







## Desempenho de bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp. no crescimento e em componentes de produção da soja

## Performance of the marine algae biostimulant *Macrocystis* sp. on soybean growth and production components

Francisco Neto dos Santos <sup>1</sup>, Edmilson Igor Bernardo Almeida <sup>2</sup>, Aldair de Souza Medeiros <sup>3\*</sup>,  
 Andreza Maciel de Sousa <sup>4</sup>, Katarina Lopes Moreira <sup>5</sup>, Jarlyson Brunno Costa Souza <sup>6</sup>,  
 Washington da Silva Sousa <sup>7</sup>

<sup>1</sup>Graduado em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha. franciscoengagro96@gmail.com. <sup>2</sup>Doutor em Agronomia e Professor Adjunto do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha. edmilson.igor@ufma.br. <sup>3</sup>Doutor em Agronomia e Professor Adjunto do Curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus. aldair.medeiros@ufpi.edu.br. <sup>4</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. andreza.maciell@alu.ufc.br. <sup>5</sup>Graduada em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha. katarina.engagri@gmail.com. <sup>6</sup>Doutor em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. jarlyson.brunno@unesp.br. <sup>7</sup>Doutor em Física e Professor Adjunto do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha. washington.sousa@ufma.br. \*Autor correspondente

### ARTIGO

Recebido: 17-11-2025  
 Aprovado: 02-02-2026

#### Palavras-chave:

*Glycine max*  
 Cultivares de soja  
 Ramificação da soja  
 Regulador vegetal  
 Sustentabilidade

#### Key words:

*Glycine max*  
 Soybean cultivars  
 Soybean branching  
 Plant growth regulator  
 Sustainability

### RESUMO

A sojicultura é uma atividade de relevante importância socioeconômica para o Brasil, contudo, a intensificação das práticas agrícolas para o incremento de produtividade pode resultar no uso excessivo de fertilizantes concentrados e agroquímicos sintéticos, que ocasionam negativos impactos ambientais. A utilização de insumos alternativos, como bioestimulantes extraídos de algas marinhas, tem colaborado para integração de práticas sustentáveis, especialmente no que concerne aos fatores nutricionais, regulação de estresses bióticos e abióticos. Objetivou-se analisar o efeito do bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp. sobre o crescimento e componentes de produção, em três cultivares de soja. A pesquisa foi realizada em três lavouras comerciais de soja, localizadas no estado do Maranhão, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 2 tratamentos e 9 repetições. Os tratamentos foram aplicados via foliar, no estágio V<sub>5</sub>. O primeiro tratamento consistiu na ausência de aplicação (testemunha), ao passo que o segundo, na presença do bioestimulante de algas marinhas. Foram analisadas, a altura de plantas; número de trifólios, ramos, nós e vagens; índices de clorofila a, b e total; índice vegetativo (NDVI) e a produtividade da soja. A aplicação de bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp., no estágio V<sub>5</sub> e na dose de 750 mL ha<sup>-1</sup>, incrementou o número de ramos (33 a 40%), nós (9 a 36%), vagens (9 a 23%) e a produtividade da soja (10%), nas cultivares DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO. Para a cultivar BMX Domínio IPRO, o tratamento foi ineficiente, promovendo uma redução de porte, mas sem efeitos significativos sobre a melhoria da ramificação, número de vagens e produtividade. Os resultados demonstram que o uso de bioestimulantes na sojicultura apresenta respostas complexas, cujo genótipo é um fator determinante na eficiência e no rendimento final.

### ABSTRACT

The soybean crop is an activity of significant socioeconomical importance for Brazil; however, the intensification of agricultural practices to increase productivity can lead to the excessive use of concentrated fertilizers and synthetic agrochemicals, which cause negative environmental impacts. The use of alternative inputs, such as biostimulants extracted from seaweeds, has contributed to the integration of sustainable practices, particularly regarding nutritional factors and the regulation of biotic and abiotic stresses. The objective was to analyze the effect of the *Macrocystis* sp. seaweed biostimulant on growth and production components in three soybean cultivars. The study was conducted on three commercial soybean fields located in the Maranhão state, Brazil. The experimental design was a randomized block design with 2 treatments and 9 replications. The treatments were applied via foliar spray at the V<sub>5</sub> growth stage. The first treatment consisted in a no-treated (without seaweed application), while the second involved the application of biostimulant. The following parameters were analyzed: plant height; number of trifoliates, branches, nodes, and pods; chlorophyll a, b, and total indices; vegetative index (NDVI); and soybean yield. The seaweed biostimulant application of the *Macrocystis* sp., at the V<sub>5</sub> stage and 750 mL ha<sup>-1</sup> dosage, increased the number of branches (33–40%), nodes (9–36%), pods (9–23%), and soybean yield (10%) in the DM 82i78 IPRO and FTR 3191 IPRO cultivars. The treatment was ineffective for BMX Domínio IPRO cultivar, causing a plant size reduction, but it not improved branching, number of pods, and yield. The results demonstrate that the use of seaweed biostimulant in soybean has complex responses. The genotype is a determinant factor in biostimulant efficiency and soybean yield.

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das principais culturas agrícolas mundiais, devido ao seu alto potencial econômico, valor proteico, diversificado uso na alimentação humana e animal, importância como fonte de matéria-prima industrial e ótima adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (SILVA et al., 2025). Na safra 2024/25 a soja destacou-se como a sexta cultura agrícola mais cultivada no mundo, com uma produção de 421 milhões de toneladas. Neste cenário, o Brasil é o maior produtor mundial de soja com uma produção de 169,5 milhões de toneladas (DOHLMAN et al., 2025).

