

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ADUBAÇÃO FOLIAR E INOCULAÇÃO DE
BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL
NA QUALIDADE DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM
DE AVEIA IPR SUPREMA

Autor: Gustavo Cordeiro Pires
Orientador: Prof. Dr. Ulysses Cecato

MARINGÁ
Estado do Paraná
Janeiro - 2025

ADUBAÇÃO FOLIAR E INOCULAÇÃO DE
BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL
NA QUALIDADE DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM
DE AVEIA IPR SUPREMA

Autor: Gustavo Cordeiro Pires

Orientador: Prof. Dr. Ulysses Cecato

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Sandra Galbeiro

Dissertação apresentada, como parte das
exigências para obtenção do título de
MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa
de Pós-Graduação em Zootecnia da
Universidade Estadual de Maringá - Área
de Concentração Produção
Animal/Pastagens e Forragicultura

Maringá - PR

janeiro - 2025

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

P667a Pires, Gustavo Cordeiro
Adubação foliar e inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal na qualidade do solo e produção de forragem de aveia IPR suprema / Gustavo Cordeiro Pires. -- Maringá, PR, 2025.
xiii, 66 f. : figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ulysses Cecato.
Coorientadora: Profa. Dra. Sandra Galbeiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2025.

1. Aveia forrageira. 2. Adubação foliar. 3. *Azospirillum brasilense*. 4. Produção de forragem. I. Cecato, Ulysses, orient. II. Galbeiro, Sandra, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 631.8



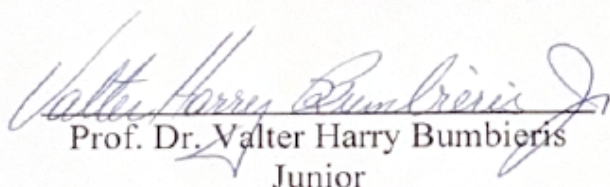
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

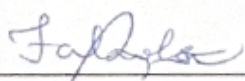
ADUBAÇÃO FOLIAR E INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL NA
QUALIDADE DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE
AVEIA IPR SUPREMA

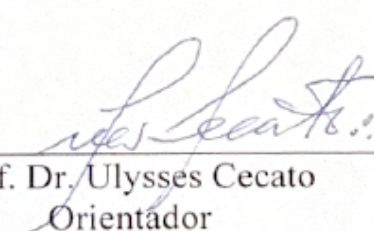
Autor: Gustavo Cordeiro Pires
Orientador: Prof. Dr. Ulysses Cecato

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADO em 27 de janeiro de 2025.


Prof. Dr. Valter Harry Bumbieris
Junior


Profª Drª Fabiola Cristine de
Almeida Rego Grecco


Prof. Dr. Ulysses Cecato
Orientador

“A vitória está reservada para aqueles que estão dispostos a pagar o preço.”

Sun Tzu

Ao meu pai Valdemir Pires e à minha mãe Horiuza Cordeiro Pires que foram o início de tudo.

Aos meus irmãos Gabriel e Vitor pelo estímulo.

À minha namorada Emanuely Magalhães pela compreensão demonstrada durante minhas ausências, companheirismo e pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

À Universidade Estadual de Maringá, por ter me possibilitado desenvolver este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Ulysses Cecato, pela dedicada orientação, ensinamentos e estímulo.

A Prof^ª. Dr^ª. Sandra Galbeiro, por cada conversa, pelos ensinamentos e a paciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UEM, que muito contribuiu para a realização deste curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UEM, pelos valiosos ensinamentos.

Aos estagiários do grupo Unidade de Estudos em Forrageiras - UNEFOR, da Universidade Estadual de Londrina, em especial ao Eduardo Signori Rosseto, Heitor Andrade, Hector Turcios, Kensen Morotomi, Kawane Dias e Raissa Holand, pelo companheirismo nos períodos laborais.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GUSTAVO CORDEIRO PIRES, filho de Valdemir Pires e Horiuza Cordeiro Pires, nasceu em Cascavel, Paraná, no dia 26 de Maio de 1995.

Em janeiro de 2011 iniciou como auxiliar administrativo na empresa Jumbo Alimentos Ltda. Permanecendo por oito anos na empresa.

Em agosto de 2017, foi bolsista de iniciação científica via Fundação Araucária no curso de Zootecnia na Universidade Estadual de Londrina.

Em dezembro de 2019, concluiu o curso de Zootecnia pela Universidade Estadual de Londrina e iniciou no cargo de coordenador de confinamento na Agropecuária Virtuosa, em Rio Crespo-RO.

Em janeiro de 2021, iniciou no cargo de assistente técnico na empresa Prime Agro, em Toledo-PR, até fevereiro de 2022.

Em Fevereiro de 2022, iniciou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração Manejo de Pastagens e Forragicultura, na Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de forrageiras temperadas com enfoque no sistema radicular e atributos físicos do solo.

ÍNDICE

Página

AGRADECIMENTOS.....	iv
BIOGRAFIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	v
I – INTRODUÇÃO.....	1
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.1. A Cultura da Aveia Forrageira e Sua Importância na Agricultura.....	3
1.1.1. Características agronômicas da aveia forrageira.....	3
1.1.2. Potencial da aveia em sistemas agrícolas sustentáveis.....	6
1.2. Adubação Foliar em Forrageiras.....	8
1.2.1. Fundamentos e benefícios da adubação foliar.....	8
1.2.2. Aplicações específicas para forrageiras, como a aveia.....	10
1.3. Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) e Seus Efeitos no Crescimento de Forrageiras.....	13
1.3.1. Tipos de BPCV e mecanismos de ação.....	13
1.3.2. Efeitos da inoculação com BPCV na produtividade de forrageiras.....	15
1.4. Integração de Adubação Foliar e Inoculação com Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal.....	17
1.4.1. Impactos da combinação das práticas na produção de aveia forrageira.....	17
1.4.2. Efeitos na qualidade do solo e na sustentabilidade da cultura.....	18
CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS.....	21

II. HIPÓTESE E OBJETIVOS GERAIS.....	23
III. Adubação foliar e inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal no solo e no sistema radicular de Aveia IPR Suprema.....	25
Highlights.....	25
Resumo.....	25
Abstract.....	26
Introdução.....	26
Material e métodos.....	27
Local e design experimental.....	27
Dados climáticos.....	29
Variáveis respostas.....	29
Análise Estatística.....	32
Resultados e Discussão.....	32
Análise estratificada de raízes.....	32
Densidade e Porosidade do solo.....	37
Conclusões.....	38
Agradecimentos.....	38
Referências.....	38
IV. Adubação foliar e inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal sobre a produção e a qualidade de Aveia IPR Suprema.....	42
Highlights.....	42
Resumo.....	42
Abstract.....	43
Introdução.....	43
Material e métodos.....	44
Local e design experimental.....	44
Dados climáticos.....	45
Variáveis respostas.....	46
Análise Estatística.....	47
Resultados e Discussão.....	47
Rebrota, ciclo de produção e cortes.....	47
Produção de forragem.....	48
Taxa de acúmulo.....	51
Interceptação Luminosa.....	53
Clorofila e Proteína.....	54
Fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido.....	57
Conclusões.....	59
Agradecimentos.....	59
Referências.....	59
V. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	63

LISTA DE TABELAS

III. COMPORTAMENTO RADICULAR E FÍSICO DO SOLO

Páginas

Tabela 1 Composição química dos adubos foliares aplicados após o primeiro corte na aveia IPR Suprema.....	28
Tabela 2 Análise estratificada de raízes. Análise estratificada de raízes. Peso seco (PS), matéria seca (MS), diâmetro radicular (DiR1), área radicular (AR), comprimento radicular (CR), densidade de raízes (DeR), matéria seca média (μ MS) e diâmetro radicular médio (μ DiR), soma dos estratos para peso seco total (PST), área radicular total (ART), comprimento radicular total (CRT) razão de massa forragem: massa radicular (MF:MR), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), densidade do solo (DS), macroporosidade média (μ MA), microporosidade média (μ MI), densidade do solo média (μ DS) de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar	34

IV. DESEMPENHO PRODUTIVO E ATRIBUTOS BROMATOLÓGICOS

Páginas

Tabela 1 Composição química dos adubos foliares aplicados após o primeiro corte na aveia IPR Suprema	45
Tabela 2 Massa de forragem parte superior (MFPS) por corte, massa de forragem total da parte superior (Σ MFPS), média dos cortes para massa de forragem parte superior (μ MFPS), massa de forragem parte aérea (MFPA) por corte, massa forragem total (Σ MFPA), massa forragem média dos cortes (μ MFPA) de parte aérea, taxa de acúmulo de forragem (TAF), taxa de acúmulo de forragem média (μ TAF), interceptação luminosa (IL) e interceptação luminosa média (μ IL) de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar.....	49
Tabela 3 Índice de clorofila foliar (ICF), índice de clorofila foliar médio (μ ICF), teor de proteína bruta (PB), teor médio de proteína bruta (μ PB), teor de fibra em detergente neutro (FDN), teor médio de fibra em detergente neutro (μ FDN), teor de fibra em detergente ácido (FDA) e teor médio de fibra em fibra em detergente ácido (μ FDA) de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar	56

LISTA DE FIGURAS

III. COMPORTAMENTO RADICULAR E FÍSICO DO SOLO

Páginas

Figura 1 Imagem de satélite da área experimental com aveia IPR Suprema na Fazenda Escola da UEL.....	28
Figura 2 Precipitação (mm) e temperatura (°C) observada durante o ano de 2022. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR - Londrina-PR.....	29
Figura 3 Aneis volumétricos utilizados para a análise de densidade do solo.....	30
Figura 4 Placas de Petri com ausência de bactérias fixadoras de nitrogênio e solubilizadoras de fosfato pré-implantação.....	30
Figura 5 Método de sondagem para amostragem de raízes e pré-estratificação da amostra.....	31
Figura 6 Procedimento de análise radicular no aparelho DELTA T SCAN®. (a) Amostras após a lavagem; (b) Coloração das amostras; (c) Escaneamento das raízes, (d) Captura das imagens pelo programa Delta Scan.....	32

IV. DESEMPENHO PRODUTIVO E ATRIBUTOS BROMATOLÓGICOS

Páginas

Figura 1 Precipitação (mm) e temperatura (°C) observada durante o ano de 2022	45
Figura 2 Datas das avaliações, cortes e comportamento do ciclo de produção da Aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar	47
Figura 3 Período de Rebrotas (dia) e ciclo de produção (dia) da aveia IPR Suprema de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar	48

RESUMO

O uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal apresenta grande potencial para otimizar sistemas de produção extensivos, aumentando a produtividade com menor impacto ambiental. Este estudo avaliou os efeitos da adubação foliar e da inoculação com bactérias promotoras de crescimento (BPCV) na cultura da aveia forrageira IPR Suprema, considerando produção de biomassa, qualidade nutricional, desenvolvimento radicular e propriedades físicas do solo. Foram testados quatro tratamentos: aveia forrageira IPR Suprema, aveia forrageira IPR Suprema com adubação foliar, aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV, e aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e adubada. As bactérias utilizadas foram *Azospirillum brasilense*, Ab-V5 e Ab-V6. O delineamento experimental foi em blocos, com esquema fatorial 2 tratamentos de inoculação x 2 níveis de adubação x 1 forrageira, com cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Para a produção de forragem, a inoculação de BPCV associada à adubação foliar aumentou significativamente ($p < 0,05$) a massa de forragem e a taxa de acúmulo, sem afetar a interceptação luminosa ou o índice de clorofila foliar. Em termos de qualidade da forragem, não houve aumento significativo de proteína bruta ou fibra em detergente neutro, mas a fibra em detergente ácido foi menor ($p < 0,05$) nas testemunhas e na inoculação com BPCV. Na análise radicular, a inoculação de BPCV aumentou positivamente ($p < 0,05$) o peso seco, diâmetro, área, comprimento e densidade das raízes nos estratos de 0 a 10 cm, sendo inversamente proporcional ($p < 0,05$) aos teores de matéria seca das raízes, enquanto as propriedades radiculares nas profundidades de 20 a 30 cm não apresentaram diferenças significativas. Quanto às propriedades físicas do solo, nenhum tratamento alterou significativamente a densidade ou a porosidade nas profundidades analisadas. A inoculação com BPCV, especialmente associada à adubação foliar, melhora a produção e o desenvolvimento radicular da aveia forrageira, sem afetar negativamente a qualidade do solo.

Palavras-chave: Aveia forrageira, *Azospirillum brasilense*, biomassa radicular, fertilização foliar.

ABSTRACT

The use of plant growth-promoting bacteria shows great potential to optimize extensive production systems, combining increased productivity with a lower environmental impact. This study investigated the impact of foliar fertilization and inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on various aspects of the forage oat IPR Suprema crop, including biomass production, nutritional quality, root development, and soil physical properties. Four treatments were evaluated: oat without additives, oat with foliar fertilization, oat inoculated with PGPB, and oat with both practices. The inoculated bacteria were *Azospirillum brasilense*, *Ab-V5* and *Ab-V6*. The experimental design used was in blocks, arranged in a 2 x 2 factorial scheme (2 inoculation treatments x 2 fertilization levels x 1 forage) with five replications, totaling 20 experimental units (plots) in the experiment. For forage production, PGPB + Foliar provided an increase compared to the other treatments for forage mass and accumulation rate, without influencing light interception levels and chlorophyll content. In terms of forage quality, both treatments did not promote increases in crude protein and NDF, but for ADF, the control and the inoculated treatment without fertilization showed the lowest levels. In the stratified root analysis, the surface strata (0-10 cm) were more affected by the treatments containing inoculation, in general positively correlated for weight, diameter, area, length and density, being inversely proportional to root dry matter content, none of the treatments altered significantly root properties at a depth of 20-30 cm. For soil physical aspects, none of the treatments significantly altered the characteristics of density and porosity at all depths analyzed.

Keywords: Forage oat, *A. brasilense*, foliar fertilization, root biomass

I – INTRODUÇÃO

A produção forrageira desempenha um papel central na agricultura voltada para a alimentação animal, especialmente na criação de ruminantes. Nesse contexto, a aveia forrageira (*Avena sativa*) se destaca por sua alta capacidade de produção de biomassa, sua adaptabilidade a diversas condições climáticas e sua resistência ao pastoreio, tornando-se uma das culturas mais utilizadas para a alimentação de animais (Cecato *et al.*, 2008). A alta demanda por forragem de qualidade exige o desenvolvimento de novas práticas agrícolas que não apenas aumentem a produtividade, mas também melhorem a sustentabilidade da produção, considerando a importância da qualidade do solo e a redução do uso de fertilizantes sintéticos. Neste cenário, práticas como a adubação foliar e a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) ganham relevância, pois oferecem vantagens tanto para a produtividade quanto para a saúde do solo.

A adubação foliar é uma técnica que visa fornecer nutrientes diretamente para as folhas das plantas, sendo especialmente útil quando a planta apresenta deficiências nutricionais, ou quando o fornecimento de nutrientes por meio do solo não é suficiente para atender às exigências das culturas (Danielowski *et al.*, 2021). Essa técnica oferece a vantagem de uma resposta rápida das plantas, além de ser eficaz na correção de deficiências pontuais de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, que são essenciais para o crescimento da aveia. A adubação foliar pode ser um recurso crucial para aumentar a produção de forragem de aveia, especialmente em solos com limitações de fertilidade ou em regiões com alta variabilidade climática (Bertoncelli *et al.*, 2017). Além disso, a adubação foliar pode ser uma estratégia para melhorar a qualidade da biomassa produzida, impactando diretamente os valores nutricionais das forrageiras.

Por outro lado, a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal é uma prática que tem ganhado destaque no manejo agrícola, principalmente por suas vantagens na melhoria da saúde do solo e na promoção do crescimento das plantas (Lopes *et al.*, 2021). Bactérias como *Azospirillum* e *Rhizobium* podem fixar nitrogênio no solo, o que reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos, além de aumentar a disponibilidade de outros nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Essas bactérias agem também na modulação do crescimento radicular, aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos, e melhoria da estrutura do solo, fatores que contribuem diretamente para a produtividade das forrageiras (Rodríguez-Elizalde *et al.*, 2024). No caso da aveia, o uso dessas bactérias pode não apenas melhorar a qualidade do solo, mas também otimizar o desenvolvimento das plantas, tornando a cultura mais eficiente e resistente, o que é crucial para maximizar a produção de forragem em sistemas agrícolas sustentáveis.

A combinação da adubação foliar com a inoculação de BPCV representa uma abordagem inovadora para o manejo da aveia forrageira, especialmente em sistemas que buscam aumentar a produção e a qualidade do solo simultaneamente. A aplicação de adubação foliar pode ser uma estratégia complementar ao uso de bactérias promotoras de crescimento, uma vez que ambas as práticas têm como objetivo melhorar o fornecimento de nutrientes e a saúde das plantas. Estudos apontam que, quando associadas, essas práticas podem resultar em aumentos significativos na produtividade da forragem, além de melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo (Gama, 2024). A adubação foliar fornece os nutrientes que as plantas necessitam, enquanto as bactérias contribuem para um suprimento contínuo e mais sustentável de nutrientes ao longo do ciclo de crescimento das plantas (Spolaor *et al.*, 2016). Essa interação potencializa os benefícios de ambas as tecnologias, resultando em um sistema de cultivo mais equilibrado e eficiente.

Além da melhoria na produtividade, o uso combinado de adubação foliar e BPCV pode promover uma melhoria significativa na qualidade do solo. A adição de bactérias ao solo estimula a atividade microbiológica, contribuindo para a decomposição da matéria orgânica e a mineralização de nutrientes (Soglia *et al.*, 2017). Essa melhoria na estrutura do solo é crucial, pois solos bem estruturados apresentam melhor capacidade de retenção de água, maior atividade biológica e, conseqüentemente, maior fertilidade. Em solos com menor fertilidade natural, como aqueles mais ácidos ou com baixa matéria orgânica, o uso de BPCV pode resultar em benefícios substanciais, não apenas para o aumento da produtividade das plantas, mas também para a sustentabilidade do sistema agrícola. Em regiões com alto potencial para a produção de aveia forrageira, a combinação dessas práticas pode ajudar a mitigar os efeitos de solos pobres, melhorando tanto a produtividade quanto a qualidade das forragens produzidas (Carvalho *et al.*, 2022).

É importante ressaltar que, para que a combinação dessas práticas seja eficaz, é necessário um entendimento aprofundado das interações entre os diferentes fatores do sistema agrícola, como a microbiota do solo, as condições ambientais e as necessidades nutricionais das plantas. O manejo adequado das variáveis de fertilização e inoculação pode ser a chave para otimizar os benefícios dessas práticas. A adoção de tecnologias mais sustentáveis, como o uso de BPCV e adubação foliar, pode representar um avanço significativo no manejo da aveia forrageira, proporcionando não apenas maior produtividade e qualidade das forragens, mas também promovendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Ferreira *et al.*, 2021). Este estudo busca, portanto, avaliar as variações na produção de forragem e nas características do solo em sistemas de cultivo de aveia forrageira inoculada com bactérias promotoras de crescimento e tratada com adubação foliar, a fim de fornecer subsídios para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Com o aumento da demanda por práticas agrícolas que conciliam produtividade e preservação ambiental, a integração de adubação foliar e inoculação com BPCV se apresenta como uma solução promissora. Este estudo visa investigar como essas práticas podem influenciar a qualidade do solo, as características microbiológicas e, principalmente, a produção de forragem de aveia, com o objetivo de contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. A expectativa é que os resultados possam fornecer informações valiosas para o manejo agrícola, com ênfase na maximização da produtividade e na conservação ambiental, promovendo uma agricultura mais equilibrada e eficiente (Bertoncelli *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2022).

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. A Cultura da Aveia Forrageira e Sua Importância na Agricultura

1.1.1. Características agronômicas da aveia forrageira

A aveia forrageira (*Avena sativa*) é uma planta de grande importância na agricultura, especialmente para a alimentação de animais em sistemas de produção de leite e carne, e em práticas que buscam promover a sustentabilidade agrícola. Segundo Bertoncelli *et al.* (2017), a aveia forrageira tem uma excelente capacidade de adaptação, sendo amplamente cultivada em regiões de clima temperado e subtropical, onde desempenha um papel fundamental na diversificação das culturas e no manejo do solo. Seu ciclo de vida, que pode variar entre 90 a 120 dias, é adequado para o cultivo no inverno, permitindo a integração com outras culturas,

como o milho e a soja, em sistemas de rotação e consórcio. Essa adaptabilidade, aliada ao seu ciclo de crescimento rápido, faz da aveia forrageira uma excelente opção para melhorar a qualidade da alimentação animal, proporcionando forragem de alto valor nutritivo e excelente digestibilidade (Cecato *et al.*, 2008).

A aveia forrageira é uma planta com capacidade de produzir grandes quantidades de biomassa, o que é fundamental para sistemas de pastejo intensivo. Essa planta pode atingir de 4 a 7 toneladas de matéria seca por hectare, dependendo das condições de cultivo e do manejo adotado. Essa alta produtividade é associada ao vigor da planta, que tem uma folhagem densa e uma capacidade de aproveitar bem a luz solar, favorecendo a fotossíntese e a produção de biomassa. Além disso, sua resistência ao frio e a capacidade de sobreviver em condições de estresse hídrico e de baixa fertilidade do solo, fazem da aveia uma excelente opção para o manejo de pastagens em regiões de clima temperado, como é o caso das áreas do Sul do Brasil (Danielowski *et al.*, 2021). Essas características tornam a aveia forrageira uma alternativa atrativa em sistemas de produção sustentáveis, especialmente para a agricultura familiar, que busca maximizar a utilização da terra e ao mesmo tempo manter a qualidade do solo.

A qualidade da forragem de aveia é outro ponto essencial para seu sucesso como cultura forrageira. A digestibilidade da aveia forrageira é alta, com uma boa relação entre folhas e caules, o que garante um valor nutricional elevado para os animais. A proteína bruta da aveia pode variar entre 10 e 20%, dependendo das condições de manejo e do estágio de crescimento da planta, o que influencia diretamente na qualidade da alimentação oferecida aos animais. Quando a aveia forrageira é utilizada na forma de silagem, por exemplo, é necessário prestar atenção ao momento ideal de corte, para garantir a preservação de suas propriedades nutricionais, como a proteína e a fibra. O manejo adequado da aveia, com cortes no ponto certo de maturação, pode resultar em uma silagem de excelente qualidade, com um bom conteúdo energético e proteico (Bertoncelli *et al.*, 2017).

