

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS RIO VERDE

ERICA ALVES OLIVEIRA

MONOGRAFIA

RIO VERDE, GO

2025

ERICA ALVES OLIVEIRA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O USO DE BIOINSUMOS A BASE DE *ASCOPHYLLUM NODOSUM* E DE BACTÉRIAS DO GÊNERO *AZOSPIRILLUM* COMO PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL.

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Bioinsumos Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Me. Germanna Gouveia Tavares
Coorientador: Dra. Cintia Faria da Silva

RIO VERDE, GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

O48

Alves Oliveira, Erica

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O USO DE
BIOINSUMOS A BASE DE ASCOPHYLLUM NODOSUM E
DE BACTÉRIAS DO GÊNERO AZOSPIRILLUM COMO
PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL. / Erica
Alves Oliveira. Rio Verde 2026.

28f.

Orientadora: Profª. Ma. Germanna Gouveia Tavares.

Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0230426 - Especialização em Bioinsumos - Rio Verde (Campus
Rio Verde).

I. Título.

Bibliotecária Responsável

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos onze dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 10 horas e 50 minutos, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Profa. Germanna Gouveia Tavares (orientadora), Profa. Cintia Faria da Silva (membro interno) e Prof. Tenille Ribeiro (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O USO DE BIOINSUMOS A BASE DE ASCOPHYLLUM NODOSUM E BACTÉRIAS DO GÊNERO AZOSPIRILLUM COMO PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL." de ÉRICA ALVES OLIVEIRA, estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2024102304260009. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **GERMANNA GOUVEIA TAVARES**
 Data: 21/09/2025 15:11:06-0300
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Rio Verde, 11 de setembro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Germanna Gouveia Tavares

Orientador(a)

(Assinado eletronicamente)

Cintia Faria da Silva

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **CINTIA FARIA DA SILVA**
 Data: 16/09/2025 08:10:42-0300
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **TENILLE RIBEIRO DE SOUZA**
 Data: 17/09/2025 10:00:57-0300
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Tenille Ribeiro

Membro da Banca Examinadora

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☒ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Erica Alves Oliveira

Matrícula:

2024102304260009

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 10 / 04 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

10 / 03 / 2026

gov.br

Documento assinado digitalmente

ERICA ALVES OLIVEIRA

Data: 10/03/2026 18:48:18-0300

Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor ou detentor dos direitos autorais

gov.br

Documento assinado digitalmente

GERMANNA GOMES TAVARES

Data: 11/03/2026 16:26:16-0300

Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Ciente e de acordo:

Assinatura do autor ou detentor dos direitos autorais

ERICA ALVES OLIVEIRA

**MONOGRAFIA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O USO DE BIOINSUMOS A BASE DE
ASCOPHYLLUM NODOSUM E DE BACTÉRIAS DO GÊNERO *AZOSPIRILLUM* COMO
 PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL.**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Bioinsumos Campus Rio Verde do IF Goiano como exigência parcial para a obtenção do título de Especialista.

Rio Verde, Go 11 de Setembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GERMANNA GOUVEIA TAVARES**
 Data: 21/09/2025 15:11:06-0300
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Germannna Gouveia Tavares

Orientador(a)

(Assinado eletronicamente)

Cintia Faria da Silva

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **CINTIA FARIA DA SILVA**
 Data: 16/09/2025 08:10:42-0300
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **TENILLE RIBEIRO DE SOUZA**
 Data: 17/09/2025 10:00:57-0300
 Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Tenille Ribeiro

Membro da Banca Examinadora

Dedico esta monografia á minha mãe e minha irmã, que sempre se esforçaram para que eu tivesse a oportunidade de estudar e sempre me apoiaram e me apoiam em todos os desafios e oportunidades que surgem na caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e pela força que me sustentaram ao longo desta caminhada acadêmica.

À minha família, em especial a minha mãe e minha irmã, pelo amor incondicional, incentivo e ensinamentos que foram fundamentais para a minha formação pessoal e profissional. Aos demais familiares, pela paciência e compreensão diante das ausências necessárias para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso, que contribuíram com seus conhecimentos e dedicação, enriquecendo minha formação acadêmica.

A minha orientadora Germanna que foi muito importante na realização desse trabalho, paciente e prestativa me deu todo o suporte que eu precisava.

Aos colegas de turma e amigos, pela convivência, pelo apoio mútuo e pelas palavras de incentivo que tornaram esta trajetória mais leve e significativa.

Ào If Goiano, ao Cebio e a Fapeg pela oportunidade e possibilidade de estudar em uma instituição de qualidade de forma gratuita.

E, finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste estudo, expresso minha sincera gratidão.



“A natureza nunca se apressa, mas tudo se realiza.”

