

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANIDADE
CURSO DE AGRONOMIA

GUSTAVO APARECIDO TRZASKOS DOS SANTOS

APLICAÇÃO SEMINAL DE EXTRATOS DE MICROALGAS E *Azospirillum brasilense*

PONTA GROSSA

2026

GUSTAVO APARECIDO TRZASKOS DOS SANTOS

APLICAÇÃO SEMINAL DE EXTRATOS DE MICROALGAS E *Azospirillum brasilense*

Trabalho de Disciplina OTCC como requisito parcial para obtenção de Grau de Engenheiro Agrônomo na Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof. Dra. Silvana Ohse

Co-orientadora: Eng.^a Agr.^a Lana Evilyn Barboza

PONTA GROSSA

2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTCC - Ano 2026

AVALIAÇÃO DE TCC
RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia: Aplicação seminal de extratos de microalgas e Azospirillum brasilense

Autor (a): Gustavo Trzebielski dos Santos

Data da defesa: 20/05/26 Horário: 10h00 Local: F-13

Avaliadores:

1-Orientador (a): Silvana Ohse Assinatura: [Assinatura]

2-Avaliador (a): Leandro S. Silva Batista Assinatura: [Assinatura]

3-Avaliador (a): Anderson Carlos Eugen Assinatura: [Assinatura]

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	4,30	4,50	1,4
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5,00	5,00	5,0
III- Arguição (Até 2,0)	1,00	4,50	1,3
TOTAL	10,30	14,00	7,7
MÉDIA FINAL *	7,67		

* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):

No caso de apresentação de trabalho, em evento técnico-científico, no qual o acadêmico conste como autor, poderá ser acrescentado **ATÉ 10%** da nota, na somatória final. Apresentar comprovante junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de estudar em uma instituição de ensino como a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada.

Agradeço também a minha orientadora, Prof^a. Dra. Silvana Ohse, pela oportunidade de fazer parte do Laboratório de Fisiologia Vegetal, bem como pela paciência, orientação, auxílio e ensinamentos durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora, Lana Evilyn Barboza, por estar sempre presente, auxiliando e contribuindo durante a realização deste trabalho.

Agradeço também à Prof^a. Dra. Jesiane Stefania da Silva Batista e ao doutorando Anderson Finger pela presença em minha banca avaliadora.

A minha família, em especial meus pais Andre da Costa dos Santos, Luciane Cristina Trzaskos dos Santos, minha namorada Nicolle Meneghetti e minha irmã, Julia Aparecida Trzaskos dos Santos.

A todos os amigos e integrantes do Laboratório de fisiologia vegetal, em especial Aryelle Pacheco, Bernardo Lazarini, Lucas Petrech e Anthony por toda a ajuda e parceria durante o experimento.

Aos amigos Eder José, Eduardo Rickli, Igor Schastai, Luiz Eduardo Martincoski, Marcos Jonack e Vinícius Pinow.

Agradeço também a Mariane pelo auxílio durante as análises realizadas no laboratório nutrição de planta.

Ao pessoal da Fazenda Escola Capão da Onça, por todos os tratamentos e auxílio durante a condução experimental.

RESUMO

SANTOS, G.T. dos. **Aplicação seminal de extratos de microalgas e *Azospirillum brasilense***. Orientadora: Prof.^a Dra. Silvana Ohse. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2026.

A utilização de bioinsumos na agricultura destaca-se como alternativa sustentável para otimizar o desenvolvimento vegetal, melhorar a eficiência nutricional e reduzir a dependência de insumos sintéticos. Diante da expansão da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L) cv. Princesa na região dos Campos Gerais e da crescente demanda por grãos de qualidade malteira, este trabalho objetivou avaliar o efeito do tratamento de sementes com extratos aquosos de microalgas (*Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus* e *Viridiparva madeirensis*), aplicados de forma isolada ou em associação com *Azospirillum brasilense*, sobre o desenvolvimento morfofisiológico, os componentes de produção e a qualidade de grãos da cultura. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça (UEPG), sob delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4×2 , com cinco repetições. O fator primário foi composto por quatro tratamentos de sementes (testemunha, *A. platensis*, *T. obliquus* e *V. madeirensis*, na dose de 6 mg kg^{-1}), e o fator secundário correspondeu à presença ou ausência de inoculação com *A. brasilense* (4 mL kg^{-1}). A inoculação com *A. brasilense* promoveu efeito significativo sobre a variável população de plantas, gerando um aumento de 16,3% em relação ao tratamento sem inoculação, o que corresponde a um incremento de 246.000 plantas ha^{-1} . Quanto aos efeitos isolados dos extratos de microalgas, o maior índice de área foliar (IAF) na fase vegetativa foi proporcionado por *A. platensis*, enquanto o maior índice de palha foi obtido com *T. obliquus*. Para o comprimento de espiga, a aplicação do extrato de *A. platensis* no tratamento das sementes resultou em menores médias. A interação entre as microalgas e a inoculação bacteriana foi significativa para as variáveis massa de 1.000 grãos e teor de proteína dos grãos. Conclui-se que a associação entre extratos aquosos de microalgas e *A. brasilense* atua de forma significativa sobre a massa de 1.000 grãos e o teor de proteína dos grãos da cultivar Princesa

Palavras-chave: *Hordeum vulgare* L.; *Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus*, *Viridiparva madeirensis*, tratamento de sementes, bactérias promotoras do crescimento.

ABSTRACT

SANTOS, G.T. dos. **Seminal application of microalgae extracts and *Azospirillum brasilense***. Advisor: Prof. Dr. Silvana Ohse. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in Agronomy) – State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2026.

The use of bioinputs in agriculture stands out as a sustainable alternative to optimize plant development, improve nutritional efficiency, and reduce dependence on synthetic inputs. Given the expansion of barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. Princesa cultivation in the Campos Gerais region and the growing demand for malting quality grains, this study aimed to evaluate the effect of seed treatment with aqueous microalgae extracts (*Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus*, and *Viridiparva madeirensis*), applied either alone or in combination with *Azospirillum brasilense*, on the morphophysiological development, yield components, and grain quality of the crop. The experiment was conducted at the Capão da Onça School Farm (UEPG), using a randomized complete block design in a 4 × 2 factorial scheme with five replications. The primary factor consisted of four seed treatments (control, *A. platensis*, *T. obliquus*, and *V. madeirensis* at a dose of 6 mg kg⁻¹), and the secondary factor corresponded to the presence or absence of inoculation with *A. brasilense* (4 mL kg⁻¹). Inoculation with *A. brasilense* promoted a significant effect on the plant population variable, generating a 16.3% increase compared to the non-inoculated treatment, which corresponds to an increment of 246,000 plants ha⁻¹. Regarding the isolated effects of the microalgae extracts, the highest leaf area index (LAI) in the vegetative phase was provided by *A. platensis*, while the highest straw index was obtained with *T. obliquus*. For spike length, the application of *A. platensis* extract in the seed treatment resulted in lower means. The interaction between microalgae and bacterial inoculation was significant for the variables thousand-grain weight and grain protein content. It is concluded that the association between aqueous microalgae extracts and *A. brasilense* significantly affects the thousand-grain weight and grain protein content of the cultivar Princesa.

Keywords: *Hordeum vulgare* L.; *Arthrospira platensis*; *Tetrademus obliquus*; *Viridiparva madeirensis*; seed treatment; plant growth-promoting bacteria.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 CULTURA DA CEVADA.....	13
2.1.1 Morfologia e taxonomia.....	13
2.1.2 Avanço da cevada no Brasil.....	14
2.1.3 Importância socioeconômica da cultura da cevada.....	15
2.1.4 Exigências para cevada cervejeira.....	17
2.2 EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS.....	18
2.3 BIOESTIMULANTES.....	19
2.3.1 <i>Arthrospira platensis</i>	21
2.3.2 <i>Viridiparva madeirensis</i>	21
2.3.3 <i>Tetrademus obliquus</i>	23
2.3.4 <i>Azospirillum brasilense</i>	24
3 OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	26
3.1 OBJETIVO GERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. HIPÓTESES.....	27
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	28
5.2 DELINEAMENTO E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL.....	29
5.3 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
7 CONCLUSÕES.....	46
8 REFERÊNCIAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Média mensal de precipitação e temperaturas médias durante o ciclo da cultura. Ponta Grossa/PR, 2025.....	29
Figura 2- Medição de altura de plantas (A) e medição do índice relativo de clorofila (B). Ponta Grossa/PR, 2025.....	32
Figura 3- Imagem da colheita (A) e das parcelas após a colheita (B). Ponta Grossa/PR, 2025.....	33

Roberto Bianchini Derner (UFSC)
Departamento de Aquicultura
Laboratório de Cultivo de Algas – LCA
<http://lattes.cnpq.br/0330205196738845>
<https://orcid.org/0000-0001-6474-1287>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização química do solo na área experimental, camada amostrada de 0-10 cm. Ponta Grossa/PR, 2025.....	28
Tabela 2- Resumo da análise de variância para as variáveis população final de plantas (POP), índice de área foliar vegetativo (IAFv), índice de área foliar reprodutivo (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP) de cevada, cv. Princesa, em função do tratamento de sementes com diferentes microalgas, associado ou não à inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> . Ponta Grossa/PR, 2025.....	36
Tabela 3- Resumo da análise da variância para as variáveis número de perfilho total (NPT), número de perfilhos produtivos (NPP), número de grãos por espiga (NGE), comprimento de espiga (CE), índice de palha (IP) e índice de colheita (IC) em função de diferentes tipos de microalgas via tratamento de sementes associadas ou não com <i>Azospirillum brasilense</i> (AZM). Ponta Grossa/PR, 2025.....	38
Tabela 4- Resumo da análise da variância para as variáveis produtividade (PROD), peso hectolitro (PH), massa de 1000 grãos (MMG), germinação (G) e proteína (TP) em função de diferentes tipos de microalgas via tratamento de sementes associadas ou não com <i>Azospirillum brasilense</i> (AZM). Ponta Grossa/PR, 2025.....	40
Tabela 5- População final de plantas (POP) índice de área foliar vegetativa (IAFv), comprimento de espiga (CE), índice de palha (IP) de cevada, cv. Princesa, em função do tratamento de sementes com diferentes espécies de microalgas em associação ou não com <i>Azospirillum brasilense</i> . Ponta Grossa/PR, 2025.....	41
Tabela 6- Desdobramento do fator espécies de microalgas dentro do fator inoculação para a variável massa de 1000 grãos (MMG) de cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.....	42
Tabela 7- Desdobramento do fator espécies microalgas dentro do fator inoculação para a variável teor de proteína de grãos de cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.....	44

1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma das principais culturas cerealíferas do mundo, destacando-se pela ampla utilização na alimentação humana e animal, e, principalmente, na indústria cervejeira, onde é a principal matéria-prima para produção de malte (DE MORI; MINELLA, 2012). A cultura é um cereal de inverno pertencente à família Poaceae, caracterizando-se como uma das primeiras espécies domesticadas pelo homem, com origem associada a regiões do Oriente Médio (CAIERÃO, 2008). Atualmente, a cultura da cevada possui grande importância econômica e social, sendo amplamente cultivada em regiões de clima temperado (FAO, 2025). Em 2025, o Brasil registrou uma produção de 606,6 mil toneladas, em uma área 139,2 mil hectares, com sua produção concentrada na região Sul, especialmente no Paraná e no Rio Grande do Sul, com forte direcionamento à indústria cervejeira, que demanda grãos com elevado padrão de qualidade (CONAB, 2026).

A cevada apresenta características típicas das gramíneas, como sistema radicular fasciculado, colmo ereto e folhas formadas por bainha, lâmina, lígula e aurículas, estruturas que auxiliam na identificação da cultura. Sua inflorescência é do tipo espiga, podendo apresentar duas ou seis fileiras de grãos, conforme a fertilidade das espiguetas (WETZEL; FERREIRA, 2007). O grão é constituído por endosperma, embrião, tegumento e pericarpo, sendo o endosperma responsável pelo armazenamento de reservas essenciais ao processo germinativo (KRUKLIS, 2019). Nesse contexto, a qualidade fisiológica das sementes é fundamental para o adequado estabelecimento da lavoura, pois contribui para a formação de plântulas vigorosas, bom estande inicial e, conseqüentemente, melhor desempenho produtivo da cultura (FERREIRA, 2015).

Com o crescente aumento populacional, a demanda por alimentos cresce, assim como a necessidade de reduzir os impactos ambientais associados à produção agrícola. Nesse contexto, a cultura da cevada enfrenta desafios importantes no país, especialmente relacionados à uniformidade e rapidez no desenvolvimento inicial das plantas, às mudanças climáticas e à necessidade de maior eficiência no uso de nutrientes. Dessa forma, a agricultura tem buscado estratégias sustentáveis, como o uso de bioinsumos, incluindo bioestimulantes e inoculantes (ROUPHAEL *et al.*, 2018).

Esses produtos podem atuar na fisiologia das plantas, promovendo maior eficiência no uso de nutrientes, crescimento vegetal e tolerância a estresses abióticos (CALVO *et al.*, 2014). Assim, a utilização de extratos de microalgas com potencial bioestimulante e de inoculantes à base de microrganismos promotores de crescimento surge como alternativa promissora para favorecer o estabelecimento inicial da cevada e reduzir a dependência do uso intensivo de fertilizantes e agroquímicos.

