i>mMSR</i> (g) e volume de raiz (mL) em duas linhagens de soja (L1 e L2) em resposta ao bioinsumo à base de <i>Lithothamnium spp</i>	20
Tabela 5 - Número de vagens por planta - <i>nVP</i> , número de grãos por vagem - <i>nGV</i> , massa de cem grãos - <i>m100</i> (g) e teor de proteína bruta no grão (%) em duas linhagens de soja (L1 e L2) em resposta ao bioinsumo à base de <i>Lithothamnium spp</i>	21
Tabela 6 – Teores foliares de macronutrientes em L1 e L2 em resposta ao bioinsumo à base de <i>Lithothamnium spp</i>	24
Tabela 7 - Teores foliares de micronutrientes em duas linhagens de soja (L1 e L2) em resposta ao bioinsumo à base de <i>Lithothamnium spp</i>	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 GERAL	11
2.2 ESPECÍFICOS.....	11
3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	11
3.1 O GÊNERO <i>Lithothamnium spp</i>.....	11
3.1.1 ASPECTOS TAXONÔMICOS, COMPOSIÇÃO MINERAL E ESTRUTURAL .	11
3.1.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E MÉTODO DE EXPLORAÇÃO	12
3.1.3 APLICAÇÕES AGRÍCOLAS, AMBIENTAIS E ANIMAIS	12
3.2 A CULTURA DA SOJA (<i>Glycine max</i> (L.) Merr).....	13
3.2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E MORFOLÓGICOS	13
3.2.2 RELEVÂNCIA ECONÔMICA E EXPANSÃO DA CULTURA NO BRASIL.....	13
3.2.3 PRODUÇÃO E IMPACTO SOCIOECONÔMICO	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA	15
4.2 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	16
4.3 AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA	17
4.4 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DESENVOLVIMENTO RADICULAR.....	17
4.5 INDICADORES DE PRODUÇÃO E TEOR DE PROTEÍNA BRUTA NO GRÃO	17
4.6 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL.....	17
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5.1 AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA	18
5.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DESENVOLVIMENTO RADICULAR.....	20
5.3 INDICADORES DE PRODUÇÃO E PERCENTUAL DE PROTEÍNA BRUTA NO GRÃO.....	21
5.4 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL.....	22
5.4.1 TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES	22
5.4.2 TEORES FOLIARES DE MICRONUTRIENTES.....	27
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem desempenhado um papel fundamental no cenário internacional de exportações de grãos nas últimas décadas, sendo destaque como potência agrícola (Lima et al., 2024). Esse protagonismo está relacionado ao avanço tecnológico e ao uso de práticas agrícolas sustentáveis, que contribuem para o aumento da produtividade e da competitividade no mercado global (Freitas, 2011). No caso da soja, esse incremento produtivo está diretamente associado a um manejo nutricional eficiente, que assegura o suprimento adequado de macro e micronutrientes (Rathore et al., 2009).

Nesse contexto, os bioinsumos à base de algas têm ganhado destaque como alternativa sustentável aos fertilizantes químicos convencionais, com potencial de promover melhorias na nutrição vegetal, no crescimento e na sanidade das plantas, além de reduzir os impactos ambientais associados à adubação tradicional (Cavalcante et al., 2022). As algas marinhas, tanto macro quanto microalgas, vêm sendo utilizadas há décadas na agricultura mundial devido à sua composição rica em compostos bioativos, como fitohormônios, aminoácidos, polissacarídeos, além de elementos como P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e B, que desempenham papéis-chave no metabolismo vegetal e na fertilidade do solo (Khan et al., 2009; Craigie, 2011).

Estudos demonstram que os extratos de algas promovem efeitos positivos no crescimento vegetal e resulta em maiores rendimentos de safra e na qualidade do produto final (Dapper et al., 2014; Moreira et al., 2024). Esses efeitos decorrem da ação conjunta de seus diversos compostos bioativos, que atuam de forma sinérgica, embora seus mecanismos ainda não estejam completamente esclarecidos (Meyer et al., 2021).

Dentre as espécies com reconhecido potencial agrônomo, o gênero *Lithothamnium* spp, pertencente ao filo *Rhodophyta*, destaca-se por sua estrutura calcificada, resultante da deposição de carbonatos de cálcio e magnésio em sua parede celular. Essa alga calcária é uma fonte natural desses nutrientes e tem sido empregada como condicionador de solo e bioestimulante, atuando na correção do pH e na liberação gradual de cátions, o que favorece a disponibilidade de elementos essenciais e melhora as propriedades físico-químicas da rizosfera (Silva et al., 2021). No entanto, apesar de seu uso crescente, a carência de estudos robustos que validem sua eficácia e detalhem suas respostas em culturas de extrema relevância econômica, como a soja, torna premente a realização de novas investigações.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar se o bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* promove aumento no crescimento na produção de duas linhagens de soja.

2.2 ESPECÍFICOS

Avaliar os efeitos das doses do bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* nos parâmetros biométricos de duas linhagens de soja;

Analisar os efeitos das doses do bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* na produção de biomassa e desenvolvimento radicular da soja;

Verificar os efeitos das doses do bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* na produção e no percentual de proteína bruta da soja;

Avaliar a influência do bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* no estado nutricional da soja.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 O GÊNERO *Lithothamnium spp*

3.1.1 ASPECTOS TAXONÔMICOS, COMPOSIÇÃO MINERAL E ESTRUTURAL

O gênero *Lithothamnium spp* possui 76 espécies e 3 variedades aceitas na base de dados taxonômicas. Sua classificação filogenética contempla o domínio Eukaryota, reino Plantae, filo Rodophyta, ordem Corallinales, subordem Mesophyllineae, sendo comumente conhecida como algas coralinas e compõem o grupo das algas vermelhas (AlgaeBase, 2023). Este gênero é o único classificado na categoria de fertilizantes minerais segundo a Instrução Normativa nº 39 de 8 de agosto de 2018, que considera apenas a parte mineral das algas (Brasil, 2018), sem levar em consideração a fração orgânica que é a parte rica em ácidos húmicos (Amatussi et al., 2020).

Durante a formação da alga, ocorre a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio sob a forma de cristais de calcita em sua parede celular, que correspondem a cerca de 80–90% da biomassa (Dias, 2000). O calcário obtido da extração dessas algas é denominado calcário biogênico ou biodentrítico marinho, com aplicações na correção e fertilização do solo, na nutrição animal e humana, bem como na indústria de cosméticos (Costa-Neto, 2010). Além dos carbonatos, *Lithothamnium spp.* apresentam mais de 20 oligoelementos, como ferro, boro, níquel, cobre, zinco, molibdênio, selênio e estrôncio (Dias, 2000).

3.1.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E MÉTODO DE EXPLORAÇÃO

No Brasil, os depósitos de algas calcificadas se estendem por cerca de 4.000 km, desde a Região Amazônica até o sul do estado do Rio de Janeiro. Embora as reservas ainda não estejam totalmente dimensionadas, sabe-se que se concentram na plataforma continental, próximas à costa, apresentando relativa facilidade de exploração e processamento. Essas características tornam esse recurso uma alternativa promissora para a agricultura, especialmente como fonte de cálcio e magnésio (MELO et al., 2003).

