



O USO DE MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NO *Urochloa Brizantha* cv. MARANDU

OTÁVIO DALLA LIBERA RODRIGUES¹
JOÃO RAFAEL DE ASSIS²
SÉRGIO PLENS DE ANDRADE³

RESUMO: A pecuária brasileira depende fortemente das pastagens, sendo a *Urochloa Brizantha* cv. *Marandu* uma das gramíneas forrageiras mais utilizadas. No entanto, a baixa disponibilidade de fósforo nos solos tropicais limita a sua produtividade. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do inoculante biológico *BiomaPhos*®, composto por *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*, sobre o crescimento e desenvolvimento da *Marandu*. O experimento foi conduzido em vasos, com cinco tratamentos, variando a dose do inoculante (0 a 400 mL/ha), com quatro repetições cada. Foram avaliados a altura do caule, o comprimento da folha e a extensão do sistema radicular. Os melhores resultados foram observados nos tratamentos intermediários (100 e 200 mL/ha), indicando que doses moderadas favorecem o desempenho da planta sem causar desequilíbrios fisiológicos. O uso de microrganismos solubilizadores de fósforo demonstrou ser uma alternativa promissora para melhorar a eficiência da adubação e reduzir o uso de fertilizantes químicos. Conclui-se que o *BiomaPhos*® pode ser um aliado na sustentabilidade da produção pecuária.

PALAVRAS-CHAVE: Braquiária; Fósforo Disponível; Inoculante.

THE USE OF PHOSPHORUS-SOLUBILIZING MICROORGANISMS IN *Urochloa Brizantha* cv. MARANDU

ABSTRACT: Brazilian livestock farming relies heavily on pastures, with *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* being one of the most widely used forage grasses. However, the low availability of phosphorus in tropical soils limits its productivity. This study aimed to evaluate the effect of the biological inoculant *BiomaPhos*®, composed of *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium*, on the growth and development of *Marandu*. The experiment was conducted in pots, with five treatments, varying the inoculant dose (0 to 400 mL/ha), with four replicates each. Stem height, leaf length, and root system extension were evaluated. The best results were observed in the intermediate treatments (100 and 200 mL/ha), indicating that moderate doses favor plant performance without causing physiological imbalances. The use of phosphorus-solubilizing microorganisms has proven to be a promising alternative for improving fertilization efficiency and reducing the use of chemical fertilizers. It is concluded that *BiomaPhos*® can be an ally in the sustainability of livestock production.

KEYWORDS: Brachiaria; Available Phosphorus; Inoculant.

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Agronomia, Centro Universitário Unifasipe – UNIFASPE. Endereço eletrônico: otaviorodr27@gmail.com.

² Professor Doutor Curso de Agronomia, Centro Universitário Unifasipe – UNIFASPE. Endereço eletrônico: joaorafael_zootecnista@hotmail.com.

³ Professor Doutor, Curso de Agronomia, Centro Universitário Unifasipe – UNIFASPE. Endereço eletrônico: splensandrade@gmail.com.



1 INTRODUÇÃO

A pecuária é um dos pilares da economia brasileira, dependendo em grande medida das pastagens. Cerca de 88% da carne bovina produzida no país tem como base a alimentação direta dos animais em pastagens naturais ou cultivadas. Nos primeiros anos de estabelecimento, essas áreas apresentam alta produtividade de forragem, impulsionada pela fertilidade do solo, que é temporariamente enriquecida pelos nutrientes provenientes da decomposição da vegetação nativa.

No entanto, essa fase de alta produtividade é temporária, geralmente durando de três a cinco anos, dependendo das condições do solo e do manejo adotado. Com o tempo, a fertilidade tende a diminuir em razão do esgotamento dos nutrientes, da redução da matéria orgânica e da compactação provocada pelo pisoteio dos animais. Esses fatores resultam na queda gradual da produção de forragem e no surgimento de espécies invasoras de baixo valor nutritivo. Para evitar esse declínio e manter a sustentabilidade da pecuária, é essencial adotar práticas de manejo adequadas, como a adubação de reposição, a correção da acidez do solo e a rotação de pastagens (Pereira; Sampaio, 2018).

A degradação das pastagens é um problema sério no Brasil, afetando aproximadamente de 50% a 70% das áreas destinadas ao pastoreio, o que representa um grande desafio para a sustentabilidade da pecuária nacional. Diversos fatores contribuem para esse processo, sendo a ausência de um manejo adequado do solo um dos principais. A exploração contínua das áreas sem reposição de nutrientes, o superpastejo e a falta de descanso das pastagens aceleram o desgaste do sistema produtivo. Além disso, a carência de práticas conservacionistas, como a adubação, a calagem e a correção do solo, provoca o empobrecimento gradual da camada arável e a perda de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas forrageiras, comprometendo tanto a qualidade quanto a quantidade de forragem disponível para os animais (Martins *et al.*, 2022).