Dentre os inoculantes utilizados na agricultura, destaca-se o *Azospirillum brasilense*, uma bactéria de vida livre que promove o crescimento vegetal. Esse microrganismo sintetiza fitormônios, como as auxinas, que estimulam o alongamento celular e o desenvolvimento do sistema radicular (DÖBEREINER; KRIEG; TARRAND, 1978). Como consequência, há um aumento na superfície das raízes, o que otimiza a absorção de água e insumos, elevando a eficiência nutricional da cultura (MOREIRA *et al.*, 2010). Diante desses benefícios, a inoculação com *A. brasilense* tem sido amplamente estudada em gramíneas, consolidando-se como uma alternativa eficaz para maximizar a expansão radicular e o aproveitamento de recursos do solo.

Além dessa bactéria, estudos sobre o potencial de uso de microalgas como bioestimulante tem se destacado como uma estratégia promissora na agricultura sustentável (CALVO *et al.*, 2014). Espécies como *Arthrospira platensis*, *Viridiparva madeirensis* e *Tetradismus obliquus* apresentam elevada concentração de compostos bioativos, como aminoácidos, proteínas, vitaminas e metabólitos secundários, que atuam diretamente no metabolismo vegetal (GARCIA *et al.*, 2022; GENTSCHEVA *et al.*, 2023).

Os extratos de microalgas, por apresentarem compostos bioativos em sua composição, podem influenciar processos fisiológicos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal. Esses compostos podem atuar no estímulo ao metabolismo das plantas, na atividade fotossintética, na absorção e no uso eficiente de nutrientes, refletindo em alterações no crescimento vegetativo e na alocação de biomassa. Os extratos de microalgas, por apresentarem compostos bioativos em sua composição, podem influenciar processos fisiológicos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal, como atividade fotossintética, metabolismo, absorção e uso eficiente de nutrientes. No entanto, seus efeitos podem variar conforme a espécie utilizada, a forma de aplicação, a concentração do extrato e as condições ambientais (CALVO *et al.*, 2014). Nesse sentido, o uso de microalgas pode representar uma alternativa promissora para modular respostas fisiológicas da cevada, embora seus

efeitos possam variar conforme a espécie utilizada, a forma de aplicação, a concentração do extrato e as condições ambientais. De acordo com Calvo *et al.*, (2014), bioestimulantes vegetais podem favorecer processos fisiológicos relacionados ao crescimento, à eficiência nutricional e ao desenvolvimento das plantas, ainda que as respostas dependam da composição do produto, da cultura e das condições de cultivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DA CEVADA

2.1.1 Morfologia e taxonomia

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Poales, família Poaceae, gênero *Hordeum* e espécie *Hordeum vulgare* L. (FONTANA *et al.*, 2016). Essa espécie compreende duas subespécies: *Hordeum vulgare* L. subsp. *vulgare*, correspondente à cevada cultivada, e *Hordeum vulgare* L. subsp. *Spontaneum*, considerada a forma silvestre e progenitora da cevada cultivada. A primeira é amplamente utilizada na alimentação animal e na produção de malte cervejeiro, enquanto a segunda representa importante recurso genético para programas de melhoramento genético (THORMANN *et al.*, 2016).

A cevada é um cereal de inverno originário do Oriente Médio, sendo considerada uma das culturas mais antigas do mundo e uma das primeiras plantas domesticadas pelo ser humano. Seu cultivo apresenta grande importância para a alimentação humana, a alimentação animal e, principalmente, para a produção de malte (CAIERÃO, 2008).

A cevada apresenta características típicas da família Poaceae, possuindo sistema radicular fasciculado, o que favorece a absorção de água e nutrientes no perfil superficial do solo. Possui colmo ereto e cilíndrico, subdividido em nós e entrenós. As folhas são constituídas por bainha, lâmina foliar estreita e alongada, além de lígula membranosa e aurículas bem desenvolvidas, do tipo amplexicaules e glabras, características morfológicas primordiais que permitem diferenciar a cevada de outros cereais de inverno na fase vegetativa. A inflorescência é do tipo espiga, formada por um eixo central denominado ráquis, no qual se inserem espiguetas organizadas em grupos de três por nó, podendo originar espigas de duas fileiras (dísticas) ou seis fileiras (hexásticas), conforme a fertilidade dessas estruturas (MINELLA, 2012).

A estrutura anatômica do grão é formada por três componentes principais: casca, embrião e endosperma. A casca apresenta composição predominantemente rica em fibras, além de conter vitaminas do complexo B, minerais e compostos antioxidantes. O embrião também concentra minerais e vitaminas do complexo B, desempenhando papel fundamental no início do desenvolvimento da planta. Por sua

vez, o endosperma é constituído principalmente por carboidratos, lipídeos e proteínas, atuando como a principal reserva nutricional responsável por sustentar o crescimento do embrião (KRUKLIS, 2019).

Durante o processo de germinação, os diferentes componentes do grão atuam no metabolismo da semente, exercendo funções específicas. A casca e o pericarpo, por constituírem as camadas mais externas, desempenham papel protetor, reduzindo a entrada excessiva de água e protegendo contra a ação de fungos, pragas e danos mecânicos. Em contrapartida, a camada de aleurona e o embrião estão diretamente envolvidos nos processos fisiológicos, como a síntese e liberação de enzimas essenciais para a mobilização das reservas. Destaca-se ainda que o embrião é responsável pela produção de ácido giberélico, hormônio que desencadeia e regula o início da germinação (FERREIRA, 2015).

Dessa forma, o conhecimento das características taxonômicas, morfológicas e anatômicas da cevada é fundamental para compreender sua adaptação agrônoma, sua utilização industrial e sua resposta às práticas de manejo. A estrutura do grão, especialmente pela presença de endosperma rico em reservas e de embrião metabolicamente ativo, explica sua importância tanto para o processo germinativo quanto para a malteação. Nesse sentido, além dos aspectos botânicos, torna-se necessário compreender como a cultura se estabeleceu e avançou no Brasil, sobretudo em regiões com condições favoráveis ao seu cultivo e próximas à indústria cervejeira (MINELLA, 2012; FERREIRA, 2015; KRUKLIS, 2019).

2.1.2 Avanço da cevada no Brasil

No Brasil, a primeira referência ao cultivo de cevada ocorreu no estado de São Paulo, em 1584, registrada por Frei Cardim. Embora o uso da cevada para fins cervejeiros já existisse no país, foi apenas na década de 1930, após a crise mundial de 1929, que houve maior incentivo ao cultivo da cultura, impulsionando a construção de maltarias modernas (ÁRIAS, 1993).

No início da década de 1950, a empresa sueca de sementes Weibull iniciou um programa de melhoramento genético de cevada cervejeira no Brasil, em parceria com a Companhia Antártica Paulista. Esse programa teve continuidade até 1970 e resultou na introdução de cultivares e linhagens com tolerância ao alumínio tóxico. Em 1970, a Companhia Weibull encerrou suas atividades de melhoramento no país e

distribui seu material genético entre as companhias Antártica e Brahma, que deram continuidade aos programas de melhoramento.

Foi durante a década de 1970, que o cultivo da cevada começou a se expandir no Brasil, com a adoção de práticas de cultivo mecanizado semelhantes às utilizadas na cultura do trigo. O programa de melhoramento de cevada foi retomado somente em 1977, devido a uma crise global provocada pelo aumento do preço do petróleo. Como resposta, o governo federal lançou o Plano Nacional de Autossuficiência em Cevada e Malte. Nesse contexto, o Centro Nacional de Pesquisa de Trigo iniciou novos programas de melhoramento em parceria com cooperativas, contando com a colaboração das cervejarias Antártica e Brahma (ÁRIAS *et al.*, 1993).

A evolução do cultivo da cevada no Brasil esteve diretamente relacionada à demanda industrial por matéria-prima e ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas regionais. A partir do fortalecimento dos programas de melhoramento e da expansão das áreas cultivadas, a cultura passou a assumir maior relevância no sistema produtivo de inverno, especialmente na Região Sul. Esse avanço histórico contribuiu para consolidar a importância socioeconômica da cevada, tanto pela sua utilização na alimentação animal e humana quanto pelo seu papel estratégico na cadeia cervejeira (ÁRIAS, 1993; DE MORI; MINELLA, 2012; EMBRAPA, 2021).

2.1.3 Importância socioeconômica da cultura da cevada

A cevada está entre os cereais de maior relevância econômica no mundo, ocupando a quinta posição em importância. Seus grãos apresentam ampla utilização, sendo destinados principalmente à alimentação animal, que corresponde a aproximadamente 65% da produção mundial, seguida pela produção de malte para a indústria cervejeira, com cerca de 20%, e pelo consumo humano direto, com aproximadamente 15%. Além disso, a cevada também pode ser empregada na fabricação de farinhas e flocos para panificação, medicamentos, produtos dietéticos e sucedâneos de café (DERAL, 2020; EMBRAPA, 2021). No Brasil, a cevada (*Hordeum vulgare* L.) é destinada principalmente à produção de malte para a indústria cervejeira, sendo considerada a principal matéria-prima utilizada nesse setor (DE MORI; MINELLA, 2012).

A produção mundial de cevada em 2024 foi de 142 milhões de toneladas, sendo a União Europeia (42%) a principal produtora, seguida pela Rússia (14%),

Ucrânia (6,7%), Austrália (5,7%), Canadá (5%) e Turquia (2,8%). O Brasil ocupou o 30º lugar, com uma produção correspondente a 0,3% da produção mundial (FAO, 2025).

Segundo a Conab (2026), no Brasil a área de cultivo de cevada na safra de inverno de 2025 foi de 139,2 mil hectares, com produção de 606,6 mil toneladas e produtividade média de 4.358 kg há⁻¹. A produção concentra-se principalmente na Região Sul, com destaque para os estados do Paraná e Rio Grande do Sul. No Paraná, a Conab (2026) destacou aumento de 33,3% na área cultivada em relação à safra anterior, com recuperação e expansão em regiões tradicionais de cultivo, especialmente Guarapuava e Ponta Grossa, que juntas concentram cerca de 80% da produção estadual, onde a cultura apresentou produtividade média de 4.661 kg há⁻¹. Essa expansão está associada à presença de maltarias locais, que fomentam e absorvem a produção de cevada.

Entretanto, a oferta interna de cevada ainda não é suficiente para suprir a demanda da indústria cervejeira nacional. Para compreender a magnitude dessa dependência, é necessário relacionar a produção agrícola brasileira com a demanda por malte. Em 2024, o Brasil produziu aproximadamente 15,34 bilhões de litros de cerveja (SINDCERV, 2024).

De acordo com Kunze (2014), a quantidade de matéria-prima utilizada na produção de cerveja varia conforme o tipo de cerveja, o teor de extrato do mosto, a qualidade do malte. Para cervejas Lager comuns, pode-se estimar o uso aproximado de 15 kg de material cervejeiro para cada hectolitro de cerveja produzido, valor equivalente a cerca de 150 g L⁻¹. Dessa forma, essa relação deve ser interpretada como uma estimativa média, uma vez que a quantidade de malte e adjuntos pode variar de acordo com a formulação da cerveja e o rendimento industrial do processo. Como a conversão de cevada em malte resulta em perdas durante o processo de malteação, essa quantidade corresponderia a uma necessidade superior a 2,4 milhões de toneladas de cevada em grão. Dessa forma, mesmo com a expansão recente da cultura, a produção nacional ainda representa apenas cerca de 23% da demanda estimada de cevada para malteação, evidenciando a dependência brasileira de importações para atender ao setor cervejeiro.

Essa dependência está associada não apenas ao elevado consumo, mas também à expansão do setor cervejeiro no país, impulsionada pelo aumento no número de estabelecimentos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento (MAPA) e pela ampliação das maltarias. Como reflexo desse crescimento, a produção de cerveja no Brasil atingiu aproximadamente 15 bilhões de litros no ano de 2024 (MAPA, 2024).

Dessa forma, compreender as exigências para a cevada cervejeira é essencial para relacionar o manejo da cultura, a escolha da cultivar e as condições ambientais com a obtenção de matéria-prima adequada à produção de malte (BRASIL, 1996; BAXTER, 2001; KUNZE, 2006).

2.1.4 Exigências para cevada cervejeira

Para sua utilização nas cervejarias, é necessário que os grãos de cevada passem pelo processo de malteação, etapa caracterizada pela ativação do sistema enzimático responsável pela conversão do amido em açúcares fermentescíveis, essenciais para a produção da cerveja (KUNZE, 2006). Nesse contexto, a malteação tem como objetivo promover modificações físicas, químicas e bioquímicas no grão, incluindo a degradação das β -glucanas presentes nas paredes celulares e a redução do conteúdo de proteínas insolúveis, que podem dificultar o acesso das enzimas aos grânulos de amido (HUGHES; BAXTER, 2001). Durante esse processo, ocorre a síntese e a ativação de diversas enzimas hidrolíticas, capazes de degradar macromoléculas, como amido e proteínas, resultando na formação de compostos solúveis, como açúcares fermentáveis e aminoácidos. Esses produtos são fundamentais para o metabolismo das leveduras na etapa subsequente de fermentação, contribuindo diretamente para a eficiência do processo cervejeiro e para a qualidade final da bebida (TANCREDO, 2015).

