

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

ARYELLE DE OLIVEIRA PACHECO

RESPOSTA DA CULTURA DA CEVADA A DOSES DE EXTRATO AQUOSO DE
Viridiparva madeirensis EM ASSOCIAÇÃO COM *Azospirillum brasilense*

PONTA GROSSA
2026

ARYELLE DE OLIVEIRA PACHECO

RESPOSTA DA CULTURA DA CEVADA A DOSES DE EXTRATO AQUOSO DE
Viridiparva madeirensis EM ASSOCIAÇÃO COM *Azospirillum brasilense*

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

Orientadora: Dra. Silvana Ohse
Coorientadora: 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: Resposta da Cultura da cevada a doses de entreato aquoso de *Viridiparva maidensis* em associação com *Trissiaella leucostoma*
Autor (a): Argelle de Oliveira Pacheco
Data da defesa: 28/05/26 Horário: 16h00 Local: F-45

Avaliadores:
1-Orientador (a): Silvana Okse Assinatura: 
2-Avaliador (a): RAFAEL MAZEA ETTO Assinatura: 
3-Avaliador (a): ADRIEL FERRERIA DE FONSECA Assinatura: 

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

* 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.

FORMULÁRIO 4
OTCC
AGRONOMIA

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido forças e fé para acreditar no meu potencial de concluir a graduação.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Silvana Ohse, pela oportunidade, pelos ensinamentos valiosos e pelo suporte constante durante o desenvolvimento deste projeto. Sem a sua orientação e apoio, a realização deste trabalho não seria possível.

À minha coorientadora, Lana Evilyn Barboza, minha profunda gratidão. Sua orientação foi essencial em toda a jornada de escrita e seu suporte nas análises laboratoriais foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sem a sua valiosa contribuição, este estudo não teria alcançado este nível de qualidade.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao curso de Agronomia, pela oportunidade de formação acadêmica, bem como a todos os docentes, funcionários e colegas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família, que em todo o período da graduação acreditou na minha capacidade de conquistar meus sonhos. Especialmente aos meus pais Aryadne de Oliveira Cordeiro e Emerson Cordeiro pela educação e formação de caráter, aos meus irmãos que estiveram ao meu lado a todo tempo fornecendo apoio.

Ao meu marido, Ericson Luiz Barbosa, que presenciou de perto toda a minha jornada e, a cada novo degrau, foi minha maior torcida, agradeço pelo amor, paciência e apoio emocional. Sem você, o caminho não teria sido tão leve. Junto dele, agradeço à minha amada Yumi, que nas madrugadas de estudos me forneceu companhia e consolo.

Aos amigos que tornaram a jornada mais alegre e aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal Aplicada, em especial a Tainá, Gustavo e Bernardo, por toda a ajuda técnica e companheirismo.

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz e seus planos serão bem sucedidos." – Provérbios 16:3

RESUMO

OLIVEIRA, A. **Resposta da cevada a diferentes doses da microalga *Viridiparva madeirensis* em associação com *Azospirillum brasilense***. Orientadora: Silvana Ohse. Ponta Grossa, 2026. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2026.

A cevada (*Hordeum vulgare* L.), cereal de inverno pertencente à família *Poaceae*, é cultivada predominantemente na região Sul do Brasil, onde encontra condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Apesar do aumento recente da produção nacional, que atingiu aproximadamente 606,6 mil toneladas na safra 2025, esse volume é insuficiente para suprir a demanda interna. Esse cenário, evidencia a necessidade de adoção de estratégias que promovam o aumento da produtividade da cultura de forma sustentável. Estudos têm demonstrado que a utilização de microalgas como bioestimulantes, induzem efeitos semelhantes a fitormônios, como giberelina aumentando a germinação de sementes, auxinas maximizando a formação de raízes e citocinina atuando na expansão foliar. Contudo, apesar dos avanços científicos, há lacunas sobre o uso de microalgas para fins bioestimulantes em plantas, especialmente em relação à microalga *Viridiparva madeirensis*, devido à inexistência de trabalhos a campo e ao limitado conhecimento acerca de sua composição química. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de *Viridiparva madeirensis*, via tratamento de sementes, associada ou não à inoculação com *Azospirillum brasilense*, sobre o desenvolvimento da cultura da cevada, cv. Princesa. O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial (6×2), composto por seis doses da microalga (0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; e 4,0 mg kg⁻¹ de sementes) e dois níveis de inoculação com ou sem a inoculação de *A. brasilense*, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. As variáveis população, índice de área foliar (fases vegetativa e reprodutiva), altura de plantas e número de perfilhos por planta não foram influenciadas pelas doses do extrato de *V. madeirensis* e pela inoculação com *Azospirillum brasilense*. No entanto, o incremento na produtividade foi influenciado de forma significativa (90,41%) pelos ajustes lineares crescentes do comprimento de espiga, número de grãos por fileira e índice de colheita, associados ao ajuste linear decrescente do índice de palha em função das doses do extrato. A inoculação de sementes com *A. brasilense* aumentou a produtividade da cevada (cv. Princesa) em 349,57 kg ha⁻¹, representando um incremento de 6,20% em comparação à não inoculação. Quanto ao extrato de *V. madeirensis*, a produtividade respondeu de forma linear crescente independentemente da inoculação, impossibilitando a identificação de uma dose de máxima eficiência técnica. Contudo, a dose de 4 mg kg⁻¹ de sementes estimou uma produtividade de 6.148,84 kg ha⁻¹, superando a testemunha em 1.568,84 kg ha⁻¹ (26,14 sacas ha⁻¹). Por fim, os grãos obtidos atenderam aos padrões da indústria de malte, apresentando peso hectolítrico de 64,22 kg hL⁻¹, 97,65% de germinação e 10,99% de teor de proteína.

Palavras-chave: cevada, *Viridiparva madeirensis*, bioestimulantes, *Azospirillum brasilense*, produtividade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, A. **Barley response to different doses of the microalga *Viridiparva madeirensis* in association with *Azospirillum brasilense*** Advisor: Silvana Ohse Ponta Grossa, 2026. Undergraduate Thesis – Agronomy Course, State University of Ponta Grossa, 2026.

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is a winter cereal belonging to the Poaceae family, predominantly cultivated in the Southern region of Brazil due to favorable climate conditions. Despite recent growth in national production, reaching approximately 606,6 thousand tons in the 2025 harvest, this volume remains insufficient to meet domestic demand. This scenario highlights the need for sustainable strategies to boost crop yield. In this context, studies have shown that microalgae used as biostimulants induce phytohormone-like effects—such as gibberellin, which increases seed germination; auxin, which maximizes root formation; and cytokinin, which acts on leaf expansion. However, gaps remain regarding the biostimulant use of microalgae in plants, especially concerning the microalga *Viridiparva madeirensis*, owing to a lack of field trials and limited knowledge of its chemical composition. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of applying different doses of *Viridiparva madeirensis* via seed treatment, combined or not with *Azospirillum brasilense* inoculation, on the development of barley, cv. Princesa. The experiment was conducted in a randomized block design under a 6×2 factorial scheme, consisting of six microalgae doses (0, 0,8, 1,6, 2,4, 3,2, and 4,0 mg kg⁻¹ of seeds) and two inoculation levels, with four replications, totaling 48 experimental units. The variables plant population, leaf area index (vegetative and reproductive stages), plant height, and number of tillers per plant were not influenced by *V. madeirensis* extract doses or *Azospirillum brasilense* inoculation. However, the yield increase was significantly influenced (90,41%) by increasing linear adjustments of ear length, number of grains per row, and harvest index, associated with a decreasing linear adjustment of the straw index as a function of extract doses. Seed inoculation with *A. brasilense* increased barley yield by 349,57 kg ha⁻¹, representing a 6,20% increment compared to non-inoculated seeds. Regarding the *V. madeirensis* extract, yield responded in an increasing linear manner regardless of inoculation, making it impossible to identify a dose of maximum technical efficiency. Nevertheless, using the dose of 4 mg kg⁻¹ of seeds estimated a yield of 6.148,64 kg ha⁻¹, outperforming the control treatment by 1.568,64 kg ha⁻¹ (26,14 bags ha⁻¹). Finally, the obtained grains met the malting industry quality standards, presenting a hectoliter weight of 64,22 kg hL⁻¹, 97,65% germination, and a 10,99% protein content.

Keywords: barley, *Viridiparva madeirensis*, biostimulants, *Azospirillum brasilense*, productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Média mensal de precipitação e temperaturas médias durante o ciclo da cultura. Ponta Grossa/PR, 2025.....	23
Figura 2 - Imagem da semeadora utilizada na instalação do experimento (A) e, da área experimental após a emergência das plântulas de cevada (B). Ponta Grossa/PR, 2025.....	25
Figura 3 – Imagens da colheita da cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.....	27
Figura 4 - Produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa, em função de doses do extrato de <i>Viridiparva madeirensis</i> via tratamento de sementes independentemente da inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> . Ponta Grossa/PR, 2025.....	36
Figura 5 - Produtividade relativa à testemunha absoluta em função da dose de <i>Viridiparva madeirensis</i> via tratamento de sementes independentemente da inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> , da cultura da cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo da área experimental na camada de 0-20 cm. Ponta Grossa/PR, 2025.....	22
Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis população (POP), índice de área foliar avaliado na fase vegetativa (IAFv) e na fase reprodutiva (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP) e número de perfilho por planta em função do tratamento de sementes com doses de <i>Viridiparva madeirensis</i> associadas ou não com a inoculação do <i>Azospirillum brasilense</i> . Ponta Grossa/PR, 2025.....	31
Tabela 3 - Produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa, em função da inoculação das sementes com <i>Azospirillum brasilense</i> . Ponta Grossa/PR, 2025.....	37
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis peso hectolitro (PH), germinação (G), proteína total (PT) da cultura da cevada, cv. Princesa, submetida a diferentes doses de <i>Viridiparva madeirensis</i> e inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> . Ponta Grossa/PR, 2025.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	CULTURA DA CEVADA.....	12
2.1.1	Taxonomia e características morfológicas	12
2.1.2	Exigências edafoclimáticas da cultura da cevada	13
2.1.3	Importância econômica da cevada	14
2.2	MICROALGAS	15
2.2.1	<i>Viridiparva madeirensis</i>	17
2.2.2	<i>Azospirillum brasilense</i>	18
3	OBJETIVOS E HIPÓTESES	21
3.1	Objetivos gerais.....	21
3.2	Objetivos específicos	21
3.3	Hipóteses	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1	Localização e caracterização da área experimental	22
4.2	Delineamento e manejo experimental	23
4.3	VARIÁVEIS ANALISADAS	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6	CONCLUSÕES.....	41
7	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é um cereal de inverno pertencente à família *Poaceae*, com origem no Oriente Médio, sendo uma das primeiras espécies vegetais domesticadas pela humanidade. Sua relevância econômica e social é ampla, abrangendo a alimentação humana por meio da produção de farinhas, flocos e produtos de panificação, e na indústria de bebidas, especialmente na forma de malte para cervejas e destilados, além de aplicações na indústria farmacêutica e na alimentação animal (DE MORI; MINELLA, 2012).

No Brasil, o cultivo da cevada consolidou-se a partir da década de 1930, com predominância na região Sul, em função das condições edafoclimáticas favoráveis. Atualmente, a cultura ocupa posição de destaque no cenário agrícola mundial, sendo considerada o quarto cereal mais produzido, atrás apenas do arroz, milho e trigo (DERAL, 2025).

A produção nacional de cevada, de aproximadamente 606,6 mil toneladas (CONAB, 2026), é insuficiente para suprir a demanda interna da indústria cervejeira, estimada em 1,8 milhões de toneladas (FAO, 2026). Nesse contexto, o estado do Paraná se destaca como o principal produtor brasileiro, com produção de 483,3 mil toneladas na safra 2025 (CONAB, 2026).