Essa extração do material sedimentar de algas é realizada por dragagem, método de baixa seletividade que permite a remoção de todo o material inconsolidado. Após a coleta, a matéria-prima é submetida a lavagem para retirada do excesso de sais e impurezas, posteriormente é seca e moída. Esse processo prepara o material para diversas aplicações industriais, como agricultura, potabilização de água, cosméticos, dietética, implantes ósseos, nutrição animal e tratamento de água em lagos, aproveitando suas propriedades químicas e físicas, como a alta porosidade e a presença de oligoelementos essenciais (Dias, 2000).

3.1.3 APLICAÇÕES AGRÍCOLAS, AMBIENTAIS E ANIMAIS

Com a liberação gradual de cálcio, associada a compostos orgânicos e sem efeito antagônico, ocorrem a biodisponibilidade de nutrientes, favorecendo a correção do pH do solo, a melhora a absorção de nutrientes e a redução da toxidez por Al^{3+} , resultando em maior eficiência metabólica pela planta (Silva et al., 2023). Além disso, o cálcio, ao mediar as interações entre compostos orgânicos, minerais e microrganismos, pode favorecer a incorporação da matéria orgânica na biomassa microbiana e aumentar a eficiência no uso do carbono, reduzindo as perdas por CO_2 . Esse efeito evidencia a importância desse elemento não apenas na fertilidade do solo, mas também na sustentabilidade metabólica das culturas (Shabtai et al., 2023).

Em algumas culturas agrícolas como na soja, no feijão e no milho foi comprovado que a utilização da alga *Lithothamnium* atua como inibidor de injúrias ambientais e indutor de fitoalexinas no controle de pragas e doenças (Faria et al., 2022). Ademais, Silva et al. (2023) destacam a influência do uso de cálcio orgânico oriundo de algas calcárias na recuperação de áreas degradadas por pastagens, com a neutralização do Al^{3+} , aumento do pH, aumento da soma de bases (SB) e saturação por bases (V%), que gera um gradiente equilibrado para ganho de produtividade na lavoura.

Outras pesquisas envolvendo a recuperação de recursos hídricos, destacam a eficiência da alga *Lithothamnium* tratadas termoquimicamente na remoção do excesso de Fe^{2+} da água de

consumo pelo método de adsorção em leito-fixo, protegendo-a de alterações na cor, turbidez, sabor e de obstruções na tubulação (Silva et al., 2021). Na área animal, por sua composição rica em minerais orgânicos associados a carboidratos e aminoácidos, proporciona alta disponibilidade, fator diretamente relacionado a melhor absorção intestinal e fonte alternativa de suplementação (Barbosa et al., 2025).

3.2 A CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merr)

3.2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E MORFOLÓGICOS

A soja (*Glycine max*) é uma planta anual pertencente à família das leguminosas, classe Rosidaeae, ordem Fabales, família Fabaceae e subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae. Suas plantas apresentam hábito de crescimento ereto, herbáceo e possuem reprodução predominantemente autógama. E, apesar dessa característica, há grande variabilidade morfológica entre os genótipos, influenciada por fatores ambientais. Dentre essas variações, destacam-se o ciclo de desenvolvimento, que pode variar de 75 dias em cultivares precoces até 200 dias em cultivares tardias, e a altura das plantas, que pode oscilar entre 30 e 200 cm, influenciando diretamente o número de ramificações e, consequentemente, os indicadores de produtividade (Müller, 1981).

3.2.2 RELEVÂNCIA ECONÔMICA E EXPANSÃO DA CULTURA NO BRASIL

A soja possui grande relevância econômica para o Brasil, sendo a principal cultura do agronegócio nacional e desempenhando papel essencial na alimentação humana e animal, o que a torna uma das espécies agrícolas mais estudadas no mundo (Taglieber et al., 2022). No cenário brasileiro, destaca-se ainda como uma das culturas de maior potencial econômico, tanto para o mercado interno quanto para a exportação (Sousa et al., 2025).

Na década de 1980, a soja foi decisiva na ocupação e desenvolvimento do Brasil Central, especialmente nos estados de Goiás e Mato Grosso, onde promoveu o progresso em áreas antes pouco povoadas e economicamente pouco exploradas (Nunes, 2024). Essa expansão da cultura em diferentes regiões do Brasil pode ser explicada, em termos teóricos, pelo novo padrão de exportação adotado no país a partir dos anos 2000, marcado pela inserção internacional voltada ao atendimento da demanda por *commodities* agrícolas e extrativas, que refletem na reprimarização da pauta exportadora, fundamentado na especialização do comércio de bens tradicionais do setor primário (Basso et al., 2021).

Em 2011, a cultura da soja completou 129 anos no Brasil e seu cultivo começou na região Sul, com o tempo, expandiu-se para diversas regiões do país, incluindo áreas do Cerrado

com o desenvolvimento de cultivares adaptadas (Silva, 2022). E, ao longo dos anos, surgiram técnicas como a correção da acidez do solo, a inoculação de sementes, a adubação balanceada, o uso de fungicidas, manejo integrado de pragas e, paralelamente, os avanços em pacotes tecnológicos que permitem um manejo agrícola com maior precisão e agilidade (Freitas, 2011).

3.2.3 PRODUÇÃO E IMPACTO SOCIOECONÔMICO

Na safra 2023/2024, a produção brasileira de soja totalizou aproximadamente 147,3 milhões de toneladas, representando uma redução de 7,23 milhões de toneladas em relação à safra anterior (2022/2023). Para o ciclo 2024/2025, entretanto, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) projeta uma recuperação expressiva, com estimativa de 169,5 milhões de toneladas. Essas oscilações no volume produtivo impactam diretamente a economia nacional, especialmente nos setores intensivos em trabalho e serviços relacionados ao agronegócio.

A expansão da cadeia produtiva da soja está fortemente correlacionada à geração de empregos formais, diretos e indiretos, em diversos segmentos da atividade econômica. Dentre os principais ramos impactados, destacam-se: o cultivo de soja e sementes; os serviços de consultoria e assistência técnica rural; a fabricação de derivados alimentícios e químicos da soja; a produção de agrotóxicos, fertilizantes e máquinas agrícolas; a comercialização de insumos e equipamentos; o armazenamento, comércio, locação, construção e arrendamento de silos e maquinário agrícola; o comércio atacadista de soja e seus derivados; além do transporte de cargas vinculado à logística da cadeia (Martins et al., 2023; Soares, 2019). Esses efeitos evidenciam o papel estratégico da soja no desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões do país (Bertolin et al., 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada às margens da BR 356 nas coordenadas 20°44'44"S e 42°50'20"W (IBGE, 2023), no período de outubro/2024 a fevereiro/2025. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Amarelo (Embrapa, 1999) coletado na profundidade de 0-20 cm, no município de Viçosa-MG. As características químicas do solo utilizado estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do solo

Prof. (cm)	pH (Água)	P (mg/dm ³)	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T
cmol _c /dm ³										
0-20	5,34	11,5	49,0	1,90	0,99	0,00	11,6	3,02	3,02	14,62

V	m	M.O	P-Rem
%		dag/kg	mg/L
20,7	0,00	0,39	1,2

pH em água - Relação 1:2,5, P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich¹, H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – T - pH 7,0, Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L, M.O (Walkley – Black).