O fósforo é um nutriente essencial e insubstituível para plantas e animais, fundamental nos processos biológicos e produtivos. Nas plantas, atua na fotossíntese, respiração, divisão celular e desenvolvimento radicular, além de participar da formação de compostos energéticos como o ATP, vitais ao metabolismo vegetal. Nos animais, é importante na formação de ossos, dentes e no metabolismo energético. A falta desse nutriente gera preocupações agronômicas e globais, pois reduz a produtividade das culturas e a qualidade das pastagens, afetando toda a cadeia agropecuária (Carmo, 2010).

Embora o fósforo (P) exista nas formas orgânica e inorgânica do solo, é o nutriente menos acessível às plantas devido à forte interação com os atributos físicos e químicos do solo, especialmente com os óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) dos minerais argilosos. Esses óxidos retêm o fósforo na fração sólida por meio de sítios de adsorção, formando complexos estáveis que reduzem sua solubilidade e disponibilidade na solução do solo. Assim, grande parte do fósforo permanece inacessível, mesmo em solos com teores elevados, limitando o crescimento das culturas quando não há manejo e correção adequados (Rodrigues, 2017).

O Marandu, originária da África tropical, mostrou-se altamente adaptável ao clima tropical brasileiro, apresentando rápido crescimento e boa cobertura do solo, o que inibe o desenvolvimento de plantas daninhas. Sua tolerância a solos de baixa fertilidade e a capacidade de se recuperar após o pastejo são outras características que a destacam como uma opção interessante para a formação de pastagens em diversas regiões do país (Costa *et al.*, 2020).



O Capim-Marandu (*Urochloa Brizantha* cv. Marandu) é uma gramínea forrageira perene, amplamente utilizada na pecuária brasileira devido às suas características agrônômicas favoráveis. Seu crescimento cespitoso, formando touceiras densas de até 1,5 metro de altura, e a presença de um sistema radicular profundo, contribuem para sua adaptação a diversos ambientes, especialmente aqueles com períodos de seca prolongada. As raízes, além de garantirem o abastecimento hídrico da planta, auxiliam na fixação da planta ao solo, reduzindo a erosão (Teixeira *et al.*, 2018).

A depleção de nutrientes do solo, causada pela extração contínua de forragem sem reposição, é um dos principais fatores da degradação das pastagens, que reduz a produtividade, a qualidade dos produtos e a sustentabilidade ambiental. A recuperação dessas áreas é essencial para a viabilidade da pecuária e a conservação dos recursos naturais (Erasmio *et al.*, 2017). Nesse contexto, destacam-se os inoculantes biológicos, que surgem como alternativa sustentável para otimizar o uso de recursos e aumentar a eficiência na produção de forragem.

Neste estudo, será utilizado o inoculante biológico BiomaPhos® em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Segundo Barcellos (2023), o BiomaPhos é uma formulação líquida composta por bactérias dos gêneros *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, que possuem a capacidade de solubilizar o fósforo presente no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas e favorecendo o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular.

Essa interação benéfica entre as bactérias e as raízes das plantas promove um aumento na absorção de fósforo, estimulando o crescimento vegetal e, conseqüentemente, a produtividade da pastagem. A aplicação do BiomaPhos pode ser realizada tanto em sistemas de plantio direto quanto em sistemas convencionais, demonstrando sua versatilidade e potencial para diferentes sistemas de produção.

A *Urochloa Brizantha* cv. Marandu é uma das forrageiras mais utilizadas na pecuária brasileira, devido à sua resistência e produtividade. No entanto, a eficiência do sistema radicular e a massa seca das plantas são fatores cruciais para o desenvolvimento e a sustentabilidade das pastagens. Portanto, esse estudo se propõe a responder: é possível perceber os benefícios que o uso do inoculante *BiomaPhos*® gera no desenvolvimento das plantas inoculadas, em comparação com as não inoculadas? No entanto, será possível reconhecer a eficácia do inoculante no sistema radicular e na massa seca da *Urochloa Brizantha* cv. Marandu.