Frente a este, torna-se necessária a ampliação da produção nacional, associada à adoção de práticas agrícolas sustentáveis, capazes de reduzir a dependência de insumos químicos e minimizar impactos ambientais (EMBRAPA, 2022). Nesse sentido, apesar de incipiente, a utilização de massa fresca ou extratos de microalgas caracteriza-se como uma alternativa promissora. A eficiência desse bioinsumo decorre de uma matriz química complexa que reúne macro e micronutrientes a compostos bioativos como aminoácidos, vitaminas e betaínas, além de hormônios essenciais, como auxinas, citocininas e giberelinas (KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE, 2011).

A utilização de microalgas como bioestimulantes agrícolas via tratamento de sementes, pode auxiliar o estabelecimento uniforme da cultura, fator determinante para produtividade. Além disso, dos constituintes químicos das microalgas podem ampliar a tolerância a estresses abióticos, como o déficit hídrico, condição

frequentemente associada a perdas significativas de safra, por atuarem simultaneamente na nutrição, no desenvolvimento e na resiliência vegetal (KHAN *et al.*, 2009; CRAIGIE, 2011; DU JARDIN, 2015).

Complementarmente, a associação entre microalgas e bactérias promotoras de crescimento vegetal, como o *Azospirillum brasilense*, podem potencializar de forma sinérgica esses efeitos benéficos durante o ciclo da cultura. Isoladamente, a bactéria *A. brasilense* possui papel amplamente consolidado na agricultura, impulsionando o desenvolvimento vegetal por meio da fixação biológica de nitrogênio e da síntese de reguladores de crescimento, com destaque para o ácido indol-3-acético (AIA), giberelinas e citocininas (TIEN *et al.*, 1979; STRZELCZYK *et al.*, 1994). Assim, a integração desses componentes biotecnológicos estabelece uma linha de manejo promissora para otimizar os componentes de rendimento da cevada.

A utilização integrada desses bioinsumos representa uma abordagem inovadora e sustentável para impulsionar a produtividade da cevada (Calvo; Nelson; Kloepper, 2014), além de fortalecer a produção nacional e consolidar sistemas agrícolas mais eficientes e ambientalmente responsáveis (Renganathan *et al.*, 2024). Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cevada, cv. Princesa, a diferentes doses do extrato aquoso da microalga *Viridiparva madeirensis* via tratamento de sementes, associado ou não à inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Pretendeu-se determinar os efeitos dessa interação sobre os componentes de rendimento, o desenvolvimento morfológico e a qualidade fisiológica dos grãos, fundamentando-se nas seguintes hipóteses: i) existe efeito diferenciado das doses de *V. madeirensis* sobre o crescimento e a produtividade da cultura; ii) a inoculação com *A. brasilense* potencializa o desenvolvimento vegetal, e iii) há um efeito aditivo ou sinérgico na associação de ambos os bioinsumos sobre as variáveis analisadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DA CEVADA

2.1.1 Taxonomia e características morfológicas

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Monocotiledônea, ordem Poales, família da Poaceae, gênero *Hordeum*, espécie cultivada *Hordeum vulgare* (BRAMMER *et al.* 2023). A espécie cultivada *H. vulgare* apresenta as subespécies: *H. vulgare* spp. *vulgare*, *H. vulgare* spp. *distichum* e *H. vulgare* spp. *spontaneum*, sendo a *H. vulgare* spp. *vulgare* a mais cultivada devido à sua aplicabilidade tanto para indústria cervejeira quanto para alimentação animal (BLATTNER, 2018).

A cevada é caracterizada pela presença de um único cotilédone em suas sementes, alocadas em espiguetas, as quais contêm glumas múticas ou curto-aristadas (ULLMANN; QUEIROLO, 2001). A inflorescência da cevada caracteriza-se como uma espiga terminal, disposta sobre um eixo central denominado ráquis, no qual se inserem as espiguetas uniflorais. Estas estruturas são protegidas pelo lema e pela pálea, elementos foliares que envolvem o fruto. De acordo com o genótipo, a espiga pode ser classificada como dística, apresentando duas fileiras de flores férteis, ou hexástica, com seis fileiras. Essa variação morfológica influencia diretamente a uniformidade e a qualidade final dos grãos (EMBRAPA, 2023).

O sistema radicular da cultura é fasciculado, podendo atingir até um metro de comprimento. O caule, do tipo colmo, é cilíndrico e segmentado por nós, dos quais se desenvolvem folhas alternas, longas e estreitas. As folhas possuem lígula membranosa e aurícula do tipo amplexicaule e glabra, características morfológicas que permitem diferenciar a cevada de outros cereais de inverno (WETZEL; FERREIRA, 2007).

Botanicamente classificado como uma cariopse, o fruto da cevada exibe uma conformação alongada e uma seção central robusta. As camadas externas são constituídas pelos pericarpos e tegumentos ricos, ricos em fibras, vitaminas do complexo B e antioxidantes, que garantem proteção contra patógenos. Internamente, destaca-se a camada de aleurona, que representa 13% da massa do grão. Esta camada é determinante para a indústria cervejeira, uma vez que é responsável pela síntese de enzimas hidrolíticas, como as α -amilases e as β -glucanases. Esses

biocatalisadores são indispensáveis para a conversão do amido do grão em açúcares fermentáveis (FERREIRA, 2015; EMBRAPA, 2021).

2.1.2 Exigências edafoclimáticas da cultura da cevada

A otimização da eficiência produtiva na cultura da cevada não se limita à seleção de genótipos. Para a máxima expressão de seu potencial genético, é essencial a adoção de um manejo fitotécnico adequado, integrando práticas culturais às exigências edafoclimáticas da cultura. Essa integração é fundamental para assegurar alta produtividade e qualidade dos grãos compatíveis com as exigências dos diferentes segmentos de mercado, seja ele para malteação ou uso forrageiro (FARIAS; MINOZZO, 2023).

Nesse contexto, a viabilidade técnica e a econômica da cevada dependem da implementação de estratégias fitotécnicas ao longo de todo o ciclo fenológico incluindo o planejamento da época de semeadura, a definição da densidade de plantio e o manejo nutricional e fitossanitário. Tais práticas devem estar em consonância com e à preservação do solo, garantindo, assim, a sustentabilidade e a competitividade do sistema produtivo (EMBRAPA, 2025).

A temperatura ideal para a germinação das sementes de cevada é de 20°C, temperaturas muito baixas podem induzir dormência curta, diminuindo o índice de velocidade de emergência, enquanto temperaturas muito altas pode induzir dormência longa (CARVALHO *et al.* 2022). A faixa de temperatura ideal para o crescimento vegetativo da cevada situa-se entre 10 e 24°C, temperaturas próximas a 10°C podem prolongar o ciclo da cultura, enquanto temperaturas mais altas podem acelerar o desenvolvimento (EOS, 2025).

O cultivo da cevada no Brasil é indicado para regiões de clima temperado que apresentem baixa umidade relativa do ar durante os estádios de florescimento e maturação, uma vez que o excesso hídrico e térmico nessas fases favorece a incidência de doenças. Embora a cultura exija frio para seu desenvolvimento vegetativo, apresenta elevada sensibilidade à ocorrência de geadas durante a antese. Desse modo, a região sul do Brasil reúne condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da espécie, com ciclo produtivo concentrado entre os meses de junho e novembro (EMBRAPA, 2025).

A cevada apresenta elevado potencial produtivo, todavia, a produtividade real da cultura permanece limitada em diversas regiões. Isso ocorre em função da interação complexa entre fatores genéticos, ambientais e socioeconômicos, os quais frequentemente restringem o desempenho final da cultura (MULATU; LAKEW, 2011). Dessa forma, a fim de mitigar tais limitações e otimizar o desenvolvimento vegetal, o uso de extratos de algas como bioinsumo tem se revelado uma alternativa promissora. O fator impulsionador dessa prática é a segurança ambiental, que surge como complemento viável aos reguladores sintéticos tradicionais (CARVALHO *et al.*, 2014).

2.1.3 Importância econômica da cevada

O grão de cevada apresenta ampla versatilidade na indústria de bebidas e alimentos, é matéria-prima essencial para a produção de malte (cervejas e destilados), farinhas e produtos dietéticos; no setor farmacêutico, é utilizada na síntese de medicamentos e na agropecuária, destaca-se como forragem e ingrediente na formulação de rações animais (EMBRAPA, 2023).

Na safra de 2024, a produção mundial atingiu 142,47 milhões de toneladas. A União Europeia consolidou-se como o principal produtor, detendo 35% da oferta global, seguida por Rússia (11%), Austrália (8%), Canadá (6%), Reino Unido (5%) e Turquia (5%). O Brasil, embora venha expandindo sua área cultivada, ocupa a 42ª posição, sendo responsável por 0,3% do volume global (USDA, 2025).

Na safra de 2025, a área cultivada com cevada no Brasil atingiu aproximadamente 139,2 mil hectares, resultando em uma produção estimada de 606,6 mil toneladas e produtividade média nacional de 4.358 kg ha⁻¹. Essa produção concentrou-se majoritariamente na Região Sul do país, com expressivo protagonismo do estado do Paraná com 483,3 mil toneladas, que se consolidou como o principal produtor da cultura ao abranger 103,7 mil hectares, o que equivale a cerca de 74,5% da área total semeada em território brasileiro. Adicionalmente, o território paranaense registrou um rendimento médio de 4.661 kg ha⁻¹, valor que superou a média obtida pelo país no mesmo período (CONAB, 2026).

Quanto ao mercado global, estima-se que 65% da produção mundial de cevada seja destinada à alimentação animal, 20% à produção de malte pela indústria cervejeira e entre 5% e 8% ao consumo humano direto. Embora a maior parte do volume global de cevada seja voltado ao setor forrageiro, no Brasil, a produção é

predominantemente direcionada à indústria de malte, sendo os lotes desclassificados ou excedentes redirecionados para a nutrição animal (DERAL, 2020).

Historicamente, a produção nacional supria cerca de 30% da demanda anual de malte no Brasil, que girava em torno de 1,8 milhão de toneladas (EMBRAPA, 2023). Contudo, o setor passou por uma forte expansão recente devido à consolidação de novas maltarias na região Sul, elevando a capacidade de atendimento do mercado interno para patamares superiores a 50% (DERAL, 2025; CONAB, 2026).

Esse crescimento foi impulsionado pela indústria cervejeira nacional, que registrou uma produção expressiva de 15,3 bilhões de litros em 2024, expandindo também o número de maltarias registradas junto ao Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2025). Apesar desse cenário favorável e do elevado potencial genético da cevada, a produtividade real da cultura ainda é limitada por interações complexas entre fatores bióticos, abióticos e socioeconômicos. Dessa forma, a fim de mitigar tais limitações e otimizar o desenvolvimento vegetal de forma sustentável, o uso de extratos de microalgas surge como uma alternativa promissora como bioinsumo.

2.2 MICROALGAS

Os bioestimulantes são complexos de substâncias naturais, microrganismos ou compostos sintéticos que, quando aplicados às plantas ou sementes, atuam na melhoria da eficiência metabólica, na absorção de nutrientes e na tolerância a estresses abióticos, independentemente do seu conteúdo nutricional. Tais insumos podem ser administrados via solo, sementes e foliar ou em associação (DU JARDIN, 2015).