A investigação de alternativas que maximizem a produção sustentável de alimentos, sobretudo na sojicultura, é um dos tópicos mais relevantes do mundo, na atualidade. No campo específico do cultivo de soja, pesquisas têm sido conduzidas para desenvolver cultivares eficientes e adaptadas a cada região (POUDEL et al., 2023), bem como, para analisar o desempenho de insumos que estimulam e potencializam o desenvolvimento vegetal sob diferentes condições de manejo (ABD GHANI et al., 2023; BAGALE, 2021). Dentre os principais componentes de produtividade da soja está a quantidade de vagens por planta, que é influenciada por processos fisiológicos ocorrentes ao longo do ciclo fenológico da cultura. Essas atividades são geralmente afetadas por fatores e estresses abióticos, especialmente relacionados às condições climáticas e ao manejo nutricional (SILVA; FAGAN, 2021).

O aumento de produtividade em cultivos de soja tem sido obtido pelo uso intensivo de fertilizantes concentrados e agroquímicos sintéticos, que podem causar negativos impactos ambientais, como a degradação biológica e eutrofização de recursos hídricos (WU et al., 2025). Em resposta a essas preocupações ambientais, existe a crescente demanda global pela adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, que preconizam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) (BUENO et al., 2025; HAMZA et al., 2024).

Nesse contexto, a utilização de bioestimulantes a base de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos), extrato de microorganismos (extrato de levedura e bactérias como *Bacillus*), extratos vegetais (melaço de cana-de-açúcar) e extratos de algas marinhas (*Ascophyllum* sp., *Ecklonia* sp. e *Kappaphycus* sp.) vem sendo testada na produção de grãos em larga escala com o objetivo de maximizar a produtividade, reduzir estresses abióticos e mitigar o uso de insumos agressivos ao meio-ambiente (NUNES et al., 2025; ARSLANOĞLU, 2022).

No Brasil, os extratos de algas marinhas têm sido comercializados nas categorias de bioinsumos, fertilizantes

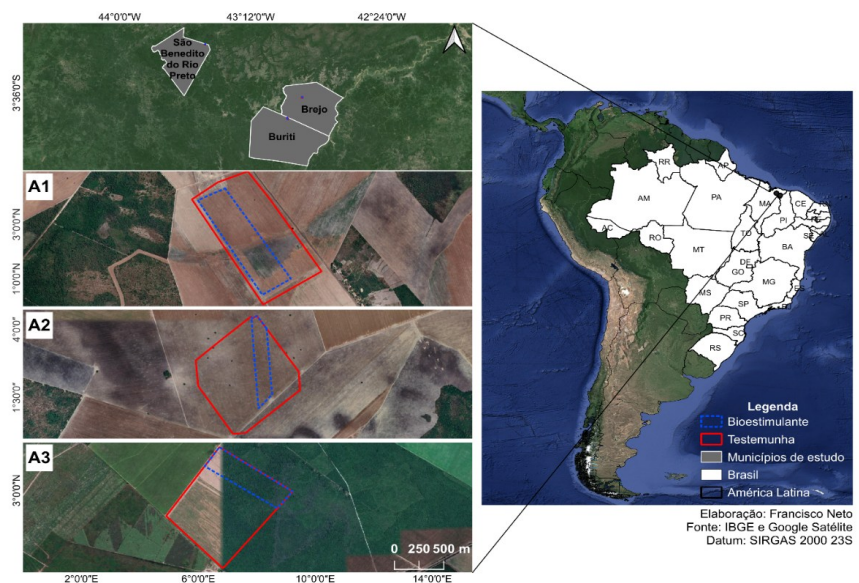
organominerais e/ou reguladores vegetais (SIBILE et al., 2021; JULIA et al., 2020). São bioestimulantes metabólicos que agem no crescimento do sistema radicular, aumento da ramificação da parte aérea, mitigação a estresses abióticos, melhoria da floração, pegamento de vagens e/ou no aumento da eficiência nutricional da planta (IPARRAGUIRRE et al., 2023; SHARMA et al., 2022). Contudo, as respostas a estes estímulos podem ser complexas, pois dependem da dosagem utilizada, estágio fenológico da aplicação, extensão do ciclo fenológico da cultivar, condição fisiológica das plantas no momento da aplicação, fertilidade do solo e das condições climáticas da região de cultivo (EL BOUKHARI et al., 2020).

Apesar do promissor potencial dos bioestimulantes de algas marinhas na agricultura, há uma lacuna de estudos científicos sobre a utilização da espécie *Macrocyctis* sp. e dos seus efeitos sobre o rendimento da soja, notadamente quando aplicado no estágio vegetativo para o aumento da ramificação e produção de vagens, importantes componentes de produtividade. Diante do exposto, a hipótese do presente estudo é que o uso de extrato de algas marinhas *Macrocyctis* sp. melhora a ramificação da soja e aumenta a sua produtividade, quando aplicado no estágio vegetativo V<sub>5</sub>. Assim, objetivou-se analisar o crescimento e componentes de produção de diferentes cultivares de soja, sob a aplicação de um bioestimulante derivado de algas marinhas *Macrocyctis* sp.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização do estudo

A pesquisa foi realizada entre os meses de fevereiro e junho de 2023, em três lavouras comerciais de soja, localizadas nos municípios de Buriti (Área 1: 3°45'45.2"S 42°58'37.9"W), Brejo (Área 2: 3°38'12.1"S 42°53'42.2"W) e São Benedito do Rio Preto (Área 3: 3°17'00.8"S 43°28'30.2"W), mesorregião Leste do estado do Maranhão, Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Representação esquemática da localização e croqui experimental, em três lavouras comerciais de soja, situadas nos municípios de Buriti (A1), Brejo (A2) e São Benedito do Rio Preto (A3).