O sistema radicular da aveia forrageira também apresenta características que favorecem o manejo sustentável do solo. A planta possui raízes superficiais que ajudam a melhorar a estrutura do solo, favorecendo a penetração da água e a aeração das camadas mais profundas, o que reduz a compactação e melhora a retenção de umidade, especialmente em solos mais argilosos (Danielowski *et al.*, 2021). Esse sistema radicular também contribui para a manutenção da fertilidade do solo, pois ajuda a evitar a lixiviação de nutrientes, como o nitrogênio, que poderia ser perdido durante o inverno, período em que outras culturas não estão em crescimento. Por isso, a aveia forrageira é frequentemente utilizada em sistemas de plantio direto, onde sua capacidade de cobrir o solo e proteger da erosão é altamente valorizada. Além disso, práticas de rotação de culturas com aveia forrageira podem reduzir a necessidade de

fertilizantes químicos, favorecendo a agricultura orgânica e a gestão eficiente dos recursos naturais (Bertoncelli *et al.*, 2017).

No contexto da agricultura sustentável, a aveia forrageira se insere pelo potencial de melhorar a qualidade do solo por meio de práticas como a inoculação de sementes com bactérias promotoras de crescimento (BPC). Estudos de Lopes *et al.* (2021) indicam que a inoculação com BPC pode aumentar o crescimento radicular da aveia, melhorar a absorção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, e promover uma maior resistência ao estresse ambiental, como a seca e o frio. Essas bactérias podem, ainda, auxiliar na fixação biológica de nitrogênio, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados e contribuindo para um manejo mais sustentável da fertilidade do solo (Lopes *et al.*, 2021). Além disso, o uso de bioestimulantes e práticas integradas pode aumentar a eficiência do cultivo de aveia forrageira, gerando benefícios econômicos e ambientais, como o aumento da produtividade e a redução dos impactos ambientais da agricultura convencional.

A aveia forrageira é também uma excelente opção para o manejo de sistemas de pastagem rotacionada. Segundo Carvalho *et al.* (2022), a aveia forrageira é eficaz no aumento da produtividade de pastagens durante o inverno, quando outras espécies perdem rendimento devido ao frio. O uso de aveia no pastoreio rotacionado permite não apenas a melhoria da alimentação animal, mas também a recuperação do solo, uma vez que a planta contribui para a adição de matéria orgânica e a melhoria da estrutura do solo. Esses fatores tornam a aveia forrageira uma peça-chave na agricultura sustentável, em especial na integração de lavoura e pecuária, promovendo um uso mais eficiente da terra e uma maior resiliência do sistema produtivo (Carvalho *et al.*, 2022; Danielowski *et al.*, 2021).

A aveia forrageira tem se consolidado como uma cultura essencial para a agricultura sustentável, especialmente em sistemas de integração lavoura-pecuária e em práticas de manejo que buscam otimizar o uso dos recursos naturais. Através de uma combinação de características agronômicas favoráveis, como sua adaptabilidade ao clima frio, alta produtividade e resistência a doenças, a aveia forrageira contribui para a saúde do solo e a eficiência na produção animal. Seu uso em consórcio com outras culturas e em sistemas de rotação não só melhora a qualidade da forragem, mas também promove práticas agrícolas mais sustentáveis, reduzindo a necessidade de insumos externos e promovendo o ciclo de nutrientes no solo. Nesse contexto, a aveia forrageira se posiciona como uma cultura chave para a transição para uma agricultura mais responsável e eficiente (Cecato *et al.*, 2008; Bertoncelli *et al.*, 2017).

1.1.2. Potencial da aveia em sistemas agrícolas sustentáveis

A aveia forrageira (*Avena sativa*) desempenha um papel crescente nos sistemas agrícolas sustentáveis devido às suas diversas contribuições para a produtividade e para a preservação do meio ambiente. Sua capacidade de melhorar a qualidade do solo, promover a rotação de culturas e fornecer forragem de alta qualidade para a alimentação animal a torna uma cultura estratégica em sistemas agrícolas que visam a sustentabilidade. Segundo Bertoncelli *et al.* (2017), a aveia é uma excelente opção para integração em sistemas de plantio direto, uma prática que visa a conservação do solo e a redução de impactos ambientais. A sua flexibilidade para ser cultivada em diversas condições edafoclimáticas, aliada à sua habilidade de atuar na melhoria da estrutura do solo e na competitividade contra plantas daninhas, a posiciona como um elemento essencial para a agricultura sustentável.

Nos sistemas agrícolas, a rotação de culturas com aveia forrageira oferece uma série de benefícios, como a melhoria da saúde do solo e o controle natural de pragas. Carvalho *et al.* (2022) destacam que a aveia, ao ser utilizada como cultura de rotação, ajuda a reduzir a incidência de pragas e doenças em cultivos subsequentes, o que diminui a necessidade de pesticidas. Além disso, a aveia pode melhorar a estrutura física do solo, promovendo o aumento da infiltração de água e a redução da erosão, que é um problema recorrente em solos expostos ao cultivo intensivo sem práticas de conservação. Assim, o uso da aveia em rotação de culturas contribui para a estabilidade dos ecossistemas agrícolas, tornando-os mais resilientes e menos dependentes de insumos externos.

Além disso, a aveia forrageira contribui na integração com sistemas de plantio direto. De acordo com Danielowski *et al.* (2021), o plantio direto, ao reduzir a necessidade de preparo convencional do solo, contribui para a preservação da matéria orgânica, o que é crucial para manter a fertilidade e a capacidade de retenção de água do solo. A aveia, quando semeada diretamente sobre o solo, forma uma cobertura que protege a superfície da ação erosiva das chuvas e do vento, além de contribuir para o aumento da matéria orgânica à medida que a biomassa vegetal é decomposta. Dessa forma, a aveia se integra bem a sistemas de plantio direto, promovendo a sustentabilidade dos solos e aumentando a produtividade das culturas sucessoras.

A utilização da aveia como cultura de cobertura tem vantagens adicionais no que se refere à gestão de ervas daninhas e à redução da dependência de herbicidas. Lopes *et al.* (2021) afirmam que, ao competir diretamente com plantas daninhas por recursos como luz, água e nutrientes, a aveia ajuda a reduzir a pressão de plantas invasoras, diminuindo a necessidade de controle químico. A cobertura do solo proporcionada pela aveia impede a germinação de sementes de plantas daninhas, oferecendo uma solução natural para o controle de ervas

daninhas, o que é um passo importante para a agricultura sustentável. Isso reduz a quantidade de produtos químicos necessários, além de favorecer a biodiversidade no ecossistema agrícola, uma vez que o uso de herbicidas é minimizado.

Outro aspecto importante da aveia forrageira em sistemas agrícolas sustentáveis é sua alta produtividade e valor nutritivo, especialmente para a alimentação de ruminantes. A aveia oferece uma excelente relação folha/caule, o que garante uma forragem de boa digestibilidade e alto valor energético. De acordo com Cecato *et al.* (2008), a aveia é uma excelente opção para pastagem durante o inverno, época em que outras forrageiras têm desempenho reduzido devido às baixas temperaturas. Sua alta produtividade também contribui para a maximização do uso das áreas de pastagem, o que é essencial em sistemas agrícolas de produção animal. O uso de aveia para silagem também pode ajudar a melhorar a qualidade do alimento oferecido ao gado, o que resulta em maior eficiência na produção de leite e carne.

O papel da aveia forrageira na agricultura sustentável é ainda mais ampliado quando considerada a utilização de técnicas modernas de manejo, como a inoculação de sementes com bactérias promotoras de crescimento. Lopes *et al.* (2021) discutem como a inoculação de sementes pode aumentar a eficiência do uso de nutrientes pela planta, melhorar a sua resistência a doenças e estresses ambientais, como a seca. A utilização de bioestimulantes e microrganismos benéficos no cultivo da aveia são eficazes na promoção de um crescimento mais vigoroso e na melhoria da produtividade, o que é particularmente relevante em sistemas que buscam reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos e outros insumos químicos. Além disso, a inoculação pode resultar em uma planta mais saudável e resistente, aumentando o rendimento da forragem e a qualidade da silagem.

A aveia também tem papel no aumento da eficiência dos sistemas agrícolas ao contribuir para a gestão da água no solo. Em regiões onde a disponibilidade de água é uma preocupação crescente, a capacidade da aveia de ajudar a manter a umidade do solo é um grande benefício. Como observam Bertoncelli *et al.* (2017), a aveia forrageira ajuda a reduzir a evaporação da água do solo, mantendo a umidade por mais tempo e contribuindo para a produção de culturas subsequentes. Essa característica torna a aveia uma escolha estratégica em sistemas agrícolas que buscam minimizar o uso de água e aumentar a resiliência dos cultivos às variações climáticas.

A aveia forrageira possui um grande potencial para ser integrada de forma eficiente em sistemas agrícolas sustentáveis. A sua versatilidade, que permite ser utilizada tanto em rotação de culturas quanto em sistemas de plantio direto e como forragem de qualidade para a alimentação animal, a torna uma cultura essencial para a agricultura do futuro. Além disso, a sua capacidade de melhorar a estrutura do solo, controlar ervas daninhas e aumentar a eficiência no uso de água e nutrientes coloca a aveia como uma ferramenta-chave para a redução dos

impactos ambientais da agricultura e para a promoção de sistemas produtivos mais equilibrados e resilientes. O uso da aveia, associado a práticas como a inoculação de sementes e a rotação de culturas, contribui para a melhoria da sustentabilidade das propriedades rurais, tornando-as mais eficientes e menos dependentes de insumos externos (Bertoncelli *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2022)

1.2. Adubação Foliar em Forrageiras

1.2.1. Fundamentos e benefícios da adubação foliar

A adubação foliar é uma técnica agrícola que tem ganhado destaque no manejo de forrageiras, especialmente em sistemas que buscam aumentar a produtividade, melhorar a qualidade da forragem e otimizar o uso de nutrientes. Essa prática consiste na aplicação de fertilizantes diretamente sobre as folhas das plantas, com o objetivo de fornecer nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento da cultura. Os benefícios da adubação foliar são amplamente reconhecidos, principalmente quando se busca suprir deficiências nutricionais rápidas, promover o desenvolvimento vegetativo das plantas e, consequentemente, aumentar a eficiência na produção de forragem. De acordo com Bertoncelli *et al.* (2017), a adubação foliar é eficaz não só na melhora da qualidade nutricional das forrageiras, mas também na promoção de uma maior resistência das plantas a estresses ambientais, como a seca e as altas temperaturas, comuns em diversas regiões agrícolas.

Entre os principais fundamentos da adubação foliar está a rápida absorção de nutrientes pelas folhas, que permite uma resposta imediata das plantas. Isso é particularmente útil em situações em que a planta apresenta deficiências nutricionais em um estágio crítico de desenvolvimento, como na fase de crescimento acelerado ou de formação de grãos. Carvalho *et al.* (2022) mostram que a adubação foliar pode ser utilizada para corrigir deficiências de macro e micronutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, que são essenciais para o bom desempenho das forrageiras. A vantagem dessa técnica é que os nutrientes são rapidamente assimilados pelas folhas, proporcionando uma resposta mais rápida e eficiente do que a aplicação no solo, especialmente em condições onde a absorção radicular está comprometida, como em solos compactados ou mal drenados.

Além disso, a adubação foliar apresenta benefícios em termos de eficiência no uso de fertilizantes, uma vez que a aplicação é mais precisa e localiza os nutrientes diretamente nas partes da planta que mais precisam. Conforme Gama (2024), esse método reduz o desperdício de fertilizantes e contribui para uma maior sustentabilidade agrícola, pois permite o uso racional

dos recursos disponíveis. Em sistemas intensivos de produção de forragem, onde o uso de insumos deve ser equilibrado com a necessidade de aumentar a produtividade, a adubação foliar se apresenta como uma solução viável, pois maximiza a absorção dos nutrientes e melhora a eficiência do processo produtivo.

A aplicação de adubos foliares também pode ser uma alternativa importante para melhorar a qualidade nutricional da forragem oferecida ao gado. De acordo com Danielowski *et al.* (2021), a adubação foliar tem impacto direto na composição química das forrageiras, aumentando o teor de nutrientes como proteínas, vitaminas e minerais, que são essenciais para a alimentação dos ruminantes. Com isso, a produção de leite e carne pode ser otimizada, uma vez que o gado recebe uma alimentação de maior valor nutricional. A utilização de adubação foliar também pode melhorar a digestibilidade das forragens, o que resulta em uma melhor conversão alimentar e aumento na eficiência produtiva.

Os benefícios da adubação foliar não se limitam ao fornecimento de nutrientes para as plantas. Segundo Gama (2024), a técnica também contribui para a melhoria da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos. A adição de nutrientes diretamente nas folhas pode, por exemplo, melhorar a resistência das forrageiras a doenças, pragas e condições climáticas adversas, como a falta de água. Em situações de déficit hídrico, a aplicação de adubos foliares pode ajudar a reduzir os efeitos do estresse hídrico nas plantas, promovendo uma maior recuperação após períodos de seca. Além disso, o aumento da produção de biomassa também tem relação direta com a maior resistência das plantas a estresses, o que faz da adubação foliar uma ferramenta poderosa em sistemas de produção que enfrentam essas adversidades.

Além da melhoria no desempenho das plantas, a adubação foliar também favorece a qualidade do solo de forma indireta. A aplicação foliar contribui para um uso mais eficiente dos nutrientes, o que pode reduzir a necessidade de fertilizantes no solo, diminuindo assim os impactos ambientais associados ao uso excessivo de insumos químicos. Lopes *et al.* (2021) ressaltam que, ao reduzir a quantidade de fertilizantes aplicados no solo, a adubação foliar contribui para uma menor lixiviação de nutrientes e uma menor contaminação de corpos d'água. Dessa forma, a técnica pode ser considerada mais sustentável, pois promove uma agricultura mais equilibrada e menos dependente de produtos químicos.

Além dos benefícios agrônômicos e ambientais, a adubação foliar também oferece vantagens econômicas para os produtores. De acordo com Fernandes *et al.* (2021), o uso de adubos foliares pode ser uma forma mais econômica de fornecer nutrientes às plantas, especialmente quando comparado à fertilização convencional no solo. Isso é particularmente vantajoso em sistemas de produção intensivos, onde os custos com fertilizantes podem ser elevados. A aplicação foliar é mais direcionada e pode ser realizada com menores quantidades de fertilizantes, o que reduz os custos de insumos e melhora a margem de lucro dos produtores.

Essa redução de custos também é acompanhada pela melhoria na produtividade e na qualidade da forragem, o que torna a prática ainda mais vantajosa do ponto de vista econômico.

No entanto, a aplicação de adubação foliar deve ser feita de forma adequada, considerando o momento e a quantidade de nutrientes a serem aplicados, para evitar danos às plantas e garantir que os benefícios sejam efetivos. O uso excessivo de fertilizantes foliares pode levar a queima das folhas e a outros problemas fitotóxicos. Por isso, é fundamental seguir as recomendações técnicas e realizar o monitoramento da cultura para ajustar as doses e o tipo de adubo a ser utilizado. Segundo Detmann *et al.* (2012), a escolha correta do tipo de fertilizante foliar e a adaptação das doses às necessidades específicas da planta são essenciais para maximizar os benefícios da adubação foliar.

A adubação foliar em forrageiras se configura como uma ferramenta estratégica para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade nutricional das forragens, otimizar o uso de fertilizantes e promover uma agricultura mais sustentável. Seus benefícios são amplamente reconhecidos, e a aplicação correta dessa técnica pode resultar em sistemas de produção mais eficientes e resilientes, com menor impacto ambiental e maior rentabilidade para os produtores. É importante, no entanto, que a técnica seja aplicada de forma adequada, com base em recomendações técnicas específicas, para garantir os melhores resultados possíveis (Bertoncelli *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2022; Gama, 2024).

1.2.2. Aplicações específicas para forrageiras, como a aveia

A adubação foliar é uma técnica essencial na agricultura moderna, particularmente no cultivo de forrageiras como a aveia, uma das culturas forrageiras mais comuns em sistemas de pastejo e alimentação animal. Esse tipo de adubação envolve a aplicação de fertilizantes diretamente sobre as folhas das plantas, proporcionando uma absorção mais rápida de nutrientes, especialmente em situações de deficiências nutricionais ou quando o solo não oferece uma boa capacidade de retenção de nutrientes. A utilização de adubação foliar para a aveia, pode promover melhorias tanto na qualidade da forragem quanto na produtividade da cultura. Segundo Bertoncelli *et al.* (2017), o manejo correto da fertilização foliar em forrageiras influencia diretamente a produtividade e a qualidade da forragem, o que se reflete na qualidade do alimento para o gado e, consequentemente, na rentabilidade dos sistemas de produção.

A aveia (*Avena sativa*) é uma forrageira de importância significativa para a alimentação animal, devido ao seu valor nutricional e à capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo e clima. No entanto, a sua produtividade depende fortemente da disponibilidade de nutrientes, que podem ser supridos tanto pelo solo quanto por adubação foliar. A aveia, assim como outras forrageiras, responde positivamente à aplicação de nutrientes através das folhas, especialmente

em períodos críticos de crescimento. A adubação foliar é particularmente eficaz na correção de deficiências que afetam o desenvolvimento da cultura, como a falta de micronutrientes essenciais como boro, ferro, manganês e zinco, que desempenham papéis vitais na fotossíntese e no metabolismo das plantas (Gama, 2024).

As aplicações foliares têm como principal vantagem a rápida absorção dos nutrientes pelas folhas, o que resulta em respostas mais rápidas e eficientes, especialmente quando comparado com a aplicação de fertilizantes no solo. Esse tipo de fertilização é particularmente útil em cultivos de aveia, uma vez que a cultura é muito exigente em termos de macro e micronutrientes para um crescimento adequado. Carvalho *et al.* (2022) afirmam que a adubação foliar pode ser empregada para melhorar a eficiência do uso de nutrientes e promover uma melhor saúde vegetal. No caso da aveia, a adubação foliar pode ser realizada durante os estágios vegetativos iniciais, a fim de garantir uma rápida resposta no crescimento da planta, ou ainda em fases mais avançadas, como no início do florescimento, quando a demanda por nutrientes aumenta.

A aplicação de fertilizantes foliares é de extrema importância, especialmente em cultivos de aveia destinados à produção de forragem. A aveia é cultivada tanto para pastagem quanto para a produção de silagem, e em ambas as situações, o fornecimento adequado de nutrientes via adubação foliar pode resultar em um aumento significativo na produtividade da planta. Segundo Danielowski *et al.* (2021), o uso de adubação foliar na aveia pode promover uma maior produção de biomassa, o que é crucial para maximizar a produção de forragem. Além disso, os nutrientes aplicados de forma foliar contribuem para a formação de folhas mais saudáveis e com maior capacidade de fotossíntese, o que favorece o aumento da massa verde e a qualidade da forragem.

Outro benefício relevante da adubação foliar em aveia é a melhoria da qualidade nutricional da forragem. A aveia é uma cultura importante não apenas por sua capacidade de fornecer forragem, mas também por seu valor nutricional. O fornecimento adequado de nutrientes, especialmente durante o crescimento vegetativo, resulta em folhas com maior conteúdo de proteínas, fibras digestíveis e minerais essenciais, como o cálcio e o fósforo, fundamentais para a nutrição animal. O fornecimento de bioestimulantes e nutrientes via adubação foliar também pode melhorar a digestibilidade da forragem, um fator crucial quando se considera a eficiência alimentar dos animais. Nesse sentido, Gama (2024) observa que a aplicação de fertilizantes foliares pode aumentar o teor de proteína bruta na forragem, tornando-a mais nutritiva e, portanto, mais eficaz na alimentação de ruminantes.

Para garantir que os benefícios da adubação foliar sejam plenamente aproveitados, é necessário considerar alguns fatores críticos, como a época de aplicação, a dose dos nutrientes e as condições climáticas. O momento de aplicação é essencial, pois a aveia pode ter diferentes

necessidades de nutrientes dependendo da fase de desenvolvimento em que se encontra. A adubação foliar deve ser realizada de acordo com a demanda nutricional da planta, que varia durante o ciclo de cultivo. A aplicação nos estágios iniciais de desenvolvimento é recomendada para promover o crescimento vigoroso, enquanto a adubação nas fases de floração e enchimento de grãos pode ser mais direcionada para melhorar a produção de grãos ou o teor de nutrientes na forragem (Lopes *et al.*, 2021).

Além disso, a técnica de adubação foliar exige precisão, pois o uso excessivo de fertilizantes pode resultar em danos à planta, como a queima das folhas, especialmente em condições de alta temperatura ou umidade inadequada. O manejo adequado dessa prática envolve também a escolha correta dos fertilizantes foliares, de acordo com as deficiências nutricionais observadas na cultura. Segundo Detmann *et al.* (2012), a análise de folhas é uma ferramenta importante para identificar quais nutrientes devem ser aplicados, permitindo uma adubação mais eficiente e menos propensa a erros. Em aveia, a aplicação balanceada de nutrientes é crucial para evitar o desperdício de fertilizantes, o que pode acarretar em custos elevados e impactos ambientais negativos.

Em relação aos efeitos a longo prazo da adubação foliar, cabe ressaltar que ela também pode melhorar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, como pragas, doenças e condições climáticas adversas. A aveia, quando bem nutrida, tende a ter uma maior resistência a essas condições, o que pode resultar em menores perdas de produção e uma maior durabilidade das pastagens ou forragens produzidas. A adubação foliar, quando combinada com outras práticas de manejo, como o uso de bioestimulantes e a inoculação com microrganismos promotores de crescimento, pode potencializar ainda mais os efeitos benéficos para a cultura, como observam Lopes *et al.* (2021).

A aplicação de adubação foliar na aveia se apresenta como uma estratégia eficaz para otimizar a produção de forragem e melhorar a qualidade nutricional da planta. Seus benefícios incluem aumento da produtividade, maior qualidade da forragem e uma melhor resistência da planta a estresses ambientais. Para que esses benefícios sejam plenamente alcançados, é necessário seguir práticas adequadas de manejo, como a escolha do momento e da dose de fertilizantes, considerando sempre as necessidades nutricionais da planta e as condições do ambiente de cultivo. A adubação foliar, se bem manejada, pode resultar em um aumento significativo na rentabilidade da produção de aveia, em forragem, além de contribuir para uma agricultura mais eficiente e sustentável (Bertoncelli *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2022).