Para fins cervejeiros, a cevada deve atender aos critérios estabelecidos pela Portaria nº 691, de 22 de novembro de 1996, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que define os parâmetros oficiais de identidade, qualidade, apresentação e classificação da cevada (BRASIL, 1996). De acordo com essa normativa, o poder germinativo deve ser, no mínimo, 95%, enquanto o teor de proteínas não deve ultrapassar 12% para a cevada destinada à produção de malte cervejeiro (BRASIL, 1996).

Além desses critérios, a Portaria nº 691/1996 estabelece que a porcentagem de grãos avariados deve ser inferior a 5%, incluindo grãos ardidos, chochos, brotados e imaturos. Os grãos ardidos são aqueles que apresentam alterações de coloração,

sinais de fermentação ou presença de fungos, enquanto os grãos chochos são caracterizados pelo aspecto enrugado. A normativa também determina que a pureza mínima seja de 95%, que o teor de umidade seja de, no máximo, 13%, e que a presença de matérias estranhas e impurezas seja limitada a, no máximo, 3% (BRASIL, 1996).

Os grãos destinados à indústria cervejeira devem ainda apresentar sanidade adequada, ausência de insetos, cor e odor característicos, além de estarem maduros e devidamente secos. Por fim, não é permitida a comercialização de lotes que apresentem mau estado de conservação, sinais de mofo ou fermentação, odores indesejáveis, ou níveis de micotoxinas, resíduos de defensivos agrícolas ou outros contaminantes acima dos limites estabelecidos pela legislação vigente (BRASIL, 1996).

Os critérios exigidos para a cevada cervejeira demonstram que a qualidade final dos grãos é resultado da interação entre genética, ambiente e manejo. Características como germinação, teor de proteína, peso hectolítrico, sanidade e uniformidade dos grãos podem ser diretamente influenciadas pelas condições climáticas e de solo durante o ciclo da cultura.

2.2 EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS

As exigências edafoclimáticas da cevada estão associadas, principalmente, a regiões de clima temperado, sendo mais favoráveis áreas com temperaturas amenas e baixa umidade relativa do ar durante os períodos de florescimento e maturação. Temperaturas elevadas e alta umidade nessas fases podem favorecer o aumento da incidência de doenças na cultura. Durante o período de floração, a planta torna-se mais sensível à ocorrência de geadas tardias. Em função da preferência por climas mais frios para o seu desenvolvimento, a cultura adaptou-se bem à região Sul do Brasil, sendo cultivada principalmente entre os meses de junho e novembro (QUEIROGA *et al.*, 2024).

A temperatura ideal para a germinação das sementes de cevada é de 20°C, temperaturas inferiores ou superiores podem induzir o processo de dormência. Para o desenvolvimento vegetativo, a temperatura adequada situa-se entre 15°C e 18°C, enquanto temperaturas elevadas podem acelerar o ciclo da cultura. (CARVALHO *et al.*, 2022).

A cevada, dependendo da cultivar, pode apresentar tolerância moderada à seca, mas para alcançar boa produtividade, o suprimento adequado de água durante o ciclo de desenvolvimento é essencial, especialmente em fases críticas como a floração e o enchimento de grãos (BUENO *et al.*, 2020). A cultura se desenvolve melhor em solos bem drenados, com alta fertilidade, apresentando maior tolerância a solos alcalinos em comparação a outras culturas. Apesar de suportar solos levemente ácidos, é mais sensível a elevados teores de alumínio quando comparada a outras gramíneas. O pH ideal para o desenvolvimento da cultura situa-se entre 6 e 8, sendo que, em solos com pH inferior a 5, a planta passa a apresentar limitações no crescimento. No Brasil, devido à predominância de solos ácidos, é comum a correção com calcário, visando atingir valores próximos a 6,5 (QUEIROGA *et al.*, 2024).

As exigências edafoclimáticas evidenciam que o desempenho da cevada depende de condições ambientais favoráveis durante todo o ciclo, principalmente nas fases de estabelecimento, florescimento e enchimento de grãos. Entretanto, variações de temperatura, disponibilidade de água, fertilidade do solo e ocorrência de estresses podem limitar o crescimento, a absorção de nutrientes e a formação de grãos de qualidade. Nesse contexto, práticas que favoreçam o vigor inicial, o desenvolvimento radicular, a eficiência nutricional e a tolerância das plantas a condições adversas tornam-se importantes estratégias de manejo. Entre essas alternativas, destacam-se os bioestimulantes, que vêm sendo estudados como ferramentas capazes de melhorar as respostas fisiológicas e agronômicas das culturas agrícolas (CALVO *et al.*, 2014; ROUPHAEL *et al.*, 2018; BUENO *et al.*, 2020; QUEIROGA *et al.*, 2024).

2.3 BIOESTIMULANTES

Diante da necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas agrícolas e reduzir a dependência de insumos sintéticos, o uso de bioestimulantes tem se destacado como uma alternativa promissora para complementar o manejo nutricional e fisiológico das culturas. Esses produtos são caracterizados pela presença de substâncias ou microrganismos capazes de aprimorar processos metabólicos das plantas, promovendo maior eficiência no uso de nutrientes, crescimento vegetal e tolerância a estresses abióticos (CALVO *et al.*, 2014; DU JARDIN, 2015; ROUPHAEL *et al.*, 2018).

No contexto agrícola, os bioinsumos representam uma categoria ampla de produtos, processos ou tecnologias de origem biológica utilizados com a finalidade de favorecer sistemas produtivos mais sustentáveis (BRASIL, 2024). Dentro dessa categoria, os bioestimulantes são produtos que atuam principalmente sobre processos fisiológicos das plantas, podendo estimular o crescimento, a eficiência no uso de nutrientes e a tolerância a estresses abióticos (CALVO *et al.*, 2014; DU JARDIN, 2015; ROUPHAEL *et al.*, 2018). Já os inoculantes correspondem a produtos formulados com microrganismos vivos, como bactérias promotoras de crescimento vegetal, capazes de estabelecer interação com as plantas e favorecer seu desenvolvimento (MOREIRA *et al.*, 2010; CAMILIUS-NETO *et al.*, 2014). Dessa forma, neste trabalho, os extratos de microalgas são abordados pelo seu potencial bioestimulante, enquanto *Azospirillum brasilense* é tratado como inoculante bacteriano.

No Brasil, a produção e comercialização de biofertilizantes são regidas principalmente pela Lei nº 15.070/2024 (Lei de Bioinsumos) e pelo conjunto de normas do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), como o Decreto nº 4.954/2004 e a Instrução Normativa nº 61/2020.

No caso da cevada, o uso de bioestimulantes pode ser especialmente relevante, pois a cultura depende de adequado estabelecimento inicial, eficiente formação de área foliar, elevada atividade fotossintética e equilíbrio nutricional para expressar seu potencial produtivo e atender aos padrões de qualidade exigidos pela indústria cervejeira. Dessa forma, substâncias bioativas presentes em extratos de algas e microalgas, assim como microrganismos promotores de crescimento, podem atuar de maneira complementar no desenvolvimento da cultura (CALVO *et al.*, 2014; MOREIRA *et al.*, 2010; GALINDO *et al.*, 2019).

Segundo Du Jardin (2015), os bioestimulantes podem ser classificados em diferentes grupos, incluindo extratos de algas, proteínas hidrolisadas, aminoácidos, substâncias húmicas e microrganismos benéficos. Entre essas fontes, as microalgas têm recebido destaque por apresentarem compostos bioativos, como aminoácidos, proteínas, pigmentos, vitaminas, fitormônios, polissacarídeos e minerais, capazes de influenciar processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetal (DU JARDIN, 2015; RONGA *et al.*, 2019; SUGANYA *et al.*, 2016). Considerando a riqueza da composição química das microalgas, torna-se importante a avaliação do seu potencial bioestimulante em plantas de importância agrícola.

2.3.1 *Arthrospira platensis*

A *Arthrospira platensis*, frequentemente comercializada como *Spirulina*, pertence ao domínio Bacteria, filo Cyanobacteria, classe Cyanophyceae, ordem Oscillatoriales e família Microcoleaceae (WORMS, 2021). Essa cianobactéria destaca-se pelo elevado valor nutricional, apresentando alto teor proteico na massa seca e composição rica em aminoácidos essenciais, vitaminas, minerais e pigmentos bioativos, características que justificam sua ampla utilização como suplemento alimentar humano e animal (BECKER, 2007; HABIB *et al.*, 2008).

A. *platensis* apresenta composição bioquímica diversificada, incluindo proteínas, carboidratos, ácidos graxos, vitaminas, minerais, aminoácidos essenciais, polipeptídeos, fitormônios e compostos antioxidantes. Além disso, contém pigmentos bioativos, como ficocianina, clorofila e carotenoides, incluindo β -caroteno, os quais estão associados ao seu potencial antioxidante e bioestimulante (BECKER, 2007; HABIB *et al.*, 2008; GHARIB *et al.*, 2024).

Entre seus principais constituintes destacam-se as ficocianinas, proteínas envolvidas em processos fundamentais da fotossíntese e que também atuam como reservatórios de nitrogênio (CIFERRI, 1983). Grande parte dessas proteínas contém aminoácidos essenciais, como isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina e metionina, caracterizando essa cianobactéria como uma importante fonte proteica de elevado valor biológico (BECKER, 2007; HABIB *et al.*, 2008).

2.3.2 *Viridiparva madeirensis*

Viridiparva madeirensis é uma microalga verde dulcícola pertencente ao domínio Eukarya, reino Plantae, filo Chlorophyta, classe Chlorophyceae, ordem Sphaeropleales e família Selenastraceae. A espécie foi descrita recentemente como um novo gênero e uma nova espécie, a partir de análises morfológicas e filogenéticas, contribuindo para esclarecer a diversidade taxonômica existente dentro da família Selenastraceae (GARCIA *et al.*, 2022). Essa família reúne microalgas de morfologia simples, muitas vezes de difícil identificação apenas por microscopia óptica, o que torna o uso de marcadores moleculares importante para a correta diferenciação entre gêneros e espécies próximas (GARCIA *et al.*, 2022).

A descrição de *V. madeirensis* foi baseada no estudo de linhagens de pequeno tamanho celular, classificadas como nanoplâncton, com morfologia

unicelular e formato elipsoide a levemente curvado. Segundo Garcia *et al.* (2022), análises filogenéticas baseadas nos marcadores moleculares 18S *rDNA* e *rbcL* indicaram que *Viridiparva madeirensis* representa uma linhagem distinta dentro da família Selenastraceae, apresentando proximidade filogenética com espécies pertencentes aos gêneros *Monoraphidium* e *Raphidocelis*, porém suficientemente diferenciada para justificar sua descrição como novo gênero. Além disso, a espécie foi associada a uma linhagem com potencial para produção de biodiesel, o que evidencia seu interesse biotecnológico além da área taxonômica.

Por se tratar de uma espécie recentemente descrita, *Viridiparva madeirensis* ainda apresenta informações limitadas quanto à composição bioquímica, mecanismos de ação e respostas fisiológicas em plantas cultivadas. No entanto, sua classificação entre as microalgas verdes da família Selenastraceae e seu potencial de cultivo indicam interesse biotecnológico para a obtenção de biomassa e metabólitos com possível ação bioestimulante.

Estudos recentes indicam que extratos de *V. madeirensis* podem apresentar efeito bioestimulante em plantas. Em feijoeiro, o uso de extrato hidroalcoólico dessa microalga promoveu crescimento de raiz e parte aérea, além de maior acúmulo de biomassa, sem alterar significativamente a atividade antioxidante das plantas.

Também foi observada modulação de genes relacionados à sinalização hormonal, ao metabolismo do nitrogênio e à regulação do crescimento, sugerindo que os compostos presentes no extrato podem atuar em processos fisiológicos importantes para o desenvolvimento vegetal (CABRAL *et al.*, 2025). Esses resultados indicam que *V. madeirensis* apresenta potencial como fonte de metabólitos para formulações bioestimulantes, especialmente em estratégias associadas ao tratamento de sementes e ao crescimento inicial das culturas.

No contexto agrícola, a utilização de *V. madeirensis* ainda pode ser considerada uma abordagem emergente, pois são escassas as informações sobre formas de extração, doses adequadas e respostas em culturas de importância econômica. No entanto, resultados obtidos com microalgas em diferentes culturas demonstram que seus extratos podem favorecer o crescimento radicular, desenvolvimento da parte aérea, teor de clorofila, absorção de nutrientes e desempenho fisiológico das plantas (RACHIDI *et al.*, 2020). Dessa forma, o uso de *V. madeirensis* no tratamento de sementes de cevada representa uma alternativa promissora dentro do uso de bioinsumos, especialmente pela possibilidade de

estimular o crescimento inicial da cultura e melhorar respostas morfofisiológicas associadas ao desenvolvimento vegetal.