A fundamentação para o emprego de algas na agricultura reside na elevada concentração de moléculas bioativas presentes tanto em macroalgas quanto em microalgas. Esses compostos atuam diretamente como reguladores do metabolismo vegetal, estimulando o crescimento e a defesa das plantas. Mais do que suprir demandas nutricionais imediatas, esses insumos operam na atenuação de estresses bióticos e abióticos, favorecendo o incremento da produtividade das safras. Conforme destacado por Kholssi *et al.* (2022), o cenário histórico foi marcado pela predominância das macroalgas, em função da simplicidade de seu manejo e extração; contudo, as microalgas consolidam-se hoje como uma alternativa tecnológica superior

para a produção de bioestimulantes de elevada performance. Esse interesse crescente justifica-se pela presença de polissacarídeos e lipídeos, moléculas capazes de complementar o aporte de nutrientes no solo e favorecer o desenvolvimento vegetal (AMMAR *et al.*, 2022; MIRANDA *et al.*, 2024). Além disso, a síntese de metabólitos secundários com propriedades antifúngicas, antibacterianas, nematicidas e antioxidantes reforça o potencial desses microrganismos no manejo biológico de fitopatógenos e na promoção da sanidade das plantas (COSTA *et al.*, 2019).

De acordo com Taiz *et al.* (2021), os hormônios vegetais, auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno atuam como moléculas sinalizadoras que, mesmo em concentrações reduzidas, modulam processos fisiológicos essenciais ao desenvolvimento. Quando fornecidos via bioestimulantes, esses compostos favorecem a expressão do potencial genético das plantas, otimizando o metabolismo proteico e a eficiência enzimática em fases críticas, como germinação, enraizamento, floração e senescência (VIEIRA; CASTRO, 2001).

As microalgas produzem moléculas sinalizadoras que elevam a eficiência metabólica, especialmente na assimilação de nitrogênio e na síntese de pigmentos, como clorofilas e carotenoides (RACHIDI *et al.* 2020). Além disso, esses microrganismos atuam na produção de eliciadores e sinalizadores moleculares que condicionam o metabolismo vegetal a responder de maneira mais rápida a estresses bióticos e abióticos. Esse fenômeno, denominado priming, induz um estado de prontidão fisiológica permitindo a ativação antecipada dos seus mecanismos de defesa vegetal e com menor custo energético perante adversidades (EL ARROUSSI *et al.*, 2018).

A biomassa de microalgas destaca-se na agricultura devido ao seu elevado teor de compostos bioativos, com potencial para atuar tanto como agentes de biocontrole quanto como bioestimulantes e fertilizantes orgânicos. No entanto, o conhecimento ainda fragmentado sobre os mecanismos de ação específicos de *Viridiparva madeirensis*, especialmente sob condições de campo, restringe seu uso generalizado no manejo de grandes culturas. Diante disso, o avanço nas pesquisas com esse recurso natural justifica-se pela busca por estratégias que reduzam a dependência de insumos químicos sintéticos e promovam sistemas de produção mais sustentáveis (SANTOS *et al.*, 2021; LOPES *et al.*, 2023).

2.2.1 *Viridiparva madeirensis*

As microalgas são classificadas com base em características citológicas e morfológicas, considerando aspectos como a composição da parede celular, o perfil de pigmentos fotossintéticos e a organização de organelas, como cloroplastos e membrana nuclear. Embora a diversidade ficológica global permaneça em constante reavaliação teórica, estimativas moleculares e ecológicas modernas sugerem a existência de um contingente substancialmente maior de organismos, projetando uma amplitude que varia de 1 a 2 milhões de espécies de algas em escala mundial (BRODIE *et al.*, 2017).

Esse cenário de elevada biodiversidade, impulsionado sobretudo pelas descobertas no domínio das microalgas microscópicas, reforça a vasta plasticidade metabólica desses microrganismos e justifica o interesse biotecnológico na prospecção de novas cepas para a agricultura (GUIRY, 2012)

As microalgas dividem-se em dois grandes grupos conforme a sua organização celular (HU, 2004; TOMASELLI, 2004). As cianobactérias, de estrutura procariótica, integram a divisão Cyanophyta, enquanto as microalgas eucariontes pertencem à divisão Chlorophyta. Neste último grupo, insere-se a microalga *Viridiparva madeirensis*, organismo de águas continentais classificado no reino Plantae, filo Chlorophyta, classe Chlorophyceae, ordem Sphaeropleales e família *Selenastraceae* (GARCÍA *et al.*, 2022).

A linhagem *V. madeirensis* (cepa original CCMA-UFSCar 265) foi isolada de amostras coletadas na região do Rio Madeira, em Porto Velho, Rondônia. Embora o potencial biotecnológico da espécie tenha sido relatado, especialmente para a produção de biodiesel, seu perfil metabólico permanece não elucidado. Tal lacuna reforça a necessidade de análises cromatográficas futuras para a identificação de moléculas bioativas capazes de fundamentar as respostas fisiológicas observadas nas culturas vegetais (GARCÍA *et al.*, 2022).

A associação entre extratos de microalgas e bactérias promotoras de crescimento vegetal, como o *Azospirillum brasilense*, fundamenta-se na hipótese de um efeito complementar no desenvolvimento vegetal. Enquanto a bactéria atua na fixação biológica de nitrogênio e na síntese de fitormônios como as auxinas, que expandem o sistema radicular, a biomassa de microalgas pode complementar essa ação via fornecimento de aminoácidos, carboidratos e moléculas bioativas. Juntos,

esses bioprodutos apresentam potencial para otimizar o metabolismo e a nutrição das plantas, com reflexos positivos na produtividade agrícola de forma sustentável, conforme observado em consórcios envolvendo outras espécies microalgais (GARCÍA *et al.*, 2022; SILVA, 2024).

2.2.2 *Azospirillum brasilense*

Pertencente à ordem Rhodospirillales e à família Azospirillaceae, a *Azospirillum* é uma α -proteobactéria descrita inicialmente há cerca de um século sob a denominação de *Spirillum* por Beijerinck (1925). Contudo, a relevância desse microrganismo para o cenário agrícola consolidou-se a partir dos trabalhos pioneiros de Von Bulow e Döbereiner (1975) e Döbereiner *et al.* (1976). Esses pesquisadores documentaram de forma inédita a fixação biológica de N_2 em raízes de milho sob condições de campo, além de realizarem o isolamento da bactéria fixadora *Spirillum lipoferum* Beijerinck em amostras de solo e raízes de gramíneas e cereais coletadas no Brasil e em diferentes países do continente africano.

O gênero *Azospirillum* é reconhecido como um dos grupos de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), descrito inicialmente em 1978, este microrganismo evoluiu de uma curiosidade microbiológica para um pilar da agricultura sustentável, sendo capaz de estabelecer associações benéficas com uma vasta gama de hospedeiros, que abrangem desde cereais de importância econômica até microalgas (CASSÁN *et al.*, 2026).

As bactérias do solo e das plantas participam de diversos eventos de sinalização molecular que estabelecem relações simbióticas, endofíticas ou associativas específicas, tais relações variam de acordo com os genótipos das plantas, os tipos de solo, as cepas bacterianas e suas capacidades de promover o crescimento vegetal (Philippot *et al.*, 2013).

Azospirillum spp. compreende bacilos Gram-negativos, aeróbios, móveis e quimiotróficos, esses podem utilizar diferentes substratos como fontes de carbono e crescer na presença de 3% de NaCl; a temperatura ótima de crescimento varia entre 33 e 41°C. Os membros deste gênero produzem catalase e oxidase, reduzem nitratos a nitritos, degradam ureia em amônia, produzem indóis, modificam a atividade da urease do solo e alcalinizam o leite. Eles também podem reduzir acetileno e

apresentam resultado positivo para fermentação de arabinose e frutose (Baldani *et al.*, 2015).

Azospirillum sp. é um dos gêneros de bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) mais estudados atualmente, devido à sua capacidade de colonizar diversas espécies vegetais (Cassán e Diaz-Zorita, 2016). A inoculação de plantas com cepas de *Azospirillum brasilense* induz o alongamento da raiz primária de gramíneas de importância econômica e melhora o crescimento e a produtividade das plantas. A promoção do crescimento vegetal por *Azospirillum* está principalmente associada à sua capacidade de produzir e secretar fitormônios (ácido indol-3-acético, citocininas e giberelinas) e óxido nítrico (Fibach-Paldi *et al.*, 2012)

Embora a fixação biológica de nitrogênio tenha sido considerada, historicamente, a característica definidora do gênero, essa função foi posteriormente contextualizada como integrante de um conjunto sinérgico de mecanismos. Atualmente, compreende-se que sua contribuição ao desenvolvimento vegetal se estende para além da assimilação de nitrogênio, englobando a otimização na absorção de água e de diversos macro e micronutrientes. Tais benefícios são evidenciados, sobretudo, em condições de estresse abiótico, em que a inoculação promove melhorias nos parâmetros fisiológicos e intensifica as respostas de tolerância na planta hospedeira (FUKAMI *et al.*, 2018; CASSÁN *et al.*, 2026).

Essas bactérias diazotróficas tornaram-se referência nos estudos de interação planta-microrganismo e, no contexto agrícola brasileiro, destacam-se as cepas Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*. Tais linhagens são reconhecidas por sua aptidão em fixar o nitrogênio e, concomitantemente, estimular o desenvolvimento vegetal através da síntese de fitormônios, especialmente o ácido indol-3-acético (AIA). Para assegurar a eficácia da inoculação, o produto deve seguir rigorosos padrões de qualidade, apresentando uma concentração celular mínima de 2×10^8 UFC mL⁻¹. Essa garantia assegura uma carga microbiana adequada para a efetiva colonização do sistema radicular e a subsequente promoção do crescimento da cultura (CASSÁN *et al.*, 2026).

Análises fisiológicas e metabólicas demonstram que a inoculação conjunta de *Azospirillum brasilense* e microalgas estimula o metabolismo vegetal, resultando na modulação de enzimas do ciclo do nitrogênio na planta, como a glutamina sintetase e a glutamato desidrogenase, o que promove maior assimilação desse nutriente. Além

disso, no cultivo consorciado desses microrganismos, o AIA estimula a atividade da ADP-glicose pirofosforilase nas microalgas, favorecendo o acúmulo de amido, bem como da acetil-CoA carboxilase, aumentando a síntese de ácidos graxos e o teor lipídico da biomassa algal (BASHAN *et al.*, 2022; VICTOR; MOUTINHO; RIATTO, 2024).

Diante desse cenário de sinergismo metabólico e hormonal, torna-se evidente o potencial da associação entre microrganismos fotossintéticos e bactérias diazotróficas para otimizar o desenvolvimento vegetal. Compreender como essas interações bioquímicas se refletem na prática fornece a base necessária para validar o uso dessa tecnologia no campo, justificando a definição dos objetivos gerais e específicos, bem como a proposição das hipóteses que delinearam a condução deste estudo.

3 OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1 Objetivos gerais

Avaliar o efeito da aplicação, via tratamento de sementes, de doses de extratos aquosos da microalga *Viridiparva madeirensis* sobre o desenvolvimento, produtividade e componentes de produção da cultura da cevada, cv. Princesa, associação ou não com a inoculação da bactéria fixadora de nitrogênio *Azospirillum brasilense*, no município de Ponta Grossa/PR.

3.2 Objetivos específicos

Determinar a resposta da cevada, cv. Princesa, em função de doses crescentes do extrato aquoso de *Viridiparva madeirensis* aplicado via tratamento de sementes, identificando a sua dose de máxima eficiência.

Verificar a existência de efeito aditivo ou de interação entre as doses da microalga e a inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre as variáveis de desenvolvimento e os componentes de produção da cultura.

Avaliar os parâmetros de qualidade exigidos pela indústria de malte nos grãos colhidos em função dos tratamentos.

3.3 Hipóteses

Existe efeito diferenciado do tratamento de sementes com doses da espécie de microalga *Viridiparva madeirensis* sobre o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cv. Princesa de cevada.