1.3. Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) e Seus Efeitos no Crescimento de Forrageiras

1.3.1. Tipos de BPCV e mecanismos de ação

As Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) ganharam destaque nas práticas agrícolas devido à sua capacidade de melhorar o crescimento das plantas e aumentar a produtividade de forrageiras, como a aveia e o azevém. Essas bactérias são microrganismos benéficos que atuam no solo e nas plantas de diversas formas, ajudando a otimizar a utilização de nutrientes e a melhorar a resistência das plantas a condições adversas, como estresses hídricos e nutricionais. Conforme relatado por Bertonecelli *et al.* (2017), as BPCV desempenham uma série de funções, incluindo a fixação de nitrogênio, a solubilização de fósforo, a produção de fitohormônios e a proteção contra patógenos. Esses processos contribuem para o aumento da produtividade das forrageiras, tornando a agricultura mais sustentável e eficiente.

Existem diferentes tipos de BPCV, cada uma com um mecanismo específico de ação que beneficia as plantas de maneira distinta. Um dos grupos mais importantes de BPCV são as bactérias fixadoras de nitrogênio. Essas bactérias, como as do gênero *Azospirillum* e *Rhizobium*, têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico e convertê-lo em formas acessíveis para as plantas (Bertonecelli *et al.*, 2017). O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento vegetal, sendo fundamental para a síntese de proteínas e para o aumento da biomassa. A inoculação de sementes de forrageiras com essas bactérias pode resultar em uma maior disponibilidade de nitrogênio, promovendo o crescimento vigoroso das plantas e aumentando a produção de forragem.

Outro tipo importante de BPCV são as bactérias solubilizadoras de fósforo. O fósforo é um nutriente fundamental para as plantas, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento das raízes e na fotossíntese. No entanto, a maior parte do fósforo presente no solo está em formas insolúveis, o que dificulta a sua absorção pelas plantas. As bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Bacillus*, por exemplo, têm a capacidade de hidrolisar compostos, tornando-os mais disponíveis para as plantas (Spolaor *et al.*, 2016). Esse processo é fundamental em solos de baixa fertilidade ou com baixa disponibilidade de fósforo. A inoculação de sementes de forrageiras com essas bactérias pode melhorar a eficiência do uso de fósforo, resultando em um crescimento mais robusto e maior produção de forragem. Lopes *et al.* (2021) apontam que a aplicação dessas bactérias em cultivares de aveia resultou em uma melhor absorção de fósforo, o que se refletiu em um aumento da produtividade e na qualidade da forragem.

Além dessas, as bactérias produtoras de fitohormônios também desempenham um papel significativo no crescimento das plantas. Fitohormônios como as auxinas, citocininas e

giberelinas regulam processos fisiológicos nas plantas, como o alongamento celular, a divisão celular e o desenvolvimento radicular. Algumas BPCV, como as espécies de *Azospirillum* e *Bacillus*, são capazes de produzir esses hormônios, promovendo o aumento do enraizamento e o crescimento vegetativo (Lopes *et al.*, 2021). A presença dessas bactérias no solo pode levar a um maior desenvolvimento das raízes, o que facilita a absorção de nutrientes, especialmente em condições de estresse, como períodos secos ou solos compactados. De acordo com Gama (2024), o uso de bactérias promotoras de crescimento com essa capacidade apresenta resultados promissores no aumento da resistência das plantas a estresses ambientais, promovendo um crescimento mais saudável e sustentável.

Além dos mecanismos diretos de promoção de crescimento, algumas BPCV também atuam na proteção das plantas contra patógenos. Essas bactérias competem com microorganismos patogênicos no solo, impedindo sua colonização e infecção das raízes e outras partes da planta. Estas também podem produzir substâncias antimicrobianas, como antibióticos naturais, que inibem o crescimento de fungos e bactérias patogênicas (Spolaor *et al.*, 2016). No caso de forrageiras, como a aveia, essa proteção é especialmente importante, pois as plantas são frequentemente expostas a doenças fúngicas e bacterianas que afetam a qualidade da forragem. Lopes *et al.* (2021) relatam que o uso de BPCV com propriedades antifúngicas pode reduzir a incidência de doenças no cultivo de forrageiras, resultando em um aumento na saúde das plantas e uma maior produtividade.

Além dos mecanismos mencionados, algumas BPCV também desempenham um papel crucial na indução de resistência sistêmica nas plantas. Esse processo envolve a ativação de mecanismos de defesa das plantas contra patógenos e estresses bióticos e abióticos. Bactérias como *Pseudomonas* e *Bacillus* têm a capacidade de estimular as respostas imunes das plantas, aumentando sua resistência a doenças e estresses, como a seca ou o excesso de sal (Rodríguez-Elizalde *et al.*, 2024). A indução de resistência sistêmica é um mecanismo importante para a sustentabilidade da agricultura, pois pode reduzir a necessidade de produtos químicos, como pesticidas, promovendo um ambiente mais saudável para o crescimento das plantas.

As BPCV representam uma ferramenta importante na agricultura, especialmente no cultivo de forrageiras. Os diferentes tipos de bactérias, como as fixadoras de nitrogênio, solubilizadoras de fósforo, produtoras de fitohormônios e aquelas que atuam na proteção contra patógenos, apresentam uma gama de mecanismos que favorecem o crescimento das plantas. O uso dessas bactérias em sistemas de cultivo de forrageiras pode resultar em ganhos significativos em termos de produtividade e qualidade da forragem, promovendo uma agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos químicos. Como exposto por Bertoncelli *et al.* (2017) e Spolaor *et al.* (2016), a aplicação dessas tecnologias é um passo

importante para o futuro da agricultura, contribuindo para o aumento da eficiência e da resiliência dos sistemas de produção.

1.3.2. Efeitos da inoculação com BPCV na produtividade de forrageiras

A inoculação de sementes de forrageiras com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) pode ser uma prática promissora para melhorar a produtividade e a qualidade das plantas, particularmente em sistemas agrícolas que buscam aumentar a eficiência no uso de insumos e minimizar os impactos ambientais. O uso dessas bactérias pode resultar em benefícios diretos no crescimento das plantas, na melhoria da absorção de nutrientes e na resistência a estresses ambientais. O efeito das BPCV na produtividade das forrageiras tem sido objeto de várias pesquisas sobre os mecanismos biológicos envolvidos, como a fixação de nitrogênio, a solubilização de fósforo e a produção de hormônios que estimulam o crescimento radicular.

Bertoncelli *et al.* (2017) investigaram o impacto da inoculação de sementes de milho com BPCV, observando um aumento na produtividade e na qualidade da silagem, o que reflete os potenciais benefícios dessa tecnologia para a agricultura. Embora o foco do estudo tenha sido o milho, os resultados são relevantes para o manejo de forrageiras, pois salientam a melhoria na saúde das plantas e a maior capacidade de produção de biomassa. Essas bactérias atuam de diversas maneiras para melhorar o crescimento das plantas, desde a produção de substâncias que auxiliam na tolerância ao estresse hídrico e nutricional até a fixação biológica de nitrogênio.

No contexto das forrageiras, o aumento da produtividade pode ser explicado, em grande parte, pela ação das BPCV na mobilização de nutrientes no solo. Por exemplo, as bactérias do gênero *Azospirillum*, frequentemente utilizadas em inoculações, são capazes de produzir fitormônios e fixar nitrogênio atmosférico, tornando-o disponível para as plantas. Esse processo é particularmente benéfico em solos com baixa fertilidade, onde a suplementação com fertilizantes nitrogenados é cara ou ambientalmente insustentável.

Outro mecanismo importante das BPCV é a capacidade de solubilização de fósforo, um nutriente que, embora abundante no solo, está frequentemente em formas que as plantas não conseguem utilizar. Bactérias como *Pseudomonas* e *Bacillus* têm essa capacidade de transformar o fósforo insolúvel em formas mais acessíveis. O estudo de Gama (2024) revela que a inoculação de sementes de forrageiras, como a aveia, com essas bactérias resultou em um aumento da eficiência no uso de fósforo, promovendo o crescimento das plantas e o aumento da produção de forragem. Esse efeito é particularmente relevante em sistemas agrícolas onde a disponibilidade de fósforo é limitada ou onde o custo de fertilizantes fosfatados é elevado.

A ação das BPCV também envolve a produção de fitohormônios, como as auxinas e as citocininas, que favorecem o desenvolvimento das raízes e estimulam o crescimento vegetativo. Lopes *et al.* (2021) explicam que as BPCV, ao produzirem esses hormônios, não apenas favorecem o crescimento radicular, mas também aumentam a capacidade das plantas em captar água e nutrientes do solo. Esse efeito é particularmente importante em períodos de seca ou em solos com baixa retenção de água. A melhoria do sistema radicular resulta em plantas mais vigorosas, capazes de suportar condições adversas e, consequentemente, melhorar a produtividade das forrageiras.

Além disso, a inoculação com BPCV pode contribuir para a resistência das plantas a doenças e outros estresses bióticos e abióticos. Spolaor *et al.* (2016) afirmam que algumas BPCV possuem propriedades antifúngicas e antibacterianas, o que as torna capazes de reduzir a incidência de patógenos no solo e nas plantas. Esse aspecto é de grande relevância em sistemas de cultivo de forrageiras, onde a presença de doenças fúngicas e bacterianas pode reduzir significativamente a produtividade e a qualidade da forragem. A indução de resistência sistêmica por meio da interação com microrganismos benéficos pode ser um fator-chave na manutenção da saúde das plantas e no aumento da eficiência da produção.

Em relação às forrageiras, especificamente, os resultados da pesquisa de Seeber (2023) indicam que o uso de BPCV em pastos de tifton 85 e azevém levou a um aumento considerável na produtividade, principalmente em áreas onde os níveis de nutrientes, como o nitrogênio, eram limitados. As bactérias promotoras de crescimento atuaram de forma a otimizar a absorção de nutrientes e a promover um crescimento vegetativo mais rápido, o que resultou em uma maior produção de biomassa.

A inoculação com BPCV representa uma estratégia eficaz para aumentar a produtividade das forrageiras, melhorando não apenas a quantidade de biomassa produzida, mas também a qualidade nutricional das plantas. A utilização dessas bactérias, que promovem a fixação de nitrogênio, a solubilização de fósforo e a produção de hormônios de crescimento, oferece uma solução sustentável para a agricultura, permitindo uma maior eficiência no uso de recursos e uma redução na dependência de insumos químicos. Como demonstrado por Bertoni *et al.* (2017), a aplicação de BPCV não apenas aumenta a produtividade, mas também melhora a qualidade da forragem, tornando-a uma opção viável para produtores que buscam otimizar seus sistemas de produção de maneira sustentável e economicamente viável.

1.4. Integração de Adubação Foliar e Inoculação com Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal

1.4.1. Impactos da combinação das práticas na produção de aveia forrageira

A combinação de adubação foliar com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) tem sido objeto de várias pesquisas devido ao seu potencial para aumentar a produtividade das culturas forrageiras. Esses dois manejos, quando aplicados de forma integrada, podem melhorar tanto o desenvolvimento vegetativo quanto a qualidade das forrageiras, o que se traduz em melhores resultados para a produção animal. Segundo Bertonecelli *et al.* (2017), o manejo adequado de práticas como a inoculação de sementes com bactérias e a aplicação de adubação foliar pode ter impactos significativos no desempenho das plantas, como observado em experimentos com milho sob sistema de plantio direto. Embora a pesquisa tenha sido focada no milho, os resultados sugerem que a combinação dessas práticas também pode ser benéfica para outras plantas forrageiras, como a aveia, que é amplamente utilizada na alimentação de ruminantes.

De acordo com Cecato *et al.* (2008), a aveia forrageira é uma planta de grande importância no contexto da alimentação animal devido à sua capacidade de produzir grande quantidade de matéria seca, além de seu valor nutritivo. No entanto, para otimizar a produtividade e a qualidade da aveia, são necessárias práticas que favoreçam seu crescimento e desenvolvimento. Nesse sentido, conforme Spolaor *et al.* (2016), a adubação foliar e a inoculação com BPCV aparecem como alternativas eficientes. O uso de BPCVs, como as bactérias do gênero *Rhizobium* e *Azospirillum*, pode promover o crescimento das plantas por meio da fixação de nitrogênio, aumento da disponibilidade de nutrientes e proteção contra patógenos. Essas bactérias contribuem para uma maior absorção de nutrientes, o que resulta em uma planta mais vigorosa e resistente a estresses ambientais.

Além disso, a aplicação de adubação foliar pode complementar o efeito das BPCVs, fornecendo nutrientes diretamente às folhas das plantas, o que facilita a absorção rápida e a correção de deficiências nutricionais, como a falta de micronutrientes. Carvalho *et al.* (2022) demonstram que, ao integrar essas duas práticas, pode-se melhorar o rendimento das forrageiras, potencializando tanto o crescimento quanto a produção de biomassa. Esse tipo de manejo integrado tem sido aplicado com sucesso em diversas culturas, e os resultados indicam que ele pode ser vantajoso para a aveia, especialmente em solos com baixa fertilidade.

No caso específico da aveia, a combinação de inoculação bacteriana com adubação foliar não só promove o aumento da biomassa, mas também melhora a qualidade nutricional das plantas. Segundo Danielowski *et al.* (2021), estudos indicam que a inoculação de bactérias

promotoras de crescimento pode influenciar positivamente na composição química das forrageiras, como no aumento da concentração de proteínas e carboidratos, que são nutrientes essenciais para a alimentação dos animais. Essa melhoria na qualidade nutricional das forrageiras pode ter um impacto direto no desempenho dos animais, especialmente em sistemas de produção intensiva de carne e leite, onde a qualidade da forragem é um fator determinante.

O uso conjunto de adubação foliar e inoculação bacteriana traz também efeitos positivos na resistência a estresses bióticos e abióticos. Lopes *et al.* (2021) relatam que a aplicação de bioestimulantes, como as bactérias promotoras de crescimento, pode conferir maior resistência a fatores de estresse, como seca, temperaturas extremas e ataque de pragas. Isso é particularmente relevante em regiões com clima mais severo ou em períodos de estiagem, quando as plantas estão mais suscetíveis a danos. A combinação dessas duas estratégias torna as plantas forrageiras mais resilientes, o que resulta em maior produtividade ao longo do ciclo de crescimento.

A pesquisa de Bertoncelli *et al.* (2017) confirma a relevância dessa combinação, a inoculação com bactérias promotoras de crescimento pode ser uma prática complementar eficaz à adubação foliar, já que ambas as técnicas atuam sinergicamente para melhorar o desenvolvimento das plantas. O uso dessas tecnologias pode, portanto, contribuir para o aumento da produtividade de aveia, proporcionando maior quantidade de forragem de alta qualidade, o que é fundamental para a alimentação animal, especialmente em sistemas de pastejo.

A integração entre adubação foliar e inoculação com BPCV representa uma estratégia promissora para a melhoria da produtividade e qualidade das forrageiras, especialmente da aveia. A combinação dessas práticas evidencia impactos positivos no aumento da biomassa e na melhoria da composição nutricional das plantas, além de contribuir para sua resistência a estresses. Isso resulta em ganhos tanto na quantidade quanto na qualidade das forragens, beneficiando diretamente os sistemas de produção animal. Com o avanço das pesquisas nessa área, espera-se que essa integração se torne uma prática cada vez mais comum e eficaz na agricultura forrageira, especialmente em regiões que buscam otimizar sua produção de alimentos para o setor agropecuário.

1.4.2. Efeitos na qualidade do solo e na sustentabilidade da cultura

A combinação de práticas agrícolas, como a adubação foliar e a inoculação de sementes com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), tem sido amplamente estudada devido ao seu impacto positivo na qualidade do solo e na sustentabilidade das culturas. O uso de BPCVs no solo pode melhorar a ciclagem de nutrientes e aumentar a atividade microbiana, o

que favorece a fertilidade do solo e contribui para o desenvolvimento saudável das plantas. Essas bactérias não apenas aumentam a disponibilidade de nutrientes essenciais, mas também ajudam a promover uma maior eficiência na absorção de nutrientes pelas raízes, o que é fundamental para sistemas agrícolas sustentáveis (Bertoncelli *et al.*, 2017). Além disso, a adubação foliar complementa a fertilização do solo, proporcionando nutrientes de forma rápida e eficiente, ajudando na correção de deficiências nutricionais durante o ciclo da planta, o que melhora diretamente o rendimento e a qualidade das culturas, como a aveia.

Em relação à cultura da aveia, a combinação dessas práticas pode resultar em benefícios significativos na qualidade do solo. O uso de inoculantes bacterianos nas sementes da aveia, associados à aplicação de adubação foliar, pode contribuir para a melhoria da estrutura do solo, o que facilita a circulação de água e ar. A ação das BPCVs sobre o solo pode aumentar a atividade microbiana, promovendo um ambiente mais equilibrado e propício ao desenvolvimento da cultura. Essas práticas não apenas promovem um aumento na produtividade, mas também garantem uma melhor saúde do solo, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e favorecendo a regeneração natural dos recursos do solo (Spolaor *et al.*, 2016).

A adubação foliar, por sua vez, contribui para o aumento da eficiência no uso de nutrientes, uma vez que a aplicação de fertilizantes diretamente nas folhas permite uma absorção mais rápida dos nutrientes pelas plantas, especialmente em situações onde a fertilidade do solo é limitada ou quando a capacidade do sistema radicular não é suficiente para suprir todas as necessidades nutricionais das plantas (Carvalho *et al.*, 2022). Esse tipo de fertilização é uma estratégia importante para complementar a adubação convencional e corrigir deficiências de micronutrientes, como ferro, manganês e zinco, que são essenciais para o bom desenvolvimento das plantas de aveia. A aplicação de adubos foliares também pode reduzir o risco de lixiviação de nutrientes, além de otimizar o uso de fertilizantes e aumentar a eficiência do sistema produtivo. Assim, quando combinada com a inoculação bacteriana, a adubação foliar contribui significativamente para o aumento da produtividade e a qualidade da cultura da aveia, além de reduzir os impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos.

Estudos sobre a sustentabilidade das culturas agrícolas apontam que práticas como a inoculação com BPCVs e a adubação foliar podem reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos, que possuem impactos ambientais significativos, como a contaminação de corpos d'água e a degradação do solo. Carvalho *et al.* (2022) utilizando de BPCVs permitiram a redução do uso de fertilizantes nitrogenados, uma vez que essas bactérias são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo para as plantas, o que diminui a necessidade de fertilização adicional. Além disso, a inoculação bacteriana também pode melhorar a estrutura do solo, aumentar a retenção de água e reduzir a compactação do solo, aspectos fundamentais para

aumentar a sustentabilidade das práticas agrícolas. Isso é particularmente importante em sistemas de plantio direto, como os utilizados na produção de aveia, onde a manutenção da saúde do solo é essencial para garantir a produtividade no longo prazo (Bertoncelli *et al.*, 2017).

A melhoria da qualidade do solo por meio da inoculação com BPCVs também tem um efeito positivo na redução da erosão do solo e na preservação da biodiversidade do ambiente. A presença de uma microbiota saudável no solo, favorecida pelas bactérias, pode aumentar a agregação do solo, tornando-o mais resistente à erosão e mais capaz de reter nutrientes e água. Lopes *et al.* (2021) afirmam que a combinação dessas tecnologias ajuda a manter o equilíbrio ecológico do solo e a promover uma agricultura mais sustentável, com menor impacto ambiental. Além disso, ao reduzir a necessidade de insumos externos, como fertilizantes e pesticidas, essas práticas contribuem para a preservação dos recursos naturais, tornando a produção agrícola mais eficiente e menos dependente de produtos químicos. A adoção dessas práticas também está alinhada com os princípios da agricultura regenerativa, que visa não apenas a produtividade, mas a recuperação e manutenção da saúde do solo.

Além dos benefícios diretos na qualidade do solo e na sustentabilidade, a combinação de inoculação bacteriana e adubação foliar aponta resultados positivos na melhoria da produtividade das culturas, como a aveia. A utilização dessas técnicas tem permitido aos agricultores aumentar a produção sem recorrer a métodos agrícolas intensivos e insustentáveis. Segundo Danielowski *et al.* (2021), a melhoria da eficiência na utilização de nutrientes e a promoção de um solo saudável resultam em maiores rendimentos e em uma maior qualidade da produção, com menores custos para os agricultores. A redução do uso de fertilizantes e pesticidas também significa uma diminuição nos custos operacionais, o que torna essas práticas uma opção atraente para os produtores que buscam aumentar a sustentabilidade econômica e ambiental de suas atividades.

A combinação de práticas como a inoculação com BPCVs e a adubação foliar é uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade do solo e aumentar a sustentabilidade das culturas agrícolas, como a aveia. Essas técnicas não apenas contribuem para a melhoria da produtividade das culturas, mas também promovem a preservação dos recursos naturais, o que é essencial para a agricultura no longo prazo. Além disso, como ressaltado por Lopes *et al.* (2021), a implementação dessas práticas pode tornar os sistemas agrícolas mais resilientes, mais eficientes e menos dependentes de insumos externos, favorecendo a criação de sistemas de produção agrícola mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente. Com isso, a adoção de tais tecnologias não só melhora os resultados econômicos dos produtores, mas também colabora para a construção de uma agricultura mais ecológica e equilibrada.

CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

BERTONCELLI, P.; MARTIN, T. N.; STECCA, J.; DEAK, E.; BISON PINTO, M. A.; SCHONELL, A. O manejo de inverno e inoculação de sementes influenciam na produtividade e qualidade da silagem de milho sob sistema plantio direto. *Revista Ceres*, v. 64, n. 5, p. 579-588, set.-out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050010>. Acesso em: 14 nov. 2024.

CARVALHO, P. L. P. T. de; OLIVEIRA, C. H. R. de; VENTURA, J. A.; CALDEIRA, M. V. W.; FERRÃO, R. G. (editores). *Anais do Congresso Capixaba de Pesquisa Agropecuária – CCPA 2021*. Vitória, ES: Incaper, 2022. 284 p. e-book (PDF). ISSN 1519-2059. Disponível em: <https://www.incaper.es.gov.br>. Acesso em: 14 nov. 2024.