2.3.3 *Tetrademus obliquus*

A microalga *Tetrademus obliquus* é um organismo de água doce, eucariótico e fotossintetizante, pertencente ao domínio Eukarya, reino Plantae, filo Chlorophyta, classe Chlorophyceae, ordem Sphaeropleales e família Scenedesmaceae (WORMS, 2019). Essa espécie apresenta elevada plasticidade metabólica e potencial biotecnológico, uma vez que sua composição química e estrutural pode variar conforme as condições de cultivo e os fatores de estresse ambiental (ROCHA *et al.*, 2019; COVELL *et al.*, 2020; AMORIM *et al.*, 2021).

Em termos de composição, a biomassa de *T. obliquus* destaca-se pela presença de lipídios, proteínas e pigmentos, com variações dependentes das condições de cultivo. Sob condições de estresse ambiental, especialmente salino, essa espécie pode apresentar alterações no acúmulo de lipídios e no perfil de ácidos graxos, incluindo compostos saturados e insaturados de cadeia longa, como os ácidos oleico, linolênico e palmítico (SALAMA *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2019). Esses ácidos graxos, com cadeias entre 16 e 18 carbonos, são semelhantes aos encontrados em plantas vasculares e incluem compostos das séries ômega-3, ômega-6 e ômega-9, os quais estão associados à modulação de membranas celulares e à proteção contra estresses abióticos (GUEDES *et al.*, 2011; TALEBI *et al.*, 2013).

Além dos lipídios, a microalga apresenta elevado teor de proteínas solúveis ($\approx 28,5\%$), podendo atingir valores superiores em condições adequadas de disponibilidade de nitrogênio, o que evidencia seu potencial como fonte de biofertilizantes e insumos agrícolas ricos em nitrogênio orgânico (ROCHA *et al.*, 2019; AMORIM *et al.*, 2021). Em relação aos pigmentos, destaca-se a presença de clorofila a, clorofila b e carotenoides, como a luteína, os quais conferem à biomassa elevado potencial antioxidante, podendo contribuir para a proteção contra estresse oxidativo e favorecer o desenvolvimento inicial das plantas (COVELL *et al.*, 2020; WILTSHIRE *et al.*, 2000). Devido à presença desses compostos bioativos, a biomassa de *T. obliquus* apresenta potencial para aplicação como bioestimulante agrícola, atuando na estimulação do metabolismo vegetal, na melhoria da eficiência fotossintética e no aumento da tolerância a estresses abióticos.

Entretanto, a utilização desses compostos depende de processos eficientes de ruptura celular, uma vez que a parede celular da microalga é altamente resistente e composta por uma rede complexa de carboidratos, incluindo glucosamina, galactose, manose e glicose, além de estruturas contendo celulose, glicoproteínas, biopolímeros e sílica hidratada, que atuam como barreira física à extração de metabólitos intracelulares (TAKEDA, 1996; VOIGT *et al.*, 2014).

2.3.4 *Azospirillum brasilense*

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é o processo pelo qual microrganismos especializados convertem o nitrogênio atmosférico em amônia, permitindo a absorção pelas plantas. No contexto agrícola, o aproveitamento dessa interação planta-microrganismo tem se destacado como uma importante estratégia sustentável, pois, além de favorecer o desenvolvimento vegetal, permite reduzir significativamente a dependência, os custos e os impactos ambientais associados ao uso de fertilizantes nitrogenados minerais (BARZOTTO *et al.*, 2018). Nesse sentido, a bactéria *Azospirillum brasilense* se destaca por sua capacidade de converter o nitrogênio atmosférico em amônia por meio da fixação biológica de nitrogênio, favorecendo o desenvolvimento fisiológico das plantas (BALDANI *et al.*, 1983).

A colonização intercelular de raízes de gramíneas por bactérias promotoras de crescimento pode favorecer o desenvolvimento do sistema radicular, ampliando a superfície de contato das raízes com o solo e, conseqüentemente, contribuindo para maior absorção de água e nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (MOREIRA *et al.*, 2010; CAMILIUS-NETO *et al.*, 2014). Esse efeito também foi observado em estudos clássicos com *Azospirillum*, nos quais Michiels *et al.* (1989) e Umali-Garcia *et al.* (1980) demonstraram a capacidade dessas bactérias de colonizar tecidos radiculares de gramíneas. Adicionalmente, a inoculação com essa bactéria pode modular a expressão de genes relacionados ao transporte e à assimilação de nutrientes, bem como à divisão celular e ao crescimento radicular, contribuindo para maior eficiência na aquisição nutricional pelas plantas (CAMILIUS-NETO *et al.*, 2014).

Em poáceas, a inoculação com *A. brasilense* pode favorecer o desenvolvimento vegetal por diferentes mecanismos, incluindo a fixação biológica de nitrogênio, a produção de fitormônios e o estímulo ao crescimento do sistema radicular. Em trigo, estudos indicam que a inoculação com *A. brasilense*, associada

ou não à adubação nitrogenada, pode contribuir para o crescimento e o desempenho agrônomo da cultura (GALINDO *et al.*, 2017).

Em cevada, estudos conduzidos por Silva *et al.*, (2008) demonstraram que a inoculação com *A. brasilense* promove alterações no sistema radicular sob condições de baixa disponibilidade de nutrientes, caracterizadas pela redução no número de raízes secundárias e pelo aumento do diâmetro radicular e da área de contato com o solo, resultando em maior eficiência na absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, no desenvolvimento vegetal.

3 OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de diferentes extratos de microalgas e sua interação com *Azospirillum brasilense* no tratamento de sementes de *Hordeum vulgare* L., cultivar Princesa, sobre o desenvolvimento, a produtividade de grãos e a qualidade industrial dos grãos produzidos, sob as condições edafoclimáticas de Ponta Grossa, Paraná.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar o efeito do tratamento de sementes com diferentes extratos aquosos das microalgas *Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus* e *Viridiparva madeirensis* sobre o desenvolvimento e componentes da produção de cevada, cv. Princesa.

Avaliar o efeito da inoculação das sementes de cevada, cv. Princesa, com *Azospirillum brasilense* sobre o desenvolvimento e componentes da produção.

Avaliar os efeitos do tratamento de sementes com extratos aquosos das microalgas *Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus*, *Viridiparva madeirensis* associados à inoculação com a bactéria *Azospirillum brasilense* sobre o desenvolvimento e componentes da produção de cevada, cv. Princesa.

Analisar o impacto dos tratamentos na qualidade industrial dos grãos colhidos.

4. HIPÓTESES

Existe efeito diferenciado do tratamento de sementes com extratos de microalgas *Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus* e *Viridiparva madeirensis* sobre o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultivar Princesa de cevada.

A inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* potencializa o desenvolvimento e a produtividade da cevada, cultivar Princesa.

Existe efeito aditivo da associação do tratamento de sementes com as espécies de microalgas *Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus* e *Viridiparva madeirensis* e a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* sobre o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultivar Princesa de cevada.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido na safra de inverno 2025, nas dependências da Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON), pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no município de Ponta Grossa, Paraná. A área experimental possui uma altitude média de 1.002 metros acima do nível do mar. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Cfb, indicando um tipo mesotérmico (subtropical e temperado), com umidade constante (sem período seco definido) e verões de temperaturas amenas (NITSCHKE *et al.*, 2019). O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2006), e seus atributos químicos encontram-se na Tabela 1.

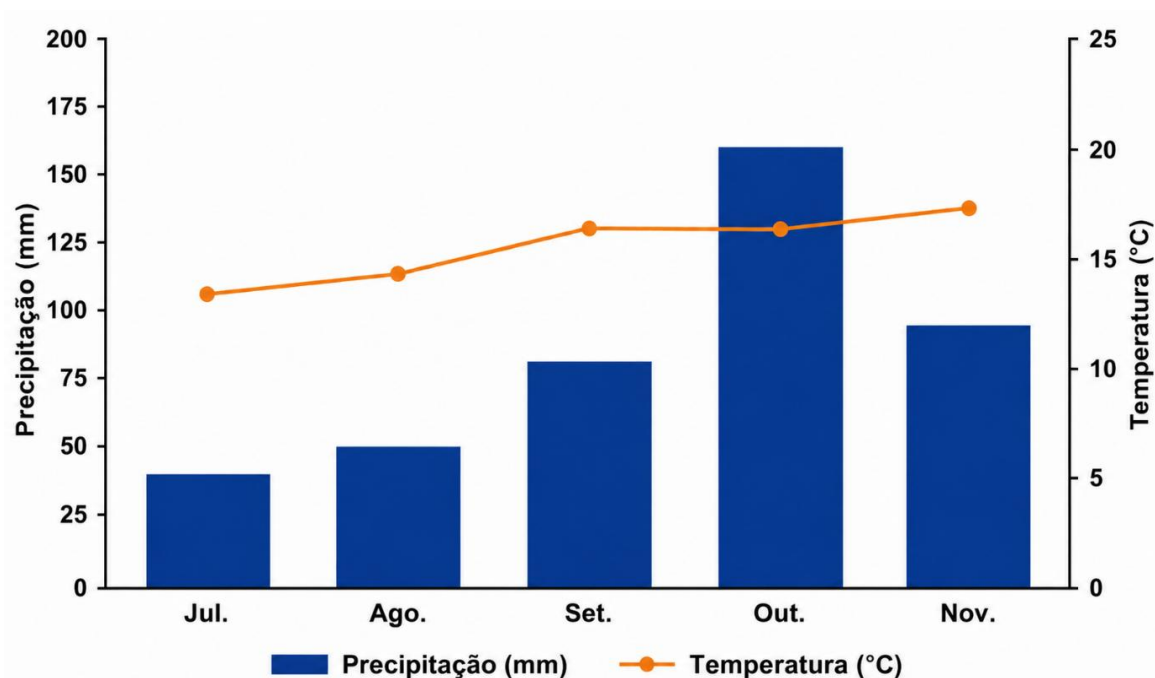
Tabela 1. Atributos químicos do solo na área experimental, camada amostrada de 0-10 cm. Ponta Grossa/PR, 2025.

Atributos Químicos										
pH (CaCl ₂)	P (mg dm ⁻³)	H+Al (cmolc dm ⁻³)	Al ⁺³ (cmolc dm ⁻³)	Ca ⁺² (cmolc dm ⁻³)	Mg ⁺² (pH 7)	K ⁺	CTC efetiva	CTC (%)	V (%)	M (g dm ⁻³)
4,72	7,79	5,63	0,17	3,20	0,55	0,57	4,49	9,95	43,41	1,70

H + Al = Solução Tampão SMP; Al, Ca e Mg trocáveis = KCl 1mol L⁻¹; P e K = Mehlich⁻¹
Fonte- Análise elaborada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita filho.

Ao longo do ciclo da cultura, que permaneceu a campo por 127 dias, a precipitação total registrada foi de 412,8 mm. Na cultura da cevada, a disponibilidade hídrica exerce papel importante ao longo do ciclo, especialmente em estádios associados à formação e ao enchimento dos grãos, podendo interferir no rendimento e na qualidade final da produção (QUEIROGA *et al.*, 2024). Nesse contexto, o volume de chuva observado atendeu à demanda hídrica da cultura. Além disso, a temperatura média do período foi de 15,39 °C, condição considerada compatível com o bom desenvolvimento da cevada. Os dados de precipitação e temperatura podem ser observados na Figura 1.

Figura 1. Média mensal de precipitação e temperaturas médias durante o ciclo da cultura da cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.



Fonte: Estação Agrometeorológica de Ponta Grossa - Mini Farm BASF S.A. Ponta Grossa/PR, 2025.

5.2 DELINEAMENTO E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

Os tratamentos seguiram um arranjo fatorial 4x2, resultando em oito tratamentos. O fator primário foi composto por quatro tratamentos de sementes (testemunha, *Arthrospira platensis*, *Tetrademus obliquus* e *Viridiparva madeirensis*, todas na dose 6 mg kg⁻¹), e o fator secundário correspondeu a presença ou ausência da inoculação com inoculante comercial contendo as estirpes AbV-5 e AbV-6 de *Azospirillum brasilense* (4 mL kg⁻¹ de sementes). O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Cada unidade experimental apresentou dimensões de 5,2 m de comprimento por 1,8 m de largura, perfazendo uma área de 9,36 m².

Utilizou-se a cultivar Princesa, desenvolvida pela Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), originada do cruzamento entre a cultivar Margret e a linhagem PFC 2007/103, apresentada ao mercado em 2023. A cultivar completa seu ciclo em aproximadamente 122 dias da emergência à maturação fisiológica, com espigamento aos 80 dias. Em relação às características agrônômicas, destaca-se a

estatura média de plantas de 75 cm. A massa de 1000 grãos (MMG) é de 41 g, com densidade de semeadura recomendada entre 180 e 200 sementes m^{-2} , e peso hectolítrico (PH) de 64,22 kg hL^{-1} . (FAPA, 2025). Em termos produtivos, a cultura apresenta rendimento médio compatível com a cultura na região Sul do Brasil, situando-se entre 4.300 e 4.500 kg ha^{-1} (CONAB, 2024). Quanto à adaptação a condições adversas, a cultivar Princesa apresenta resistência moderada ao acamamento e tolerância à geada até o final do perfilhamento, tornando-se mais sensível após esse estágio. Em relação às doenças, é resistente à ferrugem da folha e ao oídio, porém apresenta suscetibilidade moderada à mancha marrom e à mancha em rede (FAPA, 2025).