O clima dessa mesorregião é classificado como C2W2A'a', subúmido com temperatura média de 27 °C e precipitação anual de 1.600 a 2.000 mm. As condições meteorológicas nas áreas experimentais 1, 2 e 3, abrangeram precipitações pluviométricas de 1.430, 1.612 e 1470 mm, e temperaturas médias de 26, 26 e 28 °C, respectivamente. Os solos das áreas experimentais foram classificados como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). A análise química de solo, na profundidade de 0 a 20 cm, revelou os seguintes resultados para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente: pH = 5,2; 4,8; 4,5; matéria orgânica (%) = 1,9; 1,8; 2,1; P (mg dm<sup>-3</sup>) = 22; 24; 22; SB (cmol dm<sup>-3</sup>) = 33,5; 43,9; 40,1; V (%) = 56; 54; 39.

### Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em arranjo de faixas, com 2 tratamentos e 9 repetições. Os tratamentos consistiram no controle (T1 – sem bioestimulante) e T2 – com bioestimulante. O bioestimulante utilizado foi um produto comercial constituído por 67,5 g L<sup>-1</sup> de carbono orgânico total solúvel em água, extraído de algas marinhas *Macrocyctis* sp.; 13,5 g L<sup>-1</sup> de boro solúvel em água; 6,7 g L<sup>-1</sup> de cobre solúvel em água; 20,2 g L<sup>-1</sup> de zinco solúvel em água; 13,5 g L<sup>-1</sup> manganês solúvel em água. O produto foi aplicado na extensão de 40 hectares, em pós-emergência da soja, no estágio fenológico V<sub>5</sub>, em dose única de 750 mL ha<sup>-1</sup>, conforme a recomendação do fabricante. As pulverizações foram realizadas com pulverizador terrestre, autopropelido, durante o período da manhã, sob uma velocidade de vento de 3 a 8 km h<sup>-1</sup>, temperatura de 25 a 30 °C e umidade relativa do ar de 70 a 90%, ambas monitoradas com termohigroanemômetro (Akrom Kr825) e seguindo as diretrizes da norma ISO 5682-1:1996.

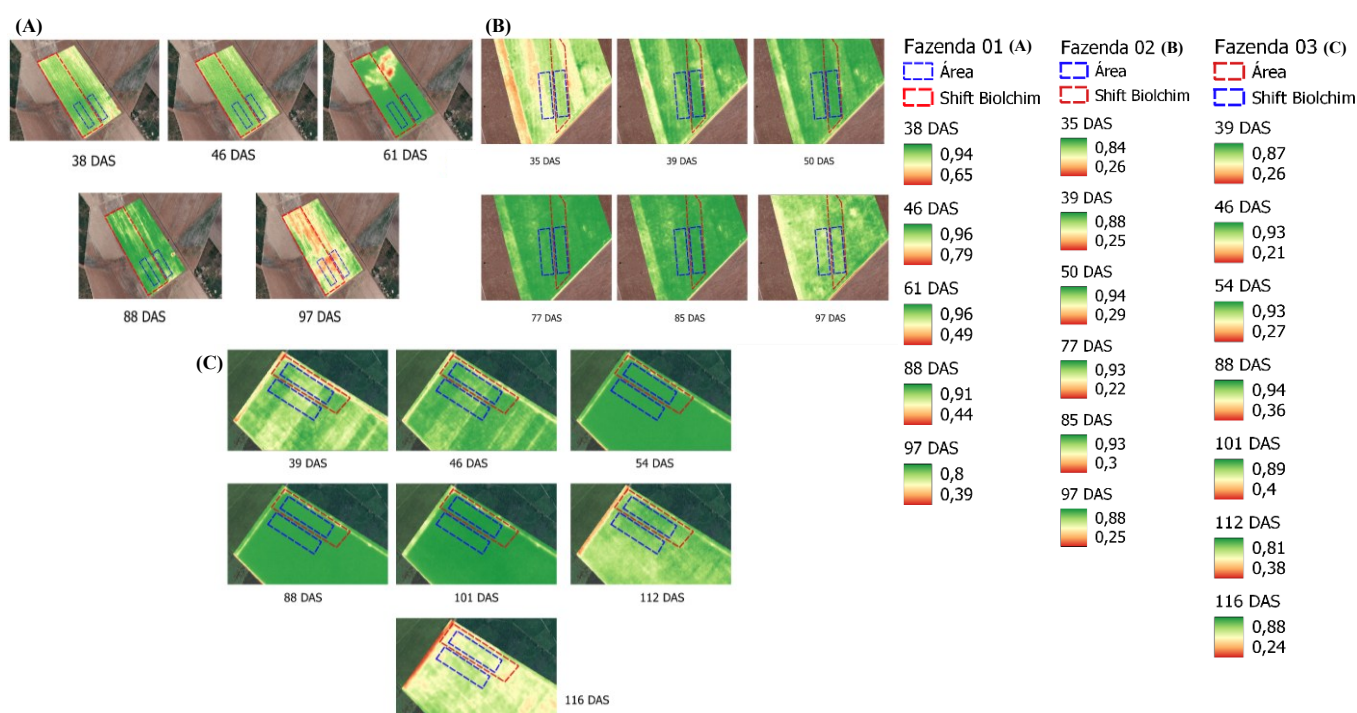
As cultivares utilizadas nas áreas experimentais foram a BMX Domínio IPRO, ciclo precoce, plantada no dia