CECATO, U.; RÊGO, F. C. de A.; GOMES, J. A. N.; CANTO, M. W. do; JOBIM, C. C.; CONEGLIAN, S.; MOREIRA, F. B. Produção e composição química em cultivares e linhagens de aveia (*Avena spp*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 23, p. 775-780, 9 maio 2008.

DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. dos S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. de. Informações técnicas para a cultura da aveia: 40ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Organizado por R. Danielowski [et al.]. Três de Maio: Sociedade Educacional Três de Maio, 2021. 190 p. ISBN 978-65-992198-2-5. Disponível em: https://setrem.edu.br/wp-content/uploads/2021/11/INFORMACOES_TECNICAS_PARA_A_CULTURA_DA_AVEIA_SETREM_XL_RCBPA_2021-10-11-2021_compressed.pdf. Acesso em: 14 nov. 2024.

DETMANN, E. et al. *Métodos para análise de alimentos*. 1. ed. Jaboticabal, SP: Produção Independente, 2012. 214 p. ISBN 9788581790206.

FERNANDES, A. C. A.; FERREIRA, A. N.; OLIVEIRA, R. M. de. Ação de bioestimulante para a superação do déficit hídrico na germinação de milho. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Vértice - Univértix, Matipó, 2021. Disponível em: <https://univertix.edu.br/wp-content/uploads/2023/03/TCC-Agronomia-14-12-2021FINAL.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

GAMA, C. de O. Aplicação de estimuladores de crescimento em forrageiras: uma revisão de literatura. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Ceres, GO, 2024.

LOPES, M. J. dos S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B. da; GURGEL, E. S. C. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. *Research, Society and*

Development, v. 10, n. 12, e356101220585, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20585>. Acesso em: 14 nov. 2024.

LORENSI, R. P.; OLIVEIRA, D. dos S. de; TEIXEIRA, A. J. (Orgs.). Anais da I Mostra Científica Integrada das Ciências Agrárias da URI [recurso eletrônico]. Erechim: URI, 2021. Disponível em: <https://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/166.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

Rodríguez-Elizalde, M. de . los Á., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Vargas-Hernández, M.. (2024). Growth and production of poinsettia var. Prestige Red by inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria and fertilization doses. *Ornamental Horticulture*, 30, e242722. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v30.e242722>. Acesso em: 14 nov. 2024.

SEEBER, G. V. Uso de bactérias promotoras de crescimento e redução de nitrogênio em pastos de tifton 85 e azevém. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Rurais, Curitibanos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248027/TCC%20-%20Gabrielle%20V.%20Seeber.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 nov. 2024.

SOGIA, S. L. de O.; GONÇALVES DOS SANTOS, G.; MUBARACK GARCIA, R. P. (Orgs.). Anais da IV Reunião Anual da Ciência, Tecnologia e Inovação – RECONCITEC 2017 [recurso eletrônico]. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2017. ISBN 978-85-5971-026-7. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/ppgci/images/documentos/Anais/20170801_anais_IV_RECONCITEC_2017.pdf. Acesso em: 14 nov. 2024.

SPOLAOR, L. T.; GALVÃO, J. A.; HUNGRIA, M.; FERREIRA, L. A.; MARINS, C.; MARTINS, P. M.; PIMENTA, M.; NUNES, M. A.; BERNARDES, F. T. Uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal na agricultura. *Bragantia*, Campinas, v. 75, n. 1, p. 33-40, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.330>.

II. HIPÓTESE E OBJETIVOS GERAIS

Hipótese

A inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal, com e sem associação de adubo foliar promove incremento bromatológico e de produção na massa de forragem e raiz de *Avena sativa*, bem como alterações nos aspectos físicos do solo de implantação.

Objetivos gerais

Avaliar o efeito da inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal na presença e ausência de adubo foliar na produção de massa da parte aérea e de raízes de Aveia IPR Suprema e os aspectos físicos do solo.

III. Adubação foliar e inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal no solo e no sistema radicular de Aveia IPR Suprema

III. Foliar fertilization and inoculation of plant growth promoting bacteria in the soil and root system of IPR Suprema oat

(Normas: Semina Ciências Agrárias)

Highlights

Inoculação e adubação foliar impulsionam o crescimento radicular da aveia.

Nutrientes foliares otimizam a nutrição e o desenvolvimento de aveia forrageira.

Inoculação com bactérias *A. brasilense* aumentam a produção de biomassa da aveia.

Combinação de procedimentos em aveia promove o sistema radicular mais vigoroso.

Resumo

Este estudo investigou o efeito da adubação foliar e da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) no desenvolvimento radicular e nas propriedades físicas do solo em cultivos de aveia forrageira IPR Suprema. Foram avaliados quatro tratamentos: aveia forrageira IPR Suprema; aveia forrageira IPR Suprema adubada com adubo foliar; aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e adubada com adubo foliar. Os resultados indicaram que a combinação da adubação foliar e da inoculação com BPCV promoveu maior desenvolvimento radicular, especialmente nas camadas superficiais do solo. A adubação foliar isoladamente também influenciou positivamente o crescimento radicular. No entanto, não foram observadas diferenças significativas nas propriedades físicas do solo. A análise da biomassa produzida revelou o aumento na produção de matéria seca com a combinação da adubação foliar e da inoculação com BPCV, indicando um maior aproveitamento dos nutrientes e maior eficiência fisiológica das plantas. Os resultados sugerem que a associação entre a adubação foliar e a inoculação com BPCV pode ser uma estratégia promissora para aumentar a produtividade da aveia forrageira. A adubação foliar fornece nutrientes de forma eficiente, enquanto as BPCV promoveram um desenvolvimento radicular mais expressivo.

Palavras-chave: *Avena sativa*, *Azospirillum brasilense*, fertilizante foliar, propriedades físicas do solo, raízes.

Abstract

This study investigated the effects of foliar fertilization and inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on root development and soil physical properties in forage oat (IPR Suprema) crops. Four treatments were evaluated: forage oat IPR Suprema; forage oat IPR Suprema fertilized with foliar fertilizer; forage oat IPR Suprema inoculated with PGPB; and forage oat IPR Suprema inoculated with PGPB and fertilized with foliar fertilizer. Results indicated that the combination of foliar fertilization and PGPB inoculation promoted greater root development, especially in the topsoil layers. Foliar fertilization alone also positively influenced root growth. However, no significant differences were observed in soil physical properties. Biomass analysis revealed an increase in dry matter production with the combination of foliar fertilization and PGPB inoculation, indicating greater nutrient uptake and higher physiological efficiency of the plants. The results suggest that the association between foliar fertilization and PGPB inoculation may be a promising strategy to increase forage oat productivity. Foliar fertilization provided nutrients quickly and efficiently, while PGPB promoted more significant root development.

Keywords: forage oat, foliar fertilization, plant growth-promoting bacteria, root development, physical soil properties.

Introdução

A produção de forragem de alta qualidade é crucial para a sustentabilidade da pecuária. A aveia forrageira (*Avena sativa*), devido à sua adaptabilidade e alta capacidade de produção de biomassa, se mostra como uma opção promissora para a alimentação animal (Cecato et al., 2008). A otimização da produção de forragem passa pela adoção de práticas que promovam o crescimento vegetal e a saúde do solo. Neste contexto, a adubação foliar e a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) emergem como ferramentas promissoras.

A adubação foliar oferece uma fonte rápida de nutrientes para as plantas, especialmente quando o solo apresenta limitações (Danielowski et al., 2021). Por outro lado, as BPCV, como o *Azospirillum* e *Rhizobium*, podem fixar nitrogênio, melhorar a estrutura do solo e estimular o crescimento radicular (Lopes et al., 2021; Rodríguez-Elizalde et al., 2024). A combinação dessas práticas pode potencializar os benefícios individuais, resultando em sistemas de produção mais sustentável e eficiente.

A distribuição de raízes nas camadas do solo é influenciada por fatores como a espécie vegetal e as condições edafoclimáticas (Beloni et al., 2012). A concentração de nutrientes nas camadas superficiais, resultado de práticas de adubação, também influencia a distribuição radicular (Ribeiro et al., 2011). A inoculação com BPCV, por sua vez, pode alterar a distribuição radicular ao estimular o crescimento e a exploração de novos volumes de solo (Radwan et al., 2004). Além disso, a combinação de BPCV e adubação foliar pode otimizar a nutrição da planta e melhorar a estrutura do solo (Gama, 2024; Spolaor et al., 2016).

O estudo da associação de BPCV com a adubação foliar poderá contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis para a produção de forragem, com menor dependência de insumos externos e maior preservação dos recursos naturais.

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adubação foliar e da inoculação com BPCV, associado ou não, no desenvolvimento radicular, nas propriedades físicas do solo e na produção de biomassa de aveia forrageira IPR Suprema.

Material e métodos

Local e design experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil (23°19'S, 51°12'W; 565 m a.m.s.l.), de maio a novembro de 2022.

O solo no local do experimento é classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico (Santos et al., 2018). As características químicas na camada de 0 a 0,2 m de profundidade são: potencial de hidrogênio (pH em CaCl_2) = 5,15; fósforo (P-Mehlich) = 5,69 mg dm^{-3} ; potássio (K^+) = 1,46 cmolc dm^{-3} ; cálcio (Ca^{2+}) = 9,08 cmolc dm^{-3} ; magnésio (Mg^{2+}) = 2,62 cmolc dm^{-3} ; capacidade de troca catiônica (CTC pH 7.0) = 17,53. A fim de simular as condições usuais nas áreas de pastagens, o pH do solo não foi corrigido.

Para a implantação do experimento foi realizado o manejo do solo com gradagem e nivelamento. As sementes foram semeadas em linha com espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade de semeadura de 393 sementes aptas por m^2 . A aveia forrageira utilizada foi a Aveia Branca (*Avena sativa* L.), cultivar Iapar Suprema - IPR Suprema. As unidades experimentais foram formadas por parcelas de 120 m^2 com 6,65 m de largura por 18 m de comprimento.

Os tratamentos foram: Testemunha = Aveia forrageira IPR Suprema, Foliar = Aveia forrageira IPR Suprema adubada com adubo foliar, BPCV = Aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e BPCV + Foliar = Aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e adubada com adubo foliar.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos, arranjado em esquema fatorial 2 tratamentos de inoculação x 2 níveis de adubação x 1 forrageira com cinco repetições, desta forma totalizando 20 unidades experimentais (parcelas) no ensaio.

As bactérias usadas para a inoculação das sementes de aveia foram previamente identificadas como promissoras em estudos conduzidos no laboratório de Biotecnologia do Solo da Embrapa Soja. As estirpes de bactérias promotoras de crescimento vegetal, *Azospirillum brasilense* Ab-V5 (=CNPSO 2083) e Ab-V6 (=CNPSO 2084). Os inóculos foram preparados na Embrapa Soja, nos meios de cultura adequados para cada microrganismo. Para preparo do inoculante, as estirpes foram cultivadas em meio DYGS (Fukami et al. 2018), e com solução salina (NaCl 0,85%) para obtenção de concentração celular de 108 unidades formadoras de colônia (UFC) mL^{-1} com base na densidade óptica (600 nm) valores correspondentes às curvas de crescimento previamente obtidas para cada cepa.

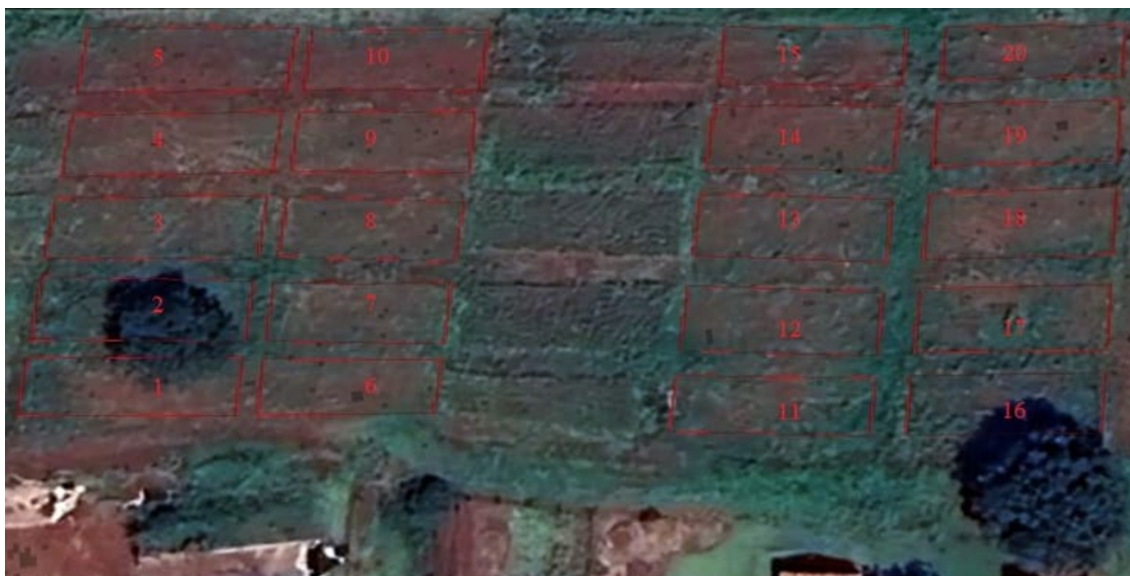


Figura 1. Imagem de satélite da área experimental com aveia IPR Suprema na Fazenda Escola da UEL. Fonte: Software Google® Earth- acesso online em 04/06/2024

As estirpes estão depositadas na “Coleção de Microrganismos Multifuncionais da Embrapa Soja: Bactérias Diazotróficas e Promotoras do Crescimento de Plantas” (World Federation Culture Collection-WFCC#1213, Word Data Centre for Microorganisms-WDCM#1054). As bactérias são derivadas de programas de seleção de Bactérias promotoras de crescimento vegetal da Embrapa Soja: *Azospirillum* brasileiro Ab-V5 e Ab-V6, selecionada no Brasil, inicialmente para as culturas de milho (*Zea mays*) e trigo (*Triticum aestivum*) (Hungria et al., 2010).

Para a inoculação, 15 mL de cada inóculo foram usados por quilo de sementes antes da semeadura. As sementes foram colocadas em contato com o inóculo aplicado por aproximadamente 30 minutos em local fresco e protegido do sol, e posteriormente semeadas.

A adubação foliar foi realizada com três compostos minerais mistos (Tabela 1).

Tabela 1

Composição química dos adubos foliares aplicados após o primeiro corte na aveia IPR Suprema

Composto	Garantias	% p/p	% p/v	g.L-1
1	P2O5 (Sol. em H2O)	1,00%	1,02%	10,20
	Molibdênio (Mo) (Sol. em H2O)	1,00%	1,02%	10,20
2	Nitrogênio (N) (Sol. em H2O)	5,00%	7,00%	70,00
	Enxofre (S) (Sol. em H2O)	6,20%	8,68%	86,80
	Magnésio (Mg) (Sol. em H2O)	1,50%	2,10%	21,00
	Boro (B) (Sol. em H2O)	0,04%	0,05%	0,56
	Manganês (Mn) (Sol. em H2O)	3,20%	4,48%	44,80
	Molibdênio (Mo) (Sol. em H2O)	0,04%	0,05%	0,56
	Zinco (Zn) (Sol. em H2O)	5,50%	7,70%	77,00
3	Nitrogênio (N) (Sol. em H2O)	10,00%	13,70%	137,00
	P2O5 (Sol. em H2O)	34,00%	46,58%	465,80

p/p = peso por peso; p/v = peso por volume. Fonte: Prime Agro Produtos Agrícolas Ltda.

A aplicação foi realizada após o primeiro pastejo com a utilização de bomba costal de 20 L da marca Jacto. Foram utilizadas duas caldas formadas pelos compostos 1 e 2, e 2 e 3, pulverizadas alternadamente, iniciando pelos compostos 1 e 2, sempre proporcionando dosagens de 300 mL ha⁻¹ para o composto 1, e 2 L ha⁻¹ para os compostos 2 e 3.

Dados climáticos

Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do período experimental foram coletados na Estação Meteorológica do IDR em Londrina – PR (Figura 2).

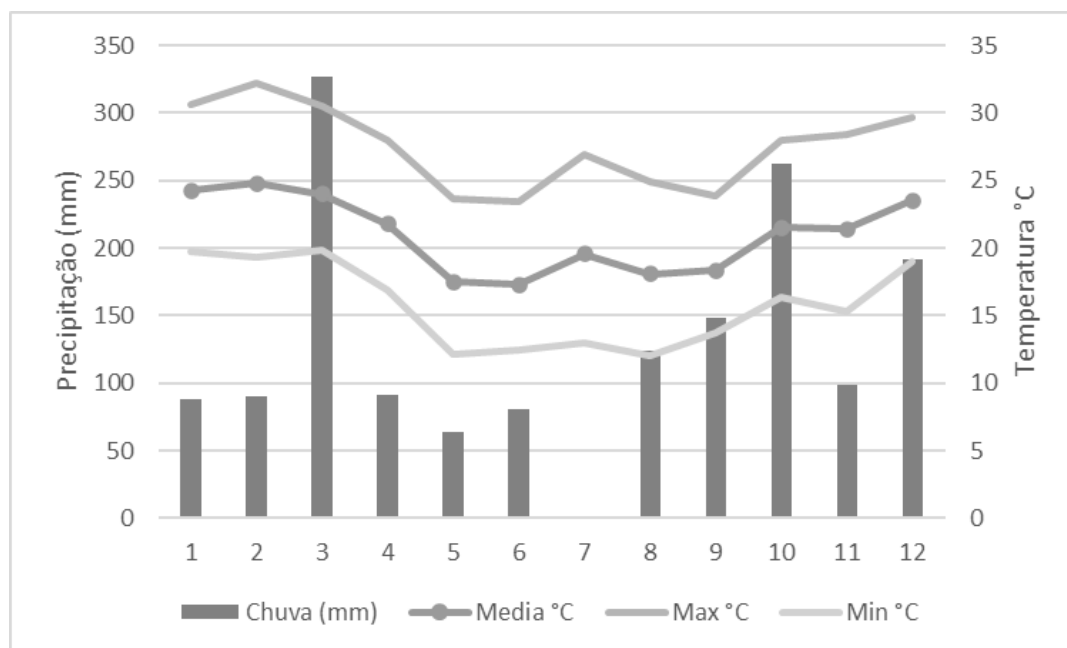


Figura 2. Precipitação (mm) e temperatura (°C) observada durante o ano de 2022. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR - Londrina-PR.

A temperatura média foi de 19 °C e a precipitação foi de 755 mm durante o período experimental.

Variáveis respostas

A análise física de solo foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina. Foram extraídas amostras do solo em cinco pontos da área experimental para obtenção de densidade e porosidade, coletadas com anel volumétrico previamente à implantação do experimento, nas profundidades de 5 a 10; 15 a 20 e de 25 a 30 cm. Após o último corte foi repetido o processo de coleta, com dois pontos em cada parcela. A densidade foi analisada pelo método do anel volumétrico seco em estufa (Figura 3) e a porosidade pela metodologia da mesa de tensão conforme descrito na NBR 15845-2 (ABNT, 2015).



Figura 3. Aneis volumétricos utilizados para a análise de densidade do solo.

A análise biológica do solo, foi realizada coletando previamente à implantação do experimento, 20 pontos na área experimental, com auxílio de um trado holandês, formando duas amostras, que foram encaminhadas para contagem de *Azospirillum* spp. e para contagem de bactérias solubilizadoras de fosfato no Laboratório de Ecologia Microbiana da Universidade Estadual de Londrina.

Foi utilizado para a diluição do solo 1g de solo para o frasco com 9 mL de solução fisiológica (NaCl 0,85%), a fim de formar uma diluição 10^{-1} , seguindo com diluição seriada até 10^{-3} e 10^{-4} . Após, essa solução foi aplicada e espalhada 100 μ L de cada uma das diluições, sobre a superfície do meio de cultura nas placas de petri, em triplicata (Figura 4). Os meios de cultura utilizados foram Pikovskaya e NFb (N-Free-bromothymol blue) para bactérias solubilizadoras de fosfato e fixadoras de nitrogênio. As placas foram posteriormente incubadas em BOD (Biochemical Oxygen Demand) à 28°C por sete dias e ao fim do período, realizada a contagem de colônias com auxílio de lupa, seguindo o método da EMBRAPA(1995, 2010, 2024).

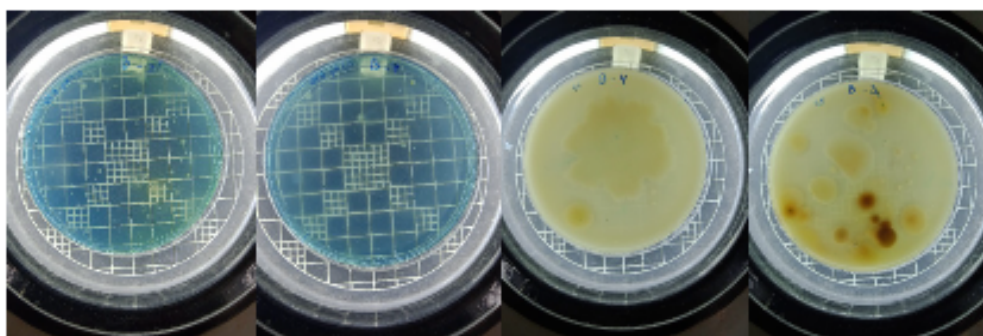


Figura 4. Placas de Petri com ausência de bactérias fixadoras de nitrogênio e solubilizadoras de fosfato pré-implantação.

Fonte: Laboratório de Ecologia Microbiana-UEL.

A massa seca de raiz (MR, g MS) foi determinada no terceiro corte do período experimental. As amostras foram obtidas por sondagem (Figura 5) e lavadas em água corrente para a retirada do solo aderido

(Soares Filho et al., 2013). Segundo Böhm (1976), as amostras foram lavadas com água corrente em uma peneira com malha de 0.8 mm, para separação de solo e raízes. Após descanso de aproximadamente três horas em papel toalha, as raízes foram encaminhadas à estufa com circulação forçada de ar (65 oC) por 48 horas. Após isso se procedeu à pesagem das mesmas em balança analítica.



Figura 5. Método de sondagem para amostragem de raízes e pré-estratificação da amostra.