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

Existe efeito aditivo da associação do tratamento de sementes com as doses da espécie de microalga *Viridiparva madeirensis* e a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* sobre o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cv. Princesa de cevada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

A condução do experimento ocorreu na safra de inverno de 2025, na área experimental localizada na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON - 25°05'28"S, 50°03'44"W), que integra à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), município de Ponta Grossa/PR. A área encontra-se à altitude média de 1002 m em relação ao nível do mar e, apresenta conforme a classificação de Wilhelm Köppen clima do tipo Cfb, mesotérmico (subtropical e temperado), sempre úmido (sem estação seca definida) com verões amenos (NITSCHKE *et al.* 2019). O solo da área é classificado como Cambissolo Háplico distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2006), com teores médios de 197; 107 e 694 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente, na camada de 0-20 cm. A caracterização do solo é apresentada na Tabela 1.

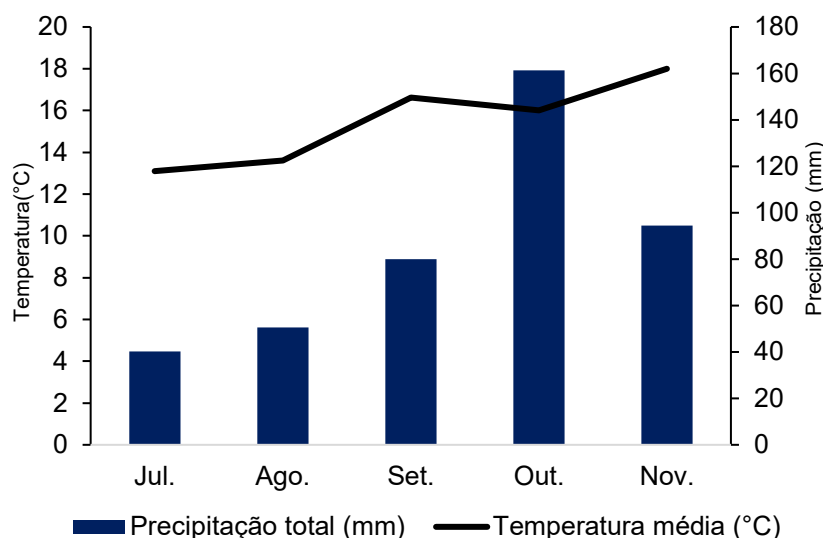
Tabela 1. Os tributos químicos do solo da área experimental na camada de 0-20 cm. Ponta Grossa/PR

Atributos Químicos												
H+Al	Al ⁺³	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	pH	P	B	Cu	Fe	CTC	V	m
	(mmolc dm ⁻³)				(CaCl ₂)		(mg dm ⁻³)			efetiva	(%)	(%)
38	8	2,5	8	19	4,70	43	0,21	0,8	90	67,5	44	21

Fonte: Análise elaborada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita filho.

As condições meteorológicas durante o ciclo da cultura da cevada, que totalizou 127 dias, estão presentes na Figura 1. O período registrou uma precipitação acumulada de 412,8 mm, este volume encontra-se dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento da cultura, estimada entre 450 e 600 mm. A precipitação em outubro, foi de 161,2 mm, maior volume mensal (QUEIROGA *et al.*, 2024). Quanto ao regime térmico, as médias das temperaturas mínimas e máximas observadas foram de 10,7°C e 20,1°C, mantendo-se dentro da faixa considerada satisfatória para o pleno desenvolvimento da cevada EMBRAPA (2025).

Figura 1 - Média mensal da precipitação e temperatura durante os meses de junho a novembro em Ponta Grossa /PR, 2025.



A área experimental encontrava-se sob sistema de plantio direto, apresentando como cultura antecessora, primavera-verão de 2024/25, a soja (*Glycine max* L.). Previamente à implantação da cultura da cevada, realizou-se a dessecação da área com o herbicida glyphosate na dose de 960 g ha⁻¹ do ingrediente ativo.

4.2 Delineamento e manejo experimental

Os tratamentos seguiram um esquema fatorial 6x2, totalizando 12 tratamentos. O fator principal constou de seis doses da microalga *Viridiparva madeirensis* aplicadas via tratamento de sementes (0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; e 4,0 mg kg⁻¹ de sementes) e, o fator secundário foi composto pela inoculação ou não da bactéria fixadora de nitrogênio *Azospirillum brasilense*.

A cultivar de cevada utilizada foi a Princesa, resultante do cruzamento da cultivar Margret com a linhagem PFC 2007103, lançada na 20ª edição do Winter Show de 2023 e, produzida pela Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), Guarapuava/PR (FAPA, 2025). A cultivar Princesa apresenta um ciclo médio de 122 dias da emergência à maturação, com o período da emergência ao espigamento compreendendo cerca de 75 dias. Quanto aos aspectos morfológicos, a cultivar atinge uma estatura média de 75 cm, apresentando massa de 1000 sementes (MMS) aproximada de 41 g. No que tange à resposta ao ambiente e manejo, destaca-se pela moderada resistência ao acamamento e tolerância à geada até o final do perfilhamento, tornando-se, contudo, mais suscetível a estes fatores em estádios

fenológicos avançados. Em relação ao perfil sanitário, a cultivar exibe resistência à ferrugem da folha (*Puccinia hordei*) e ao oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*), além de apresentar moderada suscetibilidade à mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) e à mancha em rede (*Drechslera teres*) (FAPA, 2025). As sementes de cevada utilizadas no experimento não receberam qualquer tipo de tratamento fitossanitário prévio.

Os tratamentos resultaram da combinação de seis doses da microalga *Viridiparva madeirensis* aplicadas via tratamento de sementes (0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; e 4,0 mg kg⁻¹ de sementes). e, o fator secundário foi composto pela inoculação ou não da bactéria fixadora de nitrogênio *Azospirillum brasilense*. O ensaio foi organizado em um delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, resultando em um total de 48 unidades experimentais. O ensaio foi organizado em um delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, resultando em um total de 48 unidades experimentais, com dimensões de 5,20 m de comprimento e 1,80 m de largura, totalizando uma área de 9,36 m².

A massa liofilizada da microalga *Viridiparva madeirensis* foi fornecida pelo Laboratório de Cultivo de Algas da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado no Campus Universitário, em Florianópolis/SC. A caracterização química permanece até o momento indeterminada, assim como os dados sobre o seu perfil fitoquímico e metabólico. O inoculante utilizado foi fornecido pela empresa AGROCETE. O produto é líquido e composto por duas cepas de *Azospirillum brasilense* (AbV5 e AbV6) em mesmas proporções, na densidade de 2x10⁸ UFC mL⁻¹ (Unidades formadora de Colônias por mililitro). A dose utilizada foi de 100 mL 25 kg⁻¹ de sementes.

Com o objetivo de alcançar a população de 1.800.000 plantas ha⁻¹ (180 sementes viáveis m⁻²) recomendada pela FAPA (2025), realizou-se o cálculo da taxa de semeadura. Para isso, foram avaliadas a germinação e a massa de 1.000 grãos do lote, que apresentaram resultados de 88% e 44 g, respectivamente. Desta forma, para garantir a população almejada de sementes utilizou-se 85g de sementes por unidade experimental para fins operacionalização a campo.

Para o tratamento das sementes de cevada cv. Princesa, as sementes foram pesadas em balança de precisão em porções de 400 g e acondicionadas em sacos plásticos. As doses da microalga *Viridiparva madeirensis* foram pesadas em balança de precisão, maceradas em cadinho com auxílio de almofariz, diluídas em 12 mL de água destilada com pH previamente corrigido para 5,5 e aplicadas sobre as sementes.

Após homogeneização por agitação manual, os sacos foram mantidos abertos em capela de fluxo laminar para permitir a secagem. No dia seguinte, procedeu-se à inoculação com *Azospirillum brasilense* na dose de 4 mL kg⁻¹ nos tratamentos correspondentes, seguida de nova agitação e secagem em fluxo contínuo por 5 minutos. As sementes correspondentes ao tratamento testemunha passaram pelo mesmo procedimento, utilizando apenas água destilada. Posteriormente, as sementes foram divididas em porções de 85 g, correspondentes a cada unidade experimental, visando facilitar a semeadura.

A semeadura da cevada foi realizada em 8 de julho de 2025, utilizando a semeadora de parcelas modelo Semina 1, configurada com nove linhas e espaçadas em 20 cm, na profundidade de aproximadamente 3 - 5 cm. A emergência das plântulas ocorreu entre 6 e 10 dias após a semeadura (DAS)). A adubação de base foi realizada com a aplicação de 220 kg ha⁻¹ do adubo NPK na formulação 10 – 20 – 20, correspondendo ao aporte de 22 kg de N conforme a análise química (Tabela 1), a adubação de cobertura ocorreu no estágio de perfilhamento com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), correspondendo ao aporte de 54 kg de N (Figura 2).

Figura 2 - Imagem da semeadora utilizada na instalação do experimento (A) e área experimental após a emergência das plântulas de cevada (B). Ponta Grossa /PR, 2025.



Fonte: A autora.

Para o controle de pragas e doenças, o manejo fitossanitário foi realizado em três etapas cronológicas. Aos 28 dias após a semeadura (DAS), aplicou-se o inseticida imidacloprido (Galil®) na dose de 0,2 L ha⁻¹. Posteriormente, aos 42 DAS, realizou-se a aplicação conjunta dos fungicidas oxicloreto de cobre (Status®) a 0,5 L ha⁻¹ e

protioconazol (Blavity®) a 0,35 L ha⁻¹, associados ao adjuvante éster metílico de óleo de soja (Áureo®) na dose de 0,2 L ha⁻¹. Por fim, aos 56 DAS, o programa de manejo foi concluído com uma nova intervenção contendo os fungicidas tebuconazol (Odin®) a 0,75 L ha⁻¹, metominostrobin (Fusão®) a 0,6 L ha⁻¹ e pydiflumetofen (Miravis®) a 1,0 L ha⁻¹, adicionados do adjuvante Áureo® na dose de 0,3 L ha⁻¹.

4.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis analisadas incluíram: estande inicial, altura da planta, índice de área foliar, índice relativo de clorofila, número de perfilhos por planta, comprimento da espiga, massa de 1000 grãos, peso hectolitro, teor de proteína, e produtividade de grãos, e índice de germinação dos grãos colhidos.

O estande inicial foi avaliado no dia 29 de julho de 2025, (21 DAS), e estande final no dia 12 de novembro de 2025 (122 DAS) para isso, foi feita a contagem das plantas em 1 metro linear, como auxílio de uma régua posicionada de forma aleatória na linha central de cada unidade experimental. A partir dos valores obtidos, foi possível estimar a população.

A altura média das plantas foi determinada na fase reprodutiva da cultura, no dia 25 de outubro de 2025 (109 DAS). Para a realização da medida utilizou-se uma régua métrica graduada em centímetros, posicionada verticalmente ao solo, medindo-se a distância da base da planta até o final da espiga desconsiderando-se as aristas principal em 10 plantas selecionadas aleatoriamente em cada unidade experimental.

O índice de área foliar foi determinado utilizando um ceptômetro linear, modelo AccuPAR LP-80. As leituras foram realizadas na fase vegetativa, na elongação do colmo (62 DAS), e na fase reprodutiva, no florescimento (107 DAS).

O índice relativo de clorofila (IRC) foi aferido utilizando o medidor de clorofila atLEAF®CHL BLUE, em 5 plantas escolhidas de forma aleatória em cada unidade experimental. A coleta dos dados foi realizada na folha bandeira, posicionando a lâmina da folha na área sensorial do equipamento, em conformidade com o manual de instruções. O IRC foi determinado no terço médio da folha bandeira, uma vez que, a referida folha é a mais importante para o enchimento de grãos.

No dia doze de novembro de 2025 foi realizada a colheita da cevada, utilizando a colhedora de parcelas da marca Wintersteiger (Figura 3). 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 CT AGRO-UEPG. A área útil foi de 7,28 m², constando de 7 linhas espaçadas em 20 cm, correspondendo a 1,40 m de largura, por 5,2 m de comprimento.