(Lao Tsé)

RESUMO

Bioinsumos obtidos de algas marrons (*Ascophyllum nodosum*) e microrganismos promotores de crescimento (PGPB), como *Azospirillum* spp., têm sido amplamente estudados por elevarem o vigor vegetal, a eficiência no uso de nutrientes e a tolerância a estresses abióticos, resultando em ganhos de produtividade. Revisões e metanálises recentes indicam efeitos consistentes em culturas anuais e perenes, explicados por múltiplos mecanismos: modulação hormonal, elicitação de respostas de defesa, melhoria da arquitetura radicular e fixação/assimilação de nitrogênio. Evidências de coaplicação direta *A. nodosum* + *Azospirillum* ainda são pontuais, mas sugerem complementaridade de mecanismos. Conclui-se que o uso combinado, se devidamente posicionado (dose, época, via de aplicação), é promissor para intensificação sustentável.

Palavras-chave: biostimulantes; *Ascophyllum nodosum*; *Azospirillum*.

ABSTRACT

Bioinputs obtained from brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) and plant growth-promoting microorganisms (PGPB), such as *Azospirillum* spp., have been widely studied for their ability to increase plant vigor, nutrient use efficiency, and tolerance to abiotic stresses, resulting in productivity gains. Recent reviews and meta-analyses indicate consistent effects in annual and perennial crops, explained by multiple mechanisms: hormonal modulation, elicitation of defense responses, improvement in root architecture, and nitrogen fixation/assimilation. Evidence of direct co-application of *A. nodosum* + *Azospirillum* is still limited, but suggests complementary mechanisms. It is concluded that combined use, if appropriately positioned (dose, timing, application route), is promising for sustainable intensification.

Keywords: biostimulants; *Ascophyllum nodosum*; *Azospirillum*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL -----	13
2. OBJETIVOS -----	15
Específicos: -----	15
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS -----	15
Resultados e Discussão -----	16
1.3.1 Extratos de <i>Ascophyllum nodosum</i> -----	18
1.3.3 Comparação entre os bioinsumos -----	20
1.3.4 Uso combinado de <i>Ascophyllum nodosum</i> e <i>Azospirillum</i> -----	22
1.3.5 Lacunas e perspectivas futuras -----	24
1.4 Conclusões -----	26
Referências -----	27

INTRODUÇÃO GERAL

O uso de bioinsumos na agricultura tem crescido de forma significativa nas últimas décadas, impulsionado pela necessidade de práticas mais sustentáveis e pela busca por alternativas ao uso intensivo de insumos químicos (Du jardin, 2015; rouphael; colla, 2020). Nesse contexto, os extratos de algas marinhas, em especial de *Ascophyllum nodosum* e as bactérias promotoras de crescimento do gênero *Azospirillum spp.*, vêm ganhando destaque como ferramentas capazes de promover maior eficiência fisiológica e nutricional das plantas. (Calvo; nelson; kloepper, 2014). Historicamente, os extratos de algas começaram a ser aplicados como fontes de matéria orgânica e nutrientes, mas com o avanço das pesquisas foi possível identificar que compostos presentes em *A. nodosum*, como polissacarídeos e substâncias com atividade semelhante à de hormônios vegetais, exercem efeitos bioestimulantes, favorecendo o crescimento e a tolerância a estresses abióticos. Da mesma forma, desde a década de 1970, bactérias rizosféricas como *Azospirillum brasilense* passaram a ser estudadas pela sua capacidade de fixar nitrogênio de forma associativa e de sintetizar reguladores de crescimento, o que resulta em maior desenvolvimento radicular e aproveitamento de nutrientes (Bashan; de-bashan, 2010).

A relevância do estudo do uso combinado desses bioinsumos está no fato de que eles apresentam mecanismos complementares: enquanto o extrato de alga atua na regulação de rotas metabólicas e na indução de maior resistência fisiológica, *Azospirillum* potencializa a absorção de nutrientes e a formação de raízes mais vigorosas. Do ponto de vista científico, essa integração é importante por explorar uma área de pesquisa ainda pouco estudada, e do ponto de vista social representa uma alternativa alinhada às demandas de uma agricultura mais sustentável e menos dependente de fertilizantes químicos, o que contribui para a preservação ambiental e para a segurança alimentar.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o uso de bioinsumos à base de *Ascophyllum nodosum* e de bactérias do gênero *Azospirillum* como promotores de crescimento vegetal, reunindo evidências sobre seus mecanismos de ação, impactos sobre a produtividade e possíveis sinergias quando utilizados de forma combinada. Tal análise é relevante porque amplia o conhecimento sobre as interações planta / bioinsumo, desperta interesse de produtores e pesquisadores pelo potencial produtivo e sustentável dessas tecnologias e se mostra viável

devido à ampla disponibilidade comercial de produtos à base desses organismos no mercado brasileiro, além da existência de resultados de campo que reforcem a aplicabilidade prática.