Para a morfologia das raízes, retirou-se 1 g de raízes das amostras após a lavagem para a determinação do diâmetro radicular (DiR, mm), área radicular (AR, mm² dm⁻³), comprimento radicular (CR, mm dm⁻³) e densidade radicular (DeR, mm cm⁻³). As raízes foram acondicionadas em solução alcoólica a 10%, corada com azul de metileno e avaliada por meio de digitalização das raízes em Scanner HP 3400, e as leituras das imagens utilizando o software DELTA T SCAN® (Figura 6).

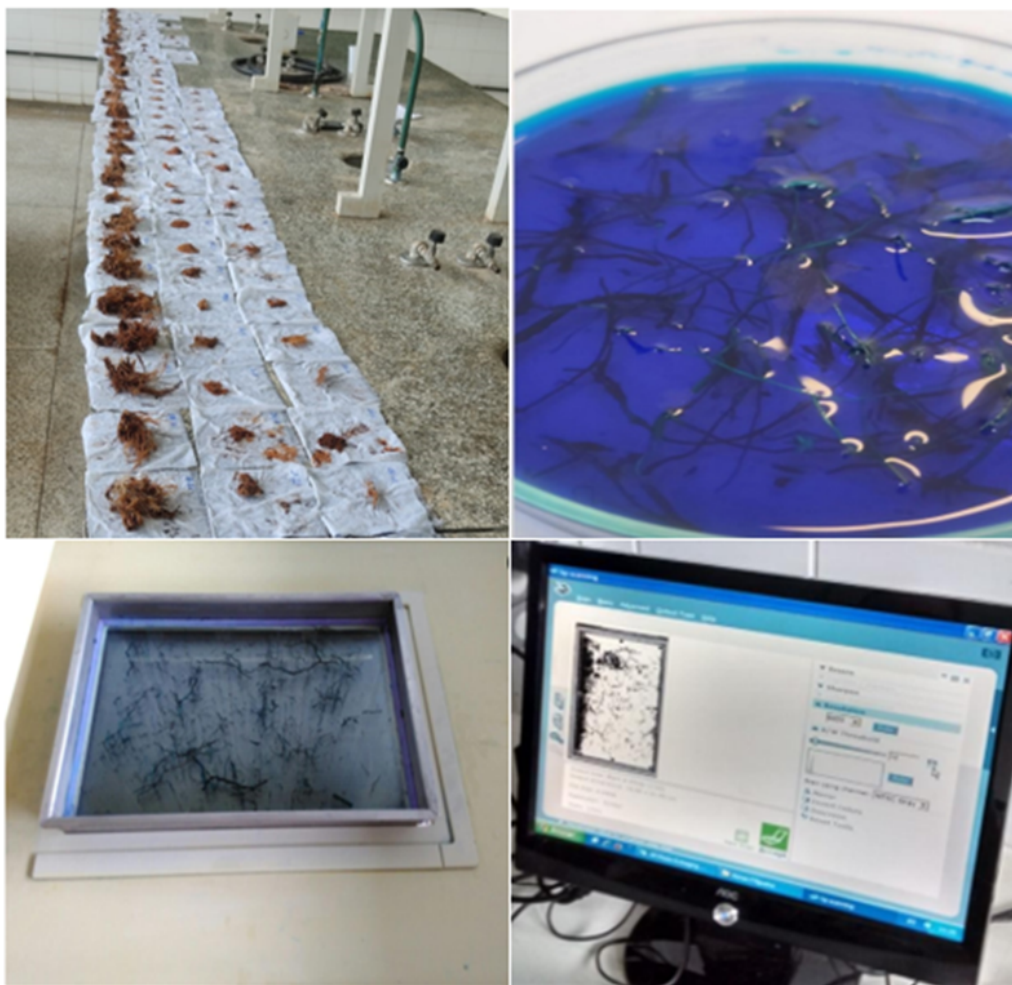


Figura 6. Procedimento de análise radicular no aparelho DELTA T SCAN®. (a) Amostras após a lavagem; (b) Coloração das amostras; (c) Escaneamento das raízes, (d) Captura das imagens pelo programa Delta Scan.

Análise Estatística

A análise descritiva de todos dados foi realizada utilizando-se de tabelas e gráficos para identificar padrões de comportamento entre os diferentes tratamentos. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965), enquanto a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Bartlett (Bartlett, 1950). Optou-se por realizar a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para comparação de múltiplas médias (Montgomery, 2017). Todas as análises foram realizadas utilizando o software estatístico R.

Resultados e Discussão

Análise estratificada de raízes

As variáveis do sistema radicular foram influenciadas pela inoculação com BPCV e adubação foliar nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Na profundidade de 20 a 30 cm, não houve efeito significativo para nenhuma variável (Tabela 2).

A inoculação de BPCV e a adubação foliar influenciaram no desenvolvimento radicular, variando nas profundidades. Em geral, as raízes da camada superficial de 0 a 10 cm de profundidade apresentaram maiores valores para a maioria das variáveis, indicando maior desenvolvimento radicular nesta região.

O peso seco de raízes (PS) na camada de 0 a 10 cm de profundidade apresentou diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos, sendo a Aveia com inoculação de BPCV e a com inoculação de BPCV e adubação foliar associado as que apresentaram os maiores valores de peso seco com relação a adubação foliar. Na camada de 10 a 20 cm de profundidade a inoculação de BPCV associada a adubação foliar não diferiu da inoculação de BPCV, porém, diferiu dos demais tratamentos para o peso seco de raízes. Os resultados apresentados aqui são consistentes com os obtidos por Correa Filho et al. (2017), que observaram que a inoculação de BPCV pode aumentar significativamente o desenvolvimento das raízes na aveia, particularmente nas camadas mais profundas do solo. O aumento do peso das raízes na profundidade de 10 a 20 cm, conforme observado neste estudo, sugere que a inoculação com BPCV pode estimular uma exploração mais profunda do perfil do solo, potencialmente melhorando a aquisição de nutrientes. Na camada de 20 a 30 cm de profundidade não houve diferença, pois, provavelmente a maior concentração de BPCV permaneceram na parte mais superficial do solo.

A matéria seca (MS) apresentou diferença entre os tratamentos tanto nas camadas de 0 a 10 cm como na de 10 a 20 cm de profundidade, sendo o maior teor de MS observado na testemunha, 32,4 e 33,3% respectivamente.

O diâmetro radicular (DR) na camada de 0 a 10 cm apresentou diferença entre os tratamentos, sendo que a testemunha apresentou o maior diâmetro radicular, ou seja, promoveu raízes mais grossas na camada superficial, no estudo de Vicente (2021) para o capim-Massai, observou que as estirpes Ab-V5 e CCTB03 proporcionaram, juntamente com o tratamento sem bactéria, os maiores diâmetros de raízes. Já nas camadas de 10 a 20 e 20 a 30 cm de profundidade não houve diferença entre os tratamentos.

A área radicular (AR) na camada de 0 a 10 cm de profundidade apresentou diferença. A inoculação com BPCV e a BPCV associada a adubação foliar contribuíram para o maior desenvolvimento da área radicular na camada superficial. Na camada de 10 a 20 cm de profundidade houve diferença com a maior área radicular observada na inoculação de BPCV e na BPCV associada a adubação foliar. Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Barreiros et al. (2020), que observaram aumento no desenvolvimento radicular em capim ruziziensis após a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal.

O comprimento radicular (CR) na camada de 0 a 10 cm de profundidade apresentou diferença, observando que os maiores comprimento de raízes ocorreu com a inoculação de BPCV e as BPCV associada a adubação foliar. Na camada de 10 a 20 cm de profundidade houve diferença, sendo que a inoculação de BPCV e as BPCV associadas a adubação foliar promoveram o maior desenvolvimento do comprimento radicular na camada intermediária. Segundo Araújo e Hungria (1999), BPCV apresentam produção de fitohormônios, possibilitando a emissão de pelos radiculares e o desenvolvimento das raízes.

Tabela 2

Análise estratificada de raízes. Análise estratificada de raízes. Peso seco (PS), matéria seca (MS), diâmetro radicular (DiR1), área radicular (AR), comprimento radicular (CR), densidade de raízes (DeR), matéria seca média (μ MS) e diâmetro radicular médio (μ DiR), soma dos estratos para peso seco total (PST), área radicular total (ART), comprimento radicular total (CRT) razão de massa forragem: massa radicular (MF:MR), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), densidade do solo (DS), macroporosidade média (μ MA), microporosidade média (μ MI), densidade do solo média (μ DS) de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar

Variável	Profundidade cm	Tratamentos				Desvio Padrão	CV %	Valor - p
		Testemunh	Foliar	BPCV	BPCV+Folia			
PS g planta ⁻¹ MS	0 - 10	0,83 ab	0,62 b	1,32 a	1,30 a	0,36	42	0,0065*
	10 - 20	0,03 b	0,06 b	0,07 ab	0,11 a	0,03	58	0,0009*
	20 - 30	0,03 a	0,03 a	0,02 a	0,04 a	0,02	72	0,6037
MS %	0 - 10	32,4 a	25,3 b	26,7 b	22,2 b	4,35	17	0,0001*
	10 - 20	33,3 a	24,6 b	21,5 b	24,9 b	6,31	25	0,0025*
	20 - 30	34,6 a	18,7 a	46,9 a	24,5 a	21,5	59	0,4177
DiR mm mm ⁻¹	0 - 10	0,429 a	0,360 b	0,323 b	0,323 b	0,05	14	0,0003*
	10 - 20	0,305 a	0,292 a	0,272 a	0,290 a	0,03	10	0,1669
	20 - 30	0,277 a	0,273 a	0,277 a	0,287 a	0,04	14	0,9098
AR m ² mm ⁻²	0 - 10	9,443 b	12,115 b	26,812 ab	37,552 a	8,214	40	0,0007*
	10 - 20	962 b	1,385 b	2,490 a	1,982 ab	889	55	0,0036*
	20 - 30	418 a	544 a	863 a	793 a	439	65	0,3727
CR mm mm ⁻¹	0 - 10	22,451 b	34,143 b	83,684 ab	122,440 a	40,281	51	0,0005*
	10 - 20	3,302 b	4,777 b	9,280 a	6,927 ab	3,364	59	0,0028*
	20 - 30	1,532 a	2,017 a	3,074 a	2,836 a	1,619	70	0,4074
DeR ng cm ⁻³	0 - 10	9,15 b	8,85 b	18,21 ab	22,36 a	7,4	46	0,00197*
	10 - 20	0,38 b	0,91 ab	1,26 ab	1,81 a	0,69	66	0,00164*
	20 - 30	0,36 a	0,53 a	0,43 a	0,60 a	0,34	71	0,607
MA m ³ m ⁻³	0 - 10	0,367 a	0,372 a	0,338 a	0,310 a	0,063	18	0,4055
	10 - 20	0,325 a	0,378 a	0,297 a	0,348 a	0,064	19	0,2432
	20 - 30	0,308 a	0,279 a	0,393 a	0,333 a	0,073	22	0,0739
MI m ³ m ⁻³	0 - 10	0,819 a	0,836 a	0,841 a	0,870 a	0,092	11	0,8705
	10 - 20	0,904 a	0,848 a	0,890 a	0,799 a	0,072	8	0,0799
	20 - 30	0,871 a	0,878 a	0,802 a	0,863 a	0,073	22	0,4787
DS g cm ⁻³	0 - 10	2,30 a	2,39 a	2,30 a	2,53 a	0,25	11	0,468
	10 - 20	2,54 a	2,53 a	2,40 a	2,45 a	0,14	6	0,3696
	20 - 30	2,48 a	2,52 a	2,26 a	2,56 a	0,22	9	0,1268
PST	g planta ⁻¹ MS	0,89 b	0,69 b	1,43 a	1,46 a	0,37	39	0,0500*
μ MS	%	33,2 a	23,5 a	31,7 a	23,8 a	8,5	29	0,1405
μ DiR	mm mm ⁻¹	0,35 a	0,32 b	0,29 b	0,30 b	0,03	10	0,0026*
ART	mm ² mm ⁻²	10,61 c	13,83 bc	30,08 ab	40,25 a	12,533	46	0,0500*
CRT	mm mm ⁻¹	26,52 c	40,13 bc	95,73 ab	131,92 a	41,345	48	0,0500*
MF:MR		0,59 ab	0,99 a	0,42 b	0,51 b	0,23	36	0,0167*
μ MA	m ³ m ⁻³	33,35 a	34,30 a	34,29 a	33,05 a	0,006	2	0,9387
μ M	m ³ m ⁻³	86,47 a	85,39 a	84,46 a	84,39 a	0,023	3	0,8922
μ DS	g cm ⁻³	2,44 a	2,48 a	2,32 a	2,51 a	0,099	4	0,0582

BPCV = bactérias promotoras de crescimento vegetal. Testemunha = Aveia; Foliar = Adubação foliar; BPCV = Inoculação com BPCV; BPCV + Foliar = Inoculação com BPCV e Adubação foliar. Valores seguidos pela mesma letra nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0.05).

A inoculação de BPCV associada à adubação foliar se destacou por promover maior desenvolvimento da área radicular e do comprimento radicular nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de

profundidade. Isso sugere que a inoculação de BPCV associada a adubação foliar pode ter fornecido condições favoráveis para o crescimento das raízes, como a maior disponibilidade de nutrientes ou fitohormônios. Segundo estudo de isolados por Zaidi & Khan (2006), as bactérias promotoras do crescimento vegetal, possibilitam aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas pela solubilização de fosfato inorgânico.

A camada mais superficial, de 0 a 10 cm de profundidade foi a que melhor respondeu com relação a inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar, pois a maioria das diferenças foram observadas nesta profundidade, o que indica que esta é uma região mais sensível às respostas dos tratamentos, e, que o desenvolvimento radicular nesta camada é crucial para a absorção de água e nutrientes.

Os resultados obtidos com relação ao sistema radicular da Aveia IPR Suprema são importantes, pois fornece informações que auxiliam na compreensão dos mecanismos que controlam o crescimento das raízes e para otimizar práticas de manejo do solo.

Houve diferença ($P < 0,001$) para a densidade de raízes (DeR) da aveia forrageira IPR Suprema com ou sem inoculação de BPCV e adubação foliar e associada ou não, nas camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm de profundidade (Tabela 2).

Na camada de 0 a 10 cm de profundidade a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou a maior densidade de raízes, seguido da inoculação de BPCV, da adubação foliar e da testemunha que não diferiram entre si. Fica evidente que a inoculação de BPCV e a adubação foliar estimularam o desenvolvimento radicular na camada mais superficial. Na camada de 10 a 20 cm de profundidade a mesma tendência foi observada, porém, a testemunha diferiu dos demais tratamentos, ou seja, da inoculação de BPCV, da adubação foliar e da associação entre elas, a qual apresentou a maior densidade de raízes. Na camada de 20 a 30 cm de profundidade, não houve diferença significativa, indicando como nas demais variáveis relacionadas ao sistema radicular, que tanto a inoculação de BPCV quanto a adubação foliar conseguem influenciar nas raízes mais profundas da aveia IPR Suprema.

Houve diferença ($P < 0,05$) para as variáveis peso radicular total, diâmetro radicular, área radicular total e comprimento radicular total e para a razão massa de forragem e massa de raízes da aveia forrageira IPR Suprema com ou sem inoculação de BPCV e adubação foliar e associada ou não, na camada de 0 a 30 cm de profundidade (Tabela 2). O teor médio de matéria seca das raízes na camada de 0 a 30 não apresentou diferença ($P > 0,05$). O teor médio de MS nas raízes de Aveia IPR Suprema com inoculação de BPCV e adubação foliar foi de 28,1 % na matéria natural (Tabela 2).

A média do diâmetro radicular de aveia IPR Suprema com inoculação de BPCV e adubação foliar foi maior para a testemunha. Possivelmente a adubação foliar isolada pode ter promovido o crescimento inicial mais rápido em espessura, mas ao longo do tempo não sustentou esse crescimento.

Para a área radicular total, comprimento radicular total e peso seco total, a associação da inoculação de BPCV e a adubação foliar diferiu da testemunha e da adubação foliar, sendo mais eficaz na área e comprimento radicular. A inoculação de BPCV e a associação de BPCV e adubação foliar foram os mais

eficientes em promover o crescimento extensivo das raízes e aumentar a biomassa radicular da aveia IPR Suprema. Comportamento similar foi relatado no estudo de Barreiros et al. (2020), o qual demonstra que a combinação da inoculação de BPCV e adubação pode promover o maior desenvolvimento radicular.

A adubação foliar apresentou diâmetro radicular significativamente menor em comparação a testemunha. Isso sugere que a adubação foliar, isoladamente, pode ter inibido o crescimento em espessura das raízes. No entanto, a adubação foliar, quando associada com a inoculação de BPCV, promoveu um aumento significativo na área radicular total, comprimento radicular total e peso seco total em relação à testemunha. Provavelmente há um indicativo de que a adubação foliar, em conjunto com as BPCV, pode ter um efeito sinérgico, estimulando o crescimento das raízes em termos de extensão e biomassa de raízes. Os estudos de Fukami et al. (2017) e Gouda et al. (2018) atribuem o aumento da massa de forragem aos hormônios sintetizados pelas BPCV, sugerindo influência positiva no crescimento das raízes.

A inoculação de BPCV na aveia IPR Suprema apresentou aumento significativo na área radicular total, comprimento radicular total e peso seco total em comparação a testemunha. Isso demonstra que a aplicação de BPCV estimulou o desenvolvimento radicular, possivelmente através da fixação de nitrogênio atmosférico, produção de hormônios de crescimento ou outros mecanismos. A combinação da adubação foliar e da inoculação de BPCV resultou no maior crescimento radicular em termos de área, comprimento e peso seco, sugerindo que a associação entre esses dois fatores pode ter efeito ainda mais pronunciado no desenvolvimento das raízes.

A inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou mais efeito positivo no desenvolvimento radicular do que a aplicação isolada de inoculação de BPCV e da adubação foliar. O que sugere uma interação positiva, potencializando seus efeitos benéficos. Os estudos de Megías et al. (2017) e Leite et al. (2018) corroboram com relação aos efeitos positivos de BPCV no crescimento das plantas e no desenvolvimento das raízes.

Estudos moleculares poderiam elucidar os mecanismos pelos quais a adubação foliar e a inoculação de BPCV influenciam o desenvolvimento radicular.

Os resultados deste estudo podem ter implicações importantes para a agropecuária, indicando que a associação da adubação foliar e da inoculação de BPCV pode ser uma estratégia promissora para melhorar o crescimento e a produtividade de culturas.

A razão MF:MR foi maior para a adubação foliar em relação a inoculação de BPCV e a adubação foliar, e a associação entre elas, indicando uma maior produção de forragem em relação à massa de raízes. A adubação foliar não difere da testemunha, porém se diferenciou da inoculação de BPCV e da inoculação de BPCV associada a adubação foliar. Alguns estudos atribuíram os incrementos em termos de massa de forragem a hormônios, como citocininas, giberelinas e auxinas, sintetizados pelas BPCV (Fukami et al., 2017 e Gouda et al., 2018).

A adubação foliar também contribuiu para o aumento da densidade de raízes nas camadas superficiais e para uma maior razão MF:MR, indicando melhor aproveitamento dos nutrientes e maior crescimento da parte aérea da planta.

A maior parte do desenvolvimento radicular ocorreu nas camadas superficiais de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm, com menor desenvolvimento das raízes na camada mais profunda de 20 a 30 cm. Além do que, observou-se que tanto a inoculação de BPCV quanto a adubação não interfere no desenvolvimento das raízes na profundidade de 20 a 30, pois todas as variáveis estudadas não tiveram diferença.

A inoculação de BPCV pode ter promovido o crescimento das raízes por meio da fixação biológica de nitrogênio, aumentando a disponibilidade desse nutriente para a planta e consequentemente a absorção e melhor desenvolvimento das raízes pelas plantas. A aplicação de adubo foliar pode ter fornecido nutrientes de forma mais rápida e eficiente para as plantas, estimulando o crescimento das raízes e da parte aérea. A combinação de inoculação de BPCV e a adubação foliar pode ter potencializado os efeitos positivos de cada tratamento individualmente.

Densidade e Porosidade do solo

Não houve diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos para as propriedades físicas do solo analisadas em nenhuma das profundidades (Tabela 2). Isso pode ter ocorrido, pois de acordo com o experimento, a inoculação de BPCV e a adubação foliar não alteraram significativamente a macroporosidade, a microporosidade e a densidade do solo em comparação à aveia IPR Suprema sem tratamento adicional.

O experimento pode não ter sido longo o suficiente para que os efeitos da inoculação de BPCV e a adubação foliar se manifestassem de forma clara nas propriedades físicas do solo. Fatores como clima, tipo de solo, cultivo e manejo anterior da área, entre outros, podem ter suprimido os efeitos dos tratamentos.

Não houve diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos para as propriedades físicas do solo de 0 a 30 cm de profundidade (Tabela 2). Isso significa que, de acordo com este experimento, a inoculação de BPCV, a adubação foliar e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar não alteraram significativamente a macroporosidade, a microporosidade e a densidade do solo em comparação à aveia sem tratamento adicional. Devido ao curto período de tempo para a proliferação e o desenvolvimento das BPCV no solo, são necessários mais estudos com diferentes condições experimentais e metodologias.

No estudo de Mattei (2018) os tratamentos avaliados (manejos e densidades de semeadura da aveia) não exerceram influência significativa sobre os valores de macro e microporosidade do solo após o cultivo da soja em todas as camadas estudadas.

Resultados semelhantes foram verificados por Flores (2004), em que não foram verificadas diferenças na densidade e na porosidade de um Latossolo conduzido em Integração Lavoura Pecuária - ILP, submetido ao pastejo de aveia preta (*Avena strigosa* Schreber) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) no inverno.

Andreolla et al. (2014), avaliando a influência do pastejo controlado no período de inverno sobre a qualidade física do solo, observaram que a mesma não é influenciada pelo sistema de ILP, desmistificando que a presença do animal irá prejudicar as áreas agrícolas.

Conte et al. (2011) avaliaram o efeito das alturas de pastejo e dos sucessivos ciclos de pastejo sobre os atributos físicos do solo, não verificando alterações significativas na densidade e porosidade do solo, após sete anos em sistema de ILP, corroborando os resultados verificados neste trabalho.

Conclusões

A inoculação de BPCV associada a adubação foliar sugere melhora no sistema radicular da aveia IPR Suprema nas camadas mais superficiais, com exceção aos teores de matéria seca.