Para o dimensionamento da quantidade de sementes por parcela, considerou-se o índice de germinação do lote (88%), obtido por meio das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Com base nesse parâmetro, estimou-se a necessidade de 1.914,54 sementes por unidade experimental para assegurar a implantação de 1.684,8 plantas por parcela (9,36 m^2). Adotando-se a massa de 1000 grãos (MMG) de 44 g, a quantidade de sementes necessária por parcela correspondeu a aproximadamente 84,24 g. A densidade de semeadura adotada foi de 180 sementes m^{-2} , conforme recomendação da FAPA (2025), com o intuito de se obter uma população equivalente a 1.800.000 plantas ha^{-1} .

Foi utilizado inoculante comercial, regularizado junto ao MAPA. O produto, de formulação líquida, é composto por duas cepas de *Azospirillum brasilense* (AbV-5 e AbV-6) em iguais proporções, com densidade de 2×10^8 UFC mL^{-1} . A dose utilizada foi de 100 mL para 25 kg de sementes, segundo recomendações do fabricante.

Além da inoculação bacteriana, foram utilizados extratos aquosos obtidos a partir das massas liofilizadas das microalgas *Arthrospira platensis*, *Tetradismus obliquus* e *Viridiparva madeirensis*, fornecidas pelo Laboratório de Cultivo de Algas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As sementes utilizadas no experimento não foram submetidas a tratamento fitossanitário prévio. O tratamento com os extratos de microalgas foi realizado no dia sete de julho, por meio da aplicação de 3,3 mg de massa seca de cada microalga, previamente dissolvida em 16,5 mL de água destilada com pH corrigido para 5,5.

Após o preparo, o extrato foi borrifado sobre 550 g de sementes acondicionadas em sacos plásticos. Em seguida, realizou-se agitação manual, com

o objetivo de garantir a distribuição uniforme dos extratos sobre a superfície das sementes. Posteriormente, os sacos foram mantidos abertos, permitindo a secagem das sementes à sombra. Para o tratamento testemunha, adotou-se o mesmo procedimento, porém utilizando-se apenas 16,5 mL de água destilada com pH 5,5, sem a adição de extrato de microalgas.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada no dia 8 de julho de 2025, oito dias após o fim da data estipulada pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a região de Ponta Grossa, Paraná (21 de maio e 30 de junho) (BRASIL, 2025). Utilizou-se semeadora de parcelas da marca SEMEATO, modelo SEMINA 1, composta por nove linhas espaçadas em 20 cm, com largura total de 1,8 m, buscando-se manter a profundidade de semeadura entre 2,5 e 3,5 cm, conforme recomendações gerais para adequada implantação da cultura da cevada (GUIA COMPLETO PARA CULTIVO DE CEVADA, 2025).

A adubação de base foi realizada conforme a análise química do solo, empregando a dose de 220 kg ha⁻¹ do fertilizante N-P-K na formulação 10-20-20, e a adubação nitrogenada em cobertura foi realizada mediante a aplicação da dose de 40 kg/ha de N, utilizando-se a ureia como fonte nutricional.

Durante a condução experimental, foram realizados monitoramentos semanais para verificação de pragas e doenças. Para controle preventivo de pulgões (*Schizaphis graminum*), foi utilizado o produto Imidacloprido (Galil®) na dose de 0,2 L ha⁻¹, e para o controle de mancha marrom e mancha reticulada, foram utilizados os fungicidas azoxistrobina (Odin®) na dose de 0,75 L ha⁻¹, trifloxistrobina + proclorazoxiprol (Fusão®) na dose de 0,6 L ha⁻¹, carboxamidas (Mirevis®) na dose de 1,0 L ha⁻¹ e adjuvante à base de ácidos graxos (Aureo®) na dose de 0,3 L ha⁻¹.

Além disso, não foi realizada dessecação prévia da área experimental antes da semeadura. Dessa forma, durante toda a condução do experimento, o controle de plantas daninhas foi realizado manualmente, por meio de capinas.

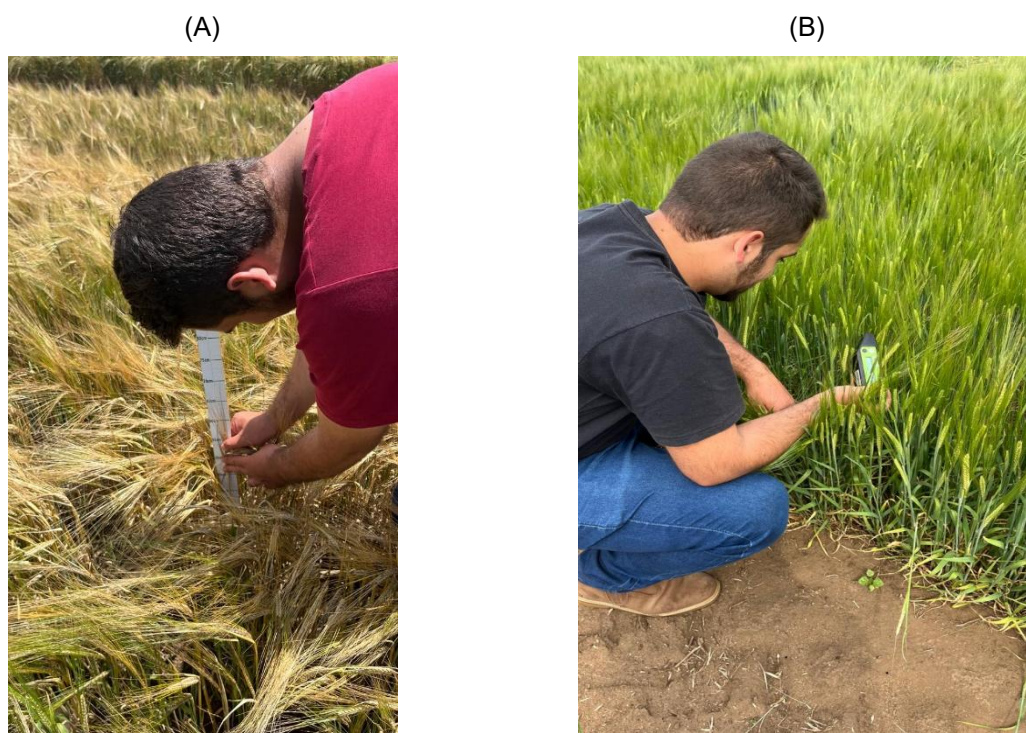
5.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis avaliadas foram: altura de plantas, índice de área foliar na fase vegetativa e reprodutiva, índice relativo de clorofila, produtividade, peso hectolitro, número de perfilhos totais e produtivos, população final, comprimento de espiga,

número de grãos por espiga, índice de palha, índice de colheita, massa de 1000 grãos, porcentagem de germinação e teor de proteína.

A altura de plantas foi mensurada 120 dias após a semeadura (DAS), com o auxílio de uma régua métrica graduada em centímetros. Para a avaliação, foram amostradas aleatoriamente cinco plantas por unidade experimental, medindo-se da base do colmo, próxima ao solo, até o ápice da espiga principal (Figura 2A).

Figura 2. Imagens da medição da altura de plantas (A) e do índice relativo de clorofila (B). Ponta Grossa/PR, 2025.



Fonte: O autor.

O índice de área foliar (IAF), foi avaliado na fase vegetativa e reprodutiva da cultura (64 e 84 DAS), utilizando o equipamento ceptômetro, modelo AccuPAR LP-80. Esse equipamento é responsável por analisar a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). Em cada unidade experimental, foram realizadas três leituras, sendo utilizada a média gerada automaticamente pelo equipamento.

Aos 90 DAS, o Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi aferido por meio do equipamento AtLEAF Blue. Foram avaliadas aleatoriamente cinco plantas por unidade experimental, sendo as medições efetuadas no terço médio da folha bandeira de cada exemplar, totalizando cinco leituras por unidade experimental (Figura 2B).

No dia doze de novembro de 2025 foi realizada a colheita do experimento, utilizando a colhedora de parcelas da marca Wintersteiger (Figura 3A). Para colheita foram utilizados sacos de TNT previamente identificados para evitar acúmulo de umidade (Figura 3B). Previamente a colheita, realizou-se a coleta das plantas presentes em 0,50 m de linha, que foram acondicionadas em sacos plásticos e, transportadas para o laboratório de Fisiologia Vegetal I no CTAGRO-UEPG.

Figura 3. Imagem da colheita (A) e das parcelas após a colheita (B). Ponta Grossa/PR, 2025



Fonte: O autor.

A área útil de colheita foi composta por sete linhas centrais da parcela, espaçadas em 0,20 m entre si e com 5,20 m de comprimento, totalizando 7,28 m².

A massa de grãos de cada unidade experimental foi quantificada em balança analítica (modelo Mark 330), enquanto a umidade e o peso hectolitro (PH) foram determinados via equipamento Agrologic AL-101. Com a umidade e produção de grãos de cada unidade experimental, estimou-se a produtividade kg ha⁻¹, com a devida correção da umidade para o padrão de 13%.

A partir das plantas coletadas nos 0,50 m de linha, determinou-se o número de perfilhos totais e de perfilhos produtivos, além da estimativa da população final de

plantas de cada unidade experimental. Na sequência, dez plantas foram selecionadas ao acaso por unidade experimental, separando-se as espigas da parte aérea. Mediu-se o comprimento de 10 espigas (excluindo as aristas) e contabilizou-se o número de grãos por unidade. Por fim, realizou-se a debulha manual e o peneiramento para separar os grãos dos resíduos.

Os grãos obtidos das espigas foram reunidos aos demais grãos das dez plantas avaliadas, enquanto a palha e as aristas das espigas foram adicionadas à palhada das respectivas plantas. Na sequência, o material foi encaminhado para a estufa de ventilação forçada de ar, marca Marconi, modelo MAO35/1980/HOR, com temperatura controlada a 60 °C, até atingir massa seca constante. Após a secagem, os grãos e a palha foram pesados separadamente, permitindo a obtenção da massa de grãos e da massa de palha, utilizadas para o cálculo do índice de palha e do índice de colheita.

A determinação da massa de mil grãos baseou-se nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). O procedimento consistiu na contagem manual e na pesagem individual de oito subamostras de 100 grãos em balança de precisão, utilizando-se os valores obtidos para o cálculo da estimativa final.

Para a determinação do teor de nitrogênio total, amostras de 15 gramas de grãos de cevada foram previamente moídas em moinho multiuso modelo NL-227-01, pesando 1 g de grãos moídos utilizando balança de precisão. Para a determinação do nitrogênio total, procedeu-se à digestão sulfúrica conforme o método de Kjeldahl, no qual a matéria orgânica da amostra é decomposta em meio ácido sob aquecimento, promovendo a conversão do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal. Posteriormente, o teor de nitrogênio foi quantificado por meio de destilação seguida de titulação (MALAVOLTA, 2006).

A proteína bruta foi determinada indiretamente a partir da quantificação do nitrogênio total, empregando-se o fator de conversão 6,25. Esse fator decorre da relação entre a composição média das proteínas e seu teor aproximado de nitrogênio, considerado em torno de 16%, permitindo converter o nitrogênio total em proteína bruta pela expressão $N \times 6,25$ (FAO, 2003).

Para o teste de germinação, inicialmente, as amostras foram homogeneizadas e separadas, sendo utilizados apenas grãos inteiros para as análises, conforme metodologia adaptada da Analytica European Brewery Convention (EBC, 2010). Os grãos foram dispostos em placas de Petri contendo papel-filtro umedecidos com 4 mL

de água destilada. As placas foram mantidas à temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante um período de 72 horas. As avaliações foram realizadas em intervalos de 24, 48 e 72 horas, contabilizando-se os grãos germinados, caracterizados pela emissão de radícula. A partir desses dados, foi determinada a energia germinativa total, expressa em porcentagem.

Os dados obtidos foram submetidos à verificação dos pressupostos da análise de variância, avaliando-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogenicidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando observada interação significativa entre os fatores estudados, procedeu-se ao desdobramento das interações, e as médias foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK), a 5% de probabilidade, as análises foram realizadas utilizando o programa SISVAR.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância indicou efeito significativo da inoculação com *A. brasilense* para população de plantas (POP) e o fator espécies de microalgas influenciou significativamente o índice de área foliar na fase vegetativa (IAFv). Os coeficientes de variação oscilaram entre 2,85% e 15,79% (Tabelas 2), o que segundo Pimentel-Gomes (2009), valores com coeficiente de variação de até 10% indica boa precisão experimental; valores entre 10 a 20% são ainda considerados adequadas para experimentos a campo.