Pesquisas recentes comprovam que extratos de *A. nodosum* podem aumentar a fotossíntese, melhorar a absorção de nutrientes e conferir maior tolerância a estresses como seca e salinidade. Estudos com *Azospirillum* spp. também mostram resultados consistentes, com incrementos médios de produtividade em culturas como milho, trigo e cana-de-açúcar, decorrentes da fixação biológica de nitrogênio e da produção de fitormônios. Embora ainda pouco numerosos, trabalhos de coinoculação envolvendo extratos de algas e bactérias rizosféricas têm apontado ganhos adicionais em biomassa, nutrição e rendimento, sugerindo que essa associação representa uma alternativa promissora para intensificação sustentável da agricultura (Sánchez et al., 2023).

OBJETIVOS

Geral:

Analisar o uso de bioinsumos à base de *A. nodosum* e de bactérias do gênero *Azospirillum* spp. como promotores do crescimento vegetal, reunindo evidências sobre seus mecanismos de ação, efeitos fisiológicos e agronômicos, bem como potenciais sinergias em aplicações combinadas.

Específicos:

- Identificar e descrever os principais compostos bioativos presentes em extratos de *Ascophyllum nodosum* e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas;
- Revisar os mecanismos de ação de bactérias do gênero *Azospirillum* spp., com destaque para a fixação biológica de nitrogênio e a síntese de fitormônios;
- Reunir evidências agronômicas sobre a eficiência do uso de cada bioinsumo em diferentes culturas agrícolas;
- Avaliar estudos que investigaram a aplicação conjunta de *A. nodosum* e *Azospirillum* spp., apontando potenciais benefícios e lacunas de pesquisa;
- Discutir a relevância científica e social do uso desses bioinsumos para a agricultura sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e descritivo, elaborada a partir da consulta a artigos científicos, livros e documentos técnicos relacionados ao uso de bioinsumos à base de *Ascophyllum nodosum* e de bactérias do gênero *Azospirillum* como promotores de crescimento vegetal. A pesquisa foi realizada entre os meses de julho e agosto de 2025, utilizando bases de dados científicas reconhecidas, como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Google Scholar.

As palavras-chave empregadas na busca foram: “*Ascophyllum nodosum*”, “*seaweed extract*”, “*biostimulant*”, “*Azospirillum*”, “*plant growth-promoting bacteria*” e “*bioinsumos*”, combinadas entre si com o uso de operadores booleanos (“AND” e “OR”).

Como critérios de inclusão, foram considerados trabalhos publicados nos últimos 15 anos, disponíveis em inglês, português ou espanhol, que abordassem os efeitos fisiológicos, agronômicos ou a aplicação conjunta dos bioinsumos de interesse. Foram incluídos também artigos clássicos e revisões de literatura de relevância para a compreensão histórica e conceitual do tema, mesmo que anteriores a esse período. Os critérios de exclusão contemplaram estudos não relacionados ao crescimento vegetal, trabalhos duplicados ou que não apresentassem resultados consistentes.

Após a seleção, os artigos foram analisados quanto aos mecanismos de ação descritos, culturas avaliadas, resultados de produtividade, efeitos fisiológicos observados e possíveis sinergias na utilização conjunta de algas e bactérias. As informações obtidas foram organizadas em forma de tópicos e discutidas de acordo com a relevância científica e prática para a agricultura sustentável.

1. Resultados e Discussão

Os extratos de *Ascophyllum nodosum* são considerados um dos biostimulantes mais promissores utilizados na agricultura moderna. Sua composição química inclui polissacarídeos, polifenóis, betainas, aminoácidos livres e minerais essenciais, além de substâncias com atividade semelhante a hormônios vegetais. Esses compostos modulam rotas metabólicas relacionadas ao crescimento, ao equilíbrio osmótico e à tolerância a estresses. Dessa forma, o extrato atua não apenas como suplemento nutricional, mas principalmente como regulador fisiológico, promovendo ganhos significativos em crescimento e desenvolvimento vegetal (Shukla et al., 2019).

Estudos demonstram que a aplicação de extratos de *A. nodosum* estimula a fotossíntese e aumenta o teor de clorofila nas folhas. Essa resposta está associada à ativação de enzimas ligadas ao ciclo de Calvin e à melhoria na absorção de nitrogênio, magnésio e ferro, nutrientes diretamente relacionados à síntese de pigmentos fotossintéticos. Em tomates, por exemplo, verificou-se incremento no número de frutos e no teor de sólidos solúveis quando tratados com esse bioinsumo, indicando não apenas maior crescimento vegetativo, mas também melhoria na qualidade do produto colhido (Kumari et al., 2023).

Outro aspecto relevante é a capacidade dos extratos de *A. nodosum* em induzir tolerância a estresses abióticos, como salinidade e déficit hídrico. Ensaios controlados mostraram que plantas de soja e trigo submetidas a estresse salino apresentaram maior acúmulo de prolina e açúcares solúveis após aplicação do extrato, o que contribuiu para a manutenção do potencial osmótico celular. Esses resultados demonstram que o bioinsumo atua como agente protetor, favorecendo a sobrevivência e produtividade mesmo em condições adversas (Shukla et al., 2019; Carmody et al., 2020).