Na ausência de fertilizante, a inoculação de BPCV favorece o aumento da área e o comprimento radicular na profundidade de 10 a 20 centímetros, mesmo com reduções nos teores de matéria seca e sem diferenciações de diâmetro e peso seco de raízes.

O uso da adubação foliar e inoculação de BPCV não influencia as propriedades físicas do solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio na concessão das bolsas de mestrado e iniciação científica. À Embrapa Soja pelo fornecimento das BPCV, ao IDR Paraná pelas sementes de aveia e à empresa Primer pelo fertilizante.

Referências

ANDREOLLA, V. R. M., MORAES, A., BONINI, A. K., DEISS, L., & SANDINI, I. E. (2014). Soil physical attributes in integrated bean and sheep system under nitrogen levels. *Revista Ciência Agronômica*, 45(5), 922-930.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY), 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed, Washington, D.C. USA

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR 15845-2: Rochas para revestimentos - Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT.

BARREIROS, A. R. D., CECATO, U., DUARTE, C. F. D., HUNGRIA, M., BISERRA, T. T., SILVA, D. R. da, MAMÉDIO, D., SANCHES, R., & FERNANDES, H. J. (2020). Massa de forragem, perfilhamento, valor nutritivo e sistema radicular de capim *ruziziensis* inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal associadas a doses de fertilizante nitrogenado. *International Journal for Innovation Education and Research*, 8(10), 41-55. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol8.iss10.2634>

Bartlett, M. S. (1950). Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Statistical Psychology*, 3, 77-85.

- Beloni, T. (2012). *Pastagem de capim- Mombaça irrigado e adubado com nitrogênio: sistema radicular, resistência à penetração e perda de nitrogênio* [Pasture of irrigated Mombaça grass and fertilized with nitrogen: root system, penetration resistance and nitrogen loss]. (Master's thesis). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.
- Böhm, W. (1976). In situ estimation of root length at natural soil profiles. *The Journal of Agricultural Science*, 87, 365-368.
- CONTE, O., FLORES, J. P. C., CASSOL, L. C., ANGHINONI, I., CARVALHO, P. C. F., LEVIEN, R., & WESP, C. L. (2011). Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 46(10), 1301-1309.
- CORREA FILHO, D. V. B., CORREIA, E. C. S. S., DOMINGUES NETO, F. J., DOS SANTOS, D. V., DA SILVA, T. A., MONTEIRO, R. N. F., FONTANA, L. F. (2017). Crescimento e desenvolvimento de aveia preta em resposta à inoculação com *Azospirillum* brasileiro e adubação nitrogenada. *Colloquium Agrariae*, 13(2), 1-8. <https://doi.org/10.5747/ca.2017.v13.n2.a155>
- Döbereiner, J., Baldani, V. L. D., & Baldani, J. I. (1995). *Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas*. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Itaguaí, RJ: EMBRAPA-CNPAB.
- El-Sayed El-Desouk Radwan, T., Mohamed, Z. K., & Reis, V. M. (2004). Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(10), 987-994.
- Ferreira, E., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2024). *Manual de análises de bioinsumos para uso agrícola: Inoculantes* (1ª ed.). Brasília, DF: Embrapa.
- FLORES, J. P. C. (2004). Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário na superfície (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FUKAMI, J., CEREZINI, P., & HUNGRIA, M. (2018). *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8, 73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- Gomes, E. A., Souza, F. A., Sousa, S. M., Vasconcelos, M. J. V., Marriel, I. E., & Silva, U. C. (2010). Prospecção de comunidades microbianas do solo ativas no aproveitamento agrícola de fontes de fósforo de baixa solubilidade (Documento 107). Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo.
- Google. (n.d.). Google Earth [Software]. Google LLC.
- GOUDA, S., KERRY, R. G., DAS, G., PARAMITHIOTIS, S., SHIN, H. S., & PATRA, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná). (n.d.). *Dados Meteorológicos Históricos e Atuais* [Historical and current meteorological data].
- Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná). (s.d.). *Dados Meteorológicos Históricos e Atuais*.

- LEITE, R. D. C., DOS SANTOS, J. G., SILVA, E. L., ALVES, C. R., HUNGRIA, M., LEITE, R. D. C., & DOS SANTOS, A. C. (2019). Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. *Crop and Pasture Science*, 70, 61-67. <https://doi.org/10.1071/CP18105>
- LEITE, R. D. C., SANTOS, A. C. D., SANTOS, J. G. D. D., LEITE, R. D. C., OLIVEIRA, L. B. T. D., & HUNGRIA, M. (2019). Mitigation of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43, e0180234. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180234>
- MATTEI, E. (2018). Propriedades físicas, estoque de carbono e produtividade de soja com manejos da aveia preta em sistema de integração lavoura-pecuária (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.
- MEGÍAS, E., MEGÍAS, M., OLLERO, F. J., & HUNGRIA, M. (2016). Draft genome sequence of *Pantoea ananatis* strain AMG521, a rice plant growth-promoting bacterial endophyte isolated from the Guadalquivir marshes in southern Spain. *Genome Announcements*, 4(1). [URL inválido removido]
- Montgomery, D.C. (2017) Design and Analysis of Experiments Arisona, State University. Ninth Edition, John Wiley & Sons, New York, 640 p.
- Ribeiro, A. M. 2014. *Capim- xaraés sob lotação contínua manejado em diferentes intensidades de pastejo*. Tese (D.Sc.). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.
- Rodríguez-Elizalde, M. de . los Á., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Vargas-Hernández, M.. (2024). Growth and production of poinsettia var. Prestige Red by inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria and fertilization doses. *Ornamental Horticulture*, 30, e242722. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v30.e242722>. Acesso em: 14 nov. 2024.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Soares Filho, C. V., Cecato, U., Ribeiro, O. L., Cruz Roma, C. F. D., Jobim, C. C., Beloni, T., & Venturoli Perri, S. H. (2013). Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(5), 2415-2426. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2415>
- Soares Filho, C. V., Cecato, U., Ribeiro, O. L., Cruz Roma, C. F. D., Jobim, C. C., Beloni, T., & Venturoli Perri, S. H. (2013). Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(5), 2415-2426. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2415>
- VICENTE, J. V. R. (2021). Bactérias promotoras do crescimento de plantas em Capim-zuri e Massai [Dissertação de mestrado]. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.

IV. Adubação foliar e inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal sobre a produção e a qualidade de Aveia IPR Suprema

IV. Foliar fertilization and inoculation of Plant growth-promoting bacteria on the production and quality of IPR Suprema Oat

(Normas: Semina Ciências Agrárias)

Highlights

Bactérias e adubo foliar potencializam o crescimento de aveia forrageira.

Inoculação com *Azospirillum brasilense* aumenta a produção de forragem da aveia.

Nutrientes foliares otimizam desenvolvimento radicular em gramínea de inverno.

Tratamento biológico e mineral promove aveia forrageira mais vigorosa.

Resumo

Este estudo objetivou avaliar o impacto da adubação foliar e da inoculação de bactérias promotoras de crescimento (BPCV) na produção e qualidade da aveia forrageira IPR Suprema e se a combinação dessas práticas poderia aumentar a produção de forragem e melhorar suas características. Foram avaliados quatro tratamentos: aveia forrageira IPR Suprema; aveia forrageira IPR Suprema adubada com adubo foliar; aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e adubada com adubo foliar. As sementes de aveia foram inoculadas com *Azospirillum Abv-5* e *Abv-6* por 30 minutos e após, plantadas. As coletas de forragem foram realizadas antes e após cada ciclo de pastejo. Os resultados indicaram que a adubação foliar, isoladamente ou em combinação com a inoculação, promoveu aumento na produção de biomassa de forragem. A inoculação com BPCV, por sua vez, apresentou resultados mais variáveis, com aumentos na produção de biomassa em alguns casos, mas sem um padrão consistente. Em relação à qualidade nutricional da forragem, a adubação foliar mostrou uma tendência de aumentar o teor de proteína bruta, mas os resultados não foram consistentes para todas as variáveis analisadas. A inoculação com BPCV não apresentou um efeito claro e consistente sobre a qualidade nutricional da forragem. A interceptação luminosa e o índice de clorofila foliar, indicadores da capacidade fotossintética da planta, foram influenciados positivamente pela adubação foliar em alguns ciclos. A adubação foliar e a inoculação com BPCV podem ser estratégias promissoras para aumentar a produção de biomassa da aveia forrageira. A combinação de ambas as práticas apresentou efeito sinérgico consistente sobre a produção e a qualidade da forragem.

Palavras-chave: *Avena sativa*, *Azospirillum brasilense*, fertilizante foliar, produção de forragem, qualidade nutricional.

Abstract

This study aimed to evaluate the impact of foliar fertilization and inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on the production and quality of IPR Suprema forage oat and whether the combination of these practices could increase forage production and improve its characteristics. Four treatments were evaluated: IPR Suprema forage oat; IPR Suprema forage oat fertilized with foliar fertilizer; IPR Suprema forage oat inoculated with PGPB; and IPR Suprema forage oat inoculated with PGPB and fertilized with foliar fertilizer. Oat seeds were inoculated with *Azospirillum* Abv-5 and Abv-6 for 30 minutes and then planted. Forage harvests were carried out before and after each grazing cycle. The results indicated that foliar fertilization, alone or in combination with inoculation, promoted an increase in forage biomass production. Inoculation with PGPB, in turn, showed more variable results, with increases in biomass production in some cases, but without a consistent pattern. Regarding the nutritional quality of the forage, foliar fertilization showed a trend toward increasing the crude protein content, but the results were not consistent for all variables analyzed. Inoculation with PGPB did not have a clear and consistent effect on the nutritional quality of the forage. Light interception and foliar chlorophyll index, indicators of the plant's photosynthetic capacity, were positively influenced by foliar fertilization in some cycles. Foliar fertilization and inoculation with PGPB may be promising strategies for increasing the biomass production of forage oat. The combination of both practices showed a consistent synergistic effect on forage production and quality.

Keywords: *Avena sativa*, *Azospirillum brasilense*, foliar fertilization, forage production, nutritional quality.

Introdução

A produção de forragem de alta qualidade é fundamental para a sustentabilidade da pecuária. A aveia forrageira (*Avena sativa*), devido à sua adaptabilidade e alta capacidade de produção de biomassa, destaca-se como uma opção promissora para a alimentação animal (Cecato et al., 2008). Visando otimizar a produção e a qualidade da forragem, o presente estudo investigou o efeito da adubação foliar e da inoculação com bactérias promotoras de crescimento (BPCV) em cultivos de aveia.

A adubação foliar, ao fornecer nutrientes diretamente às folhas, pode acelerar o crescimento da planta e corrigir deficiências nutricionais (Danielowski et al., 2021; Bertoncelli et al., 2017). Por outro lado, as BPCV, como o *Azospirillum* e *Rhizobium*, promovem o crescimento vegetal, fixam nitrogênio e melhoram a estrutura do solo (Lopes et al., 2021; Rodríguez-Elizalde et al., 2024). A combinação dessas práticas pode potencializar os benefícios individuais, resultando em um sistema de produção mais sustentável e eficiente.

De acordo com Froio et al. (2016) a inoculação de *A. brasilense* promove alterações bromatológicas em FDN, FDA e NDT da silagem de sorgo e capim.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação foliar e da inoculação com BPCV na produção de forragem e na qualidade da aveia forrageira IPR Suprema.

Material e métodos

Local e design experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil (23°19'S, 51°12'W; 565 m a.m.s.l.), de maio a novembro de 2022.

O solo no local do experimento é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (Santos et al., 2018). As características químicas na camada de 0 a 0,2 m de profundidade são: potencial de hidrogênio (pH em CaCl_2) = 5,15; fósforo (P-Mehlich) = 5,69 mg dm^{-3} ; potássio (K^+) = 1,46 cmolc dm^{-3} ; cálcio (Ca^{2+}) = 9,08 cmolc dm^{-3} ; magnésio (Mg^{2+}) = 2,62 cmolc dm^{-3} ; capacidade de troca catiônica (CTC pH 7.0) = 17,53. A fim de simular as condições usuais nas áreas de pastagens, o pH do solo não foi corrigido.

Para a implantação do experimento foi realizado o manejo do solo com gradagem e nivelamento. As sementes foram semeadas em linha com espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade de semeadura de 393 sementes aptas por m^2 . A aveia forrageira utilizada foi a Aveia Branca (*Avena sativa* L.), cultivar Iapar Suprema - IPR Suprema. As unidades experimentais foram formadas por parcelas de 120 m^2 com 6,65 m de largura por 18 m de comprimento.

Os tratamentos foram: Testemunha = Aveia forrageira IPR Suprema, Foliar = Aveia forrageira IPR Suprema adubada com adubo foliar, BPCV = Aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e BPCV + Foliar = Aveia forrageira IPR Suprema inoculada com BPCV e adubada com adubo foliar.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos, arranjado em esquema fatorial 2 tratamentos de inoculação x 2 níveis de adubação x 1 forrageira com cinco repetições, desta forma totalizando 20 unidades experimentais (parcelas) no ensaio.

As bactérias usadas para a inoculação das sementes de aveia foram previamente identificadas como promissoras em estudos conduzidos no laboratório de Biotecnologia do Solo da Embrapa Soja. As estirpes de bactérias promotoras de crescimento vegetal, *Azospirillum brasilense* Ab-V5 (=CNPSO 2083) e Ab-V6 (=CNPSO 2084). Os inóculos foram preparados na Embrapa Soja, nos meios de cultura adequados para cada microrganismo. Para preparo do inoculante, as estirpes foram cultivadas em meio DYGS (Fukami et al. 2018), e com solução salina (NaCl 0,85%) para obtenção de concentração celular de 10⁸ unidades formadoras de colônia (UFC) mL⁻¹ com base na densidade óptica (600 nm) valores correspondentes às curvas de crescimento previamente obtidas para cada cepa.

As estirpes estão depositadas na “Coleção de Microrganismos Multifuncionais da Embrapa Soja: Bactérias Diazotróficas e Promotoras do Crescimento de Plantas” (World Federation Culture Collection-WFCC#1213, Word Data Centre for Microorganisms-WDCM#1054). As bactérias são derivadas de programas de seleção de Bactérias promotoras de crescimento vegetal da Embrapa Soja:

Azospirillum brasilense Ab-V5 e Ab-V6, selecionada no Brasil, inicialmente para as culturas de milho (*Zea mays*) e trigo (*Triticum aestivum*) (Hungria et al., 2010).

Para a inoculação, 15 mL de cada inóculo foram usados por quilo de sementes antes da semeadura. As sementes foram colocadas em contato com o inóculo aplicado por aproximadamente 30 minutos em local fresco e protegido do sol, e posteriormente semeadas.

A adubação foliar foi realizada com três compostos minerais mistos (Tabela 1).

Tabela 1

Composição química dos adubos foliares aplicados após o primeiro corte na aveia IPR Suprema

Composto	Garantias	% p/p	% p/v	g.L ⁻¹
1	P2O5 (Sol. em H2O)	1,00%	1,02%	10,20
	Molibdênio (Mo) (Sol. em H2O)	1,00%	1,02%	10,20
	Nitrogênio (N) (Sol. em H2O)	5,00%	7,00%	70,00
	Enxofre (S) (Sol. em H2O)	6,20%	8,68%	86,80
	Magnésio (Mg) (Sol. em H2O)	1,50%	2,10%	21,00
2	Boro (B) (Sol. em H2O)	0,04%	0,05%	0,56
	Manganês (Mn) (Sol. em H2O)	3,20%	4,48%	44,80
	Molibdênio (Mo) (Sol. em H2O)	0,04%	0,05%	0,56
	Zinco (Zn) (Sol. em H2O)	5,50%	7,70%	77,00
	Nitrogênio (N) (Sol. em H2O)	10,00%	13,70%	137,00
3	P2O5 (Sol. em H2O)	34,00%	46,58%	465,80

p/p = peso por peso; p/v = peso por volume. Fonte: Prime Agro Produtos Agrícolas Ltda.

A aplicação foi realizada após o primeiro pastejo com a utilização de bomba costal de 20 L da marca Jacto. Foram utilizadas duas caldas formadas pelos compostos 1 e 2, e 2 e 3, pulverizadas alternadamente, iniciando pelos compostos 1 e 2, sempre proporcionando dosagens de 300 mL ha⁻¹ para o composto 1, e 2 L ha⁻¹ para os compostos 2 e 3.

Dados climáticos

Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do período experimental foram coletados na Estação Meteorológica do IDR em Londrina - PR (Figura 2).

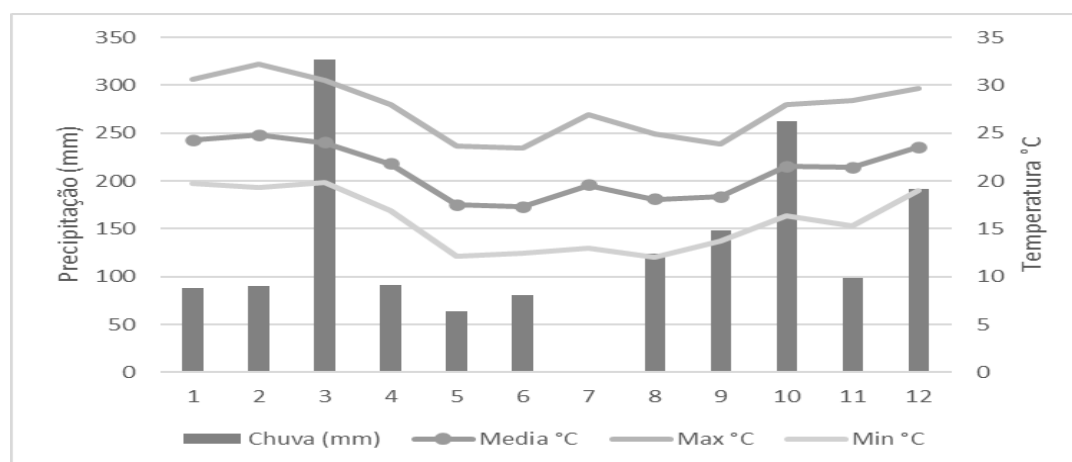


Figura 1 Precipitação (mm) e temperatura (°C) observada durante o ano de 2022. Fonte: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR - Londrina-PR.

A temperatura média foi de 19 °C e a precipitação foi de 755 mm durante o período experimental.

Variáveis respostas

A altura das plantas forrageiras serviu de ferramenta para o manejo do pastejo. De acordo com a altura da planta, foi realizado o corte das plantas forrageiras. O pasto foi manejado utilizando o método de pastejo rotacionado, tendo como ferramenta a altura do pasto.

Os cortes foram realizados com auxílio de quadrados metálicos medindo 1m² e foram coletadas oito amostras no primeiro corte e seis amostras nos demais. Foram coletadas duas amostras da parte superior da planta por parcela quando as plantas atingiram 25cm de altura, deixando 8 cm de resíduo no primeiro corte. Os demais cortes foram realizados após o período de rebrota, quando as plantas atingiram 20cm de altura, deixando 8cm de resíduo. Antes da entrada dos animais, ou seja, no pré-pastejo, foram coletadas duas amostras de parte aérea.

Após o pastejo realizado por sete vacas da raça Jersey, ou seja, no pós-pastejo foram coletadas duas amostras do resíduo.

As amostras de forragem coletadas foram levadas para o Laboratório de Análise e Nutrição Animal da UEL, para serem pesadas e divididas em duas subamostras, que foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas e pesadas para obtenção da Amostra Seca ao Ar - ASA que foi usada para a estimativa de massa de forragem (MF) (kg ha⁻¹ de MS). A MF foi calculada por meio do somatório de todas as colheitas parciais do período experimental (Barbosa et al., 2007). Os valores de taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF, kg ha dia⁻¹ MS) foram obtidos dividindo-se o valor da MF pelo seu respectivo período de acúmulo. A média de TAF (μ TAF) foi calculada para cada tratamento considerando todos os cortes.

A forragem coletada para a estimativa da MF foi moída em moinho estacionário "Thomas-Wiley", modelo 4 (Thomas-Wiley Laboratory Mill, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ) adaptado com peneira de 1mm. As amostras moídas, foram submetidas às análises bromatológicas para determinação de proteína bruta (PB) determinado pelo método de Kjeldahl, AOAC (2000); fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e matéria seca (MS) seguindo o método de Detmann et al. (2012).

As avaliações para a mensuração do índice de clorofila foliar e a interceptação luminosa foram realizadas no pré-pastejo de cada ciclo.

O índice de clorofila foliar das plantas foi medido usando medidor eletrônico de teor de clorofila – clorofiLOG - CFL1030, amostrado em 12 pontos dispostos na parcela, coletando a penúltima folha da planta.

A interceptação luminosa foi calculada por medições realizadas com o Ceptômetro ACCUPAR LP-80 PAR/LAI do Grupo METER, amostrados em 20 pontos por parcela, intercalando as medições em quatro abaixo do dossel para uma acima. A interceptação luminosa média (μ IL) foi calculada para cada tratamento ao longo dos seis cortes.

As datas das coletas variaram ao longo do ciclo entre os tratamentos, com maiores diferenças a partir do segundo corte (Figura 3).

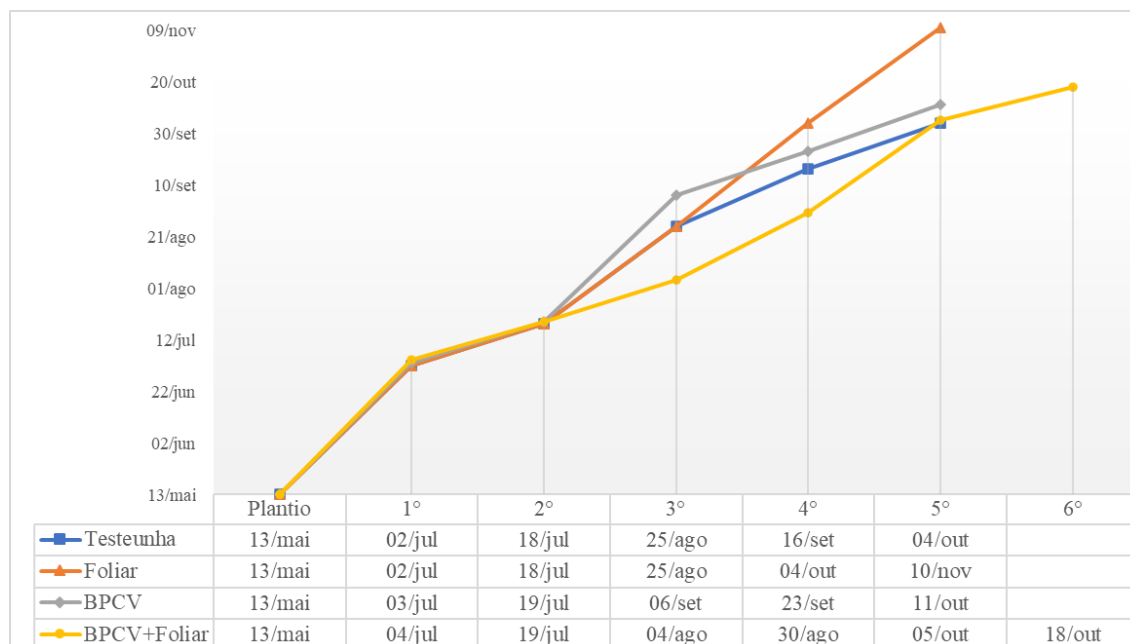


Figura 2 Datas das avaliações, cortes e comportamento do ciclo de produção da Aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar.