Tabela 2- Resumo da análise de variância para as variáveis população final de plantas (POP), índice de área foliar vegetativo (IAFv), índice de área foliar reprodutivo (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC) e altura de plantas (AP) de cevada, cv. Princesa, em função do tratamento de sementes com diferentes microalgas, associado ou não à inoculação com *Azospirillum brasilense*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causa da Variação	GL	QM				
		POP	IAFv	IAFr	IRC	AP (cm)
Blocos	4	4,59 x 10 ¹⁰ ns	0,04 ^{ns}	0,23 ^{ns}	2,92 ^{ns}	11,67 ^{ns}
Inoculação	1	6,05 x 10 ¹¹ *	0,28 ^{ns}	0,12 ^{ns}	3,67 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Microalgas	3	3,33 x 10 ¹⁰ ns	1,69*	0,42 ^{ns}	5,13 ^{ns}	19,77 ^{ns}
Inoculação x Microalgas	3	9,78 x 10 ¹⁰ ns	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	4,40 ^{ns}	3,59 ^{ns}
Resíduo	28	6,64 x 10 ¹⁰	0,23	0,19	3,00	7,33
CV (%)		15,79	11,77	11,45	2,85	4,09
Média		1.633.000	4,11	3,84	60,77	66,26

ns = não significativo; *=significativo a 5% de probabilidade; CV= coeficiente de variação.

Fonte: O autor.

A população média observada foi de 1.633.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 5), o que representa um valor inferior em 9,28% em relação à população recomendada pela FAPA para a cultivar Princesa, estabelecida em 1.800.000 plantas ha⁻¹. Embora tenha sido realizado teste de germinação previamente à semeadura, com o objetivo de ajustar a quantidade de sementes e atingir a população desejada, a população ficou abaixo do recomendado, possivelmente em função de fatores associados à emergência, estabelecimento inicial das plântulas e condições de campo após a semeadura. A inoculação das sementes de cevada com a bactéria *A. brasilense* aumentou em 16,3% a população de plantas, correspondendo 246.000 plantas ha⁻¹ a mais em relação a não inoculação (Tabela 5).

Esse incremento populacional mediado pela inoculação com *A. brasilense* decorre da capacidade dessa rizobactéria em sintetizar e liberar fitormônios na rizosfera, com destaque para as auxinas. Ao estimularem a divisão celular e o

desenvolvimento radicular inicial, tais compostos elevam o vigor e a velocidade de emergência das plântulas. Esse fator favorece os índices de germinação e a sobrevivência das plântulas em campo, consolidando um maior estabelecimento da população de cevada. De acordo com Taiz *et al.* (2017), o estímulo hormonal precoce favorece o estabelecimento rápido do sistema radicular, conferindo maior tolerância a estresses edafoclimáticos iniciais no campo, o que reduz significativamente a taxa de mortalidade de plântulas.

A média geral obtida para o índice de área foliar na fase reprodutiva foi de 3,84 (Tabela 2), valor 3,23% maior que o observado por Rodrigues *et al.* (2022), que, ao avaliarem cultivares brasileiras de cevada, relataram IAF com média aproximada de 3,72. Dessa forma, embora os tratamentos não tenham influenciado significativamente o IAFr, a média obtida no presente trabalho esteve dentro da faixa observada para a cultura da cevada em estágio reprodutivo.

O índice relativo de clorofila (IRC) médio obtido foi de 60,77 (Tabela 2). Para viabilizar a comparação com a literatura, esse valor foi convertido para o índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), correspondendo a 50,10. Utilizando o índice SPAD em suas avaliações na cultura da cevada, Pies *et al.* (2017) encontraram valores entre 40,74 e 48,85, os quais se mostraram inferiores à média observada neste trabalho (Tabela 2). O IRC serve como indicador indireto do teor de nitrogênio na planta, uma vez que esse nutriente está diretamente relacionado à síntese de clorofila, pigmento mais abundante nas folhas e essencial ao processo fotossintético. Dessa forma, a quantificação do IRC permite inferir o estado nutricional nitrogenado e a atividade fotossintética do vegetal. (MALAVOLTA, 2006; FIOREZE, 2012; TAIZ *et al.*, 2017).

A altura média de plantas (AP) foi de 66,26 cm, valor 13,19% inferior ao informado para a cultivar (75 cm) por sua detentora (FAPA, 2025). A redução na altura de plantas observada pode estar associada à resposta diferencial da cultura aos compostos bioativos presentes nos extratos utilizados. Embora substâncias como auxinas, citocininas e giberelinas estejam relacionadas aos processos de divisão, expansão, alongamento e diferenciação celular, conforme descrito por Taiz *et al.* (2021). Entretanto, valores esses demonstram que, em condições de campo, nem sempre é possível chegar aos valores indicados pela detentora.

A análise de variância indicou efeito significativo somente do fator espécies de microalgas para as variáveis comprimento de espiga (CE) e o índice de palha (IP).

Os coeficientes de variação variaram entre 3,50 para NGE e 16,71% para NPP (Tabelas 3), valores esses considerados adequados para experimentos a campo (Pimentel-Gomes, 2009), evidenciando controle eficiente do erro experimental e da variação aleatória.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, verifica-se que o fator microalgas exerceu efeito significativo sobre o comprimento de espiga, o índice de palha e o índice de colheita. Por outro lado, as variáveis número de perfilhos totais, número de perfilhos produtivos e número de grãos por espiga não apresentaram resposta significativa aos fatores avaliados, demonstrando que os tratamentos não interferiram de forma expressiva nesses componentes de produção.

Tabela 3- Resumo da análise da variância para as variáveis número de perfilho total (NPT), número de perfilhos produtivos (NPP), número de grãos por espiga (NGE), comprimento de espiga (CE), índice de palha (IP) e índice de colheita (IC) em função de diferentes tipos de microalgas via tratamento de sementes associadas ou não com *Azospirillum brasilense* (AZM). Ponta Grossa/PR, 2025.

Causa da Variação	GL	QM					
		NPT	NPP	NGE	CE (cm)	IP (%)	IC (%)
Blocos	4	0,69 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,24 ^{ns}	8,74 ^{ns}	8,72 ^{ns}
Inoculação	1	0,86 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Microalgas	3	0,34 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,37*	21,30*	20,24 ^{ns}
Inoculação x Microalgas	3	0,05 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,38 ^{ns}	0,09 ^{ns}	4,77 ^{ns}	4,46 ^{ns}
Resíduo	28	0,48	0,70	0,94	0,07	4,00	4,63
CV (%)		13,5	16,71	3,50	3,62	3,89	4,31
Média		5,11	5,01	27,71	7,58	51,43	48,57

Notas: ns = não significativo; *=significativo a 5% de probabilidade; CV= coeficiente de variação.

Fonte: O autor.

Para as variáveis número de perfilhos totais (NPT) e número de perfilhos produtivos (NPP), não foram observados efeitos significativos dos fatores avaliados. Assim, a interpretação foi realizada com base nas médias gerais, que foram de 5,11 para NPT e 5,01 para NPP (Tabela 3), valores superiores à média de 2,7 perfilhos relatada por Souza *et al.* (2019) para a cultura da cevada. O perfilhamento da cevada é influenciado pela interação entre o potencial genético da cultivar, a densidade de semeadura, a disponibilidade de nitrogênio e as condições ambientais, especialmente suprimento hídrico, temperatura e fotoperíodo. Em cereais de inverno, o perfilhamento é definido principalmente nas fases iniciais do ciclo, quando a emissão e a sobrevivência dos perfilhos dependem da disponibilidade de luz, água, nutrientes e espaço entre plantas (MUNDSTOCK, 1999).

O número de grãos por espiga (NGE) não foi influenciado significativamente pelos fatores avaliados, apresentando média de 27,71 (Tabela 3), valor 21,54% superior ao observado por Zilio *et al.* (2017), que relataram média de 22,80 para as cultivares BRS Quaranta e BRS Korbel. O número de grãos por espiga, componente essencial do rendimento, é regulado pela relação fonte-dreno. De acordo com Taiz *et al.* (2017), a sustentação das estruturas reprodutivas depende da capacidade fotossintética e da eficiência da planta em translocar assimilados. Desse modo, o vigor das folhas (fonte) durante o período crítico de definição do número de flores viáveis é o fator determinante para a consolidação e o enchimento dos grãos (dreno) na espiga.

O índice de colheita (IC) também não foi influenciado pelos tratamentos, apresentando média de 48,57% (Tabela 3). A média para o índice de palha (IP) foi de 51,43%, indicando que maior proporção fotossintatos foram destinados à produção de palha (Tabela 3). O IC médio observado neste estudo foi superior ao relatado por Shivhare *et al.* (2020), que, avaliando cultivares de cevada sob diferentes épocas de semeadura, observaram valores entre 39,20 e 41,57%. Ao confrontar com os dados da literatura, constata-se que, a despeito da maior alocação de fotossintatos para a palhada, o valor médio do IC obtido neste experimento evidenciou alta eficiência.

Os coeficientes de variação oscilaram de 1,05 a 7,19% (Tabela 4), sendo classificados como adequados para experimentos conduzidos em campo, conforme Pimentel-Gomes (2009). Esses valores indicam boa precisão experimental, com baixo efeito do erro experimental e da variação aleatória sobre os resultados obtidos.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4, observou-se interação significativa entre os fatores microalgas e inoculação com *Azospirillum brasilense* para as variáveis massa de 1000 grãos e teor de proteína dos grãos. Esse comportamento indica que a resposta dessas variáveis dependeu da combinação entre o extrato de microalga utilizado e a presença ou ausência da inoculação bacteriana. Em contrapartida, produtividade de grãos, peso hectolítrico e germinação não apresentaram efeito significativo dos tratamentos.

Tabela 4- Resumo da análise da variância para as variáveis produtividade (PROD), peso hectolitro (PH), massa de 1000 grãos (MMG), germinação (G) e proteína (TP) em função de diferentes tipos de microalgas via tratamento de sementes associadas ou não com *Azospirillum brasilense* (AZM). Ponta Grossa/PR, 2025.

Causa da Variação	GL	QM				
		PROD kg ha ⁻¹	PH kg hL ⁻¹	MMG (g)	G (%)	TP (%)
Blocos	4	69620,99 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,56 ^{ns}	7,50 ^{ns}	0,64 ^{ns}
Inoculação	1	78800,80 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Microalgas	3	163190,36 ^{ns}	0,70 ^{ns}	2,48 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Inoculação x Microalgas	3	102609,24 ^{ns}	0,29 ^{ns}	3,54*	9,22 ^{ns}	3,69*
Resíduo	28	215642,63 ^{ns}	0,43	0,98	4,50	0,72
CV (%)		7,19	1,05	2,28	2,20	6,26
Média		6.458,13	62,77	43,35	96,63	13,53

Notas: ns = não significativo; *= significativo a 5% de probabilidade; CV = coeficiente de variação.

Fonte: O autor.

A produtividade de grãos média foi de 6.458,13 kg ha⁻¹ (Tabela 4). Esse resultado indica que o tratamento de sementes com microalgas e a inoculação com *A. brasilense* não promoveram alterações consistentes na produtividade final da cultura. No entanto, a média obtida demonstra bom desempenho agrônômico da cultivar Princesa nas condições de Ponta Grossa/PR, ficando 38,56% acima da média estadual de 4.661 kg ha⁻¹ e 48,19% acima da produtividade nacional de 4.358 kg ha⁻¹ (CONAB, 2026). Esse resultado pode ser atribuído às condições climáticas adequadas ao longo do ciclo da cultura, uma vez que a precipitação total de 412,8 mm esteve dentro da faixa exigida pela cevada, de 400 a 650 mm, conforme FAO (1999), e a temperatura média de 15,39°C ficou entre a faixa ótima de 15 a 18°C para o desenvolvimento da cultura (CARVALHO *et al.*, 2022; QUEIROGA *et al.*, 2024). Em condições ambientais favoráveis, o potencial genético da cultivar tende a ser plenamente expresso, reduzindo o espaço para que bioestimulantes promovam incrementos adicionais.

O peso hectolitro (PH) não foi influenciado significativamente pelos fatores avaliados, apresentando média de 62,77 kg hL⁻¹ (Tabela 4). Embora o valor observado tenha ficado 2,26% abaixo do indicado pela FAPA (2025) para a cultivar Princesa, de 64,22 kg hL⁻¹, a média obtida ainda demonstra qualidade física adequada, pois supera o padrão mínimo de 58 kg hL⁻¹ exigido pela indústria cervejeira (CAPAL, 2023).

A germinação dos grãos não foi influenciada pelos tratamentos, apresentando média de 96,63% (Tabela 4). Esse resultado atende ao padrão mínimo de 95% estabelecido pela Portaria nº 691/1996 do MAPA para cevada destinada à malteação

(MAPA 2025). A germinação uniforme favorece a ativação metabólica homogênea dos grãos e a produção coordenada de enzimas hidrolíticas, como α e β -amilases, proteases e glucanases, responsáveis pela degradação das reservas do endosperma e pela obtenção de extrato fermentável de qualidade (HUGHES; BAXTER, 2001; KUNZE, 2006; TANCREDO, 2015).

O maior índice de área foliar avaliado na fase vegetativa (IAFv) foi denotado quando do tratamento de sementes com *A. platensis* (4,61), não diferindo, porém, da testemunha, tendo sido superior em 26,65% ao tratamento de sementes com *V. madeirensis* e 16,12% ao obtido com o tratamento de sementes com *T. obliquus* (Tabela 5).