06/01/2023 (Experimento 1); DM 82i78 IPRO, ciclo precoce, plantada no dia 17/01/2023 (Experimento 2); e FTR 3191 IPRO, ciclo intermediário, plantada no dia 09/01/2023 (Experimento 3).

### Variáveis analisadas

As avaliações foram realizadas aos 15 dias após a aplicação (DAA) e na colheita. Foram aferidas a altura de planta (cm), diâmetro do caule (mm), número de trifólios, número de ramos, índice de clorofila “a”, “b” e total (aferido com clorofilômetro, modelo ClorofiLOG 2060®) e índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – aferido com medidor óptico de luz ativa, modelo GreenSeeker®), número de nós e de vagens (aferidos por contagem) e produtividade da soja (estimada pela coleta de plantas e grãos numa área útil de 54 m<sup>2</sup> por tratamento e, posteriormente, extrapolada para kg ha<sup>-1</sup>).

De forma complementar, foram realizadas capturas de imagens por satélite em diferentes fases fenológicas da soja, após a aplicação do bioestimulante. Para isso, utilizou-se o sensor PlanetScope, com resolução espacial de 3 m x 3 m, e porcentagens de nebulosidade menores ou iguais a 30%. Em cada tratamento, selecionaram-se áreas úteis de aproximadamente 3,8 hectares, cujos resultados foram expressos em índice NDVI. Para a cultivar BMX Domínio IPRO (Fazenda 1) foram obtidas imagens de satélite, aos 38, 46, 61, 88 e 97 dias após à sementeira (DAS); na cultivar DM 82i78 IPRO (Fazenda 2), aos 35, 39, 50, 77, 85 e 97 DAS; e na cultivar FTR 3191 IPRO (Fazenda 3), aos 39, 46, 54, 88, 101, 112 e 116 DAS (Figura 2). As datas de coleta diferiram em virtude das condições de nebulosidade e disponibilidade de imagens e extensão do ciclo fenológico de cada cultivar analisada.



**Figura 2.** Dinâmica espaço-temporal de NDVI, através de imagens obtidas por satélite, sensor PlanetScope, em diferentes tratamentos e dias após à sementeira da soja. **1A:** Fazenda 1 (Buriti – MA), **1B:** Fazenda 2 (Brejo – MA); **1C:** Fazenda 3 (São Benedito do Rio Preto).

### Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos Shapiro-Wilk ( $p \leq 0,05$ ), análise de variância (Teste F) e, quando os contrastes entre as médias foram significativos ( $p \leq 0,05$ ), aplicou-se o teste Tukey HSD para comparações dos tratamentos. Os índices de vegetação, estimados em NDVI e obtidos por imagens de satélite, foram analisados por estatística descritiva. Para isto, utilizou-se o *software* QGIS 3.26.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp. no estágio vegetativo da soja

O uso do bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp. apresentou efeito estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ) sobre a altura de planta nas cultivares DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO; e número de ramos vegetativos nas cultivares BMX Domínio IPRO e DM 82i78

IPRO. Por sua vez, o diâmetro do caule, número de trifólios e número de nós no estágio vegetativo não foram influenciados pelos tratamentos, aos 15 dias após aplicação (Tabela 1).

A aplicação do bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp. promoveu incrementos de 12% e 10% sobre a altura de planta nas cultivares DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO, bem como, aumentos de 31% e 27% sobre o número de ramos vegetativos nas cultivares BMX Domínio IPRO e DM 82i78 IPRO, aos 15 dias após a aplicação (Tabela 1). Esses resultados indicam que o produto permitiu melhorias no crescimento da cultivar DM 82i78 IPRO, tanto em altura quanto em ramificações, nos primeiros quinze dias após a aplicação. Contudo, para as cultivares FTR 3191 IPRO e BMX Domínio IPRO observou-se apenas um estímulo de crescimento, ou seja, apenas em altura ou em número de ramos (Tabela 1). Isso demonstra que pode haver distintas respostas para as diferentes cultivares de soja, quando submetidas a uma mesma dosagem ( $750 \text{ mL ha}^{-1}$ ) e período de aplicação (estádio V<sub>5</sub>) do bioestimulante testado.

**Tabela 1.** Efeito do uso de bioestimulante de algas *Macrocystis* sp. sobre a altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de trifólios (NT), número de ramos vegetativos (NRV) e número de nós no estágio vegetativo (NNV) em três cultivares de soja, aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos.

Cultivar	Tratamento	AP	DC	NT	NRV	NNV
BMX Domínio IPRO	Sem bioestimulante	29	5,2	8	9 b	9
	Com bioestimulante	29	5,8	8	13 a	9
DM 82i78 IPRO	Sem bioestimulante	29 b	4,7	9	8 b	9
	Com bioestimulante	33 a	5,3	10	11 a	9
FTR 3191 IPRO	Sem bioestimulante	28 b	4,9	9	8	9
	Com bioestimulante	31 a	5,4	10	9	10

Letras minúsculas diferem entre si, na coluna, pelo teste Tukey HSD ( $p < 0,05$ ).