Figura 3 – Imagens da colheita da cultura da cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.



Fonte: A autora.

As plantas coletadas e os grãos foram levados para o laboratório de Fisiologia Vegetal II, onde foram submetidas as avaliações: produtividade de grãos, peso hectolitro, número de perfilhos totais e produtivos, índice de palha, índice de colheita, comprimento de espiga, número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos, teor de proteína e índice de germinação.

Para a determinação da produtividade procedeu-se a pesagem dos grãos provenientes da área útil de cada unidade experimental (UE). Na sequência, foram determinados o peso hectolitro (PH) e o teor de umidade dos grãos utilizando um medidor portátil Agrilogic AL-101. Os valores de massa obtidos em cada UE foram extrapolados para kg ha⁻¹, sendo então os corrigidos para a umidade padrão de 13%, permitindo a padronização dos resultados e a comparação entre tratamentos

Após essas avaliações, selecionou-se aleatoriamente 10 espigas, das quais determinou-se o seu comprimento sem considerar as aristas, utilizando-se uma régua milimetrada. Posteriormente, separou-se as sementes da palha da espiga, determinando-se o número de grãos por espiga e sua massa. A palha das espigas foi adicionada à palha das plantas, sendo então acondicionados por três dias em estufa

de ventilação forçada de ar, marca Marconi, modelo MAO35/1980/HOR, com temperatura controlada de 60°C para secagem. Os grãos das 10 espigas foram submetidos ao mesmo processo, o que permitiu estimar o índice de colheita.

Para a determinação da produtividade, realizou-se a pesagem dos grãos colhidos na área útil de cada unidade experimental. Logo após a pesagem, determinou-se o peso hectolitro (PH) e a umidade dos grãos por meio de um medidor de umidade de grãos portátil da marca Agrologic, modelo AL-101. Em seguida, as massas de grãos obtidas foram extrapoladas para kg ha⁻¹ e, seus valores corrigidos para o teor de umidade padrão de 13%. Para tanto, pesaram-se duas subamostras de cada unidade experimental, calculando-se a média aritmética dos valores. A massa de 1000 grãos foi estimada a partir da massa média de oito amostras de 100 sementes (BRASIL, 2009), contadas de forma manual com o auxílio de um tabuleiro, determinada em balança de precisão. Durante a avaliação, a umidade dos grãos foi medida novamente para que a massa fosse corrigida de acordo com o teor de umidade padrão de 13%.

O teor de nitrogênio foi determinado seguindo a metodologia Semi-Micro Kjeldahl (1883), conforme descrito por (MALAVOLTA *et al.*, 1997), sendo posteriormente, estimado o teor de proteína. Inicialmente, 150 g de grãos foram processados em moinho tipo Wiley para a obtenção das amostras moídas e, desse material, utilizou-se uma alíquota de 0,1 g.

A determinação do poder germinativo seguiu o método BRF, adaptado da metodologia EBC 3.6.2. (ANALYTICA EBC, 1997), separaram-se 100 sementes por amostra, acondicionados em placas de Petri forradas com duas folhas de papel-filtro. A fim de avaliar a energia germinativa o primeiro lote foi previamente umedecido com 4 mL de água deionizada. Após a distribuição uniforme dos grãos, vedaram-se as placas, mantendo-as incubadas sob temperatura controlada de 20°C. As avaliações ocorreram nos intervalos de 24, 48 e 72 horas, momento em que as sementes germinadas eram contabilizadas e removidas do recipiente.

Após a conclusão experimento, os dados foram tabulados e submetidos à identificação de *outliers*. Em seguida, a normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Atendidos os pressupostos estatísticos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

Quando as premissas não foram atendidas, os dados passarão por transformações matemáticas apropriadas antes da realização da ANOVA. Constatado efeito significativo das doses pelo teste F, aplicou-se a análise de regressão. Os gráficos de dose-resposta foram confeccionados com o auxílio do programa Microsoft Excel, apresentando-se o modelo com ajuste acima de 80%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância não revelou significância para as variáveis população (POP), índice de área foliar avaliado na fase vegetativa (IAFv) e na fase reprodutiva (IAFr), altura de plantas (AP) e número de perfilhos por planta (NPP) para nem um dos fatores avaliados e nem para a interação. Para as variáveis número de grãos por espiga (NGE), comprimento de espiga (CE), índice de colheita (IC), índice de palha (IP) e massa de 1000 grãos (MMG) houve efeito do fator doses do extrato aquoso de *Viridiparva madeirensis* (DVM) aplicado via sementes. As variáveis produtividade (PROD) e produtividade relativa (PR) foram influenciadas pelo fator doses de *Viridiparva madeirensis* e pelo fator inoculação com *Azospirillum brasilense* (Tabela 2). Entretanto, houve efeito significativo para a interação entre os fatores doses de *Viridiparva madeirensis* aplicadas via sementes com inoculação de *Azospirillum brasilense* para o índice relativo de clorofila (IRC) (Tabela 2).

Os coeficientes de variação foram baixos para as variáveis IAFr, IRC, AP, NGE, CE, IC, IP, PROD e MMG indicando alta precisão experimental, o que segundo Pimentel Gomes (2009) demonstra alta homogeneidade dos dados e baixa variação ao acaso. No entanto, para as variáveis POP, IAFv e NPP a homogeneidade dos dados foi menor e a variação maior, resultando em mediana precisão experimental (Tabela 2).

O ciclo observado de 127 dias mostrou-se coerente com o padrão da cultivar Princesa que, segundo a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA, 2025), é de aproximadamente 122 dias da emergência à maturação. Essa proximidade temporal indica que, mesmo com a semeadura realizada fora do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), não houve alteração expressiva na fenologia da cultura. Segundo o portfólio da empresa, preconiza-se para a cv. Princesa uma densidade de 180 a 200 sementes m^{-2} , o que equivale a 1.800.000 a 2.000.000 de plantas ha^{-1} , com altura de planta (AP) de 75 cm, massa de 1000 grãos (MMG) de 41 g e peso hectolitro (PH) de 64,22 kg hL^{-1} . A população final (POP) obtida neste estudo foi 12,96% (1.566.666,67 plantas ha^{-1}) inferior ao limite inferior preconizado pela FAPA (Tabela 2). Os valores de MMG (42,45 g) e PH (64,14 kg hL^{-1}) foram coerentes aos indicados para a cultivar, no entanto a AP foi 8,88% (68,34 cm) inferior ao indicado para a cultivar em questão. Essas variações podem ser atribuídas às variações edafoclimáticas.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis população (POP), índice de área foliar avaliado na fase vegetativa (IAFv) e na fase reprodutiva (IAFr), índice relativo de clorofila (IRC), altura de plantas (AP), número de perfilho, número de grãos por espiga (NGE), comprimento de espiga (CE), índice de colheita (IC), índice de palha (IP), produtividade (PROD), produtividade relativa (PR) e massa de 1000 grãos (MMG) da cultura da cevada, cultivar Princesa, em função do tratamento de sementes com doses de *Viridiparva madeirensis* associadas ou não à inoculação com *Azospirillum brasilense*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causas de variação	Quadrado Médio													
	GL	POP (ptas ha ⁻¹)	IAFv	IAFr	IRC	AP (cm)	NPP	NGE	CE (cm)	IC	IP	PROD (kg ha ⁻¹)	PR (%)	MMG (g)
Blocos	3	6,2 x 10 ¹⁰	1,43**	0,02	13,88**	62,7**	0,40	0,88	4,0x10 ⁻³	3,0 x 10 ⁻⁴	4,0x10 ⁻⁴	259.383	120,42	2,195
DVM	5	1,4 x 10 ¹¹	0,36	0,01	1,86	7,9	0,29	5,79**	1,4x10 ^{-2**}	1,6 x 10 ^{-3**}	1,6x10 ^{-3**}	3.368.473**	1.563,76**	4,948**
AZ	1	1,6 x 10 ¹¹	0,10	0,01	0,38	13,6	0,00	1,00	9,0x10 ⁻³	1,6 x 10 ⁻³	1,6x10 ⁻³	1.466.401**	680,56**	1,844
DVM x AZ	5	2,3 x 10 ¹¹	0,21	0,02	12,16**	8,4	0,21	1,03	4,0x10 ⁻³	4,0 x 10 ⁻⁴	4,0x10 ⁻⁴	103.342	48,07	0,680
Resíduo	33	1,1 x 10 ¹¹	0,23	0,01	3,60	10,06	0,48	2,24	4,0x10 ⁻³	4,0x10 ⁻⁴	4,0x10 ⁻⁴	131.240	60,93	1,443
CV (%)		21,56	15,92	5,65	3,28	4,64	14,30	5,77	2,20	4,11	4,22	6,63	6,63	2,83
Média	47	1.566.667	2,99	3,38	57,83	68,34	4,83	25,92	7,43	0,51	0,49	5.461,40	117,68	42,45

GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio; **=significativo a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação. DVM= doses de *Viridiparva madeirensis*; AZ= inoculação com *Azospirillum brasilense*; ptas ha⁻¹= planta por hectare.

O valor médio do índice de área foliar (IAFv) registrado durante a fase vegetativa foi de 2,99, enquanto o índice de área foliar avaliado durante a fase reprodutiva (IAFr) foi de 3,38 (Tabela 2), demonstrando coerência com os valores observados por Rosso *et al.* (2022) em cevada produzida a campo, avaliados por meio do ceptômetro SunScan. Os autores relataram um IAF médio de 2,38, com amplitude entre 0,53 e 5,15, a depender da cultivar.

No trabalho de Rodrigues *et al.* (2022), os valores de IAF para a cultura da cevada, determinados no estágio de antese, encontraram-se entre 3,0 e 5,1, apresentando média de 3,59. Desta forma, pode-se inferir que os valores observados para a cv. Princesa de cevada situam-se dentro do intervalo reportado pela literatura supracitada, indicando que o dossel se desenvolveu conforme os padrões fenotípicos normais para a espécie, estabelecendo uma arquitetura foliar adequada para a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (TAIZ *et al.*, 2017).

A cevada é uma planta de crescimento determinado, estabilizando a área foliar no final da fase vegetativa e início da fase reprodutiva. Assim, o aumento de 11,54% no IAF entre as fases de desenvolvimento da cultura, representa aumento na interceptação luminosa e atividade fotossintética, que ao estabilizar, deverá ser suficiente para suprir de fotoassimilados o desenvolvimento das estruturas reprodutivas (TAIZ *et al.*, 2017).

O índice relativo de clorofila (IRC) é utilizado com um indicador indireto do teor de nitrogênio nas folhas, uma vez que as moléculas de clorofila contêm quatro átomos de N, sendo consideradas pigmentos essenciais à fotossíntese, processo responsável pela formação de esqueletos carbônicos (YU *et al.*, 2014). Para a variável IRC, houve interação entre os fatores doses da *V. madeirensis* e inoculação com *Azospirillum brasilense* via sementes (Tabela 2).

No entanto, quando realizado o desdobramento do fator doses de *V. madeirensis* dentro do nível com inoculação de *Azospirillum brasilense*, houve ajuste a uma equação linear decrescente. Contudo, o coeficiente de determinação obtido foi baixo ($R^2 = 26,59\%$), o que indica que apenas essa percentagem da variação dos dados é explicada pelo modelo matemático linear obtido.

Da mesma forma, ao realizar o desdobramento das doses de *Viridiparva madeirensis* dentro do nível sem inoculação de *Azospirillum brasilense*, observou-se ajuste a uma equação linear crescente com coeficiente de determinação de 58,04%.

Em decorrência dos baixos valores de R^2 obtidos nos desdobramentos, optou-se por apresentar as representações gráficas correspondentes no Anexo 1.