Com base na análise química, procedeu-se a calagem pelo método de saturação por bases, a adubação de plantio e a adubação de cobertura no estádio, de acordo com as recomendações da 5ª Aproximação (Guimarães et al., 1999). Dessa forma, o solo foi corrigido com a aplicação de calcário dolomítico, PRNT de 86%, para elevar a saturação do solo à 60 % (Guimarães et al., 1999).

4.2 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os tratamentos consistiram de doses de um bioinsumo à base de *Lithothamnium spp* micronizados (COMMAX Algas®) - 0,0; 1,0; 3,0; e 5,0 kg ha⁻¹, no delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições, para duas linhagens de soja (L1 e L2). Ambas as linhagens estão em processo de testes em campo para avaliação de desempenho agrônômico e adaptabilidade em diferentes condições de cultivo pelo Programa Soja da UFV. A L1 apresenta o hábito de crescimento determinado e a L2 crescimento indeterminado com grau de maturidade relativa (GMR) de 7,0; 8,1, respectivamente.

O COMMAXAlgas® é um produto comercial com 23,3 % Ca, 1,5 % Mg (p/p) e solubilidade a 20 °C de 59,6 g/L. Os tratamentos foram aplicados na folhagem aos 30 (V6), 38 (R1) e 46 (R2) dias após a semeadura (Tabela 2).

Tabela 2 - Doses, métodos de aplicações e épocas de aplicação do bioinsumo à base da alga *Lithothamnium spp*

TRAT	DOSES	APLICAÇÃO	30 DAS	38 DAS	46 DAS
T0	0,0 kg ha ⁻¹	-	-	-	-
T1	1,0 kg ha ⁻¹	3 vezes	0,34 kg ha ⁻¹	0,33 kg ha ⁻¹	0,33 kg ha ⁻¹
T2	3,0 kg ha ⁻¹	3 vezes	1,0 kg ha ⁻¹	1,0 kg ha ⁻¹	1,0 kg ha ⁻¹
T3	5,0 kg ha ⁻¹	3 vezes	1,67 kg ha ⁻¹	1,67 kg ha ⁻¹	1,66 kg ha ⁻¹

A unidade experimental foi composta por vaso plástico, com furos, e com capacidade de 35 L preenchidos com solo corrigido e 1,0 kg de condicionador de solo (MECPLANT®) e duas plantas de soja. A semeadura das linhagens de soja foi realizada em outubro de 2024. Foram abertas duas covas em cada vaso e 3 sementes semeadas por cova, e aos 15 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste. O solo foi mantido saturado até 80 % da capacidade de campo para iniciar a semeadura e adubação de plantio.

A adubação de plantio consistiu na aplicação de 100 g/vaso do formulado 6-30-6, enquanto a adubação de cobertura foi com 1,96 g de KCl/vaso. Em V4, foi realizada a adubação foliar com Co e Mo com 2,66 mL/L de Avancce® (2 % K; 5 % Mo; 0,50 % Ni e 0,50 % Co).

A aplicação dos tratamentos na folhagem foi realizada com um pulverizador costal pressurizado com CO₂, ponta XR com efeito de distribuição em leque para uma aplicação sequencial e homogênea da solução. A calibração do pulverizador para quantificar o volume de calda necessário para a execução do experimento foi de 209 L ha⁻¹.

A irrigação foi realizada por gotejamento para manter o solo na capacidade de campo durante o ciclo da soja.

4.3 AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA

Avaliaram-se a altura das plantas, o diâmetro do caule e o número de folhas em V4 e R1.

A altura das plantas foi avaliada utilizando-se uma fita métrica a partir da superfície do solo até a parte mais alta da planta (gema apical da haste principal).

O diâmetro do caule foi medido com paquímetro digital a 1 cm acima da superfície do solo.

O número das folhas foi determinado por contagem direta das folhas totalmente expandidas.

4.4 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DESENVOLVIMENTO RADICULAR

Ao final do experimento, as raízes foram lavadas em água corrente para a remoção do solo. Em seguida, foram colocadas em proveta graduada com volume conhecido de 1000 mL, e o volume deslocado foi considerado o volume total do sistema radicular, expresso em mL, conforme a metodologia descrita por Bohm (1979), para determinação do volume de raiz (v_R). Posteriormente, para a obtenção das massas de matéria seca da parte aérea (m_{MSPA}) e da raiz (m_{MSR}), as partes das plantas foram cortadas, lavadas e secas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C durante 48 h. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão (0,001 g).

4.5 INDICADORES DE PRODUÇÃO E TEOR DE PROTEÍNA BRUTA NO GRÃO

Aos 110 dias após a semeadura (DAS) foram avaliados: número de vagens por planta (n_{VP}), número de grãos por vagem (n_{GV}), massa de 100 grãos (m_{100}) (Embrapa, 2013) e teor de proteína no grão (Kjeldahl, 1883) com o fator de correção de 6,25 para conversão de N total em proteína bruta (PB).

4.6 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

Foram realizadas amostragem das folhas índice aos 38 DAS (início do florescimento) quando as plantas estavam em R1, com a coleta da terceira folha totalmente expandida (Castro et al., 2021). As folhas foram lavadas e secas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por

48 h. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho de facas para determinação do N (Jackson, 1958), P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (Johnson e Ulrich, 1959).

A determinação do P foi realizada pelo método do fosfomolibdato e pela redução da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974); K por fotometria de chama; S, por turbidimetria do sulfato de bário (Blanchar et al., 1963), e Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica em chama (AOAC, 1975).

O B foi extraído em mufla à temperatura de 550 °C durante 3 h até obtenção das cinzas que foram solubilizadas em 10 mL HCl 0,1 mol L⁻¹ (Wikner, 1986; Bataglia, 1991) e quantificado pelo método da Azometina-H e leitura em espectroscopia UV-VIS em comprimento de onda de 420 nm (Malavolta et al., 1997).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos aos testes de Bartlett (homogeneidade das variâncias) e Shapiro-Wilk - normalidade, seguido da análise de variância e teste Tukey ao nível de significância de 5 % de probabilidade, no software AGROESTAT.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA

A altura de plantas e diâmetro do caule não diferiram entre as doses para L1 e L2 (Tabela 3). A média geral da altura das plantas de L1 foi de 84,65 cm e de 88,59 cm para L2, enquanto para o diâmetro do caule, as médias foram de 11,85 mm para L1 e 12,36 mm para L2. Yang et al., (2021) apontam que a altura ideal de variedades comerciais de soja varia de 70 a 90 cm, com diâmetro do caule acima de 10 mm (Embrapa, 2020), assim podem ser evitadas perdas de produtividade por estresse fisiológico ou acamamento. Todavia, fatores como dose, métodos e época de aplicação de bioinsumos influenciam diretamente no efeito do produto, no crescimento e desenvolvimento de plantas (Silva et al., 2024).

Ademais, fatores como pH da calda, condutividade elétrica da solução, estágio fenológico no período da aplicação, concentração do produto e a presença de adjuvantes também podem afetar significativamente a eficácia da aplicação (Ferreira et al., 2020; Taiz et al., 2017; Leite et al., 2021). A aplicação foliar do bioinsumo com objetivo de melhorar a nutrição mineral das plantas podem ter sua eficiência diminuída por fatores ambientais limitantes como a temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento, que comprometem a secagem das gotas e a absorção de nutrientes.