De acordo com Kurepa et al. (2019) e Buzzello et al. (2017), a ocorrência de distintas reações à aplicação de bioestimulantes podem estar relacionadas a mecanismos metabólicos e/ou morfogenéticos heterogêneos entre as cultivares, uma vez que estes produtos geralmente atuam no balanço hormonal da planta. Desse modo, as cultivares BMX Domínio IPRO e DM 82i78 IPRO foram as que mais expressaram os estímulos quanto à melhoria da ramificação, que é um dos objetivos almejados pelo uso de bioestimulantes de algas marinhas *Macrocystis* sp. As respostas mais rápidas

obtidas com estes materiais, aos 15 dias após a aplicação, pode estar relacionada à precocidade de seus ciclos fenológicos e à relação com fatores abióticos (VASCONCELOS; FAGAN, 2022), como as condições climáticas e fertilidade do solo, que interferem diretamente no metabolismo vegetal.

Por outro lado, não foram evidenciados efeitos significativos do bioestimulante de algas marinhas *Macrocystis* sp. sobre os índices de clorofila “a”, “b”, total e o índice NDVI aos 15 DAA (Tabela 2).

**Tabela 2.** Efeito do uso de bioestimulante de algas *Macrocystis* sp. sobre os índices de clorofila a (clor a), clorofila b (clor b), clorofila total (clor t) e NDVI (estimado com GreenSeeker) em três cultivares de soja, aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos.

Cultivar	Tratamento	Clor a	Clor b	Clor t	NDVI
BMX Domínio IPRO	Sem bioestimulante	26	9	35	0,8
	Com bioestimulante	26	9	35	0,8
DM 82i78 IPRO	Sem bioestimulante	24	7	31	0,8
	Com bioestimulante	23	7	30	0,8
FTR 3191 IPRO	Sem bioestimulante	23	6	29	0,8
	Com bioestimulante	24	7	31	0,8

O índice de clorofila total apresentou uma amplitude de 29 a 35, enquanto o índice NDVI exibiu médias iguais a 0,8 para todas as cultivares testadas. Estes resultados se enquadram com os limites recomendados na literatura para o término do estágio vegetativo e início do estágio reprodutivo da soja, cujos valores de NDVI próximos a 1,0 indicam o fechamento de entrelinhas e uma adequada sanidade fisiológica das plantas (TAVARES et al., 2022; SHI et al., 2023).

Esta uniforme sanidade fisiológica dos dois tratamentos pode estar relacionada ao adequado suprimento de fatores climáticos e nutricionais, e ao manejo fitossanitário das cultivares de soja, em ambas as condições. Bem como, ao fato do bioestimulante não ocasionar um efeito expressivo sobre a condição nutricional do tratamento, aos 15 DAA. Portanto, a aplicação não resultou em efeitos significativos sobre os pigmentos fotossintéticos e o índice vegetativo NDVI. Estes

resultados estão em consonância com outros estudos (REPKE et al., 2022; NOLI et al., 2021) em que foram testados extratos de algas marinhas e cujos efeitos não resultaram em resultados diretos sobre a condição nutricional da planta, mas sim, na regulação de estresses abióticos e da atividade hormonal; fatores que não obtiveram relação com essas variáveis estimadas aos 15 DAA, no presente estudo.

### Bioestimulante de algas marinhas *Macrocyctis* sp. no estágio reprodutivo da soja

As avaliações realizadas no estágio reprodutivo indicaram diferenças estatisticamente significativas para a altura de planta na cultivar BMX Domínio IPRO; número de ramos, nós, vagens e produtividade nas cultivares DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO (Tabela 3).

**Tabela 3.** Efeito do uso de bioestimulante de algas marinhas *Macrocyctis* sp. sobre a altura de plantas (AP), número de ramos (NRR), número de nós (NNR), número de vagens (NV) e produtividade (PROD) em três cultivares de soja.

Cultivar	Tratamento	AP	NRR	NNR	NV	PROD
BMX Domínio IPRO	Sem bioestimulante	75 a	2	17	35	77
	Com bioestimulante	69 b	3	18	36	77
DM 82i78 IPRO	Sem bioestimulante	24	3 b	18 b	33 b	70 b
	Com bioestimulante	24	5 a	28 a	43 a	78 a
FTR 3191 IPRO	Sem bioestimulante	23	4 b	29 b	42 b	54 b
	Com bioestimulante	24	6 a	32 a	46 a	60 a

Letras minúsculas diferem entre si, na coluna, pelo teste Tukey HSD ( $p < 0,05$ ).

Nesse contexto, apenas a altura de planta da cultivar BMX Domínio IPRO foi influenciada pelo uso do bioestimulante, apresentando uma significativa redução de porte ( $p < 0,05$ ) em relação à testemunha (sem bioestimulante). Isto pode estar relacionado a uma maior sensibilidade desta cultivar à regulação hormonal hipoteticamente promovida pelo bioestimulante sobre a relação auxina-citocinina (RACHIDI et al., 2021), o que pode ter ocasionado um encurtamento do sistema radicular e, por conseguinte, do crescimento apical da soja (KUMARI et al., 2023). Salienta-se que a redução de porte não resultou em aumento da ramificação, portanto demonstrando uma ineficiência do produto com relação ao incremento do número de vagens e produtividade, os quais não diferiram estatisticamente da testemunha (sem aplicação).