Análise Estatística

A análise descritiva de todos dados foi realizada utilizando-se de tabelas e gráficos para identificar padrões de comportamento entre os diferentes tratamentos. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965), enquanto a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Bartlett (Bartlett, 1950). Optou-se por realizar a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para comparação de múltiplas médias (Montgomery, 2017). Todas as análises foram realizadas utilizando o software estatístico R.

Resultados e Discussão

Rebrota, ciclo de produção e cortes

O período de rebrota da aveia IPR Suprema foi de 24, 33, 25 e 21 dias, respectivamente para a testemunha, adubação foliar, inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar da Aveia IPR Suprema (Figura 3).

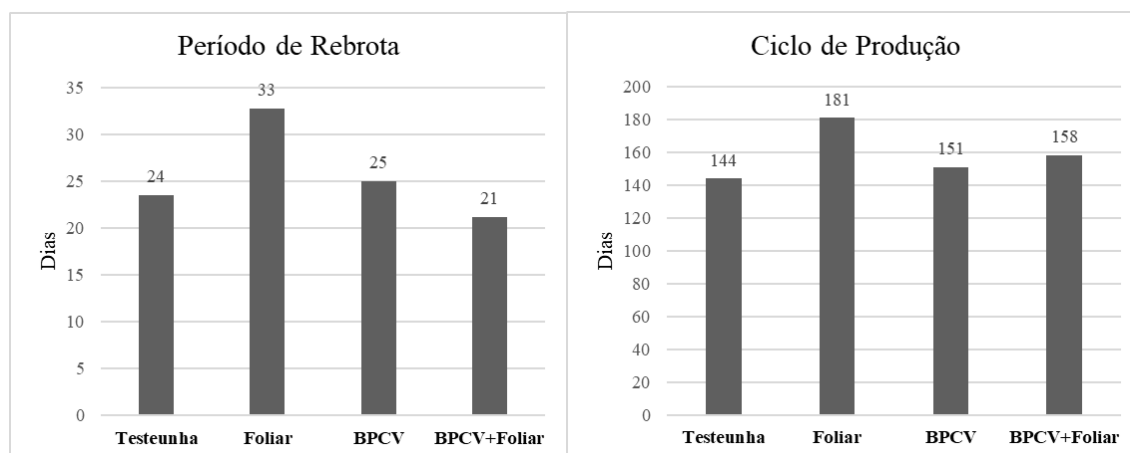


Figura 3 Período de Rebrotas (dia) e ciclo de produção (dia) da aveia IPR Suprema de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar.

O ciclo de produção (dias) da aveia IPR Suprema foi de 144, 181, 151 e 158 dias, respectivamente para a testemunha, adubação foliar, inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar da Aveia IPR Suprema (Figura 4).

Os tratamentos testemunha, adubação foliar e inoculação de BPCV tiveram cinco cortes (pastejo), enquanto o tratamento inoculação de BPCV associado a adubação foliar, tiveram seis cortes (pastejo).

Produção de forragem

A massa de forragem da parte superior (MFPS) apresentou interação entre os tratamentos e os cortes da Aveia IPR Suprema (Tabela 2). A MFPS e a massa de forragem total da parte superior (Σ MFPS) apresentaram diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 2).

A MFPS variou significativamente entre os cortes, evidenciando a interação entre os tratamentos e os cortes. O comportamento da cultivar IPR Suprema neste experimento se assemelha ao encontrado por Oliveira et al. (2024) em número de cortes (5 cortes), massa de forragem total ($6.387 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$), massa de forragem por corte ($1.277 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$) e ciclo (141 dias).

No primeiro corte, a inoculação de BPCV ($2.090 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$) e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar ($2.023 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$) foram significativamente superiores à testemunha ($1.498 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$). Esse efeito positivo de BPCV e adubação em plantas foi documentado por Vitto (2023), com estudos demonstrando que a inoculação de BPCV pode melhorar a nutrição da planta, promovendo maior biomassa e produtividade. Além disso, segundo Nachtigall e Nava (2010) o uso da adubação foliar demonstra-se eficaz em suplementar nutrientes em períodos críticos de crescimento, aumentando a eficiência do uso de recursos.

No segundo corte, a adubação foliar, a inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar não diferiram entre si e obtiveram a maior produção, sendo significativamente superior à testemunha. Estudos como o de Moreira (2023) confirmam que a combinação de adubação e inoculação com BPCV resulta em efeito sinérgico, levando a uma melhoria na produção.

Tabela 2

Massa de forragem parte superior (MFPS) por corte, massa de forragem total da parte superior (Σ MFPS), média dos cortes para massa de forragem parte superior (μ MFPS), massa de forragem parte aérea (MFPA) por corte, massa forragem total (Σ MFPA), massa forragem média dos cortes (μ MFPA) de parte aérea, taxa de acúmulo de forragem (TAF), taxa de acúmulo de forragem média (μ TAF), interceptação luminosa (IL) e interceptação luminosa média (μ IL) de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar

MFPS	Tratamentos				Desvio	CV
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV+Foliar	Padrão	%
Corte 1	1.498Ba	1.724ABa	2.090Aab	2023Aa	354	20,5
Corte 2	1.243Ba	1.648Aa	1.667Aab	1.954Aa	276	
Corte 3	1.525Aa	1.722Aa	1.538Ab	1.642Aa	201	
Corte 4	811Ab	824Ab	850Ac	1.063Ab	161	
Corte 5	508Bb	494Bb	606ABc	916Ab	83	
Corte 6				640b	78	
Σ MFPS	5.586B	6.413B	6.751B	8.238A	624	10,5
μ MFPS	1.117B	1.283AB	1.350AB	1.373A	118	10,4
MFPA	Tratamentos				Desvio	CV
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV+Foliar	padrão	%
Corte 1	2.165Aa	2.425Aa	2.186Aa	2.350Aa	380	16
Corte 2	1.913Ba	2.237ABa	2.107ABa	2.415Aa	265	
Corte 3	1.850Ba	2.083ABa	1.863Ba	2.273Aa	157	
Corte 4	1.118Ab	1.258Ab	1.206Ab	1.203Ab	157	
Corte 5	746ABb	607Bc	692ABc	1.068Abc	116	
Corte 6				734c	142	
Σ MFPI	7.791C	8.610B	8.055BC	10.042A	510	4,48
μ MFPI	1.558B	1.722A	1.611AB	1.674AB	98	4,55
TAF	Tratamentos				Desvio	CV
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV+Foliar	padrão	%
Corte 1	35,3Abc	30,6Ab	39,2Ab	34,5Ac	7,5	23
Corte 2	59,5Ba	63,2Ba	71,4Ba	95,6Aa	12,4	
Corte 3	33,8Bbc	41,2Bb	28,9Bb	76,2Ab	8,3	
Corte 4	42,1Ab	26,5Bb	43,0Ab	32,5Abc	6,1	
Corte 5	24,9Ac	7,6Bc	10,3Bc	29,5Ac	4,5	
Corte 6				23,8c	3,9	
μ TAF	39,1B	33,8B	38,5B	48,7A	3,2	8,4
IL	Tratamentos				Desvio	CV
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV+Foliar	padrão	%
Corte 1	84Aa	86Aa	83Aa	90Aa	10,2	14,5
Corte 2	77ABa	70Bb	72ABa	86Aab	6,1	
Corte 3	71Aa	63Ab	68Aab	73Abc	10	
Corte 4	52Bb	46Bc	56ABbc	68Ac	10,3	
Corte 5	48Ab	43Ac	42Ac	49Ad	9,2	
Corte 6				40d	5,2	
μ IL	66A	62A	64A	68A	5,7	7,7

BPCV = bactérias promotoras de crescimento vegetal. Testemunha = Aveia; Foliar = Adubação foliar; BPCV = Inoculação com BPCV; BPCV + Foliar = Inoculação com BPCV e Adubação foliar. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Os cortes 3 e 4 não diferiram entre os tratamentos, porém, a partir do corte 4 os valores de MFPS decresceram, onde todos os tratamentos diferiram dos cortes anteriores. Muldoon (1986), explica que o estágio de desenvolvimento da planta vai se tornando mais avançado nas rebrotas sucessivas, o que explica a queda de produção.

No quinto corte, a inoculação de BPCV associada a adubação foliar (916 kg ha⁻¹ MS) foi significativamente superior à testemunha (508 kg ha⁻¹ MS) e a adubação foliar (494 kg ha⁻¹ MS). Resultados semelhantes aos de Correa Filho et al. (2017), onde a inoculação de sementes de aveia com *Azospirillum brasilense* favoreceu a produção, obtendo resultados semelhantes à adubação nitrogenada. A inoculação de BPCV (606 kg ha⁻¹ MS) teve um desempenho intermediário, não apresentando diferença entre os tratamentos. O quinto corte não diferiu estatisticamente, mantendo as produções para todos os tratamentos com relação ao quarto corte, porém sendo inferior ao primeiro, segundo e terceiro corte.

Somente a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou MFPS (640 kg ha⁻¹ MS) no sexto corte, mesmo com os dias de rebrota e o ciclo produção menores (Figura 3). No sexto e último corte a produção foi satisfatória não diferindo estatisticamente entre o quarto e o quinto corte. Segundo Martins et al. (2015), as BPCV podem atuar positivamente no ciclo da cultura quando inoculadas nas sementes, até mesmo aquelas bactérias que não realizam a fixação biológica de nitrogênio.

A variação ao longo dos cortes pode ser explicado pela resposta da planta aos tratamentos em diferentes estágios de desenvolvimento, corroborando com Campos et al. (2024) que obteve Interação de diferentes adubações e dias de corte após plantio na produção de massa verde.

A massa de forragem da parte aérea (MFPA) apresentou interação entre os tratamentos e os cortes da Aveia IPR Suprema (Tabela 2). A MFPA e a massa de forragem total da parte aérea (Σ MFPA) apresentaram diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 2).

No primeiro corte, a massa de forragem de parte aérea (MFPA) não difere entre os tratamentos. Este resultado sugere que a inoculação de BPCV associada a adubação foliar não tem grande impacto inicial na planta. Segundo Haselbauer et al. (2019) este fato possivelmente está relacionado à fase de estabelecimento da aveia.

No segundo corte, a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou os valores mais altos de MFPA, diferindo da testemunha; seguidos pelos tratamentos inoculação de BPCV e adubação foliar, que não diferiram entre si. No entanto, a testemunha se diferenciou da inoculação de BPCV associada a adubação foliar, refletindo a influência benéfica da inoculação e adubação foliar.

O terceiro corte revelou um aumento na diferença entre os tratamentos. A inoculação de BPCV associada à adubação foliar mostrou um desempenho superior à testemunha e a inoculação de BPCV, porém não diferiu da adubação foliar. Esse padrão sugere que os efeitos dos tratamentos começam a influenciar à medida que a planta avança para estágios mais maduros, e o impacto dos tratamentos começa a diminuir com o tempo.

No quarto corte, não houve diferença para a MFPA, porém em comparação aos cortes anteriores, todos os tratamentos apresentaram valores menores aos cortes 1, 2 e 3, evidenciando que a resposta aos tratamentos se alteram à medida que as plantas entram em estágios mais avançados de crescimento.

No quinto corte, a variabilidade entre os tratamentos aumentou com a inoculação de BPCV associada a adubação foliar diferindo estatisticamente de adubação foliar tendo a maior produção (1.068 kg ha⁻¹ MS). Dentro dos tratamentos, a produção de MPPI foi consideravelmente reduzida com exceção para a inoculação de BPCV associada a adubação foliar e a testemunha que não diferiram estatisticamente do quarto corte. Isso pode ser resultado da diminuição da capacidade de resposta da planta após vários cortes, indicando que o benefício dos tratamentos começa a ser diluído com o tempo.

Embora o sexto corte tenha ocorrido somente para a inoculação de BPCV associada a adubação foliar, há uma tendência semelhante à dos outros cortes, pois diminui a produção de MFPA devido a finalização do seu ciclo de produção. A inoculação de BPCV associada à adubação foliar foi o único tratamento a apresentar o sexto corte, e este diferiu dos demais cortes.

Para a massa total de forragem de parte aérea (Σ MFPA) a inoculação de BPCV associada a adubação foliar demonstrou ser o mais eficaz, com a maior produção total de forragem, diferindo dos demais tratamentos; seguido pela adubação foliar e pela inoculação de BPCV, que não diferiram entre si. A testemunha apresentou a menor massa total de forragem juntamente com a inoculação de BPCV. Esses resultados evidenciam a importância da interação entre os fatores biológicos e nutricionais. Corroborando com esse estudo, o estudo de Corassa et al. (2013) indica que o manejo biológico e a adubação nitrogenada em cobertura podem atuar de forma complementar, otimizando a produção agrícola.

Esses dados reforçam que o uso combinado de tecnologias (biológicas e nutricionais) têm o potencial de maximizar a produtividade da forragem.

Taxa de acúmulo

A taxa de acúmulo de forragem (TAF) apresentou interação entre os tratamentos e os cortes para a aveia IPR Suprema (Tabela 2).

A TAF variou significativamente entre os diferentes cortes, indicando que fatores como estágio de desenvolvimento da planta influenciam a produção de biomassa. Resultados próximos para TAF (45,3 kg ha dia⁻¹ MS) foram encontrados para a aveia IPR Suprema por Oliveira et al. (2024).

No primeiro corte, observamos que o tratamento testemunha, adubação foliar, inoculação de BPCV, e inoculação de BPCV associada a adubação foliar não apresentam diferenças expressivas, sem diferenças estatisticamente significativas entre eles. Essa pouca variação nas respostas no primeiro corte sugere que o impacto dos tratamentos ainda é incipiente na fase inicial de crescimento da aveia.

O segundo corte, para a TAF apresentou diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos com uma dinâmica bem distinta. A inoculação de BPCV associada a adubação foliar obteve um valor de 95,6 kg ha dia⁻¹ MS, significativamente superior aos outros tratamentos. Este aumento considerável sugere que, a partir do segundo corte, a combinação de BPCV com a adubação foliar tem efeito positivo no acúmulo de

forragem, favorecendo o crescimento das plantas. A testemunha, a adubação foliar e a inoculação de BPCV não diferiram, o que mostra um resultado contrário ao esperado.

No terceiro corte, a variação entre os tratamentos continua a mostrar um padrão de superioridade de BPCV + Foliar. Embora esse tratamento ainda tenha mostrado o maior valor (76,2 kg ha dia⁻¹ MS) e diferença estatística, as diferenças entre os tratamentos continuam acentuadas como no corte anterior. A inoculação de BPCV apresentou um valor consideravelmente baixo (28,9 kg ha dia⁻¹ MS), sugerindo que a inoculação com BPCV sozinha não tem um efeito tão benéfico a partir desse estágio de desenvolvimento da planta. A variabilidade entre os tratamentos e também nos cortes indica que a inoculação e a adubação foliar podem ter um efeito temporário ou específico, dependendo das condições ambientais ou do estágio fisiológico da planta. Wamser e Mundstock (2007) demonstraram que a adubação tem variações de resultados em diferentes estádios fenológicos.

No quarto corte, o padrão de variação entre os tratamentos começa a se consolidar. A testemunha, a inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada à adubação foliar não diferiu entre si, porém, diferiu da adubação foliar. A testemunha (42,1 kg ha dia⁻¹ MS) e os tratamentos com a inoculação de BPCV apresentaram os maiores rendimentos, enquanto a adubação foliar (26,5 kg ha dia⁻¹ MS) continua apresentando um desempenho abaixo dos outros.

O quinto corte evidencia uma significativa queda na produção de forragem em relação aos cortes anteriores, especialmente na adubação foliar (7,6 kg ha dia⁻¹ MS), que junto com a inoculação de BPCV apresentam o menor valor. A testemunha (24,9 kg ha dia⁻¹ MS) e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar (29,5 kg ha dia⁻¹ MS) mantiveram os níveis mais elevados e obtiveram um bom desempenho, diferindo dos demais tratamentos. A redução no desempenho da adubação foliar e da inoculação de BPCV em relação ao segundo e terceiro corte sugere que, no quinto corte, os efeitos dos tratamentos começam a se dissipar, com as plantas não respondendo em relação às intervenções nutricionais ou biológicas.

O sexto corte não apresenta dados para a testemunha, adubação foliar, e inoculação de BPCV, mas a inoculação de BPCV associada a adubação foliar se mantém com valor razoável de 23,8 kg ha dia⁻¹ MS. A ausência de cortes para esses tratamentos é dada devido ao encerramento do ciclo de produção da planta ter ocorrido após o quinto corte. Sugerindo que o efeito combinado da inoculação de BPCV com a adubação foliar influencia positivamente a TAF na fase final do ciclo de produção da aveia forrageira IPR Suprema.

A média de TAF é um importante indicativo da eficiência dos tratamentos ao longo do ciclo de crescimento das plantas. A inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresenta a maior média de TAF (48,7 kg ha dia⁻¹ MS) e difere dos demais tratamentos que não diferem entre si, apresentando valores de TAF de 39,1; 38,5 e 33,8 kg ha dia⁻¹ MS, respectivamente para a testemunha, inoculação de BPCV e adubação foliar. A combinação da inoculação de BPCV com a adubação foliar foi mais eficiente no aumento da taxa de acúmulo de forragem ao longo de todo o ciclo de produção da aveia IPR Suprema.

Este resultado reforça a ideia de que a interação entre fatores biológicos e nutricionais pode ser mais eficaz para o crescimento das plantas.

Interceptação Luminosa

Houve interação ($P < 0,05$) entre os tratamentos e os cortes em relação a interceptação luminosa (IL) (Tabela 2).

A interceptação luminosa diminuiu ao longo dos cortes em todos os tratamentos (Tabela 2), o que é esperado, segundo Barbero et al. (2013) pois a planta entra em senescência com o passar do tempo, reduzindo sua área foliar e, consequentemente, sua capacidade de interceptar a luz.

No primeiro corte, para a IL não houve diferença entre os tratamentos e os valores foram próximos a 90%, o que corrobora com os resultados recomendados na literatura, onde demonstra ter ótima área foliar para a captura da radiação fotossinteticamente ativa pela planta. O baixo coeficiente de variação de 14,5% sugere uma pequena variação nos valores de IL e que o efeito da inoculação de BPCV sobre a interceptação de luz ainda não se manifestou de forma substancial no início do ciclo. Esses dados corroboram com a produção de forragem observada na tabela 2, onde a produção de forragem é a mesma em todos os tratamentos. planta realizando uma boa captura de luz independentemente do manejo.

O segundo corte mostra uma dinâmica mais interessante, onde a testemunha, a inoculação de BPCV e não diferiram entre si e mantiveram os maiores teores de IL. A adubação foliar diferiu somente da inoculação de BPCV associada a adubação foliar. Essa queda no desempenho da adubação foliar, isoladamente, pode não ser suficiente para maximizar a interceptação luminosa em comparação à combinação da inoculação de BPCV com a adubação foliar. Resultados esses que não corroboram os trabalhos de Lima (2021) e Santos (2024) onde mostram que a adubação com nitrogênio, independente da fonte utilizada, aumenta a interceptação luminosa.

No terceiro corte, não houve variações entre os tratamentos para a IL, porém continua com bons resultados.

No quarto corte, a diferença entre os tratamentos é mais pronunciada. A inoculação de BPCV associada a adubação foliar (68% de IL) apresentou diferença entre a testemunha (52% de IL) e a adubação foliar (46% de IL), porém não diferiu do tratamento inoculação de BPCV (56% de IL). Houve redução nos teores de IL com relação aos cortes anteriores, o que pode ser atribuído ao estágio fenológico das plantas. A inoculação de BPCV associada à adubação foliar parece continuar a promover melhores resultados, indicando que o efeito de BPCV pode ser especialmente importante para o aumento da eficiência da planta no desenvolvimento de área foliar e na captação de luz.

No quinto corte, não houve diferença entre os tratamentos para os teores de IL. Para a inoculação de BPCV associada a adubação foliar (49% de IL) houve uma queda significativa com relação aos cortes 1, 2, 3 e 4. Este corte parece refletir a tendência de que, ao longo do ciclo, a inoculação de BPCV associada a adubação foliar continua a ser a mais eficiente em termos de maximizar a interceptação

luminosa. Corroborando com estudo de Fleitas et al. (2017) onde houve efeito do inoculante na interceptação luminosa.

O sexto corte não apresenta dados para a testemunha, adubação foliar, e inoculação de BPCV, mas a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou 40% de IL. A inoculação de BPCV associada a adubação foliar continua a ser uma estratégia eficaz mesmo nas fases finais de desenvolvimento da planta, embora a interceptação de luz diminua à medida que a planta entra em senescência.

Para a interceptação luminosa média não houve diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos, o que sugere que a combinação desses fatores não foi eficaz ao longo do ciclo de produção e sim nos cortes. As plantas, em média, foram eficientes na captação da luz, o que pode refletir que independente das técnicas aplicadas a aveia IPR Suprema tem bom aproveitamento da energia solar para a fotossíntese.

Clorofila e Proteína

Para o índice de clorofila foliar (ICF) houve interação entre tratamento e corte (Tabela 3). Os tratamentos diferiram ($P<0,05$) somente nos cortes 4 e 5 (Tabela 3). Entre os cortes, somente a inoculação de BPCV associada a adubação foliar não diferiu ($P>0,05$), enquanto os demais tratamentos variaram ($P<0,05$) ao longo dos cortes (Tabela 3).