O índice relativo de clorofila (IRC) médio obtido foi de 57,83, o qual equivale a um índice SPAD estimado de 54,4, atestando o estado nutricional e fisiológico satisfatório das plantas. Esses resultados superam os reportados por Pies *et al.* (2017), que registraram amplitude de 40,74 a 48,85 para a mesma variável ao utilizarem o clorofilômetro Soil Control (modelo CFL-1030). De maneira semelhante, Karaman (2022) obteve valores entre 41,2 e 53,8 ao avaliar o índice SPAD em 12 cultivares de cevada. Esse comportamento reforça que as médias atingidas no presente experimento demonstram elevada eficiência na síntese de clorofila, evidenciando que o suprimento de N se manteve adequado em todas as combinações de tratamentos avaliadas.

Segundo Fukami *et al.* (2018) a associação de insumos biológicos é capaz de potencializar a eficiência no uso de nutrientes e a capacidade fotossintética vegetal por meio de estímulos metabólicos complementares, no entanto, esse sinergismo biológico não foi verificado para a associação entre a microalga *V. madeirensis* e *A. brasilense* para a variável IRC. No entanto, dos Santos *et al.* (2025), ao avaliarem a aplicação de diferentes concentrações do extrato hidroalcoólico de *V. madeirensis* em feijão, comprovaram aumentos significativos na biomassa inicial, na atividade de enzimas do sistema antioxidante e na regulação positiva de genes associados ao desenvolvimento vegetal.

No que se refere à altura de plantas (AP), a média registrada para a variável foi de 68,34 cm (Tabela 2), valor revela-se semelhante a outros resultados relatados na literatura para outros materiais genéticos sob manejo nitrogenado, como as cultivares BRS Brau (66,7 cm) e BRS Cauê (65,8 cm), o que evidencia que a estatura obtida se encontra dentro da normalidade para cultivos em campo. Essa proximidade com os valores da literatura indica que, embora a estatura das plantas não tenha alcançado o potencial genético descrito no manual técnico, o crescimento das plantas ocorreu dentro da amplitude normal esperada para cultivos comerciais sob condições de campo (Hermann *et al.*, 2023).

O componente da produção número de perfilhos por planta (NPP) apresentou valor médio de 4,83 (Tabela 2). Conforme Hermann *et al.* (2023) o perfilhamento é um caráter morfológico controlado pela base genética da cultivar e pelo arranjo espacial de semeadura adotado. Essa dinâmica encontra-se acima das observações de

Jaques (2018), que, ao avaliar o comportamento da cevada sob manejo mineral, registrou valores médios de 1,5 e 2,2 perfilhos por planta. Essa divergência quantitativa pode estar relacionada à densidade populacional média obtida neste estudo ($1.566.666,67$ plantas ha^{-1}) ter sido abaixo da recomendada para a cultivar. A redução da densidade populacional pode ter atenuado a competição intraespecífica, permitindo maior interceptação da radiação solar pelas folhas da base do dossel, estimulando mecanismos de compensação ecofisiológicos baseados na plasticidade fenotípica dos cereais de inverno, em consonância com o discutido por Londero *et al.* (2021).

Do ponto de vista funcional, a maior penetração de radiação solar direta na base do dossel alterou a relação espectral vermelho/vermelho-distante, sinalizando via fitocromos a atenuação da dominância apical exercida pelo colmo principal (TAIZ *et al.* 2017). Essa alteração no balanço hormonal, caracterizada pelo estímulo das citocininas em detrimento do fluxo de auxinas, desencadeou a ativação das gemas axilares dormentes. Consequentemente, a maior disponibilidade de fotoassimilados diários que não foram consumidos com o estiolamento dos colmos permitiu o direcionamento de reservas carbonadas para a manutenção e sobrevivência de múltiplos perfilhos, culminando no elevado NPP observado de forma independente dos bioinsumos aplicados.

O componente da produção número de grãos por espiga (NGE) apresentou média de 25,92, valor superior ao observado por Souza *et al.* (2019), que registraram média de 22,80 grãos por espiga em genótipos destinados à indústria cervejeira. O ajuste à equação linear crescente do NGE, em função das doses de *V. madeirensis*, foi muito baixo ($R^2=0,4409$), demonstrando que somente 44,09% dos dados se ajustaram a equação (Anexo 1C). De maneira análoga, o comprimento médio de espiga (CE), estabelecido em 7,43 cm, apresentou desempenho superior à amplitude de 5,89 a 6,93 cm relatada por Shihhare *et al.* (2020) em diferentes períodos de semeadura. Da mesma forma, o CE ajustou-se à uma equação linear crescente, sendo somente 50,12% da resposta a doses de *V. madeirensis* explicada pela equação (ANEXO 1D).

A massa de 1000 Grãos (MMG) média foi de 42,45 g, valor que se assemelha aos achados de Sanches (2015), que observou médias entre 37,9 e 44,0 g para a cultura da cevada. Houve ajuste de 39,59% dos dados de MMG à uma equação linear decrescente, não sendo representativo (ANEXO 1B). Queiroga *et al.* (2024) destaca

que quanto maior o grão maior a reserva de amido, o que se traduz diretamente em maior extrato de malte no processo de fabricação da cerveja.

Para esse estudo, houve resposta linear crescente do IC às das doses de *V. madeirensis* independente da inoculação (ANEXO E) e, linear decrescente para o IP (ANEXO F), ambas com ajuste de 48,65%, denotando baixa representatividade da equação ajustada. Considerando a partição dos fotoassimilados, o índice de colheita (IC) médio foi de 0,51 e o índice de palha (IP) de 0,49 (Tabela 2), indicando maior alocação dos esqueletos carbônicos nos grãos. Murcia (2016) para a cultivar BRS Itanema, observou incremento IC de 0,3, em condições sem tratamento, para valores próximos a 0,51 mediante a aplicação de reguladores de crescimento. O IC médio obtido neste estudo foi superior ao observados por Shivhare *et al.* (2020), que reportaram variações entre 0,39 e 0,41 sob regime de irrigação.

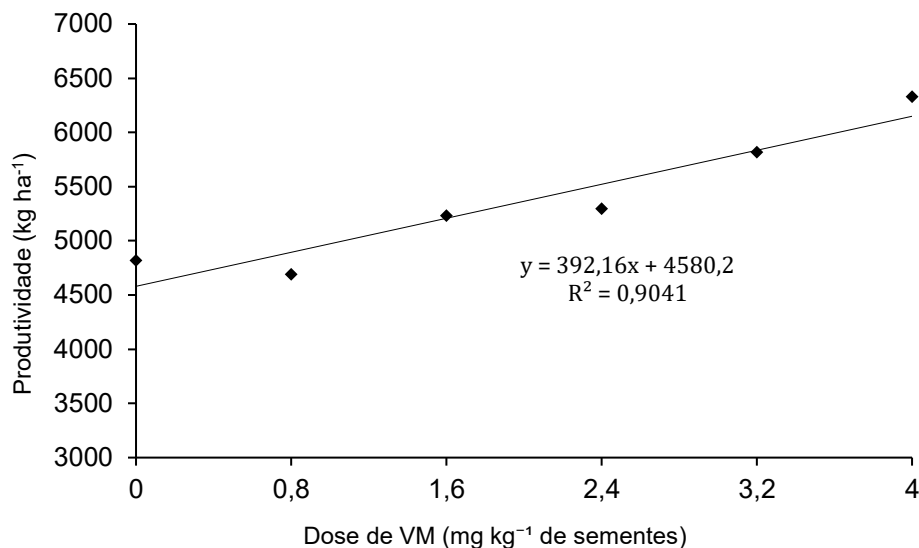
O IP observado está em consonância com os achados de Hermann *et al.* (2023), que observaram variações semelhantes na produção de palhada em cereais de inverno sob diferentes manejos. Segundo Souza *et al.* (2013), a manutenção do equilíbrio na produção de palhada é essencial para assegurar o vigor da cultura sem comprometer excessivamente o direcionamento de assimilados para outras funções fisiológicas.

O ajuste significativo da produtividade (90,41%) pode ser explicado pelo comportamento linear crescente das variáveis comprimento de espiga (CE), número de grãos por espiga (NGE) e índice de colheita (IC), associado ao decréscimo linear do índice de palha (IP) em resposta às doses do extrato de *V. madeirensis*, apesar dos baixos coeficientes de determinação obtidos (ANEXO 1). Adicionalmente, infere-se que o efeito compensatório do aumento no CE e no NGE superou a tendência de redução da massa de 1000 grãos (MMG) sob o efeito de *V. brasiliense*, resultando na maximização da produtividade (Figura 4).

A produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa, em função de doses do extrato de *V. madeirensis* via tratamento de sementes independentemente da inoculação com *Azospirillum brasilense*, não possibilitou a identificação de uma dose de máxima eficiência, uma vez que se ajustou a uma equação linear crescente, com ajuste dos dados à equação de 90,41% (Figura 4), evidenciando a necessidade de realização de estudos futuros com maiores doses (Figura 4). A produtividade quando do não tratamento de sementes com *V. madeirensis* foi 4.580,14 kg ha⁻¹, estimando-se em 6.148,84 kg ha⁻¹ quando da utilização da dose de 4 mg kg⁻¹ de sementes de *V.*

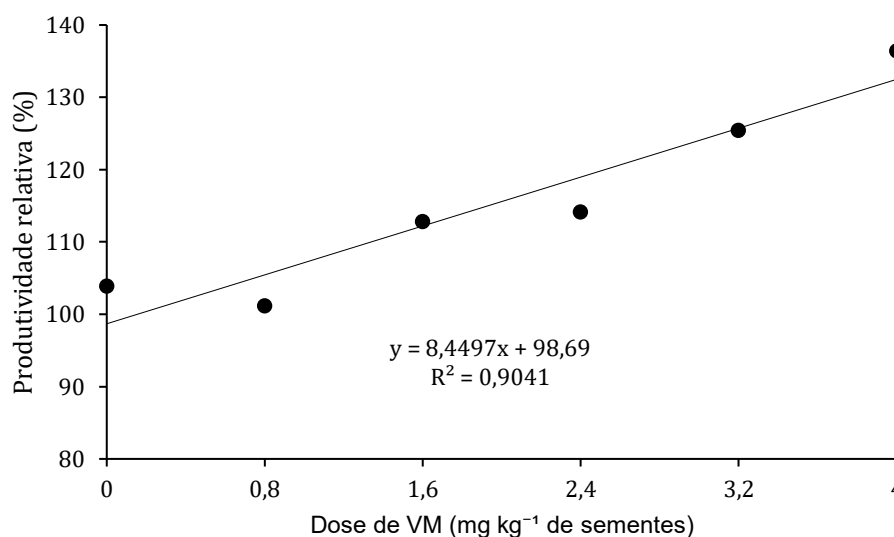
madeirensis, o que corresponde a um aumento de 1.568,84 kg ha⁻¹ ou 26,14 sacas de 60 kg (Figura 4).

Figura 4 - Produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa, em função de doses do extrato de *Viridiparva madeirensis* via tratamento de sementes independentemente da inoculação com *Azospirillum brasilense*. Ponta Grossa/PR, 2025.



Calculou-se a produtividade relativa (PR) à testemunha absoluta, cuja média foi de 4.641,04 kg ha⁻¹ (Figura 4), com isso foi possível denotar PR média de 117,68, o que representa aumento médio na produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa de 17,68% (Tabela 2). Independentemente das doses de *V. madeirensis* aplicadas via sementes, o nível do fator com inoculação com *A. brasilense* proporcionou PR de aumento de 121,44 e sem inoculação de 113,91 (Tabela 3). A PR estimada por meio da equação linear crescente ajustada, quando da dose 4 mg kg⁻¹ de sementes de *V. madeirensis*, foi de 132,49, evidenciando aumento de 32,49% na produtividade de grãos (Figura 5).

Figura 5 - Produtividade relativa à testemunha absoluta em função da dose de *Viridiparva madeirensis* via tratamento de sementes independentemente da inoculação com *Azospirillum brasilense*, da cultura da cevada, cv. Princesa. Ponta Grossa/PR, 2025.