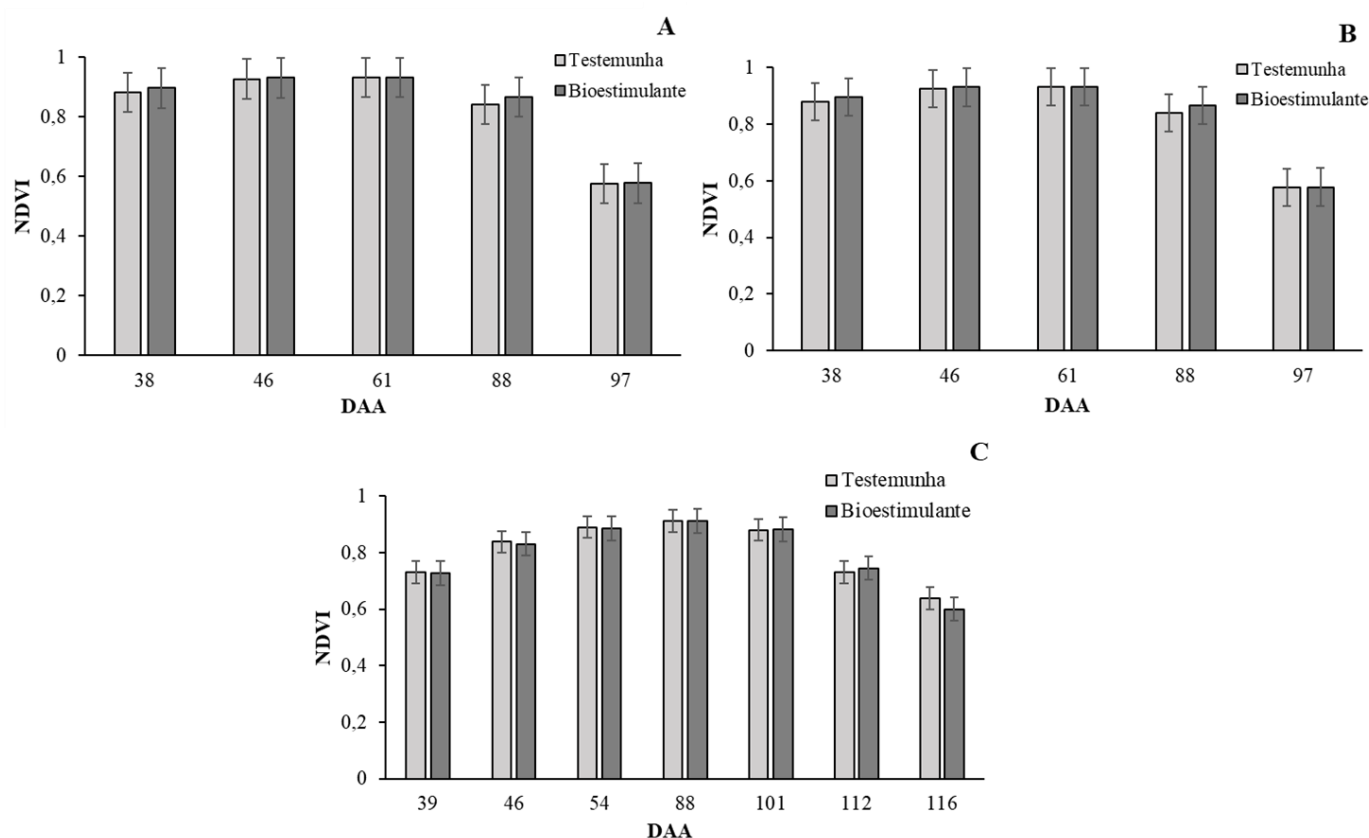
Por sua vez, para as cultivares DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO observou-se um manejo mais eficiente, sendo estimados incrementos de 40% e 33% no número de ramos reprodutivos, que resultaram em aumentos de 36% e 9% no número de nós reprodutivos; 23% e 9% no número de vagens; e, por conseguinte, obtenção de maiores produtividades, com incrementos de 10%, respectivamente. Essas diferentes respostas em distintas cultivares de soja podem estar relacionadas a relação genótipo-ambiente e a fatores de atividade metabólica das cultivares sob diferentes condições (KAISER et al., 2025; ENGEL et al., 2023). Assim, é notório que haja investigações complementares na cultivar BMX Domínio IPRO, para estabelecer condições necessárias à melhoria da ramificação e da produtividade, pois neste material a redução de porte não culminou em resultados satisfatórios.

### Monitoramento do efeito do uso de bioestimulante, através de imagens de satélite

Os padrões de NDVI registrados por imagens de satélite apresentaram variações entre os períodos de avaliação para as três cultivares analisadas, porém sem diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Inicialmente, observou-se um incremento de NDVI até valores próximos a 1,0, com decréscimos posteriores até valores próximos 0,0 (Figura 3).

Os incrementos de NDVI estão relacionados ao crescimento da soja e ao fechamento de entrelinhas, compreendidos entre os 38 a 61 dias após a semeadura (DAS) na cultivar BMX Domínio IPRO; 35 a 77 DAS na cultivar DM 82i78 IPRO; e 39 e 88 DAS na cultivar FTR 3191 IPRO. Em seguida, com a soja no estágio reprodutivo, há um decréscimo do índice NDVI relacionado às fases de senescência foliar e maturação de grãos.