Com uma média geral de 4,11, a variável apresentou-se 72,69% superior ao valor de 2,38 observado por Rosso *et al.* (2022). Esse comportamento evidencia o notável vigor vegetativo e o alto potencial de crescimento da cv. Princesa, justificando o patamar elevado alcançado pela cultura mesmo na ausência de efeitos contrastantes entre os tratamentos. Apesar do tratamento de sementes com as espécies *V. madeirensis* e *T. obliquus* terem reduzido o IAFv (Tabela 5).

Tabela 5- População final de plantas (POP) índice de área foliar (IAFv), comprimento de espiga (CE) e índice de palha (IP) de cevada, cv. Princesa, em função do tratamento de sementes com diferentes espécies de microalgas em associação ou não com *Azospirillum brasilense*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Tratamentos	POP (plantas ha ⁻¹)	IAFv	CE (cm)	IP (%)
Inoculação com <i>A. brasilense</i>				
Sem inoculação	1.510.000 b*	4,20 a	7,64 a	51,33 a
Com inoculação	1.756.000 a	4,03 a	7,53 a	51,53 a
Microalgas				
Testemunha	1.680.000 a	4,23 ab	7,76 a	49,85 c
<i>A. platensis</i>	1.550.000 a	4,61 a	7,31 b	52,19 ab
<i>V. madeirensis</i>	1.662.000 a	3,64 c	7,61 a	50,60 bc
<i>T. obliquus</i>	1.640.000 a	3,97 bc	7,65 a	53,05 a
Média Geral	1.633.000,00	4,11	7,58	51,43

*Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor.

O menor valor para a variável comprimento de espiga (CE) foi observado quando do tratamento de sementes com *A. platensis*, que diferiu estatisticamente da testemunha e dos tratamentos com as demais microalgas, onde apresentou uma redução de 4,10% em relação a *V. madeirensis* e de 4,65% em relação a *T. obliquus*. No entanto, todos os valores para todos os níveis do fator espécies de microalgas (Tabela 5) foram superiores a faixa de 5,89 a 6,93 cm relatada por Shihhare *et al.* (2020) para a variável em questão, em diferentes cultivares de cevada cervejeira.

A redução observada no tratamento com *A. platensis* pode ser explicada pela competição interna por nutrientes e energia. Conforme Taiz *et al.* (2017), o desenvolvimento dos diferentes órgãos da planta depende da força relativa dos drenos em crescimento e da disponibilidade de fotoassimilados ao longo do ciclo, uma vez que órgãos vegetativos e reprodutivos podem competir pelos mesmos recursos em fases específicas do desenvolvimento.

O índice de palha (IP) foi influenciado significativamente pelo fator microalgas, apresentando média geral de 51,43%, valor inferior aos relatados por Shihhare *et al.* (2020), que observaram índices entre 58,43% e 60,80% ao avaliarem diferentes épocas de semeadura na cultura da cevada.

O tratamento com *T. obliquus* propiciou o maior IP, mostrando-se superior à testemunha (6,40%) e a *V. madeirensis* (4,84%) com significância estatística. Em contrapartida, não houve diferença significativa entre *T. obliquus* e *A. platensis* (1,65%). Adicionalmente, o comportamento de *A. platensis* foi estatisticamente semelhante ao observado para *V. madeirensis*.

A *T. obliquus* é caracterizada pela presença de proteínas, lipídios, pigmentos, ácidos graxos e outros compostos bioativos, pode estimular processos metabólicos relacionados ao crescimento vegetativo (ROCHA *et al.*, 2019; AMORIM *et al.*, 2021). No entanto, o aumento do índice de palha deve ser interpretado com cautela, pois maior acúmulo de biomassa vegetativa nem sempre representa maior eficiência produtiva, especialmente quando não há aumento proporcional na massa de grãos.

Considerando a interação significativa entre os extratos de microalgas e a inoculação com *Azospirillum brasilense* para a massa de 1000 grãos, realizou-se o desdobramento dos fatores, apresentado na Tabela 6. Observa-se que a resposta da massa de 1000 grãos variou conforme a espécie de microalga utilizada e a presença ou ausência da inoculação bacteriana, indicando que o efeito dos extratos não ocorreu de forma isolada, mas dependeu da combinação com *A. brasilense*.

Tabela 6- Desdobramento do fator espécies de microalgas dentro do fator inoculação para a variável massa de 1000 grãos (MMG) de cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.

Tratamentos Microalgas	Sem inoculação(SI)	Com inoculação(CI)
Testemunha	43,44 a	43,08 ab
<i>A. platensis</i>	43,94 a	41,92 b
<i>V. madeirensis</i>	43,94 a	44,20 a
<i>T. obliquus</i>	42,80 a	43,50 a
Média	43,53	43,18

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de SNK ao nível de 5% de probabilidade.

No desdobramento do fator tratamento de sementes com extratos aquosos de microalgas dentro do nível sem inoculação com *A. brasilense* (SI), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com microalgas e a testemunha (Tabela 6). Esse resultado indica que, na ausência da inoculação bacteriana, os extratos de microalgas não promoveram alterações significativas para a variável analisada.

Por outro lado, no desdobramento do fator microalgas dentro do nível com inoculação com *A. brasilense* (CI), observou-se resposta diferenciada entre os tratamentos para massa de 1000 grãos. Quando associada à inoculação, *A. platensis* diferiu estatisticamente dos tratamentos com *V. madeirensis* e *T. obliquus*, apresentando valores inferiores em 3,76% e 5,39%, entretanto, não diferiu significativamente da testemunha inoculada. De modo geral, a média da massa de 1000 grãos para o fator secundário sem inoculação foi de 43,53 g, enquanto nos tratamentos com inoculação foi observada média de 43,18 g, indicando leve redução da variável na presença de *A. brasilense* (Tabela 6).

Esses valores estão, respectivamente, 6,17% e 5,32% acima do apresentado pela detentora da cultivar (FAPA) que determina um valor de 41 g. Dessa forma, embora a inoculação tenha reduzido numericamente a MMG no tratamento com *A. platensis*, os valores médios observados ainda se mantiveram dentro de padrão satisfatório para a cultivar avaliada.

Segundo Taiz *et al.* (2017), o enchimento de órgãos de reserva depende do equilíbrio entre a atividade das fontes fotossintéticas, o transporte pelo floema e a força dos drenos em crescimento. Nesse sentido, mesmo que determinado tratamento favoreça o crescimento vegetativo ou altere o metabolismo da planta, esse efeito somente resultará em maior massa de grãos se houver adequada translocação e aproveitamento dos assimilados pelos grãos.

O comportamento observado para *A. platensis* pode estar relacionado ao fato de essa espécie ser uma cianobactéria procarionte, diferindo taxonomicamente e bioquimicamente das microalgas verdes *T. obliquus* e *V. madeirensis*. Essa diferença pode refletir em composição distinta de metabólitos, pigmentos e compostos sinalizadores presentes no extrato, influenciando de forma específica a alocação de assimilados para os grãos.

Para o teor de proteína dos grãos, a interação significativa entre os extratos de microalgas e a inoculação com *Azospirillum brasilense* também exigiu o

desdobramento dos fatores, conforme apresentado na Tabela 7. Os resultados indicam que o teor de proteína variou de acordo com a espécie de microalga utilizada e com a presença ou ausência da inoculação, demonstrando que a resposta qualitativa dos grãos foi influenciada pela combinação entre os tratamentos. Houve aumento de 6,78% quando da inoculação com *A. brasilense* associada à microalga *A. platensis*. Já quando da não inoculação o menor teor de proteína foi quando da microalga *A. platensis*, tendo sido 15,75% inferior ao tratamento de sementes com *T. obliquus*, a qual não diferiu da testemunha.

Tabela 7- Desdobramento do fator espécies microalgas dentro do fator inoculação para a variável teor de proteína de grãos de cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.

Microalgas	Sem inoculação (SI)	Com inoculação (CI)
Testemunha	13,63 ab*	13,19 b
<i>A. platensis</i>	12,70 b	14,15 a
<i>V. madeirensis</i>	13,48 ab	13,20 b
<i>T. obliquus</i>	14,70 a	13,22 b
Média	13,63	13,44

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de SNK ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O autor.

No desdobramento do fator tratamento de sementes com extratos de diferentes espécies de microalgas (MA), dentro do nível sem inoculação (SI), observou-se que a aplicação de *T. obliquus* resultou em um teor de proteína (TP) superior nos grãos de cevada (cv. Princesa) em comparação ao valor obtido quando do tratamento de sementes com a microalga *A. platensis*, correspondendo ao aumento de 13,61%.

Quando do desdobramento do fator tratamento de sementes com extratos aquosos de diferentes microalgas (MA) dentro do nível com inoculação (CI), verificou-se efeito aditivo positivo na associação entre o tratamento de sementes com o extrato aquoso da microalga *A. platensis* e o inoculante *A. brasilense*. Este tratamento (associação MA*CI) proporcionou incrementos de 6,78; 6,71 e 6,57% no teor proteico em relação aos valores apresentados quando da testemunha inoculada (*A. brasilense*), e às associações com *V. madeirensis* e com *T. obliquus*, respectivamente (Tabela 7). Entretanto, valores de TP acima de 12% não são desejáveis para a malteação.

No desdobramento da interação, as sementes tratadas com extratos aquosos de microalgas na ausência de inoculação (MA*SI) apresentaram teor médio de proteína de 13,63%, ao passo que, quando associadas à inoculação (MA*CI), os

valores foram 1,39% inferiores. Independentemente do tipo de extrato de microalga ou do nível de inoculação adotado, todas as médias superaram o limite exigido pela indústria cervejeira. De acordo com a Portaria nº 691/1996 do MAPA, o teor máximo permitido de proteína para essa finalidade é de 12%, o que torna os resultados obtidos inadequados para indústria cervejeira.

Essa resposta pode estar relacionada à composição de *A. platensis*, cianobactéria reconhecida por apresentar elevados teores de proteínas, aminoácidos, pigmentos, vitaminas, minerais e compostos antioxidantes, os quais podem influenciar o metabolismo vegetal e o acúmulo de compostos nitrogenados nos grãos (CIFERRI, 1983; BECKER, 2007; HABIB *et al.*, 2008). Além disso, *A. brasilense* pode favorecer o crescimento vegetal por meio da fixação biológica associativa de nitrogênio, produção de fitormônios e estímulo ao desenvolvimento radicular, fatores que podem contribuir para maior absorção de água e nutrientes (DÖBEREINER; KRIEG; TARRAND, 1978; BASHAN, 2010; HUNGRIA, 2011).

Outro fator que pode ter contribuído para o elevado teor de proteína nos grãos foi o manejo nutricional adotado no experimento, especialmente a aplicação de nitrogênio em cobertura. Como o nitrogênio é constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos e clorofila, sua disponibilidade durante o ciclo da cultura pode favorecer a síntese de compostos nitrogenados e o posterior acúmulo de proteína nos grãos (MALAVOLTA, 2006; TAIZ *et al.*, 2017). Dessa forma, além dos efeitos dos tratamentos avaliados, a adubação nitrogenada pode ter contribuído para os valores observados de proteína.

7 CONCLUSÕES

Os extratos aquosos de microalgas influenciaram variáveis morfofisiológicas da cultura, com destaque para *A. platensis*, que proporcionou maior índice de área foliar na fase vegetativa, e *T. obliquus*, que resultou em maior índice de palha. Entretanto, esses efeitos não refletiram em aumento significativo da produtividade de grãos, a qual foi muito acima da média nacional (6.458,13 kg ha⁻¹).

A inoculação das sementes de cevada, cv. Princesa, com *A. brasilense* aumentou em 16,3% a população de plantas, correspondendo à diferença de 246.000 plantas ha⁻¹.

Houve aumento de 6,78% no teor de proteína dos grãos colhidos quando da inoculação com *A. brasilense* associada à microalga *A. platensis*. Na ausência de inoculação, o teor de proteína quando do tratamento de sementes de cevada, cv. Princesa, com a microalga *A. platensis* foi 15,75% inferior ao apresentado quando do tratamento com *T. obliquus*.

A qualidade dos grãos requerida pela indústria foi atendida para as variáveis peso hectolítrico (62,67 kg hL⁻¹) e germinação (96,63%). No entanto, o teor de proteína ultrapassou o limite de 12% indicado à malteação, atingindo 13,53%.

De modo geral, os resultados demonstram que o tratamento de sementes com extratos de microalgas e *Azospirillum brasilense* apresenta potencial para modular respostas morfofisiológicas e qualitativas da cevada, indicando que se pode reduzir a adubação nitrogenada quando da sua utilização, considerando, para sua recomendação o objetivo de produção, especialmente quando o destino dos grãos é a indústria cervejeira.