O ICF no primeiro corte não diferiu entre os tratamentos, o que demonstra que a inoculação de BPCV não melhorou aumentou a quantidade de clorofila da lâmina foliar. No segundo e terceiro cortes não houve diferença entre os tratamentos, com valores muito semelhantes ao do primeiro corte.

No quarto corte para o ICF a testemunha (38,3) e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar (39,0) apresentam valores mais altos de ICF em comparação com a inoculação de BPCV (31,7) mas não em relação a adubação foliar (35,5). Entre os cortes, a queda no índice de clorofila foliar no tratamento inoculação de BPCV sugere que, neste quarto corte, a inoculação de BPCV pode ter gerado uma resposta adversa, possivelmente devido à interação com outros fatores ambientais ou fisiológicos.

No quinto corte, houve diferença entre os tratamentos. A inoculação de BPCV associada a adubação foliar (41,1) e a inoculação de BPCV (40,8) apresentam os maiores valores de ICF, diferindo da testemunha (35,4), porém não diferindo da adubação foliar (40,6). O efeito da inoculação de BPCV não foi suficiente para superar a adubação foliar.

O sexto corte não apresentou dados para a testemunha, adubação foliar e inoculação de BPCV, mas a c apresentou 39,4 de ICF, mantendo assim um bom índice de clorofila foliar. A ausência de dados para os outros tratamentos limita a interpretação, mas o valor observado sugere que, mesmo nas fases finais de desenvolvimento, a inoculação de BPCV associada a adubação foliar ainda mantém uma boa saúde foliar.

A média do índice de clorofila foliar (μ ICF) ao longo dos seis cortes revela que a inoculação de BPCV associada a adubação foliar diferiu do tratamento inoculação de BPCV e não diferiu dos demais tratamentos.

Tais resultados não contêm literatura com resultados similares, mas resultados avessos como os de Coelho et al. (2018) onde mostrou que o ICF pode ser utilizado como um indicador do status nutricional de aveia, auxiliando no manejo da irrigação e da adubação nitrogenada. Comportamento o qual não foi verificado no experimento, sugerindo mais pesquisas para teores de clorofila em aveia forrageira.

Tabela 3

Índice de clorofila foliar (ICF), índice de clorofila foliar médio (μ ICF), teor de proteína bruta (PB), teor médio de proteína bruta (μ PB), teor de fibra em detergente neutro (FDN), teor médio de fibra em detergente neutro (μ FDN), teor de fibra em detergente ácido (FDA) e teor médio de fibra em fibra em detergente ácido (μ FDA) de aveia IPR Suprema com e sem inoculação de BPCV e adubação foliar

ICF	Tratamentos				Desvio CV	
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV + Foliar	padrão	%
Corte 1	38.9Aab	39.1Aab	39.4Aa	40.2Aa	2,4	
Corte 2	41.1Aab	41.7Aa	39.6Aa	42.8Aa	5,1	
Corte 3	42.3Aa	39.9Aab	39.9Aa	40.3Aa	2,5	9,2
Corte 4	38.3Aab	35.5ABb	31.7Bb	39.0Aa	2,8	
Corte 5	35.4Bb	40.6ABab	40.8Aa	41.1Aa	2,8	
Corte 6				39.4a	2,3	
μ ICF	39.2AB	39.4AB	38.3B	40.5A	1,5	2,7
Proteína Bruta	Tratamentos				Desvio CV	
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV + Foliar	padrão	%
Corte 1	30,7Aa	28,2Aa	31,0Aa	29,1Ab	2	
Corte 2	33,0Aa	28,1Ba	31,4ABa	34,8Aa	3	
Corte 3	29,9Aa	21,0Bb	30,3Aa	32,3Aab	2,4	11
Corte 4 % MS	30,7Aa	20,6Bb	30,3Aa	32,0Aab	2,7	
Corte 5	29,0Ab	26,4Bb	26,6Ab	29,6Ab	3	
Corte 6				28,3b	2,6	
μ PB	30,7A	22,9B	29,9A	31,0A	1,6	5,8
FDN	Tratamentos				Desvio CV	
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV + Foliar	padrão	%
Corte 1	72,3Aa	67,7Aa	72,6Aa	71,9Aa	3,3	
Corte 2	70,2ABa	66,1Ba	72,2ABa	72,1Aa	2,9	
Corte 3 %	70,0ABa	65,1Ba	71,8Aa	69,5ABab	2	5,2
Corte 4	69,2Aa	63,0Ba	71,3Aa	70,7Aab	3,3	
Corte 5	67,1Aa	62,7Aa	67,1Aa	65,8Abc	2,8	
Corte 6				62,2c	3,6	
μ FDN %	69,8AB	64,9C	71,0A	68,7B	0,9	1,4
FDA	Tratamentos				Desvio CV	
	Testemunha	Foliar	BPCV	BPCV + Foliar	padrão	%
Corte 1	7,7Bb	10,7Aa	9,0ABa	9,7ABa	1,2	
Corte 2	9,1Aab	11,0Aa	9,0Aa	9,6Aa	1,1	
Corte 3 %	9,9Aab	10,5Aa	9,3Aa	9,5Aa	0,9	15
Corte 4	9,8Aab	10,6Aa	10,7Aa	9,9Aa	1,2	
Corte 5	10,3Aa	11,4Aa	10,6Aa	10,8Aa	1,6	
Corte 6				11,8a	2,1	
μ FDA %	9,4C	10,8A	9,7BC	10,2AB	0,4	3,9

BPCV = bactérias promotoras de crescimento vegetal. Testemunha = Aveia; Foliar = Adubação foliar; BPCV = Inoculação com BPCV; BPCV + Foliar = Inoculação com BPCV e Adubação foliar. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Para os teores de proteína bruta (PB) observa-se que houve interação entre tratamento e corte (Tabela 3). Os tratamentos não diferiram apenas no primeiro corte. Para todos os tratamentos houve diferença ($P < 0,05$) nos teores de PB entre os cortes avaliados (Tabela 3).

Os teores de PB no primeiro corte não apresentaram diferenças em relação aos tratamentos.

No segundo corte, a adubação foliar diferiu da testemunha e da inoculação de BPCV associada a adubação foliar e foi semelhante à inoculação de BPCV. A adubação foliar obteve menores valores em relação a testemunha e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar, esse comportamento perdurou até o último corte. Com relação à inoculação de BPCV, a adubação foliar passou a ter comportamento inferior a partir do terceiro corte. Comportamento contrário ao comprovado na literatura por Babeski et al. (2017), mostrando efeitos que garantem viabilidade do nitrogênio líquido de uso similar ao nitrogênio de absorção radicular na aveia. Já os demais tratamentos não variaram entre si dentro dos cortes.

A partir do terceiro corte, ocorreu o mesmo comportamento para os teores de PB, onde os tratamentos testemunha, inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentaram os maiores teores de PB, não diferindo entre si, porém, diferiram da adubação foliar que apresentou os menores teores de PB.

Somente a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou o sexto corte, o mesmo não diferiu para os teores de PB do segundo corte, sendo semelhantes a todos os demais cortes.

A testemunha e a inoculação de BPCV apresentaram o mesmo comportamento para os teores de PB entre os cortes, ou seja, do primeiro ao quarto corte tiveram teores elevados que não diferiram entre si, porém diferiu do quinto corte que apresentou menores teores de PB.

O primeiro e segundo corte não diferiram entre si e apresentaram os maiores teores de PB para a adubação foliar, porém diferiu dos demais cortes que apresentaram redução nos níveis de proteína a partir do terceiro corte.

De modo geral, os valores de PB foram mais elevados que a maioria encontrada na literatura, no entanto Da silva e Silveira (2023) obtiveram níveis médios semelhantes de 31,1% de PB na aveia IPR Suprema cultivada no município de Pato Branco - PR.

Os teores de PB reduziram conforme o avanço dos cortes dentro dos tratamentos, comportamento evidenciado por Grise (2001), relatando que o processo de envelhecimento da forragem, caracterizado pelo acúmulo de partes mais lignificadas e menos nutritivas, leva à redução do valor nutritivo, especialmente em relação ao teor de proteína bruta.

O teor médio de proteína bruta (μ PB) nos cortes evidencia bem o comportamento dos tratamentos ao longo dos cortes com Foliar obtendo o menor valor médio em relação aos demais tratamentos testados. Esse tipo de comportamento é anormal e não sendo comumente encontrado na literatura.

Fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) apresentaram interação entre tratamento e corte (Tabela 3). Para os teores de FDN os tratamentos diferiram somente nos cortes 2, 3 e 5. Entre os cortes, houve diferença ($P < 0,05$) somente na inoculação de BPCV associada a adubação foliar (Tabela 3).

No primeiro e quinto corte, não houveram diferença ($P>0,05$) para a FDN. Porém, os teores de FDN observados neste trabalho são maiores aos de Soares e colaboradores (2013) e CQBAL 4.0 (2018) com médias variando de 55 % a 63 % em diferentes cultivares de aveia.

No segundo corte, observa-se que os teores mais altos foram 72,2; 72,1 e 70,2 % de FDN, respectivamente para a inoculação de BPCV, a inoculação de BPCV associado a adubação foliar e para a testemunha que não diferem entre si. O menor teor de FDN, 66,1% foi observado para a adubação foliar, a qual não difere da testemunha. O baixo coeficiente de variação de 2,9% sugere que os resultados são mais homogêneos e consistentes em comparação ao primeiro corte.

No terceiro corte, os teores de FDN diferiram ($P<0,05$) entre os tratamentos. A inoculação de BPCV com 71,8% difere apenas da adubação foliar com 65,1% de FDN, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si. A testemunha com 70,0% de FDN e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar obtendo 69,5% de FDN possuem valores intermediários e são homogêneas aos demais tratamentos. O coeficiente de variação de 2,0% reflete uma boa precisão nos dados, indicando que as plantas apresentaram pouca variação entre si dentro dos tratamentos.

No quarto corte, as diferenças entre os tratamentos são menos evidentes, a inoculação de BPCV (71,3%), a testemunha (69,2%) e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar (70,7%), não diferem entre si e apresentam os maiores valores de FDN, porém as mesmas diferem da adubação foliar (63,0%) que apresenta teores inferiores aos demais.

No quinto corte não houve diferença estatística entre os tratamentos, mas o quinto corte apresentou inferioridade estatística frente aos cortes 1 e 2 para a inoculação de BPCV associada a adubação foliar.

No sexto corte, os dados para a testemunha, a adubação foliar e a inoculação de BPCV não foram fornecidos pois não houve o sexto corte, mas a inoculação de BPCV associada a adubação foliar apresentou 62,2% de FDN, valor este inferior aos demais teores observados nos cortes 1, 2, 3 e 4.

O teor médio de FDN ao longo dos seis cortes revela as diferenças ocorridas na inoculação de BPCV associada a adubação foliar. Essas médias refletem a tendência observada nos cortes anteriores, onde a adubação foliar tem consistentemente o menor teor de FDN, enquanto a inoculação de BPCV e a testemunha os maiores teores de FDN.

O teor de FDN da aveia forrageira IPR Suprema varia significativamente ao longo do tempo, com a redução nos cortes mais tardios para inoculação de BPCV associada a adubação foliar, comportamento que não foi constatado nos outros tratamentos.

Houve interação entre tratamento e corte para os teores de fibra em detergente ácido (FDA) (Tabela 3). A diferença estatística entre os tratamentos diferiram somente no primeiro corte. Nos cortes, somente a testemunha apresentou diferença (Tabela 3).

Para os teores de fibra em detergente ácido (FDA) observa-se uma estabilidade no teor de FDA para a maioria dos tratamentos, à medida que os cortes avançaram. Os teores de FDA deste trabalho são

menores aos observados por Soares et al. (2013) com médias variando de 24 a 28 % de FDA em diferentes cultivares de aveia.

No primeiro corte, os resultados de FDA mostram uma clara distinção entre os tratamentos. A adubação foliar apresentou o maior valor de FDA (10,7%), seguido pela inoculação de BPCV associada à adubação foliar (9,7%) e a inoculação de BPCV (9,0%), não diferindo entre si. A diferença entre a testemunha e a adubação foliar é significativa, indicando que a adubação foliar pode ter causado um aumento no teor de fibra indigestível da planta. A inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar não diferiram dos demais tratamentos. O coeficiente de variação de 14,85% reflete uma variabilidade no conjunto de dados, sugerindo que há considerável heterogeneidade entre as plantas.

Nos demais cortes não houve diferença estatística entre a testemunha, a adubação foliar, a inoculação de BPCV e a inoculação de BPCV associada a adubação foliar para os teores de FDA. Avaliando o desempenho dos cortes, somente a testemunha obteve diferenças significativas, com valores mais elevados para o quinto corte em relação aos demais. Para a testemunha o quinto corte diferiu dos demais cortes com teor de 10,3% de FDA.

Conclusões

A aplicação de BPCV, isoladamente ou em combinação com adubação foliar, é uma estratégia promissora para aumentar a produtividade da cultura.

As BPCV ao longo do ciclo de produção da aveia IPR Suprema elevam a taxa de acúmulo de forragem. A adubação foliar e a inoculação de BPCV não apresentaram influência sobre a qualidade nutricional.

No entanto, são necessárias mais pesquisas para elucidar os mecanismos de ação das BPCV e da adubação foliar para identificar as condições em que esses tratamentos são mais eficazes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio na concessão das bolsas de mestrado e iniciação científica. À Embrapa Soja pelo fornecimento das BPCV, ao IDR Paraná pelas sementes de aveia e à empresa Primer pelo fertilizante.

Referências

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY), 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed, Washington, D.C. USA

Barbero, L. M. Prado, T. F., Basso, K. C., Lima, L. A., Motta, K. M., Krüger, B. C., ... & Silva, G. D. (2013). Análise de crescimento em plantas forrageiras aplicada ao manejo de pastagens. Veterinária Notícias, 19(2), 71-85.

Bartlett, M. S. (1950). Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Statistical Psychology*, 3, 77-85.

BERTONCELLI, P.; MARTIN, T. N.; STECCA, J.; DEAK, E.; BISON PINTO, M. A.; SCHONELL, A. O manejo de inverno e inoculação de sementes influenciam na produtividade e qualidade da silagem de milho sob sistema plantio direto. *Revista Ceres*, v. 64, n. 5, p. 579-588, set.-out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050010>. Acesso em: 14 nov. 2024.

Campos, A. F., Rinaldi, B. J. D., & Gonçalves, A. C. (2024). Características estruturais da Aveia Preta e Azevém adubadas com diferentes composições de adubos químicos. *Scientific Electronic Archives*, 17(2), 1882. <http://dx.doi.org/10.36560/17220241882>

CECATO, U.; RÊGO, F. C. de A.; GOMES, J. A. N.; CANTO, M. W. do; JOBIM, C. C.; CONEGLIAN, S.; MOREIRA, F. B. Produção e composição química em cultivares e linhagens de aveia (*Avena* spp). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 23, p. 775-780, 9 maio 2008.

Coelho, A. P., Faria, R. T. de, Dalri, A. B., Palaretti, L. F., & Zanini, J. R. (2018). Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. 1 *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 2 12(2), 2542-2553. doi:10.7127/rbai.v12n200803

Corassa, G. M., Bertollo, G. M., Gallon, M., Bona, S. D., & Santi, A. L. (2013). Inoculação com *Azospirillum* brasileiro associada à adubação nitrogenada em trigo na região norte do Rio Grande do Sul. *Enciclopédia Biosfera*, 9(16).

Correa Filho, D. V. B., Correia, E. C. S. S., Domingues Neto, F. J., Santos, D. V., Silva, T. A., Monteiro, R. N. F., & Fontana, L. F. (2017). Crescimento e desenvolvimento de aveia preta em resposta à inoculação com *Azospirillum* brasileiro e adubação nitrogenada. *Colloquium Agrariae*, 13(2), 1-8. <https://doi.org/10.5747/ca.2017.v13.n2.a155>

CQBAL 4.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. (2018). Recuperado de <https://www.cqbal.com.br/>

DANIELOWSKI, R.; CARAFFA, M.; MORAES, C. dos S.; LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. de. Informações técnicas para a cultura da aveia: 40ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Organizado por R. Danielowski [et al.]. Três de Maio: Sociedade Educacional Três de Maio, 2021. 190 p. ISBN 978-65-992198-2-5. Disponível em: https://setrem.edu.br/wp-content/uploads/2021/11/INFORMACOES_TECNICAS_PARA_A_CULTURA_DA_AVEIA_SETREM_XL_RCBPA_2021-10-11-2021_compressed.pdf. Acesso em: 14 nov. 2024.

Fleitas, A. C., Paiva, L. M., Santos, S. A., Fernandes, H. J., Brasil, M. S., Brevilieri, R. G., Gomes, P. S., & Dos Santos, D. C. C. (2017). Inoculação e sombreamento em gramínea nativa *Paspalum oteroi* na região de transição Cerrado-Pantanal. Em IV Workshop de Pós-Graduação em Zootecnia e Ciência Animal e VI Encontro Científico da Zootecnia (pp. [páginas]). Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana, MS, Brasil.

Froio, L. de L., Andreotti, M., Nakao, A. H., Soares, D. de A., Modesto, V. C., & Dickamann, L. (2016). Composição bromatológica da silagem de forrageiras em sistema de integração lavoura-pecuária inoculadas com *Azospirillum* brasileiro. In *Anais do XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo*. (pp. 1548-1551). [Bento Gonçalves - RS].

Grise, M. M., et al. (2001). Avaliação da composição química e da digestibilidade in vitro da mistura aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) + ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.) em diferentes alturas sob pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, ¹ 30(3), 659-665.

Haselbauer, F. R., Link, L., Oligini, K. F., Batista, V. V., Adami, P. F., & Sartor, L. R. (2019). Produtividade da aveia branca submetida a doses e parcelamento de nitrogênio em cobertura. *Revista Cultivando o Saber*, 12(1), 83-96.

Hungria, M., Campo, R. J., Souza, E. M., & Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331(1-2), 413-425.

Lima, J. W. B. (2021). Estrutura de dossel e acúmulo de forragem de pastos de capim elefante anão Cv. Brs Kurumi submetidos ao parcelamento de adubação nitrogenada.

LOPES, M. J. dos S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B. da; GURGEL, E. S. C. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, e356101220585, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20585>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MARTINS, A. F.; OLIVEIRA, F. P.; VARGAS, L. K.; SCHLINDWEIN, G.; LISBOA, B. B.; SÁ, E. L. S. Influência da inoculação com rizóbios na germinação e vigor de mudas de trevo-vesiculoso e azevém. *Revista AGROTEC*, v.36, n.1, p.294-302, 2015.

MILBRADT BABESKI, C., VÍTOR TISOTT, J., UHDE PORAZZI, F., VANESSA ARGENTA, C., CAROLINA FERRARI BASSO, N., & ANTONIO GONZALEZ DA SILVA, J. (2020). O manejo tecnológico à absorção foliar de nitrogênio líquido como viabilidade técnica à maior eficiência do nutriente à expressão da produtividade de grãos de aveia. *Salão Do Conhecimento*, 6(6). Recuperado de <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/17879>

Montgomery, D.C. (2017) *Design and Analysis of Experiments* Arisona, State University. Ninth Edition, John Wiley & Sons, New York, 640 p.

Moreira, V. A. (2023). Inoculação com bactérias promotoras de crescimento, fornecimento de silício e adubação nitrogenada em grama esmeralda (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira.

Muldoon, D. K. (1986). Dry matter accumulation and changes in forage quality during primary growth and three regrowths of irrigated winter cereals. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26(2), 87-98.

Nachtigall, G. R., & Nava, G. (2010). Adubação foliar: fatos e mitos. *Agropecuária Catarinense*, 23(2), 87-97. Suplemento. Apresentado no 9º Seminário Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado, São Joaquim, SC.

Oliveira, E. de, Hojo, R. H., Aliança, J. C. A., Carvalho, E. A. de, & Oliveira, E. (2024). *Potencial de plantas forrageiras de inverno para pastejo, produção de feno, pré-seco e cobertura do solo*. Em XLIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (pp. [páginas]). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Rodríguez-Elizalde, M. de los Á., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Vargas-Hernández, M. (2024). Growth and production of poinsettia var. Prestige Red by inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria and fertilization doses. *Ornamental Horticulture*, 30, e242722. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v30.e242722>. Acesso em: 14 nov. 2024.

Santos, J. S. S. (2024). Adubação com fontes nitrogenadas e enxofre elementar: resposta agrônômica do capim BRS Paiguás e acidificação de solo alcalino.

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Soares, A. B., Pin, E. A., & Possenti, J. C. (2013). Valor nutritivo de plantas forrageiras anuais de inverno em quatro épocas de semeadura. *Ciência Rural*, 43(1), 120-125.

Soares da Silva, P. C., & Silveira, A. L. F. da . (2023). Características bromatológicas e concentrações de nitrato e amônio em quatro forrageiras anuais de inverno submetidas a diferentes doses de nitrogênio em cobertura. *Scientific Electronic Archives*, 16(2). <https://doi.org/10.36560/16220231662>

Vitto, D. C. (2023). *Interação entre bactérias promotoras de crescimento vegetal e fertilização com cama de frango na cultura do milho* (Tese de doutorado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.

Wamser, A. F., & Mundstock, C. M. (2007). Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar “MN 698”. *Ciência Rural*, 37(4), 942-948. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400020>

V. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas e adubação foliar é uma alternativa para manutenção do crescimento e desenvolvimento de aveia forrageira, mesmo em situações em que não haja a reposição periódica dos nutrientes no solo.

O uso desta tecnologia não só demonstra eficiência em promover incrementos na parte aérea e nas raízes das gramíneas de interesse zootécnico, como também possibilita a modernização do sistema de produção agropecuário, ao aliar o aumento da produtividade com a redução dos custos de produção, além de ser a uma forma mais sustentável de produção.

Ainda existem poucos estudos com inoculação de gramíneas de inverno, com resultados conflitantes. Por esse motivo, é essencial a condução de mais estudos voltados para a inoculação de forrageiras de maior exploração na produção animal, de maneira a aumentar a compreensão dos efeitos desta interação e melhor explorar o potencial desta tecnologia para que a médio e longo prazo esta seja um produto de ampla utilização pelos pecuaristas.