O número de folhas de L1 foi influenciado pelas doses aplicadas. A dose controle (0,0 kg ha⁻¹) resultou no menor NF, com média de 43,00, por outro lado, a aplicação de 1,0 kg ha⁻¹ proporcionou uma média geral de 72,30 que representa um ganho médio de 68,14% em relação ao controle. Já para L2, o número médio de folhas quando o extrato de algas não foi aplicado foi de 45,50, enquanto a aplicação de 5,0 kg ha⁻¹ proporcionou médias mais elevadas (80,70), com ganho médio de 42,62 %.

O resultado positivo pela aplicação do bioinsumo sob o NF pode estar relacionado à presença de compostos bioativos (como fitormônios e aminoácidos livres), frequentemente presentes em extratos vegetais, como os oriundos das algas, devido ao favorecimento de processos fisiológicos relacionados à divisão celular e maior extensão de área foliar (Calvo et al., 2014). Dessa forma, tais substâncias com princípios bioativos podem ter favorecido o desempenho fisiológico das plantas, o que resultou em um desenvolvimento vegetativo foliar maior.

Adicionalmente, o fato do bioinsumo ter aumentado a quantidade de folha pode ser altamente benéfico em sistemas de rotação de cultura e plantio direto, os quais são amplamente praticados no Brasil, especialmente com soja e milho (Rani; Reddy, 2024). A cobertura do solo com restos vegetais será maior e proporcionará maior aporte e ciclagem de nutrientes advindos das folhas da soja, que apresentam bons teores de N pela fixação biológica de N (Pacheco et al., 2011). Tal fato poderá contribuir a longo prazo para melhoria ou manutenção da fertilidade do solo, sem necessidade de aportar mais fertilizantes minerais.

Tabela 3 - Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas – NF, em L1 e L2, em resposta à aplicação de bioinsumo à base de *Lithothamnium spp*

Doses	AP (cm)		DC (mm)		NF (unid)	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2
0 kg ha ⁻¹	82,06 aA	89,92 aA	11,18 aA	12,18 aA	43,00 bA	45,50 cA
1,0 kg ha ⁻¹	88,84 aA	89,30 aA	12,02 aA	12,54 aA	72,30 aA	60,70 bcA
3,0 kg ha ⁻¹	84,70 aA	86,30 aA	12,10 aA	12,62 aA	64,80 aA	69,70 abA
5,0 kg ha ⁻¹	83,00 aA	88,86 aA	12,10 aA	12,10 aA	78,60 aA	80,70 aA
Média	84,65	88,59	11,85	12,36	64,68	64,15
CV %	8,53		9,52		14,11	

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para cada linhagem, não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

5.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DESENVOLVIMENTO RADICULAR

O volume de raiz (vR), massa de matéria seca da parte aérea (mMSPA) e massa de matéria seca de raiz (mMSR) foram diferentes entre os tratamentos, para ambas as linhagens (Tabela 4). Para L1, a aplicação de 1,0 kg ha⁻¹ proporcionou a maior média da mMSPA (41,70 g) e a aplicação de 5,0 kg ha⁻¹ para mMSR (21,08 g) e vR (80,40 mL). Já para L2 a aplicação de 5,0 kg ha⁻¹ foi a que proporcionou as médias (50,94 g; 28,12 g; 93,00 mL para mMSPA; mMSR e vR). Esses resultados correspondem a incrementos de 13,58 %; 14,15 % e 2,37 %, mMSPA, mMSR e vR, em relação ao controle.

Tabela 4 - Massa de matéria seca da parte aérea – mMSPA (g), massa de matéria seca da raiz – mMSR (g) e volume de raiz (mL) em duas linhagens de soja (L1 e L2) em resposta à aplicação de bioinsumo à base de *Lithothamnium spp*

Doses	mMSPA (g)		mMSR (g)		vR (mL)	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2
0 kg ha ⁻¹	35,68 aA	44,02 aA	13,12 aB	24,14 aA	43,36 aB	90,80 aA
1,0 kg ha ⁻¹	41,70 aA	46,86 aA	20,14 aA	26,82 aA	60,60 aA	82,20 aA
3,0 kg ha ⁻¹	36,44 aB	48,34 aA	20,58 aA	27,28 aA	55,40 aA	80,20 aA
5,0 kg ha ⁻¹	38,94 aB	50,94 aA	21,08 aA	28,12 aA	80,40 aA	93,00 aA
Média	38,19	47,54	18,73	26,59	59,94	86,55
CV %	18,98		31,42		34,07	

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para cada linhagem, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A maior mMSPA com aplicação de 5,0 kg ha⁻¹ em L2 mostra que esta pode ser mais eficiente quanto ao crescimento vegetativo e radicular. Por outro lado, a L1 exibe uma interação genótipo x dose mais complexa e menos vantajosa para a produção de biomassa. Esse efeito diferenciado pode estar intrinsicamente ligado à ação do bioinsumo porque apresenta 23,3 % de Ca que é um macronutriente e atua diretamente em processos de expansão celular, formação da parede celular, desenvolvimento radicular e sinalização celular (Marschner, 2011), mecanismos aos quais a linhagem L2 demonstra maior capacidade de resposta.

Klahold et al. (2006) observaram que a aplicação de bioinsumos à base de algas marinhas, tanto via sementes quanto por pulverização foliar em soja, proporcionou um ganho de 35,2 % na massa seca da raiz em relação ao controle. Resultados convergentes foram documentados por Ferreira et al. (2007) que também constataram ganhos significativos na produção de biomassa radicular quando a aplicação foi realizada via solo, corroborando a

eficácia do método e o potencial desses bioinsumos para o desenvolvimento do sistema radicular de plantas.

5.3 INDICADORES DE PRODUÇÃO E PERCENTUAL DE PROTEÍNA BRUTA NO GRÃO

O *nVP* não diferiu entre os tratamentos tanto em L1 quanto em L2 e as médias gerais foram de 141,48 e 120,75, respectivamente. O *nGV* foi significativamente superior com a aplicação de 1,0 kg ha⁻¹ na L2 e para a L1 não houve diferença entre os tratamentos com média geral de 1,93.

A *m100* não variou com as doses do extrato de algas; apenas foi observado efeito de linhagem, e as médias da L1 variaram entre 17,66 g e 20,14 g, e da L2 entre 14,70 g e 17,16 g. As porcentagens médias de PB da L2 foram superiores (35,38 % a 36,66 %), porém sem efeito de doses. Houve efeito do extrato de algas com a aplicação de 1,0, 3,0 e 5,0 kg ha⁻¹ em L1 e houve aumento no teor de proteína (34,62 % a 34,98 %) em relação ao controle (33,20 %).