8 REFERÊNCIAS

- ALVES, A. C.; MUNDSTOCK, C.; MEDEIROS, J. de D.. Sistema vascular e controle do desenvolvimento de perfilhos em cereais de estação fria. **Brazilian Journal of Botany**, v. 23, p. 59-67, 2000.
- AMORIM, M. L. et al. Microalgae proteins: production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 61, n. 12, p. 1976-2002, 2021.
- ÁRIAS, G. A cultura e pesquisa da cevada no Brasil. **Avena, Cebada y Triticale en el Cono Sur**, v. 37, p. 39, 1993.
- BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D.; SELDIN, L.; DÖBEREINER, J. Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov., sp. nov., a root-associated nitrogen-fixing bacterium. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, v. 36, n. 1, p. 86-93, 1986.
- BARZOTTO, G. R.; LIMA, S. F.; SANTOS, O. F.; PIATI, G. L.; WASSOLOWSKI, C. R. Adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* em cevada. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2018.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 108, p. 77-136, 2010. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)08002-8.
- BECKER, E. W. Micro-algae as a source of protein. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 207-210, 2007.
- BUENO, J. C. M.; JADOSKI, S. O.; POTT, C. A.; MACIEL, C. D. G. Riscos de déficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento da cevada em Guarapuava-PR, em diferentes condições climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, p. 1-18, 2020.
- CABRAL, S. K. O.; SANTOS, A.; FREITAS, M. B.; KULCHESKI, F. R.; STADNIK, M. J. Avaliação do potencial biofertilizante de *Viridiparva madeirensis* no crescimento e na regulação molecular do feijoeiro. In: FÓRUM DE FERTILIZANTES DE MATRIZ ORGÂNICA E SIMPÓSIO DE BIOFERTILIZANTES, 2025, Campinas. **Anais Conexão Abisolo**. Piracicaba: **Pecege Editora**, 2025. p. 10-11.
- CAIERÃO, E. Cevada: história e evolução. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. (ed.). Origem e evolução de plantas cultivadas. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2008. p. 289-311.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 383, p. 3-41, 2014.

CAMILIUS-NETO, D. et al. Dual RNA-seq transcriptional analysis of wheat roots colonized by *Azospirillum brasilense* reveals up-regulation of nutrient acquisition and cell cycle genes. **BMC Genomics**, London, v. 15, art. 378, 2014.

CAPAL COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL. Relatório de sustentabilidade 2022. **CAPAL**, 2023. Disponível em: <https://www.capal.coop.br/pdf/arquivo-2023-06-30-13-29-24.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2026.

CARVALHO, B. F. et al. Influência da temperatura na germinação da cevada. **Jornada Científica e Tecnológica e Simpósio de Pós-Graduação do IFSULDEMINAS**, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/161>. Acesso em: 23 jan. 2026.

CIFERRI, O. Spirulina, the edible microorganism. **Microbiological Reviews**, Washington, v. 47, n. 4, p. 551-578, 1983.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/25: 12º levantamento. Brasília, DF: **Conab**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 4 mar. 2026.

COVELL, L. et al. Alternative fertilizer-based growth media support high lipid contents without growth impairment in *Scenedesmus obliquus* BR003. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, Berlin, v. 43, n. 6, p. 1123-1131, 2020.

DE MORI, C.; MINELLA, E. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2012. 28 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/969146>. Acesso em: 17 nov. 2025.

DERAL, DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. Prognóstico Cevada - Outubro de 2020. Curitiba: **Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná**, 2020. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-12/Prog%C3%B3stico%20Cevada%20-%202020.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

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

EMBRAPA. Cevada na alimentação animal: programa 15: Sul. Brasília, DF: **Embrapa**, 2021.

FAO. FAOSTAT Analytical Brief 121: agricultural production statistics 2010-2024. Rome: **FAO**, 2025. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/f9b4475e-6e01-4f64-879c-f2606fed2d4b>. Acesso em: 2 mar. 2026.

FAO. Food energy: methods of analysis and conversion factors. Rome: **FAO**, 2003. 87 p. (**FAO Food and Nutrition Paper**, 77).

FAPA. Recomendações técnicas para a cultura da cevada. Ponta Grossa: **Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária**, 2025. Disponível em: <https://www.agraria.com.br/sementes>. Acesso em: 26 jan. 2026.

FERREIRA, C. Cultivares de cevada semeadas em espaçamentos simples e pareado combinados com doses de adubo e densidade de semeadura. 2015. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - **Universidade Estadual de Ponta Grossa**, Ponta Grossa, 2015.

IOREZE, S. L.; RODRIGUES, J. D. Efeito da densidade de semeadura e de reguladores vegetais sobre os caracteres morfofisiológicos da folha bandeira do trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p. 89-96, 2012. DOI: 10.5039/agraria.v7i1a1594.

FONTANA, A. C.; FURONI, G. C.; MELO, A. M. R.; SABUNDJIAN, M. T. A cultura da cevada. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, Itapeva, n. 1, maio 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (**FAO**). Barley: post-harvest operations. **FAO**, 1999. Disponível em: <https://www.fao.org/4/s2022e/s2022e00.htm#Contents>. Acesso em: 16 mar. 2026.

GALINDO, F. et al. Agronomic efficiency of Azospirillum brasilense inoculation in wheat crops. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 4, p. 399-409, 2017.

GALINDO, F. et al. Extrato de algas como bioestimulante na nutrição e produtividade do trigo irrigado na região de Cerrado. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n. 1, p. 130-140, 2019.

GARCIA, T. S.; BOCK, C.; BAGATINI, I. L.; ARCHANJO, N. C. P.; SANT'ANNA, C. L.; VIEIRA, A. A. H. Hidden diversity in Selenastraceae (Sphaeropleales, Chlorophyceae): molecular phylogeny revealed a nannoplanktonic species, with the description of Viridiparva madeirensis gen. et sp. nov. **Algal Research**, v. 68, article 102886, 2022.

GENTSCHEVA, G. et al. Application of Arthrospira platensis for medicinal purposes and the food industry: a review of the literature. **Life**, Basel, v. 13, n. 3, art. 845, 2023. DOI: 10.3390/life13030845.

GHARIB, F. L. et al. Impact of Chlorella vulgaris, Nannochloropsis salina, and Arthrospira platensis as bio-stimulants on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity. **Scientific Reports**, London, v. 14, art. 1398, 2024.

GUEDES, A. C. et al. Fatty acid composition of several wild microalgae and cyanobacteria, with a focus on eicosapentaenoic, docosahexaenoic and α -linolenic acids for eventual dietary uses. **Food Research International**, Amsterdam, v. 44, n. 9, p. 2721-2729, 2011. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.05.020.

HABIB, M. A. B.; PARVIN, M.; HUNTINGTON, T. C.; HASAN, M. R. A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Rome: **FAO**, 2008. 33 p. (**FAO Fisheries and Aquaculture Circular**, n. 1034).

HUGHES, P. S.; BAXTER, E. D. Beer: quality, safety and nutritional aspects. Cambridge: **Royal Society of Chemistry**, 2001.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011. 36 p. (Documentos, 325).

KRUKLIS, K. L. Cevada: importância da utilização na alimentação humana e a aplicabilidade na gastronomia. 2019. 30 f. Monografia (Especialização em Gastronomia Aplicada à Nutrição) - **Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**, Ijuí, 2019.

KUNZE, W. Technology brewing and malting. 5. ed. Berlin: **VLB Berlin**, 2014.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2006.

MAPA, BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da cerveja 2025: ano referência 2024. Brasília, DF: **MAPA**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 6 maio 2026.

MAPA, BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 691, de 22 de novembro de 1996. Aprova a norma de identidade, qualidade, acondicionamento e embalagem da cevada para fins cervejeiros. Brasília, DF: **MAPA**, 1996.

MAPA, BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: **MAPA/ACS**, 2009. 395 p.

MAPA, BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 21 maio 2026.

MICHIELS, K.; CROES, C.; VANDERLEYDEN, J. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. **Journal of General Microbiology**, London, v. 137, n. 9, p. 2241-2246, 1991.

MINELLA, E. Morfologia e identificação de cereais de inverno. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2012.

MOREIRA, F.; SILVA, K.; NÓBREGA, R.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

NITSCHKE, P. *et al.* **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.

PIES, W. *et al.* Desenvolvimento inicial da cevada inoculada com *Azospirillum brasilense* em competição com populações de azevém. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 08, 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba: **FEALQ**, 2009.

QUEIROGA, V. P. *et al.* Cevada (*Hordeum vulgare* L.): tecnologias de plantio e de produção da cerveja puro malte. 1. ed. Campina Grande: **AREPB**, 2024.

RACHIDI, F.; BENHIMA, R.; SBABOU, L.; EL ARROUSSI, H. Microalgae polysaccharides bio-stimulating effect on tomato plants: growth and metabolic distribution. **Biotechnology Reports**, v. 25, e00426, 2020.

ROCHA, D. N. *et al.* Combination of trace elements and salt stress in different cultivation modes improves the lipid productivity of *Scenedesmus* spp. **Bioresource Technology**, Essex, v. 289, art. 121644, 2019.

RODRIGUES, O. *et al.* Improvement in Brazilian barley breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. **Frontiers in Plant Science**, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.1032243.

RONGA, D. *et al.* Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. **Agronomy**, Basel, v. 9, n. 4, art. 192, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9040192.

ROSSO, P. *et al.* Processamento de informações de sensoriamento remoto para obter o índice de área foliar em cevada: uma comparação de métodos. **Precision Agric** 23, 2022. DOI: 10.1007/s11119-022-09893-4.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, art. 1655, 2018.

SALAMA, E.-S.; KABRA, A. N.; JI, M.-K.; KIM, J. R.; MIN, B.; JEON, B.-H. Enhancement of microalgae growth and fatty acid content under the influence of phytohormones. **Bioresource Technology**, Essex, v. 172, p. 97-103, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.09.002.

SHIVHARE, P. *et al.* Desempenho de variedades de cevada (*Hordeum vulgare* L.) em diferentes datas de semeadura sob condições de irrigação. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 4, 2020. DOI: 10.20546/ijcmas.2020.904.265.

SILVA, A.; FELIPE, T.; BACH, E. Ação do *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento das plantas de trigo 'variedade IAC-24' e cevada 'variedade CEV 95033'. **ConScientiae Saúde**, São Paulo, v. 3, p. 29-35, 2004.

SINDCERV, SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. Anuário da cerveja 2025. São Paulo: **Sindicerv**, 2025. Disponível em: <https://sindicerv.com.br>. Acesso em: 6 maio 2026.

SOUZA, J. L. de. et al. Desempenho agrônomo e qualitativo de cultivares de cevada cervejeira no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 44-51, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/55389146/Desempenho_Agron%C3%B4mico_e_Qualitativo_De_Cultivares_De_Cevada_Cervejeira_No_Estado_Do_Esp%C3%A9rito_Santo. Acesso em: 5 abr. 2026.

SUGANYA, T. et al. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: a biorefinery approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 55, p. 909-941, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

TAKEDA, H. Cell wall sugars of some *Scenedesmus* species. **Phytochemistry**, Oxford, v. 42, n. 3, p. 673-675, 1996.

TALEBI, A. F. et al. Fatty acids profiling: a selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production. **Algal Research**, Amsterdam, v. 2, n. 3, p. 258-267, 2013.

TANCREDO, J. T. Estudo de caso de melhoria na etapa de secagem de malte em uma agroindústria no Paraná. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2015.

TARRAND, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum* lipoferum group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum* lipoferum (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum* brasilense sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 24, n. 8, p. 967-980, 1978. DOI: 10.1139/m78-160.

THORMANN, I.; REEVES, P.; REILLEY, A.; ENGELS, J. M. M.; LOHWASSER, U.; BÖRNER, A.; PILLEN, K.; RICHARDS, C. M. Geography of genetic structure in barley wild relative *Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum* in Jordan. **PLOS ONE**, v. 11, n. 8, e0160745, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0160745.

UMALI-GARCIA, M.; HUBBELL, D. H.; GASKINS, M. H.; DAZZO, F. B. Association of *Azospirillum* with grass roots. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 39, n. 1, p. 219-226, 1980.

VOIGT, J. et al. The cell-wall glycoproteins of the green alga *Scenedesmus obliquus*: the predominant cell-wall polypeptide of *Scenedesmus obliquus* is related to the cell-wall glycoprotein gp3 of *Chlamydomonas reinhardtii*. **Plant Science**, Amsterdam, v. 215-216, p. 39-47, 2014.

WETZEL, M. M. V. S.; FERREIRA, F. R. Sistema de curadorias de germoplasma. In: NASS, L. L. (ed.). Recursos genéticos vegetais. Brasília, DF: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 2007. p. 121-144.

WILTSHIRE, K. H.; BOERSMA, M.; MÖLLER, A.; BUHTZ, H. Extraction of pigments and fatty acids from the green alga *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyceae). **Aquatic Ecology**, Dordrecht, v. 34, n. 2, p. 119-126, 2000.

WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES. *Arthrospira platensis*. Ostend: **WoRMS Editorial Board**, 2026. Disponível em: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=213728>. Acesso em: 9 maio 2026.

WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES. *Tetradasmus obliquus*. Ostend: **WoRMS Editorial Board**, 2019. Disponível em: <https://www.marinespecies.org>. Acesso em: 7 maio 2026.

ZARC BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático, ano-safra 2024/2025**. Brasília, DF: MAPA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/risco-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico>. Acesso em: 4 jun. 2026

ZILIO, M. et al. Componentes de rendimento de cultivares de cevada cervejeira. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 4, p. 381-389, 2017.