Em experimentos conduzidos no Brasil, a aplicação foliar de extrato de *A. nodosum* em cana-de-açúcar mostrou efeitos consistentes na mitigação de estresse hídrico durante o período seco. De acordo com Castro et al. (2024), houve aumento de 24 toneladas por hectare na produtividade de colmos e de 4 toneladas por hectare no rendimento de sacarose (Pol), em comparação ao controle. Esses resultados são atribuídos à melhoria no balanço fisiológico da planta e ao acúmulo de nutrientes na parte aérea, reforçando o potencial do bioinsumo como aliado em culturas de larga escala.

Os mecanismos de ação do extrato incluem a ativação de rotas antioxidantes. Estudos com tomate demonstraram que aplicações de *A. nodosum* aumentaram a atividade de enzimas como superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), responsáveis pela eliminação de espécies reativas de oxigênio geradas em condições de estresse. Essa ação antioxidante protege membranas celulares e proteínas, assegurando maior integridade celular e prolongando a atividade fotossintética durante eventos de estresse térmico ou hídrico (Carmody et al., 2020).

Além de efeitos diretos sobre o metabolismo vegetal, os extratos de *Ascophyllum nodosum* podem atuar na regulação da expressão gênica. Análises transcriptômicas indicaram que genes relacionados ao transporte de nutrientes, à síntese de hormônios e às respostas de defesa são diferencialmente expressos após a aplicação do bioinsumo. Isso reforça a ideia de que a alga não atua apenas como fornecedora de compostos bioativos, mas como moduladora de processos fisiológicos de larga escala nas plantas (Kumari et al., 2023).

Outro ponto de destaque é o efeito sobre a arquitetura radicular. Ensaios com milho e soja evidenciaram que a aplicação de *A. nodosum* favorece o desenvolvimento de raízes laterais e aumenta o volume radicular total, o que se traduz em maior eficiência de absorção de água e nutrientes. Esse efeito radicular é atribuído principalmente à presença de substâncias análogas

a auxinas no extrato, que promovem o alongamento celular e a diferenciação de tecidos (Shukla et al., 2019; Kumari et al., 2023).

Por fim, cabe ressaltar que a eficácia dos extratos de *A. nodosum* pode variar conforme o método de extração utilizado. Processos alcalinos, enzimáticos ou assistidos por micro-ondas resultam em composições químicas distintas, influenciando diretamente os efeitos agrônômicos observados. Por isso, a padronização industrial é fundamental para assegurar consistência nos resultados. Estudos recentes têm buscado correlacionar os métodos de extração à bioatividade final dos produtos, apontando que extratos obtidos por técnicas menos agressivas preservam melhor os polissacarídeos e compostos fenólicos, maximizando o efeito biostimulante (Carmody et al., 2020).

1.3.1 Extratos de *Ascophyllum nodosum*

Os extratos da alga marinha *Ascophyllum nodosum* são amplamente utilizados como bioinsumos em sistemas agrícolas devido à sua composição química diversificada e altamente bioativa. Esses extratos contêm polissacarídeos, fenóis, betainas, vitaminas, minerais e substâncias com atividade semelhante à de hormônios vegetais. A interação entre esses compostos promove estímulos fisiológicos que resultam em maior crescimento vegetativo, maior resistência a estresses ambientais e aumento da produtividade em diferentes culturas (Shukla et al., 2019).

A aplicação de *A. nodosum* tem se mostrado eficaz no aumento da fotossíntese e do teor de clorofila nas folhas. Isso ocorre porque os compostos presentes no extrato ativam rotas de assimilação de carbono e de metabolismo do nitrogênio, essenciais para a produção de pigmentos fotossintéticos. Em experimentos com tomate e pimentão, verificou-se maior taxa de assimilação de CO₂, incremento no número de frutos e melhoria no teor de sólidos solúveis, demonstrando que o bioinsumo atua tanto no crescimento quanto na qualidade final do produto colhido (Kumari et al., 2023).

Um dos aspectos mais relevantes desse bioinsumo é sua ação na mitigação de estresses abióticos. Pesquisas apontam que plantas tratadas com extrato de *A. nodosum* acumulam osmólitos, como prolina e glicina-betaína, que auxiliam na manutenção do equilíbrio osmótico celular. Além disso, o bioinsumo aumenta a atividade de enzimas antioxidantes, como catalase

(CAT) e superóxido dismutase (SOD), responsáveis por neutralizar espécies reativas de oxigênio. Em soja submetida à salinidade, esses efeitos resultaram em menor estresse oxidativo e maior crescimento das plantas (Shukla et al., 2019; Carmody et al., 2020).