Tabela 5 - Número de vagens por planta - *nVP*, número de grãos por vagem - *nGV*, massa de cem grãos - *m100* (g) e teor de proteína bruta no grão (PB - %) em duas linhagens de soja (L1 e L2) em resposta à aplicação de bioinsumo à base de *Lithothamnium spp*

Doses	<i>nVP</i> (unid)		<i>nGV</i> (unid)		<i>m100</i> (g)		% PB (%)	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
0 kg ha ⁻¹	140,40 aA	119,80 aA	1,96 aA	2,14 bA	17,66 aA	15,12 aA	33,20 bB	36,06 aA
1,0 kg ha ⁻¹	148,10 aA	113,20 aB	1,82 aB	2,60 aA	18,82 aA	17,16 aB	34,98 aB	36,32 aA
3,0 kg ha ⁻¹	134,30 aA	121,60 aA	2,02 aB	2,36 abA	20,14 aA	14,70 aB	34,76 abB	36,66 aA
5,0 kg ha ⁻¹	143,10 aA	128,40 aA	1,92 aB	2,46 abA	19,68 aA	15,38 aB	34,62 abA	35,38 aA
Média	141,48	120,75	1,93	2,39	19,08	15,59	34,39	36,11
CV %	14,49		10,19		13,76		2,84	

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para cada linhagem, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se que L1 e L2 apresentam estratégias fisiológicas distintas. L1 tende a apresentar produção elevada de biomassa, com grãos maiores e mais pesados, enquanto L2 direciona fotoassimilados para a produção de grãos com alta qualidade proteica e assim, respondendo aos estímulos do bioinsumo para formar componentes de rendimentos específicos, como grãos por vagem. Assim, o bioinsumo atua modulando essas estratégias intrínsecas de cada genótipo, potencializando suas respostas morfofisiológicas e resultando em ganho de produtividade e desenvolvimento radicular.

Tais efeitos alinham-se com a literatura, que comprova a eficiência dos extratos à base de algas na promoção de atividades fisiológicas, da fotossíntese e da alocação de biomassa (Khan et al., 2009; Goñi et al., 2018). Nesse sentido, os bioinsumos à base de algas apresentam potencial para serem usados como fontes alternativas no aumento de produtividade da soja, especialmente em cultivos sem utilização de fertilizantes químicos que resultaram em ganhos expressivos nos parâmetros de rendimento da cultura, com maior valor de vagens por planta (206,85), maior número de grãos por vagem (4,20) e maior massa de grãos com 146,48 g (Rathore et al., 2009).

Os resultados de proteína bruta sugerem que sua biossíntese nos grãos é dependente da disponibilidade de aminoácidos nas folhas. Dessa forma, o aumento nos teores foliares de aminoácidos atua como um fator determinante para potencializar sua translocação aos grãos, otimizando, em última instância, o acúmulo de proteína bruta durante a fase crítica de enchimento de grãos (Barneix; Guitman, 1993). No entanto, a aplicação foliar de nutrientes ou bioestimulante pode favorecer a eficiência fotossintética, otimizar o metabolismo do N e, como resultado, aumentar os teores de proteína nos grãos (Taiz et al., 2017).

Em suma, Bertolin et al. (2008) não identificaram diferenças nos teores de proteína bruta dos grãos de soja em função da aplicação de bioestimulante e as médias variaram entre 43 % e 53 %. Esses valores foram considerados elevados, de acordo com os padrões de classificação do farelo destinado à exportação em que define que a maioria das cultivares de soja apresentam teores médios de proteína entre 36 % e 40 %, embora algumas cultivares especiais, utilizadas em programas de melhoramento genético possam atingir valores superiores a 45 %, sendo empregadas como fonte de alto teor proteico (Brunini et al., 2016).

Portanto, a variação nos teores de proteína bruta no grão pode estar associada à disponibilidade e à assimilação do N que é um elemento essencial nos processos de síntese proteica nas plantas (Fernandes et al., 2018). Assim, práticas que promovam a absorção e o uso eficiente do N, como a aplicação adequada de bioestimulante ou fertilizantes foliares, têm o potencial de melhorar a qualidade nutricional dos grãos, com destaque para o aumento no teor de proteína no grão.

5.4 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

5.4.1 TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES

A aplicação do bioinsumo na folhagem aumentou os teores foliares de macronutrientes, com interação entre as doses (A) e linhagens (B) para N, K e S (Tabela 6). Dessa forma, ambas as linhagens apresentaram comportamento inerente às doses aplicadas, sendo necessário avaliar

o efeito das doses separadamente para cada linhagem. Todavia, a alta capacidade das plantas de manter a regulação homeostática pode ter restringido o acúmulo excessivo de macronutrientes, assegurando que os teores foliares permaneçam dentro de uma faixa fisiologicamente adequada para suas funções fisiológicas e metabólicas (Fernandes et al., 2018).

Tabela 6 – Teores foliares de macronutrientes em L1 e L2 em resposta ao bioinsumo à base de *Lithothamnium spp*

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	g kg ⁻¹											
Doses	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
0 kg ha ⁻¹	2,42 bB	3,79 aA	4, 09 aA	4,14 aA	3,26 aB	3,58 aA	11,86 aA	9,62 aA	1,73 aA	1,81 aA	0,32 bB	0,88 aA
1,0 kg ha ⁻¹	3,85 aA	2,37 bB	3,92 aA	3,27 bB	2,87 bA	2,31 bcB	6,69 bA	8,80 aA	1,76 aA	1,60 abB	1,10 aA	0,53 aB
3,0 kg ha ⁻¹	3,63 aA	3,09 abA	3,70 aA	3,68 abA	2,39 cA	2,15 cA	8,71 abA	9,94 aA	1,68 aA	1,59 bA	0,84 abA	1,05 aA
5,0 kg ha ⁻¹	3,54 aA	3,74 aA	3,86 aA	4,18 aA	2,38 cA	2,59 bA	6,98 bA	7,48 aA	1,65 aA	1,54 bA	1,01 aA	0,84 aA
Média	3,36	3,25	3,89	3,82	2,73	2,66	8,56	8,96	1,71	1,64	0,82	0,83
CV %	19,17*		11,59		8,52*		23,84		7,29		48,66*	

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para cada linhagem, não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os teores de N diferiram entre as linhagens e doses. A L1 apresentou médias superiores com a aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ($3,84 \text{ g kg}^{-1}$ de N) em comparação ao controle ($2,42 \text{ g kg}^{-1}$ de N). Já para L2, mesmo que tenha sido verificado efeito das doses, o controle não diferiu da maior dose ($3,74 \text{ g kg}^{-1}$ de N) e a aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ proporcionou médias inferiores ($2,37 \text{ g kg}^{-1}$ de N) em relação ao controle.

Os teores de N estão abaixo dos valores de referência para a interpretação da diagnose do estado nutricional de plantas, que é de $45,0 \text{ g kg}^{-1}$ de N (Martinez et al., 1999). Tal comportamento, pode estar relacionado a um efeito de diluição (aumento do crescimento sem um aumento correspondente na absorção do nutriente) ou à interferência competitiva entre cátions (Ca^{2+} e Mg^{2+}) na absorção pela raiz. Além disso, fatores externos, como o pH da calda, a concentração do produto e as condições ambientais durante a aplicação, podem ter influenciado a eficácia da absorção foliar e, consequentemente, a redistribuição de N na planta.