A inoculação com *A. brasilense* proporcionou um aumento de 6,2% na produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa, representando 349,57 kg ha⁻¹ ou 5,8 sacas de 60 kg a mais quando comparada à ausência de inoculação (Tabela 3). Nesse contexto, a associação biológica demonstra potencial para contribuir com a maximização do desempenho produtivo, podendo se tornar uma alternativa de baixo custo. Os resultados corroboram com os achados de Hungria *et al.* (2010), que ressaltam a importância da inoculação com estirpes selecionadas de *A. brasilense* para o aumento da rentabilidade em cereais de inverno no Brasil. A resposta positiva na produtividade indica que, embora outras variáveis possam não ter apresentado resposta ao fator inoculação, a cultura conseguiu converter o estímulo biológico de forma eficiente em produção de massa grãos, assim a inoculação pode se tornar uma estratégia para a produção sustentável de cevada.

Tabela 3. Produtividade e produtividade relativa da cultura da cevada, cv. Princesa, em função da inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causas da variação	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Produtividade relativa (%)
Sem inoculação	5.286,61 b	113,91 b
Com inoculação	5.636,18 a	121,44 a
Média	5.461,40	117,68

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F.

O efeito pode estar atribuído aos mecanismos de promoção de crescimento vegetal exercidos pelo *A. brasilense*, induzindo a planta a aumentar a atividade de enzimas chaves na assimilação do nitrogênio, como a nitrato redutase e a glutamina sintetase. Isso acelera a transformação do nitrogênio mineral em aminoácidos e proteínas na parte aérea, otimizando o metabolismo do nitrogênio da própria planta. Além da fixação biológica de nitrogênio, destaca-se a produção de fitormônios, como as auxinas, que estimulam a expansão do sistema radicular. Um sistema radicular mais robusto permite que a planta explore o perfil do solo com maior eficiência, otimizando a absorção de água e nutrientes, o que se reflete diretamente na manutenção dos componentes de produtividade e na produtividade final (FUKAMI *et al.*, 2016).

A produtividade média foi de 5.364,40 kg ha⁻¹, considerada elevada e reflete o potencial produtivo da região de Ponta Grossa, uma vez que, evidenciou-se maior em 20,80 e 14,66% que a média nacional (4.358 kg ha⁻¹) e estadual (4.661 kg ha⁻¹) (CONAB, 2026). Ressalta-se que mesmo tendo sido realizada a semeadura fora do zoneamento climático recomendado, a cultura apresentou bom desempenho. Esse resultado pode ser atribuído às condições climáticas adequadas ao longo do ciclo da cultura, uma vez que, a precipitação total foi de 412,8 mm, valor que se encontra entre 400 a 650 mm, e a temperatura média de 15,39°C, encontrando-se entre de 15 a 18°C, ou seja, valores compatíveis com o ideal para o bom desenvolvimento da cultura (CARVALHO *et al.*, 2022; QUEIROGA *et al.*, 2024).

Não houve efeito significativo dos fatores doses de *Viridiparva madeirensis* e inoculação com *Azospirillum brasilense* para as variáveis peso hectolitro (PH), germinação (G) e proteína total (PT). Os coeficientes de variação obtidos para as variáveis PH e G baixos demonstraram boa precisão experimental, enquanto a PT apresentou um coeficiente intermediário, segundo Pimentel Gomes (2009).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis peso hectolitro (PH), germinação (G) e proteína total (PT) da cultura da cevada, cv. Princesa, submetida a diferentes doses de *Viridiparva madeirensis* e inoculação com *Azospirillum brasilense*. Ponta Grossa/PR, 2025.

Causa da variação	GL	QM		
		PH (kg hL ⁻¹)	G (%)	PT (%)
Blocos	3	1,398 ^{ns}	0,910 ^{ns}	1,205 ^{ns}
DVM	5	2,134 ^{ns}	1,471 ^{ns}	1,780 ^{ns}
AB	1	1,802 ^{ns}	0,189 ^{ns}	3,467 ^{ns}
DVM x AB	5	0,764 ^{ns}	7,938 ^{ns}	2,558 ^{ns}
Resíduo	33	0,934	4,516	1,51
CV (%)	47	1,51	2,18	11,18
Média		64,14	97,65	10,99

GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio. CV= coeficiente de variação. DVM= doses vde *Viridiparva madeirensis*; AB= inoculação ou não com *Azospirillum brasilense*.

O peso do hectolitro (PH) médio obtido foi de 64,14 kg hL⁻¹ (Tabela 4), valor que se destaca por superar amplamente o limite mínimo de 58 kg hL⁻¹ estabelecido pelos critérios de recepção da CAPAL (2023) para a classificação de cevada padrão cervejeiro. Além de atender aos requisitos comerciais, a média observada demonstra uma expressiva proximidade com o potencial genético da cultura para a região, estipulado em 64,22 kg hL⁻¹ pela Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA, 2025).

Ao confrontar esses dados com estudos pretéritos, verifica-se que o PH obtido neste experimento foi substancialmente maior que o valor de 50,3 kg hL⁻¹ registrado por Matos (2024) para a cv. Princesa. Resultado que evidencia, sob as condições experimentais durante a condução experimental, as plantas conseguiram converter eficientemente os fotoassimilados para o enchimento de grãos, garantindo a densidade e a qualidade física exigidas pela indústria do malte (Tabela 4).

De acordo com os padrões tecnológicos descritos por Queiroga *et al.* (2024), a cevada cervejeira deve apresentar níveis de proteína entre 9% e 12%. Desta forma, o teor médio de proteína de 10,99% (Tabela 4) é apropriado para a malteação. Valores abaixo dessa faixa resultam em espumas instáveis e falta de nutrientes para as leveduras, enquanto valores acima de 12% dificultam a modificação do malte e podem causar turbidez na cerveja final.

No que diz respeito a energia germinação ou poder germinativo, o valor de 97,65% (Tabela 4), supera as exigências mínimas da indústria de malte. Queiroga *et al.* (2024) enfatizam que alta energia germinativa (acima de 95%) é indispensável para

a malteação, pois o processo nada mais é do que germinação controlada para a ativação de enzimas (como as amilases). Assim, um lote com 97,65% de germinação garantirá modificação e degradação do amido em açúcares fermentáveis, essencial para a produtividade na produção de cerveja.

6 CONCLUSÕES

As variáveis população, índice de área foliar avaliado na fase vegetativa e na fase reprodutiva, altura de plantas e número de perfilhos por planta (NPP) não foram influenciados pelos fatores doses de *Viridiparva madeirensis* e inoculação com *Azospirillum brasilense*.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* proporcionou aumento de 6,2% na produtividade da cultura da cevada, cv. Princesa, representando 349,57 kg ha⁻¹ independentemente da dose de *Viridiparva madeirensis*.

A produtividade da cevada, Cv. Princesa, aumentou linearmente com a dose de *Viridiparva* aplicada via tratamento de sementes. Estimou-se com a dose 4 mg kg⁻¹ de sementes de *V. madeirensis* uma produtividade de 6.148,84 kg ha⁻¹, correspondendo a um aumento de 1.568,14 kg ha⁻¹ ou 26,14 sacas de 60 kg.

As variáveis comprimento de espiga, número de grãos por fileira e índice de colheita, apesar do baixo ajuste a equações lineares crescentes quanto ao fator doses do extrato de *V. madeirensis*, podem ter contribuído para que o ajuste fosse significativo para a produtividade (90,41%).

Sob as condições experimentais, os grãos da cv. Princesa de cevada obtidos, atenderam a exigência da indústria de produção de malte quanto ao peso hectolitro (64,22 kg hL⁻¹), à germinação (97,65%) e ao teor de proteína (10,99%).

7 REFERÊNCIAS

- AMMAR, E. E. *et al.* Algae as bio-fertilizers: between current situation and future prospective: the role of algae as a bio-fertilizer in serving of ecosystem. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 29, n. 5, p. 3083-3096, 2022. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.03.020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.020>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- Analytica EBC (European Brewery Convention) 2010- 3.6.2- Germinative Energy of Barley: BRF Method, 1997. Disponível em: <https://brewup.eu/ebc-analytica/barley/germinative-energy-of-barley-brf-method/3.6.2>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- BALDANI, J. I. *et al.* *Azospirillum*. In: **Bergey's Manual of Systematic of Archaea and Bacteria**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015. p. 1-35. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00808>. Acesso em: 3 jun. 2026.
- BASHAN, Y. *et al.* *Azospirillum* and microalgae: a partnership for sustainable agriculture and environmental restoration. In: PEREIRA, G. S. *et al.* (org.). **Rhosphere engineering: features and applications**, 2022. cap. 15, p. 285-303. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-032-09222-9_15. Acesso em: 28 mar. 2026.
- BEIJERINCK, M. W. Über ein Spirillum, welches freien Stickstoff binden kann. **Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten**, v. 63, p. 535-559, 1925. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0300-9084\(25\)80012-3](https://doi.org/10.1016/S0300-9084(25)80012-3). Acesso em: 3 jun. 2026.
- BLATTNER, F. R. Taxonomy and origin of cultivated barley. In: STEIN, N.; MUEHLBAUER, G. J. (Ed.). **The barley genome**. Springer, 2018. p. 13-24. Acesso em: 28 mar. 2026.
- BRAMMER, S. P.; ROSA, L. M. da; GELLER, J. Z. **Variabilidade e viabilidade polínica em cevada**: aspectos botânicos, agronômicos e citogenéticos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. 20 p. (Documentos, 205). ISSN 1518-6512. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1154429/1/DT-205-online.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **No primeiro semestre deste ano, Brasil exportou 42% a mais o valor de cerveja**. Brasília, DF: MAPA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mapa>. Acesso em: 22 maio 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BRODIE, J. *et al.* Exploring marine algal diversity in the genomic era. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, n. 12, p. 2773-2791, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-017-1388-z>. Acesso em: 29 maio 2026.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1, p. 3-41, 2014. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S11104-014-2131-8>. Acesso em: 4 maio 2026.

CAPAL - COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL. **Relatório de sustentabilidade 2022**. CAPAL, 2023. 48 p. Disponível em: <https://www.capal.coop.br/pdf/arquivo-2023-06-30-13-29-24.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2026.

CARVALHO, M. E. A. *et al.* Seaweed extract provides development and production of wheat. **Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 166-170, 2014. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/2459>. Acesso em: 16 jan. 2026.

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. Azospirillum sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>. Acesso em: 3 jun. 2026.

CASSÁN, F.; MARONICHE, G.; REIS, V. M. *et al.* Um século de pesquisa sobre *Azospirillum* e ainda há muito a descobrir. **Plant and Soil**, v. 519, p. 1–59, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-025-08178-9>. Acesso em: 18 maio 2026.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos: 7º Levantamento**, safra 2025/26. CONAB, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-7o-levantamento_2026.pdf. Acesso em: 10 maio 2026.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Cevada**: série histórica de área, produtividade e produção. CONAB, 2025. Dados estatísticos. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 27 fev. 2026.

COSTA, J. A. V. *et al.* Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 54, n. 4, p. 366–375, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1571366>. Acesso em: 5 maio 2026.

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 371-393, jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-2>. Acesso em: 18 mar. 2026.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 28 p. (Documentos online, n. 139). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/969146/1/2012documentosonline139.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

DERAL – DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Prognóstico cevada - outubro de 2020**. Curitiba: DERAL/SEAB, 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: 20 jun. 2025.

DERAL- PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Prognóstico da Cevada**. Curitiba: DERAL, 2025. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Departamento-de-Economia-Rural-Deral>. Acesso em: 18 maio 2026.

DÖBEREINER, J.; MARRIEL, I. E.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 22, n. 10, p. 1464-1473, 1976. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/m76-217>. Acesso em: 3 jun. 2026.