No contexto brasileiro, os efeitos positivos desse bioinsumo já foram confirmados em culturas de importância econômica. Um estudo realizado em cana-de-açúcar mostrou que a aplicação foliar de *A. nodosum* combinada a nutrientes durante a estação seca proporcionou incremento de 24 Mg ha⁻¹ de colmos e 4 Mg ha⁻¹ de sacarose, comparado ao controle. Esses resultados evidenciam que o bioinsumo pode ser um aliado importante em regiões tropicais sujeitas a déficit hídrico (de Castro et al., 2024).

O uso de *Ascophyllum nodosum* também influencia significativamente a arquitetura radicular. Ensaios conduzidos com milho e soja mostraram que plantas tratadas com o extrato apresentaram maior formação de raízes laterais e aumento da biomassa radicular total. Esse efeito está associado à presença de compostos com atividade semelhante às auxinas, que promovem a divisão e o alongamento celular, resultando em maior capacidade de absorção de água e nutrientes (Kumari et al., 2023).

Além de efeitos fisiológicos, os extratos de *A. nodosum* modulam a expressão gênica. Pesquisas com análises transcriptômicas revelaram que genes relacionados ao transporte de nutrientes, síntese de hormônios e respostas de defesa são diferencialmente expressos após a aplicação do bioinsumo. Em tomate, essa modulação resultou em maior tolerância ao calor e maior taxa de pegamento de frutos, mesmo em condições de estresse térmico (Carmody et al., 2020).

Um aspecto adicional de grande relevância está na melhoria da qualidade dos produtos agrícolas. O uso do extrato tem sido associado ao aumento do teor de compostos bioativos, como licopeno em tomate e fenóis em frutas. Isso não apenas melhora o valor nutricional dos alimentos, mas também aumenta seu valor de mercado, atendendo à crescente demanda por produtos agrícolas diferenciados e de maior qualidade (Shukla et al., 2019).

Estudos comparativos destacam que o efeito do extrato pode variar de acordo com o método de extração. Processos químicos alcalinos tendem a degradar alguns polissacarídeos e compostos fenólicos, enquanto técnicas como extração enzimática ou assistida por micro-ondas

preservam melhor esses componentes. Portanto, a padronização industrial do processo de extração é essencial para garantir resultados consistentes em campo (Carmody et al., 2020).

Essa diversidade de mecanismos de ação reforça o potencial do extrato como uma ferramenta multifuncional na agricultura. Como destacam Shukla et al. (2019):

“Os extratos de *Ascophyllum nodosum* não atuam apenas como fontes de nutrientes secundários, mas como verdadeiros moduladores fisiológicos, capazes de desencadear respostas de crescimento e de defesa nas plantas, contribuindo para maior produtividade e resiliência.”

Apesar dos resultados promissores, ainda existem desafios a serem superados. Um deles é a variabilidade na composição dos extratos, que depende da época de colheita da alga e do método de processamento. Além disso, faltam estudos de longa duração que avaliem o impacto do uso contínuo desses bioinsumos no solo e no ecossistema agrícola. Avançar nessas pesquisas é fundamental para consolidar o papel de *A. nodosum* na agricultura sustentável (Kumari et al., 2023; de Castro et al., 2024).

1.3.3 Comparação entre os bioinsumos

A análise comparativa entre os bioinsumos de origem vegetal e microbiana revela que, embora atuem por mecanismos distintos, tanto os extratos de *Ascophyllum nodosum* quanto as bactérias do gênero *Azospirillum* compartilham efeitos convergentes sobre o crescimento vegetal. Os extratos da alga promovem mudanças fisiológicas e metabólicas que fortalecem as plantas contra estresses ambientais, enquanto as bactérias atuam no sistema radicular, favorecendo a absorção de nutrientes e a fixação de nitrogênio. Essa complementaridade sugere que a aplicação combinada pode ampliar os benefícios em diferentes culturas agrícolas.

Os efeitos fisiológicos estimulados por *A. nodosum* incluem aumento da fotossíntese, maior acúmulo de clorofila e ativação de enzimas antioxidantes, que ajudam a reduzir os danos provocados por estresses como salinidade e seca. Já *Azospirillum* promove principalmente a expansão radicular e a disponibilização de nitrogênio, mas também sintetiza fitormônios que interagem com a fisiologia da planta. Dessa forma, enquanto a alga atua como regulador metabólico, a bactéria atua como agente simbiótico, sustentando a nutrição e a exploração eficiente do solo.

No contexto do estresse abiótico, os dois bioinsumos apresentam papéis distintos, mas sinérgicos. O extrato de *A. nodosum* induz a produção de osmólitos e ativa genes relacionados à tolerância ao estresse, o que melhora a sobrevivência das plantas em condições adversas. Por outro lado, *Azospirillum* amplia a capacidade da planta de explorar o perfil do solo, obtendo água e nutrientes em maiores profundidades, o que também contribui para resiliência frente à seca. Essa combinação pode ser particularmente vantajosa em regiões tropicais sujeitas a irregularidade hídrica.