Vale salientar que o efeito do bioinsumo nos teores de N nas plantas de soja pode ser atribuído às interações fisiológicas e iônicas promovidas pelos constituintes minerais do extrato, como Ca e Mg, que modulam a absorção e o equilíbrio entre os nutrientes no interior da planta. Embora o *Lithothamnium spp* não forneça N diretamente, sua elevada concentração de Ca e Mg pode favorecer o desenvolvimento do sistema radicular e, consequentemente, melhorar a absorção e assimilação de N, por meio da ativação de enzimas como a nitrato redutase (Taiz et al., 2017).

Os teores de P variaram significativamente na L2. Nessa linhagem, a maior dose ($5,0 \text{ kg ha}^{-1}$) resultou no maior teor de P ($4,18 \text{ g kg}^{-1}$) indicando uma resposta positiva à aplicação. No entanto, este valor não diferiu estatisticamente do controle, que apresentou $4,14 \text{ g kg}^{-1}$ de P com aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$. É importante destacar que todos as médias dos teores de P foliar estão acima do nível crítico (NC) que é de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P (Martinez et al., 1999). Este fato sugere que as plantas, em todas as condições testadas, já se encontravam em um estado nutricional adequado quanto ao P. Apesar da ausência de diferenças estatísticas em relação ao controle na L2, o fato da aplicação do bioinsumo ter mantido teores elevados de P na planta, mesmo diante da baixa mobilidade desse nutriente no solo (Myres et al., 2015), indica um possível potencial do produto em contribuir para uma adequada disponibilidade e absorção de P ou poderia ser uma característica dos genótipos destas linhagens; até mesmo uma interação entre a aplicação do bioinsumo e genótipo que é interessante quando a soja é plantada em solos pobres em P, como os que predominam no Brasil.

Para os teores K nos tecidos vegetais, foi observada uma interação significativa entre as linhagens e as doses do bioinsumo, em ambas linhagens. As plantas que receberam 0,0 kg ha⁻¹ do bioinsumo apresentaram os maiores teores, 3,26 g kg⁻¹ de K para L1 e 3,58 g kg⁻¹ de K para L2. Um efeito dose-resposta negativo foi observado em que o aumento das doses do bioinsumo (3,0 e 5,0 kg ha⁻¹) resultou na redução progressiva da absorção de K pelas plantas. Todos os valores mensurados estão abaixo do NC de 17 g kg⁻¹ de K estabelecido por Martinez et al. (1999), indicando um estado de deficiência nutricional deste elemento nas plantas. Assim como observado para o N, essa supressão na absorção de K pode ser atribuída a um efeito de diluição causado por um maior crescimento vegetal induzido pelo bioinsumo, ou, de forma mais plausível, a uma interferência competitiva na absorção radicular, uma vez que a aplicação do produto pode ter aumentado a disponibilidade de outros cátions na solução do solo, como Ca²⁺ e Mg²⁺, que competem com o K⁺ pelos sítios de absorção.

Para os teores de Ca nos tecidos vegetais, foi observado um efeito isolado das doses do bioinsumo na L1. O tratamento controle (0,0 kg ha⁻¹) apresentou o maior teor do nutriente, com 11,86 g kg⁻¹ de Ca. Foi constatado um efeito dose-resposta negativo, com redução progressiva nos teores de Ca com o aumento das doses do bioinsumo (1,0; 3,0 e 5,0 kg ha⁻¹). Apesar da redução, todos os valores permaneceram dentro da faixa de suficiência de 4,0 a 20,0 g kg⁻¹ de Ca estabelecida por Bissani et al. (2008), indicando que não houve deficiência deste nutriente nas plantas. A absorção de Ca e Mg pelas plantas está intimamente associada ao equilíbrio catiônico na solução do solo, particularmente com o K⁺. Dado que a aplicação do bioinsumo também suprimiu a absorção de K, conforme observado anteriormente, é possível que tenha ocorrido uma alteração na dinâmica competitiva entre estes cátions. A redução concomitante de Ca e K sugere um cenário complexo, no qual o bioinsumo pode ter influenciado a disponibilidade ou a absorção seletiva de múltiplos nutrientes, como proposto pela interação entre cátions (Vieira; Viero, 2025).

Para os teores foliares de Mg, foi verificado um efeito significativo das doses do bioinsumo na linhagem L2. O tratamento controle (0,0 kg ha⁻¹) apresentou maior teor (1,81 g kg⁻¹ de Mg), enquanto as plantas que receberam a aplicação do bioinsumo exibiram uma redução progressiva em seus teores com o aumento das doses. Este padrão de supressão foi observado em ambas as linhagens. Todos os valores medidos ficaram abaixo da faixa de suficiência para Mg (3,0 a 10,0 g kg⁻¹) proposta por Bissani et al. (2008), indicando deficiência desse nutriente. Como a aplicação do bioinsumo também reduziu os teores foliares de Ca e K, o clássico mecanismo de antagonismo por competição direta na absorção torna-se pouco

provável. É possível que o bioinsumo tenha provocado alterações no sistema radicular ou no ambiente da rizosfera, modificando a dinâmica geral de absorção de cátions e afetando, de forma seletiva, a captação de Mg (Vieira & Viero, 2025).

Para os teores foliares de S, foi verificada interação significativa entre as linhagens e as doses do bioinsumo. Na linhagem L1, a aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ promoveu o maior teor do nutriente ($1,10 \text{ g kg}^{-1}$ de S) que é aproximadamente 3,4 vezes superior ao da testemunha ($0,32 \text{ g kg}^{-1}$ de S). Por outro lado, na linhagem L2, a aplicação de $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ resultou no teor de $1,05 \text{ g kg}^{-1}$ de S, superando o controle ($0,88 \text{ g kg}^{-1}$ de S) e a aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$, que apresentou a menor média ($0,53 \text{ g kg}^{-1}$ de S). Apesar do aumento promovido pelas doses mais eficientes em cada linhagem, todos os tratamentos apresentaram teores foliares inferiores ao nível crítico de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de S estabelecido por Martinez et al. (1999), configurando um estado de deficiência deste nutriente. Este resultado evidencia que, embora o bioinsumo tenha potencializado a absorção do S de forma dependente da linhagem e da dose, o incremento não foi suficiente para elevar as plantas à condição de suficiência. A resposta diferenciada entre as linhagens destaca a importância da interação genótipo x manejo na eficiência de uso de bioinsumos.

5.4.2 TEORES FOLIARES DE MICRONUTRIENTES

Para os teores foliares de micronutrientes, não foram observados efeitos das doses do bioinsumo, seja entre as linhagens (L1 e L2) ou dentro de cada uma delas (Tabela 7). Os teores de Fe, Zn e B ficaram acima dos NC (Martinez et al., 1999) que são de $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$ para Fe, $20,0 \text{ mg kg}^{-1}$ para Zn e $20,0 \text{ mg kg}^{-1}$ para B, o que demonstra um estado nutricional adequado para esses micronutrientes. Isso é interessante porque embora o bioinsumo não tenha aumentado os teores de Fe, Zn e B, também não causou deficiência.