DOS SANTOS, A. A. *et al.* Chemical profiling and bioactivity of microalgae extracts for enhancing growth and anthracnose resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biotech**, v. 14, n. 1, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biotech14010017>. Acesso em: 17 mar. 2026.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae** v. 196, p. 3-14, nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em: 18 mar. 2026.

EL ARROUSSI, H. *et al.* ***Chlorella sorokiniana* extract improves the salinity tolerance of *Arabidopsis thaliana* by enhancing photosynthetic performance and antioxidant capacity**. Plant Physiology and Biochemistry, v. 124, p. 1-11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.050>. Acesso em: 12 fev. 2026.

EMBRAPA. **Cevada**. Brasília, DF: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos/cevada>. Acesso em: 30 jun. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. Acesso em: 20 jun. 2025.

EMBRAPA. **Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira: safras 2025 e 2026**. Editor técnico: Aloisio Alcantara Vilarinho. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 1 manual eletrônico (60 p.). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1179171/1/Indicacoes-Cevada-2025-e-2026-CGPE.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2026.

EMBRAPA. **Pesquisadores discutem como superar os desafios da produção de cevada no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Trigo, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/72655369/pesquisadores-discutem-como-superar-os-desafios-da-producao-de-cevada-no-brasil>. Acesso em: 20 jun. 2025.

EMBRAPA. **Variabilidade e viabilidade polínica em cevada: aspectos botânicos, agrônômicos e citogenéticos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. (Documentos, 205). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1154429/1/DT-205-online.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

EMBRAPA. **Variabilidade e viabilidade política em cevada**: aspectos botânicos, agrônômicos e citogenéticos. Embrapa Trigo. Parro Fundo, RS: Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1154429/1/DT-205-online.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

EOS - DATA ANALYTICS. **Plantação de cevada: tudo o que precisa de saber para uma colheita bem-sucedida**. 2025. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/plantacao-de-cevada/>. Acesso em: 8 mar. 2026.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT: statistical databases**. Roma: FAO, 2026. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 5 maio 2026.

FAPA. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. **Sementes**. Guarapuava: FAPA, 2025. Disponível em: <https://www.agraria.com.br/sementes>. Acesso em: 19 maio 2025.

FARIAS, A. de; MINOZZO, A. **Divergência genética e desempenho agrônômico de cultivares de cevada**. IDR-Paraná, 2023.

FERREIRA, C. **Cultivares de cevada semeadas em espaçamentos simples e pareado combinados com doses de adubo e densidade de semeadura**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2242>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FIBACH-PALDI, S. *et al.* Characterization of bioactive compounds and molecular signaling in microalgae. **Journal of Phycology**, v. 48, n. 3, p. 621-632, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01145.x>. Acesso em: 3 jun. 2026.

FUKAMI, J. *et al.* Accessing *Azospirillum brasilense* virtues: evaluation of reasons behind plant growth promotion. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, art. 1477, p. 1-15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01477>. Acesso em: 22 maio 2026.

GARCÍA, T. S. *et al.* 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, e102886, p. 1-9, 2022. DOI: 10.1016/j.algal.2022.102886. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102886>. Acesso em: 18 maio 2026.

GUIRY, M. D. How many species of algae are there **Journal of Phycology**, v. 48, n. 5, p. 1057-1063, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x>. Acesso em: 29 maio 2026.

HERMANN, P. *et al.* Desempenho agrônômico de cultivares de cevada sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Thema**, v. 22, n. 2, p. 446–458, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2526>. Acesso em: 9 maio 2026.

HU, Q. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species: *Arthrospira (Spirulina) platensis*. In: RICHMOND, A. (Ed.). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science, 2004. p. 264-272. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470995280.ch13>. Acesso em: 29 jan. 2026.

HUNGRIA, M. *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves grain yield of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>. Acesso em: 18 maio 2026.

JAKUES, B. A. J. **Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de cevada em função da adubação nitrogenada**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/123456789/4141>. Acesso em: 28 mar. 2026.

KARAMAN, M. Relationship between physiological characteristics and grain yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 737-745, 2022. Disponível em: <https://www.banglajol.info/index.php/BJB/article/view/63493>. Acesso em: 9 maio 2026.

KHAN, M. I. *et al.* The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. **Microbial Cell Factories**, v. 17, e36, p. 1-21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>. Acesso em: 20 jun. 2025.

KHAN, S. A. *et al.* Microalgae based biofertilizers: a biorefinery approach to phycoremediate wastewater, biodiesel and manure. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 581-599, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.233>. Acesso em: 20 jan. 2026.

KHAN, W. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386-399, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S00344-009-9103-x>. Acesso em: 4 maio 2026.

KHOLSSI, R. *et al.* Bio-based green agriculture: a review of the application of micro- and macroalgae and their impact on crop production and soil quality. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 4, p. 4627–4641, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00944-3>. Acesso em: 27 jan. 2026.

KJELDAHL, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. **Zeitschrift für Analytische Chemie**, v. 22, n. 1, p. 366-382, 1883.

LONDERO, G. *et al.* Densidade de semeadura e desempenho agrônomo de cereais de inverno de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e02043, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02043>. Acesso em: 22 maio 2026.

LOPES, G. B. *et al.* Potential of *Desmodium abundans* as biofertilizer in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 49, e102657, p. 1-8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102657>. Acesso em: 30 jun. 2025.

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

MATOS, R. S. **Desempenho agrônomo e qualidade industrial da cultivar de cevada BRS Princesa sob diferentes manejos fitotécnicos**. Guarapuava: UNICENTRO, 2024. Disponível em: <https://unicentro.br/repositorio/handle/123456789/matos2024>. Acesso em: 4 jun. 2026.

MIRANDA, A. M. *et al.* Advances in the development of biofertilizers and biostimulants from microalgae. **Biology**, v. 13, n. 3, e199, p. 1-19, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-7737/13/3/199>. Acesso em: 30 jun. 2025. Acesso em: 30 jun. 2025.

MURCIA, A. M. **Efeito de reguladores de crescimento no índice de colheita e componentes de rendimento da cultivar de cevada BRS Itanema**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016.

NITSCHKE, P. B. *et al.* **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/Atlas_Climatico_Parana.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

PHILIPPOT, L. *et al.* Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, v. 11, n. 11, p. 789-799, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3101>. Acesso em: 4 jun. 2026.

PIES, W. *et al.* Desenvolvimento inicial da cevada inoculada com *Azospirillum brasilense* em competição com populações de azevém. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 8, p. 119-129, 2017. Disponível em: https://www.unigran.br/agrarianacademy/edicao8/resumo_13.php. Acesso em: 9 maio 2026.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p. Disponível em: <https://www.fealq.org.br/produto/curso-de-estatistica-experimental/>. Acesso em: 27 jan. 2026.

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. 350 p.

RACHIDI, F. *et al.* Microalgae polysaccharides bio-stimulating effect on tomato plants: growth and metabolic distribution. **Biotechnology Reports**, v. 25, e00426, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00426>. Acesso em: 12 fev. 2026.

RENGANATHAN, P. *et al.* Phycoremediated Microalgae and Cyanobacteria Biomass as Biofertilizer for Sustainable Agriculture: A Holistic Biorefinery Approach to Promote Circular Bioeconomy. **Biomass**, v. 4, n. 4, p. 1047-1077, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biomass4040059>. Acesso em: 20 jun. 2025.

RODRIGUES, O. *et al.* Improvement in Brazilian barley breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, e1032243, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1032243>. Acesso em: 9 maio 2026.

ROSSO, P. *et al.* Remote sensing information processing to obtain leaf area index in barley: a comparison of methods. **Precision Agriculture**, v. 23, n. 4, p. 1198-1221, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09893-4>. Acesso em: 9 maio 2026.

SANCHES, A. G. *et al.* Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a doses de nitrogênio na cultura da cevada. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 62, n. 2, p. 196-203, 2015.

SANTOS, N. H. S. *et al.* Efeito do extrato de algas no desempenho germinativo e crescimento radicular em sementes de feijão BRS Estilo em resposta a diferentes métodos de aplicação. **Hoehnea**, v. 48, e1002020, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-100/2020>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SHIVHARE, P. *et al.* Performance of barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties under different sowing dates under irrigated conditions. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 4, p. 2244-2252, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.904.265>. Acesso em: 9 maio 2026.

SILVA, A. Extrato de algas na agricultura: benefícios e aplicações. **AgroAdvance**, 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-extrato-de-algas-na-agricultura/>. Acesso em: 18 maio 2026.

SOUZA, C. A. de *et al.* Crescimento e produtividade de grãos de cevada em função de doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 3, p. 245-255, 2013. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5253>. Acesso em: 9 maio 2026.

STRZELCZYK, E.; KAMPER, M.; LI, C. Cytokinin-like substances and ethylene production by *Azospirillum* in media with different carbon sources. **Microbiological Research**, v. 149, n. 1, p. 55-60, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0944-5013\(11\)80137-3](https://doi.org/10.1016/S0944-5013(11)80137-3). Acesso em: 3 fev. 2026.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p. Disponível em: <https://www.grupoa.com.br/fisiologia-e-desenvolvimento-vegetal-6ed-p1004125>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2021.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, n. 6, p. 1016-1024, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/aem.37.6.1016-1024.1979>. Acesso em: 3 fev. 2026.

TOMASELLI, L. The microalgal cell. In: RICHMOND, A. (Ed.). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science, 2004. p. 3-19. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470995280.ch1>. Acesso em: 29 jan. 2026.

ULLMANN, S.; QUEIROLO, A. A. Morfologia e classificação da cevada. In: COMISSÃO DE PESQUISA DE CEVADA. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. p. 45-50. Disponível em: <https://www.embrapa.br/trigo/publicacoes>. Acesso em: 20 jun. 2025. USDA.

United States Department of Agriculture. **Grain: World Markets and Trade**. USDA, 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/>. Acesso em: 18 maio 2026.

VICTOR, M. M.; MOUTINHO, F. L. B.; RIATTO, V. B. Microalgas: uma estratégia sustentável na transformação e obtenção de compostos orgânicos. **Química Nova**, v. 47, n. 2, e-20230107, p. 1-17, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230107>. Acesso em: 25 ago. 2025.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de bioestimulantes na cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 2, p. 222-228, 2001. Disponível em: <https://www.abrates.org.br/revista/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

VON BÜLOW, J. F. W.; DÖBEREINER, J. Potential for nitrogen fixation in maize genotypes in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 72, n. 6, p. 2389-2393, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.72.6.2389>. Acesso em: 3 jun. 2026.

WETZEL, M. M. V. S.; FERREIRA, F. R. Sistema de curadorias de germoplasma. In: FERREIRA, F. R. (Ed.). **Recursos genéticos vegetais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007. p. 121-144. Disponível em: <https://www.embrapa.br/recursos-geneticos-e-biotecnologia/publicacoes>. Acesso em: 30 jun. 2025.

YU, K. *et al.* Investigation of leaf diseases and estimation of chlorophyll concentration in seven barley varieties using fluorescence and hyperspectral indices. **Remote Sensing**, v. 6, n. 1, p. 64-86, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs6010064>. Acesso em: 9 maio 2026.

ANEXO

Anexo 01. (A) Índice relativo de clorofila (IRC) em função do desdobramento de doses de *Viridiparva madeirensis* dentro de cada nível de inoculação com *Azospirillum brasilense*. (B) Massa de 1000 grãos (MMG), (C) número de grãos por espiga (NGE), (D) comprimento de espiga (CE), (E) índice de colheita (IC) e (F) índice de palha (IP) da cultura da cevada, cv. Princesa, em função de doses do extrato de *Viridiparva madeirensis* via tratamento de sementes independentemente do fator inoculação com *Azospirillum brasilense* (AB). Ponta Grossa, 2025.