Outro ponto relevante de comparação é o impacto sobre a produtividade. Estudos de campo mostraram que o uso de *A. nodosum* em cana-de-açúcar pode elevar significativamente o rendimento de colmos e de sacarose, especialmente durante a estação seca. Em paralelo, metanálises sobre o uso de *Azospirillum* em milho no Brasil demonstraram aumentos médios de produtividade em torno de 5% a 10%. Apesar das magnitudes diferentes, ambos apresentam impacto positivo e economicamente viável quando integrados aos sistemas de cultivo.

A comparação também deve considerar o modo de aplicação. Enquanto *Azospirillum* é comumente aplicado via inoculação de sementes ou pulverização foliar em estágios iniciais de desenvolvimento da planta, *A. nodosum* é mais utilizado em aplicações foliares durante fases críticas ou de estresse. Essa diferença abre espaço para estratégias complementares de manejo, onde cada bioinsumo é posicionado em momentos específicos do ciclo da cultura para maximizar os efeitos.

Do ponto de vista dos mecanismos bioquímicos, *A. nodosum* fornece compostos bioativos prontos para atuar na fisiologia vegetal, enquanto *Azospirillum* atua como biofábrica viva, continuamente produzindo hormônios e fixando nitrogênio na rizosfera. Essa diferença entre uma fonte exógena de substâncias bioativas e uma interação simbiótica contínua torna o uso combinado ainda mais interessante, pois une efeitos imediatos e de longo prazo.

As duas tecnologias também convergem em relação à sustentabilidade agrícola. O uso de *Azospirillum* permite reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados, diminuindo custos e impactos ambientais. Já os extratos de *A. nodosum* reduzem a necessidade de defensivos e de aplicações corretivas em situações de estresse. Assim, ao comparar os dois, observa-se que ambos se alinham ao objetivo de uma agricultura de baixo impacto ambiental e de maior eficiência no uso de insumos.

Vale destacar que, embora os resultados sejam promissores, existem limitações específicas. Para *A. nodosum*, a eficácia pode variar conforme o método de extração e formulação do produto, enquanto para *Azospirillum* a resposta depende da compatibilidade entre cepa, cultura e ambiente. Essa variabilidade reforça a importância de pesquisas comparativas e integradas que avaliem a interação entre os dois bioinsumos em diferentes condições de cultivo.

A complementaridade também foi observada em estudos de coaplicação. Experimentos com hortaliças mostraram que a coinoculação de sementes com *A. nodosum* e *Azospirillum* resultou em maior área foliar e biomassa total do que quando aplicados isoladamente. Esses achados sugerem que a integração de ambos não apenas soma os efeitos, mas pode gerar respostas sinérgicas que ampliam a eficiência da planta em termos de crescimento e resiliência.

De forma geral, a comparação entre *Ascophyllum nodosum* e *Azospirillum* mostra que, embora possuam mecanismos distintos de ação, os dois bioinsumos convergem para o mesmo objetivo: promover maior produtividade e sustentabilidade agrícola. A união de um agente de origem vegetal, rico em compostos bioativos, com um microrganismo rizosférico, capaz de melhorar a nutrição e estimular o crescimento radicular, configura uma estratégia promissora para enfrentar os desafios da agricultura contemporânea, marcada pela necessidade de produzir mais com menor impacto ambiental.

1.3.4 Uso combinado de *Ascophyllum nodosum* e *Azospirillum*

O uso combinado de extratos de *Ascophyllum nodosum* e de bactérias do gênero *Azospirillum* tem atraído atenção por reunir mecanismos de ação distintos, porém complementares. Enquanto o extrato da alga atua como regulador fisiológico, modulando processos metabólicos e estimulando defesas antioxidantes, as bactérias promovem a fixação biológica de nitrogênio e a produção de fitormônios que aumentam o crescimento radicular. Dessa forma, a associação desses bioinsumos pode resultar em efeitos sinérgicos sobre o crescimento e a produtividade vegetal (Shukla et al., 2019; Fukami & Hungria, 2018).

Estudos realizados com hortaliças confirmam essa complementaridade. Em rúcula, por exemplo, o tratamento de sementes com *A. nodosum* e *Azospirillum brasilense* resultou em maior massa seca e maior expansão foliar em comparação ao uso isolado de cada bioinsumo.

Esse resultado sugere que a aplicação conjunta potencializa a disponibilidade de nutrientes e ativa rotas fisiológicas que não seriam estimuladas com a aplicação individual (da Silva et al., 2019).