Tabela 7 - Teores foliares de micronutrientes em duas linhagens de soja (L1 e L2) em resposta ao bioinsumo à base de *Lithothamnium spp*

Doses	Fe		Cu		Zn		Mn		B	
	mg kg ⁻¹									
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
0 kg ha ⁻¹	86,57 aA	113,87 aA	4,32 aA	3,85 aA	22,55 aA	20,69 aA	74,43 aA	65,43 aA	22,44 aA	24,62 aA
1,0 kg ha ⁻¹	86,01 aA	66,14 bA	4,42 aA	3,48 aB	20,81 aA	19,46 aA	65,03 aA	58,31 aA	28,39 aA	21,98 aA
3,0 kg ha ⁻¹	92,39 aA	80,93 abA	4,26 aA	4,22 aA	21,83 aA	23,18 aA	63,11 aA	59,93 aA	21,03 aA	20,05 aA
5,0 kg ha ⁻¹	97,78 aA	92,45 abA	4,32 aA	4,16 aA	22,48 aA	20,56 aA	65,28 aA	57,79 aA	24,46 aA	22,41 aA
Média	90,69	88,35	4,33	3,93	21,92	20,97	66,96	60,37	24,08	22,26
CV %	31,01		10,79		14,01		15,65		24,78	

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para cada linhagem, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para os teores foliares Cu e Mn, foi observado efeito significativo das linhagens, independentemente da dose do bioinsumo aplicada. Em relação ao Cu, a linhagem L1 apresentou teores superiores aos da L2, com valores variando entre 4,26 e 4,42 mg kg⁻¹ de Cu, enquanto a L2 os teores oscilaram entre 3,48 e 4,22 mg kg⁻¹. Os teores de Cu ficaram abaixo do NC, que é de 10,0 mg kg⁻¹ (Martinez et al.,1999) para a cultura da soja e é indicativo de deficiência. Os resultados para o Cu reforçam a influência do genótipo na absorção de micronutrientes, observada anteriormente para o S. A deficiência de Cu, mesmo em plantas tratadas com o bioinsumo sugere que a disponibilidade deste elemento no solo foi limitante ou que outros fatores, como a matéria orgânica ou o pH do solo, exerceram uma influência maior sobre sua absorção do que a aplicação do produto.

Para os teores de manganês (Mn), assim como observado para o cobre (Cu), verificou-se um efeito significativo das linhagens sobre a concentração do nutriente. A linhagem L1 apresentou teores superiores aos da L2, com valores variando de 63,11 a 74,43 mg kg⁻¹ de Mn, enquanto na L2 os teores oscilaram entre 57,79 e 65,43 mg kg⁻¹. Todos os valores medidos situaram-se consideravelmente acima do nível crítico (NC) de 20,0 mg kg⁻¹ de Mn estabelecido por Martinez et al. (1999), caracterizando um estado de plena suficiência nutricional. Este resultado evidencia uma notável diferença na eficiência de absorção de Mn entre os genótipos. Em contraste com a deficiência constatada para o Cu, a adequação dos teores de Mn demonstra que a baixa mobilidade natural deste micronutriente no solo não foi um fator limitante, possivelmente em função de condições edáficas favoráveis ou da eficiência intrínseca do sistema radicular das plantas em mobilizá-lo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resposta à aplicação de extrato de *Lithothamnium spp* micronizado variou entre os diferentes materiais genéticos de soja.

A aplicação de 1,0 kg ha⁻¹ de extrato de *Lithothamnium spp* micronizado parece ser suficiente para estimular o crescimento e a produção da soja, contudo experimentos adicionais devem ser realizados para validação de doses e métodos de aplicação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - aoac. **Official methods of analysis**. 12.ed. Washington, 1975. 1094p.

ABRANCHES, M. O., SILVA, G. A. M., TAVARES, Q. G., PAULA, L. B., SANTOS, L. C. Efeito do uso de Bioestimulantes na cultura do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Científica Rural**, v. 24, n. 1, p. 1-11, 2022.

ALGAEBASE. **Navegador de taxonomia**. 2023. Disponível em: https://www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus_id=45761. Acesso em: 16 de janeiro de 2025.

ALOVISI, A. M. T., RODRIGUES, R. B., ALOVISI, A. A., TEBAR, M. M., VILLALBA, L. A., MUGLIA, G. R. P., SOARES, M. S. P., TOKURA, L. K., CASSOL, C. J., SILVA, R. S., TOKURA, W. I., GNING, A., KAI, P. M. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n.6, e33710615599, 2021.

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.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. Versão 1.0.

BARBOSA, N. S et al. Effects of dietary Lithothamnium organic mineral on Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, raised in low salinity water synbiotic system. **Aquaculture and Fisheries**, 2025.

BARNEIX, A. J., GUITMAN, M. R. Leaf regulation of the nitrogen concentration in the grain of wheat plants. **J Exp Bot**, 1993.

Basso, Davi et al. A dinâmica de ocupação do espaço natural pelo processo de expansão da Sojicultura no Brasil. **Informe Gepec**, n. 1, 2021.

BERTOLIN, D. C., DE SÁ, M. E., HAGA, K. Y., ABRANTES, F. L., NOGUEIRA, D. C. Efeito de bioestimulante no teor e no rendimento de proteína de grãos de soja. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 23-34, 2008.

BISSANI, C. TEDESCO, M., SELBACH, P., SÁ, E., GIANELLO, C., CAMARGO, F. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer, 1979. 188p.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 39, de 8 de agosto de 2018. Estabelece as regras sobre definições, critérios, 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, pág. 19, 2018.

BRAGA, J. M., DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **R. Ceres**, 21:73-85, 1974.

BLANCHAR, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. **Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid**. Proceedings of the Soil Science Society of America, v.29, p.71-72, 1963.

BRUNINI, M. A., BARROS, M. A. L., PEREIRA, M., CERQUEIRA, J. B., MENEZES, P. T. R., FURTADO, I. R. Qualidade de grãos de onze cultivares de soja. **Nucleus Animalium**, v. 8, n. 2, p. 8, 2016.

CALVO, P., NELSON, L., KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and soil**, v. 383, p. 3-41, 2014.

CASTRO, C., KLEPKER, D., SFREDO, G. J., OLIVEIRA, F. A., OLIVEIRA JÚNIOR, A. Análise foliar. In: **Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC)**. Soja: Exigências minerais e adubação. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/manejo-da-fertilidade-do-solo/exigencias-minerais-e-adubacao/analise-foliar>. Acesso em: 03 de julho 2025.

CAVALCANTE, W. S. S., SILVA, N. F., TEIXEIRA, M. B., CORRÊA, F. R., RODRIGUES, E., CABRAL FILHO, F. R., MARTINS, G. R., CABRAL, P. H. F., MATIAS, V. C., MARTINS NETO, J. G., MAGALHÃES, Y. C. M. Potencial de utilização do extrato de algas marrons na fase fenológica reprodutiva da soja. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e51311528563-e51311528563, 2022.

COSTA-NETO, J.M.T.; SÁ, R.G.; LIMA, M.; ARAGÃO, A.E.S.; TEIXEIRA, G.J.; MARTINS-FILHO, M.; TORÍBIO, E.; AZEVEDO, J.M.M.L. Farinha de algas marinhas (*Lithothamnium calcareum*) como suplemento mineral na cicatrização óssea de autoenxerto cortical em cães. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.11, n.1, p.217-230, 2010.

CRAIGIE, J. S. Estímulos de extrato de algas marinhas na ciência vegetal e agricultura. **J Appl Phycol** 23, 371–393, 2011.