A obtenção de resultados estatisticamente semelhantes nas três áreas experimentais pode estar relacionada à ausência de diferenças estatísticas em algumas variáveis de crescimento e nos índices de clorofila. Desse modo, o comportamento do índice de reflectância atesta a similaridade do vigor vegetativo do dossel em ambos os tratamentos e cultivares, quando comparado por imagens de satélite obtidas pelo sensor PlanetScope.



**Figura 3.** Efeito do uso de bioestimulante sobre o índice NDVI, estimado através de imagens de satélite, em diferentes fases fenológicas da soja, nos experimentos 1 (Fig. A), 2 (Fig. B) e 3 (Fig. C), após a aplicação dos tratamentos (BMX Domínio IPRO, DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO).

## CONCLUSÃO

A aplicação foliar do bioestimulante à base de *Macrocystis* sp. no estágio V5 altera a arquitetura da soja, promovendo maior ramificação e produtividade. No entanto, a eficácia do produto é dependente do genótipo, apresentando viabilidade agrônômica para as cultivares DM 82i78 IPRO e FTR 3191 IPRO, e ausência de resposta produtiva para a cultivar BMX Domínio IPRO.

## REFERENCIAS

- ABD GHANI, R.; OMAR, S.; JOLÁNKAI, M.; TARNAWA, Á.; KHALID, N.; KASSAI, M. K.; KENDE, Z. Response of shoot and root growth, yield, and chemical composition to nutrient concentrations in soybean varieties grown under soilless and controlled environment conditions. *Agriculture*, 13(10):1925, 2023. [10.3390/agriculture13101925](https://doi.org/10.3390/agriculture13101925)
- ARSLANOĞLU, Ş. The effects on the root and plant development of soybean of organic fertilizer applications. *Bioscience Journal*, 38:1-12, 2022. [10.14393/BJ-v38n0a2022-60382](https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-60382)
- BAGALE, S. Nutrient management for soybean crops. *International Journal of Agronomy*, 2021(1):3304634, 2021. [10.1155/2021/3304634](https://doi.org/10.1155/2021/3304634)
- BUENO, A. F.; BRAZ-ZINLI, E. C.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARD, O.; ANDRADE, G.; SUTIL, W. P. Over 10 years of Bt soybean in Brazil: lessons, benefits, and challenges for its use in integrated pest management (IPM). *Neotropical Entomology*, 54(2):245-261, 2025. [10.1007/s13744-025-01275-5](https://doi.org/10.1007/s13744-025-01275-5)
- BUZZELLO, G. L.; TREZZI, M. M.; BITTENCOURT, H. von H.; PATEL, F.; MIOTTO JUNIOR, E. Desenvolvimento e rendimento de soja em função da aplicação de ácido indolbutírico, ácido giberélico e cinetina. *Agrarian*, 10(37):225-233, 2017. [10.30612/agrarian.v10i37.3584](https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i37.3584)
- DOHLMAN, E.; HANSEN, J.; CHAMBERS, W.; INTERAGENCY AGRICULTURAL PROJECTIONS COMMITTEE. USDA Agricultural Projections to 2034. 2025.
- EL BOUKHARI, M. E. M.; BARAKATE, M.; BOUHIA, Y.; LYAMLOULI, K. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants*, 9:359, 2020. [10.3390/plants9030359](https://doi.org/10.3390/plants9030359)
- ENGEL, D. C. H.; FELTRIM, D.; RODRIGUES, M.; BAPTISTELLA, J. L. C.; MAZZAFERA, P. Algae extract increases seed yield of soybean plants and alters nitrogen metabolism. *Agriculture*, 13:1296, 2023. [10.3390/agriculture13071296](https://doi.org/10.3390/agriculture13071296)
- HAMZA, M.; BASIT, A. W.; SHEHZADI, I.; TUFAIL, U.; HASSAN, A.; HUSSAIN, T.; SIDDIQUE, M. U.; HAYAT, H. M. Global impact of soybean production: a review. *Asian*

- Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, 16(2):12-20, 2024. [10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357](https://doi.org/10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357)
- IPARRAGUIRRE, J.; LLANES, A.; MASCIARELLI, O.; ZOCCOLO, G. J.; VILLASSUSO, A. L.; LUNA, V. Formulation technology: *Macrocystis pyrifera* extract is a suitable support/medium for *Azospirillum brasilense*. *Algal Research*, 69:102916, 2023. [10.1016/j.algal.2022.102916](https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102916)
- JULIA, I.; OSCAR, M.; ANALÍA, L.; ZOCCOLO, G. J.; VIRGINIA, L. Biofertilization with *Macrocystis pyrifera* algae extracts combined with PGPR-enhanced growth in *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of Applied Phycology*, 32:4361-4371, 2020. [10.1007/s10811-020-02202-4](https://doi.org/10.1007/s10811-020-02202-4)
- KAISER, J. F.; GONÇALVES, G. S.; D'EPIRO, R. M.; ALMEIDA, L. H. C.; NUNES, A. L. P.; MENONCIN, A. S.; TAVARES FILHO, J. Application timing of *Ascophyllum nodosum* extract enhances soybean growth and yield under field conditions. *Agronomy Science and Biotechnology*, 11:1-10, 2025. [10.33158/ASB.r233.v11.2025](https://doi.org/10.33158/ASB.r233.v11.2025)
- KUMARI, S.; SEHRAWAT, K. D.; PHOGAT, D.; SEHRAWAT, A. R.; CHAUDHARY, R.; SUSHKOVA, S. N.; VOLOSHINA, M. S.; RAJPUT, V. D.; SHMARAEVA, A. N.; MARC, R. A.; SHENDE, S. S. *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis, a pivotal biostimulant toward sustainable agriculture: a comprehensive review. *Agriculture*, 13:1179, 2023. [10.3390/agriculture13061179](https://doi.org/10.3390/agriculture13061179)
- KUREPA, J.; SHULL, T. E.; SMALLE, J. A. Antagonistic activity of auxin and cytokinin in shoot and root organs. *Plant Direct*, 3(2):e00121, 2019. [10.1002/pld3.121](https://doi.org/10.1002/pld3.121)
- NOLI, Z. A.; SUWIRMEN; AISYAH; ALIYYANTI, P. Effect of liquid seaweed extracts as biostimulant on vegetative growth of soybean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 759:012029, 2021. [10.1088/1755-1315/759/1/012029](https://doi.org/10.1088/1755-1315/759/1/012029)
- NUNES, B. H. de N.; LEITE, O. da C.; OLIVEIRA, L. B. de; BARROS, D. I.; NUNES, H. V.; VERAS, P. B.; VALE, K. C. L.; SILVA, J. D. da; ANDRÉ, T. B.; FREITAS, G. A. de; SILVA, R. R. da. Growth of soybeans under the influence of biostimulant doses. *Caderno Pedagógico*, 22(7):e16542, 2025. [10.54033/cadpedv22n7-247](https://doi.org/10.54033/cadpedv22n7-247)
- POUDEL, S.; VENNA, R. R.; SHRESTHA, A.; WIEWELADANE, K. R. N. K.; REDDY, K. N.; BHEEMANAHALLI, R. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. *Scientific Reports*, 13:1277, 2023. [10.1038/s41598-023-28354-0](https://doi.org/10.1038/s41598-023-28354-0)
- RACHIDI, F.; BENHIMNA, R.; KASMI, Y.; SBABOU, L.; EL ARROUSSI, H. Evaluation of microalgae polysaccharides as biostimulants of tomato plant defense using metabolomics and biochemical approaches. *Scientific Reports*, 11:930, 2021. [10.1038/s41598-020-78820-2](https://doi.org/10.1038/s41598-020-78820-2)
- REPKE, R. A.; SILVA, D. M. R.; SANTOS, J. C. C.; SILVA, M. A. Increased soybean tolerance to high-temperature through biostimulant based on *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*, 34:3205-3218, 2022. [10.1007/s10811-022-02821-z](https://doi.org/10.1007/s10811-022-02821-z)
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Sed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.
- SHARMA, S.; KAUR, P.; GAIKWAD, K. Role of cytokinins in seed development in pulses and oilseed crops: Current status and future perspective. *Frontiers in Genetics*, 13:940660, 2022. [10.3389/fgene.2022.940660](https://doi.org/10.3389/fgene.2022.940660)
- SHI, H.; GUO, J.; AN, J.; TANG, Z.; WANG, X.; LI, W.; ZHAO, X.; JIN, L.; XIANG, Y.; LI, Z.; et al. Estimation of chlorophyll content in soybean crop at different growth stages based on optimal spectral index. *Agronomy*, 13:663, 2023. [10.3390/agronomy13030663](https://doi.org/10.3390/agronomy13030663)
- SIBLE, C. N.; SEEBAUER, J. R.; BELOW, F. E. Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11(7):1297, 2021. [10.3390/agronomy11071297](https://doi.org/10.3390/agronomy11071297)
- SILVA, L. M.; FAGAN, E. B. Influência da associação fertilizantes e bioestimulantes na fisiologia da cultura de soja. *Perquirere*, 2:59-65, 2021.
- SILVA, L. R. D.; ALMEIDA, E. I. B.; FREITAS, F. M.; ARAÚJO, M. B. S.; SOUSA, A. M.; VIEIRA NETO, G. F.; STROBEL, G. S.; SOUSA, W. S. Glyphosate-resistant weeds control with double-shooting in soybean pre-planting. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 29:655-669, 2025. [10.17921/1415-6938.2025v29n3p655-669](https://doi.org/10.17921/1415-6938.2025v29n3p655-669)
- TAVARES, C. J.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; PEREIRA, L. F.; CASARI, R. A. D. C. N.; PEREIRA, A. F.; DE SOUSA, C. A. F.; DA SILVA, A. R.; NETO, S. P. D. S.; MERTZ-HENNING, L. M. Water stress alters morphophysiological, grain quality and vegetation indices of soybean cultivars. *Plants*, 11:559, 2022. [10.3390/plants11040559](https://doi.org/10.3390/plants11040559)
- VASCONCELOS, M. L. O.; FAGAN, E. B. Comportamento fisiológico de plantas de soja oriundas de sementes de alto e baixo vigor submetidas a bioestimulantes. *Perquirere*, 19:36-50, 2022.
- WU, Z.; CHEN, X.; LU, X.; ZHU, Y.; HAN, X.; YAN, J.; YIN, L.; ZOU, W. Impact of combined organic amendments and chemical fertilizers on soil microbial limitations, soil quality, and soybean yield. *Plant and Soil*, 507:317-334, 2025. [10.1007/s11104-024-06733-4](https://doi.org/10.1007/s11104-024-06733-4)