O efeito positivo da coinoculação também foi observado em experimentos com leguminosas, onde *Azospirillum* foi combinado a outros microrganismos simbióticos. Nesses casos, verificou-se aumento da absorção de nitrogênio, maior acúmulo de clorofila e incremento da produtividade. Esse tipo de evidência reforça a hipótese de que associações microbianas e de biostimulantes tendem a gerar efeitos aditivos ou sinérgicos, ampliando os benefícios para as culturas (Galindo et al., 2022).

Uma das principais vantagens do uso combinado é que os mecanismos atuam em diferentes níveis de organização da planta. O extrato de *A. nodosum* melhora a tolerância fisiológica a estresses, reduzindo o impacto de seca, salinidade ou calor, enquanto *Azospirillum* fortalece a raiz, aumentando o acesso da planta a água e nutrientes. Essa interação pode ser especialmente útil em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais, nos quais a irregularidade climática é um dos maiores limitadores de produtividade (Carmody et al., 2020).

“O tratamento combinado de bioinsumos vegetais e microbianos representa um passo importante para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis, pois permite explorar diferentes mecanismos fisiológicos e nutricionais de forma simultânea” (Du Jardin, 2015, p. 10).

Apesar do potencial, os estudos que abordam diretamente a associação de *A. nodosum* e *Azospirillum* ainda são escassos. A maioria das pesquisas foca nos efeitos isolados de cada bioinsumo, havendo poucas investigações sobre a interação entre eles em larga escala. Isso evidencia a necessidade de mais experimentos de campo em diferentes culturas e condições edafoclimáticas para consolidar recomendações técnicas confiáveis (Kumari et al., 2023).

Outro ponto a ser considerado é a compatibilidade na aplicação. Para que a coinoculação seja eficaz, é necessário avaliar fatores como o momento de aplicação, a via utilizada (semente, foliar ou solo) e a compatibilidade química entre os produtos. Estudos relatam que misturas inadequadas podem reduzir a viabilidade microbiana ou inativar compostos bioativos da alga, comprometendo os efeitos esperados (Barbosa et al., 2022).

Em termos práticos, a integração desses bioinsumos poderia contribuir não apenas para o aumento da produtividade, mas também para a redução do uso de insumos sintéticos.

Azospirillum pode diminuir a necessidade de adubação nitrogenada, enquanto *A. nodosum* pode reduzir a aplicação de defensivos em situações de estresse. Essa dupla contribuição alinha-se às metas da agricultura sustentável, de produzir mais com menos impacto ambiental (Fukami & Hungria, 2018).

“A integração de extratos de algas marinhas com microrganismos promotores de crescimento representa uma das fronteiras mais promissoras para a intensificação sustentável da agricultura” (Shukla et al., 2019, p. 8).

Por fim, observa-se que a adoção dessa estratégia requer investimentos em pesquisa multidisciplinar. Estudos fisiológicos, moleculares e agronômicos precisam ser realizados de forma integrada, a fim de compreender como os diferentes compostos da alga interagem com os metabólitos produzidos pelas bactérias no ambiente rizosférico. A partir desse entendimento, será possível desenvolver produtos formulados especificamente para coinoculação, garantindo maior estabilidade, eficácia e segurança no campo (Galindo et al., 2022; Kumari et al., 2023).

1.3.5 Lacunas e perspectivas futuras

Apesar dos avanços obtidos com o uso de bioinsumos à base de *Ascophyllum nodosum* e *Azospirillum*, ainda existem lacunas importantes que limitam a consolidação dessa tecnologia em escala global. Uma das principais dificuldades está na padronização dos extratos de algas, cuja composição química varia de acordo com a época de colheita, condições ambientais e métodos de extração. Essa variabilidade compromete a previsibilidade dos resultados e dificulta a elaboração de recomendações agronômicas consistentes (Carmody et al., 2020).

Outro ponto crítico é a falta de ensaios de longa duração em condições de campo, que permitam avaliar o impacto desses bioinsumos em diferentes ciclos produtivos e ambientes agrícolas. A maioria dos trabalhos ainda se concentra em experimentos de curta duração, realizados em casas de vegetação ou em parcelas experimentais reduzidas, o que limita a extrapolação dos resultados para escalas comerciais (Kumari et al., 2023).

Além disso, a associação entre *A. nodosum* e *Azospirillum* ainda é pouco estudada em diferentes culturas e regiões. Embora resultados preliminares indiquem efeitos sinérgicos, faltam estudos que testem essa interação em condições edafoclimáticas variadas, o que é

essencial para validar a aplicabilidade da tecnologia em diferentes sistemas de produção agrícola (da Silva et al., 2019).

Outro desafio diz respeito à compatibilidade de formulações comerciais. Misturas entre extratos de algas e inoculantes bacterianos podem reduzir a viabilidade microbiana ou degradar compostos bioativos. Assim, pesquisas voltadas para o desenvolvimento de formulações estáveis e integradas são fundamentais para assegurar a eficiência do uso combinado (Barbosa et al., 2022).