DAPPER, T. B., PUJARRA, S., OLIVEIRA, A. J., OLIVEIRA, F. G., PAULERT, R. Potencialidades das macroalgas marinhas na agricultura: revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, 2014.

DIAS, C.T.M. Granulados Bioclásticos - Algas Calcárias. **Brazilian Journal of Geophysics**, v.8, p.307-318, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de janeiro: Embrapa – CNPS, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p.

FARIA, Vanessa de Oliveira et al. Potencial indutor de fitoalexinas em feijão e soja por formulado a base de alecrim+ *Lithothamnium*. **Revista Ambientale**, v. 14, n. 2, p. 1-9, 2022.

FERNANDES, M. S., SOUZA, S. S., SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2018.

FERREIRA, F. A. et al. Nutrição mineral e aplicação foliar em plantas: fatores que influenciam a absorção de nutrientes. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 16, n. 1, p. 1–9, 2020.

FERREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. A.; PINHO, E. V. R. V.; QUEIROZ, D. L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.29, n.2, p.80-89, 2007.

FERREIRA, M. J. et al. Bioinsumos e sua influência na nutrição e desenvolvimento vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 89–97, 2020.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

FREITAS, M. C. M. **A cultura da soja no brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Tese de doutorado. Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2011.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

GOÑI, O. et al. Seaweed extracts to improve crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 39–48, 2018.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ, V. H.; P REZOTTI, L.C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p.289-302.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Viçosa-Minas Gerais**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/vicosa/panorama>. Acesso em: 27 de dezembro de 2024.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498p.

JOHNSON, C. M., ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles, University of California, 1959. v.766. p.32-33.

KHAN, W. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386–399, 2009.

KLAHOLD, C. A.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; KLAHOLD, A.; ROBINSON, L. C., BECKER, A. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.28, p.179-185, 2006.

LEITE, M. T. R. et al. **Fatores que influenciam a eficiência da adubação foliar**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 38, n. 3, p. 791–812, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1139496/>. Acesso em: 7 jul. 2025.

LIMA, A. D. R., SANTOS, B. V., ROCHA, J. L. H. A importância do tratamento fitossanitário da soja para a imagem do brasil nas exportações. **Revista Fatecnológica da Fatec-Jahu**, v. 18, n. 1, p. 142-154, 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London, U. K.: Academic Press, 2011. 672p.

MARTINEZ, H. E. P., CARVALHO, J. G., SOUZA, R. B. **Diagnose foliar**. Cap. 17. In: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5º Aproximação). Editores: Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito G. Guimarães, Victor Hugo Alvarez V. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG). Viçosa – MG, 1999.

MARTINS, S. M., ROCHA, Á. G., NETO, A. B., BATISTA, S., DE ASSUNÇÃO, G. P., RODRIGUES, E. F. Correlações na produção de soja e a geração de empregos: Estudo de caso do Sudeste de Goiás. **Revista GeTeC**, v. 12, n. 39, 2023.

MELO, P. C., FURTINI NETO, A. E. Avaliação do Lithothamnium como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes para o feijoeiro. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.03, p.508-519, 2003.

MEYER, F. R., ORIOLI JÚNIOR, V., BERNARDES, J. V. S., COELHO, V. P. M. Aplicação foliar de bioestimulante à base de extrato de alga marinha na cultura da soja. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 1, p. 99-107, 2021.

MOREIRA, M., SILLMANN, T. A., SILVA, A. L. Uso do extrato de algas como potencializador da eficiência do cultivo de grãos. **Revista Foco**, v. 17, n. 10, p. e6108-e6108, 2024.

MÜLLER, L. **Taxonomia e morfologia**. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104, 1981.

MYRES, C. J. et al. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 206, n. 4, p. 1073–1087, 2015.

NUNES, I. M. **A evolução da produção de soja e sua espacialização no Brasil: o sucesso do Mato Grosso**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal), 2024.

PACHECO, Leandro Pereira; BARBOSA, Juliano Magalhães; LEANDRO, Wilson Mozena; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida; ASSIS, Renato Lara de; MADARI, Beáta Eموke; PETTER, Fabiano André. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1787-1800, 2011._

RATHORE, S. S., CHAUDHARY, D. R., BORICHA, G. N., GHOSH, A., BHATT, B. P., ZODAPE, S. T., PATOLIA, J. S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 351-355, 2009.

RATHORE, S. S., CHAUDHARY, D. R., BORICHA, G. N., GHOSH, A., BHATT, B. P., ZODAPE, S. T., PATOLIA, J. S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 351-355, 2009.

RANI, Valluri Sandhya; REDDY, A. Malliswara. Effect of seaweed extract on growth, yield and quality in different field crops: A review. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 7, n. 3, p. 76-79, 2024.

SHABTAI, I. A., WILHELM, R. C., SCHWEIZER, S. A., HÖSCHEN, C., BUCKLEY, D.H, LEHMANN, J. Calcium promotes persistent soil organic matter by altering microbial transformation of plant litter. **Nat Commun**. 2023.

SILVA, A. E. Iron removal by fixed-bed adsorption with thermochemically treated Lithothamnium calcareum algae. **Environmental Technology & Innovation**, Volume 24, 2021.

SILVA, A. V., SILVA, C. M., SILVA, J. H. B., PEREIRA, W. E., ALBUQUERQUE, M. B., MEDEIROS, J. C., LEAL, F. R. R., CARVALHO, J. F., SILVA, B. O. T., MIELEZRSKI, F. Remote sensing in maize: effect of vegetal biostimulants application in three stages of development. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e279435, 2023.

SILVA, Marly Carolina Macena 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.

SILVA, P. Z. B. **Adubação potássica em diferentes doses e formas de aplicação: efeitos na emergência e vigor da soja.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

SOARES, H. V. O trabalho na cadeia da soja no centro-oeste brasileiro: um debate sobre emprego, renda e condições de trabalho na agricultura capitalista contemporânea. **Tempos Históricos**, v. 23, n. 1, p. 602-628, 2019.

SOUSA, J. M., TREMEA, M. G., ROSSETTI, C., MADRUGA, N. P., SCHER, L. G., TUNES, L. V. M. Ajuste Metodológico do Índigo Carmim na Viabilidade de Sementes de Soja. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 5, p. e4940-e4940, 2025.

TAGLIEBER, André et al. Aplicação de diferentes doses de cloreto de potássio na cultura da soja Application of different doses of potassium antioxidants in soybean crop. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 26041-26059, 2022.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017. 888 p.

VIEIRA, R. C. B., VIERO, F. **Ciclo biogeoquímico do cálcio e do magnésio**. Cap. 10. p.233-249. In: Fertilidade do solo e nutrição de plantas. 1 ed. Editores: Tales Tiecher, Cledimar R. Lourenzi, Amanda P Martins, Gustavo Brunetto, Filipe S. Carlos, Leandro S. Silva, Pedro A. V. Escosteguy. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Santa Maria – RS, 2025.

YANG, Q., LIN, G., LV, H., WANG, C., YANG, Y., LIAO, H. Physiological and morphological traits associated with soybean yield and its resilience to abiotic stress: a review. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, p. 1–14, 2021.