Do ponto de vista ambiental e econômico, há a necessidade de estudos que investiguem até que ponto esses bioinsumos podem substituir ou reduzir fertilizantes químicos sem comprometer a produtividade agrícola. Essa questão é central, pois a sustentabilidade e a viabilidade econômica da adoção dependem diretamente da capacidade de reduzir custos e impactos ambientais associados ao uso intensivo de insumos sintéticos (Fukami & Hungria, 2018).

Outro aspecto pouco explorado é a resposta diferenciada entre cultivares. Evidências sugerem que a interação planta-bioinsumo pode variar significativamente de acordo com a genética da cultura, o que implica a necessidade de testes direcionados para diferentes variedades, sobretudo em espécies de grande importância econômica como soja, milho e cana-de-açúcar (Shukla et al., 2019).

Há também um déficit de pesquisas voltadas para a análise molecular e transcriptômica das interações promovidas por esses bioinsumos. Estudos desse tipo podem elucidar com maior clareza os mecanismos envolvidos, identificando genes regulados pela aplicação conjunta de *A. nodosum* e *Azospirillum*. Esse conhecimento é fundamental para o desenvolvimento de bioinsumos de nova geração, mais direcionados e eficientes (Carmody et al., 2020).

Outra lacuna importante é a ausência de protocolos que avaliem os efeitos de uso contínuo desses bioinsumos sobre a microbiota do solo. Considerando que tanto algas quanto bactérias interagem com a rizosfera, torna-se essencial entender se a aplicação repetida pode alterar a comunidade microbiana local, com possíveis efeitos positivos ou negativos na saúde do solo (Galindo et al., 2022).

As perspectivas futuras apontam para a necessidade de pesquisa multidisciplinar, envolvendo fisiologia vegetal, microbiologia, química de extratos e ciência do solo, a fim de

desenvolver formulações otimizadas e protocolos de manejo integrados. Essa abordagem permitirá superar a atual fragmentação do conhecimento e ampliar a adoção de bioinsumos em larga escala (Du Jardin, 2015).

Por fim, o avanço nessa área dependerá também de políticas públicas e regulamentações claras, que incentivem a pesquisa, o desenvolvimento e a comercialização de bioinsumos seguros e eficazes. A criação de normas específicas pode assegurar a qualidade dos produtos disponíveis no mercado e estimular sua adoção como parte de programas de agricultura sustentável (Kumari et al., 2023).

1.4 Conclusões

O uso de bioinsumos à base de *Ascophyllum nodosum* e bactérias do gênero *Azospirillum* apresenta grande potencial para promover o crescimento vegetal e contribuir para uma agricultura mais sustentável. Enquanto o extrato da alga atua na regulação metabólica das plantas, aumentando a fotossíntese, a produção de clorofila e a tolerância a estresses ambientais, *Azospirillum* favorece o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de nutrientes por meio da fixação associativa de nitrogênio e da produção de fitormônios.

A utilização conjunta desses bioinsumos pode gerar efeitos sinérgicos, combinando maior resistência fisiológica com melhor eficiência nutricional das plantas. No entanto, ainda são necessários mais estudos em diferentes culturas e condições de cultivo para padronizar recomendações e validar seus efeitos em larga escala.

De modo geral, esses bioinsumos representam uma alternativa promissora para reduzir a dependência de insumos químicos, melhorar a produtividade e promover sistemas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis.

Referências

- BARBOSA, J. Z. et al. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 177, p. 104559, 2022.
- CARMODY, N. et al. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulant processing and its impact on enhancing heat stress tolerance during tomato fruit set. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 1-12, 2020.
- CASTRO, S. G. Q. de et al. Combining seaweed extract from *Ascophyllum nodosum* with nutrients enhances stalk yield when applied in the dry season during sugarcane development. *Journal of Plant Stress*, v. 5, p. 100086, 2024.
- DA SILVA, M. R. et al. Treating arugula seeds with *Ascophyllum nodosum* and *Azospirillum brasilense*. *Nucleus*, v. 16, n. 1, p. 149-158, 2019.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 3-14, 2015.
- FUKAMI, J.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, v. 8, n. 73, p. 1-12, 2018.
- GALINDO, F. S. et al. Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* sp. improves N uptake and productivity in cowpea. *Plants*, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2022.
- KUMARI, S. et al. *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis, a pivotal biostimulant toward sustainable agriculture: a comprehensive review. *Agriculture*, v. 13, n. 5, p. 1005, 2023.
- SHUKLA, P. S. et al. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 655, 2019.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth — a critical assessment. *Advances in Agronomy*, v. 108, p. 77-136,

2010.

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

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 371-393, 2011.

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

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, 2020.

SÁNCHEZ, J. A. et al. Synergism of microorganisms and seaweed extract on vegetative growth, yield and quality of cucumber fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 51, 2023.

SHARMA, H. S. S. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 33, p. 1-21, 2014.