O objetivo geral deste estudo é avaliar a eficiência do inoculante biológico *BiomaPhos*® no cultivo da *Urochloa Brizantha* cv. Marandu, com ênfase na avaliação da altura do caule, comprimento da folha e extensão do sistema radicular. Especificamente, busca-se abordar os benefícios proporcionados pelo inoculante no desenvolvimento do caule, da folha e do sistema radicular, avaliar a altura do caule durante o período de 60 dias de cultivo, comparar o comprimento das folhas entre plantas inoculadas e não inoculadas, bem como analisar o crescimento radicular dessas plantas ao longo dos 60 dias.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem da espécie *Urochloa Brizantha* cv. Marandu

Em uma abrangente revisão taxonômica, foi destacado que o gênero *Urochloa* abriga aproximadamente 97 espécies, cujos limites taxonômicos permanecem ainda pouco claros e definidos. Essas espécies estão distribuídas por diversas regiões da zona tropical



ao redor do planeta. No continente americano, por exemplo, existem cerca de catorze espécies nativas, enquanto na Austrália são encontradas aproximadamente dez, e no sudeste asiático, seis. Contudo, as espécies que se originam do continente africano se destacam como as mais conhecidas e de maior relevância para a pecuária tropical, com um total de 67 espécies reconhecidas (Renvoize; Clayton; Kabuye. 1996).

As *Urochloas* se desenvolvem em uma ampla variedade de habitats, que vão desde várzeas alagáveis a florestas sombreadas, passando por regiões de cerrado e até áreas semidesérticas, com condições climáticas mais extremas. Embora sejam nativas, principalmente das savanas africanas, algumas espécies se adaptaram com sucesso a diferentes ecossistemas tropicais e subtropicais ao redor do mundo. O enfoque agrícola relacionado a esse gênero decorre, principalmente, do seu uso como forragem de alta qualidade em pastagens, devido à sua capacidade de produção de biomassa e tolerância ao pastejo. No entanto, algumas espécies de *Urochloa* também são reconhecidas como plantas daninhas invasivas, capazes de competir intensamente com culturas agrícolas, o que torna necessário o manejo e controle adequados, muitas vezes envolvendo custos elevados para o setor agrícola (Valle; Euclides; Macedo, 2000).

Dados não oficiais indicam que as *Urochloas*, especialmente as espécies *Urochloas Decumbens* Stapf, *Urochloas Brizantha* (A. Rich.) Stapf e *Urochloas Humidicola* (Rendle) Schweick, além de outras em menor proporção, dominam aproximadamente 85% das pastagens na região dos Cerrados, cobrindo cerca de 42,5 milhões de hectares. Esse total faz parte de uma área de 50 a 55 milhões de hectares dedicados a pastagens cultivadas na região (Macedo, 1995), cerca de 21% são constituídos por *Urochloa Brizantha*, variedade Marandu (Macedo, 2000).

O Capim-Marandu destaca-se entre as diversas cultivares de *Urochloa* por apresentar um conjunto de características que o tornam altamente produtivo e adaptável a diferentes condições de manejo, solos e climas. Sua aptidão em gerar forragem de alta qualidade de forma contínua ao longo de praticamente todo o ano, aliada à capacidade de rápida regeneração após cortes ou pastejo, confere ao Marandu uma vantagem significativa em relação a outras gramíneas tropicais e subtropicais. Além disso, a densidade foliar e a cobertura do solo proporcionada pelo Marandu ajudam na redução da erosão, na manutenção da umidade e na proteção do solo contra o impacto da chuva, tornando-o uma opção estratégica para sistemas de produção mais sustentáveis e eficientes.

A resistência à cigarrinha das pastagens, uma praga que causa sérios danos ao desenvolvimento e à produtividade das gramíneas, aliada à capacidade de competir com plantas daninhas invasoras, são outros atributos importantes que consolidam o sucesso do Marandu na produção de forragem. Estudos também indicam que essa cultivar possui um elevado potencial produtivo, com estimativas de produção de massa seca próximas a 20 toneladas por hectare por ano, dependendo das condições de solo, clima e manejo adotado (Machado et al., 2017). Tais características tornam o Marandu uma opção de destaque para pecuaristas que buscam maximizar a produtividade das pastagens, melhorar a qualidade da alimentação animal e garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção a longo prazo.

A braquiária trata-se de uma planta cespitosa, bastante robusta, com estrutura ereta e vigorosa, podendo atingir entre 1,5 e 2,5 metros de altura, dependendo das condições de solo, clima e manejo. Inicialmente, seus colmos permanecem prostrados, porém, à medida que a planta se desenvolve, produzem perfílios predominantemente eretos, conferindo maior densidade à parte aérea. Os rizomas são curtos, curvados e bem próximos ao solo, desempenhando papel importante na regeneração vegetativa e na



resistência ao pastejo. Os colmos floríferos erguem-se progressivamente e frequentemente apresentam perfilhamento nos nós superiores, o que resulta na proliferação de inflorescências, especialmente quando submetidos a cortes regulares ou pastejo, contribuindo para a manutenção da capacidade reprodutiva da planta.

As bainhas foliares possuem pelos finos com cílios nas bordas e são geralmente mais longas que os entrenós, cobrindo-os nos nós e conferindo aos colmos vegetativos uma aparência densa e pilosa. As lâminas foliares apresentam formato linear-lanceolado, com leve pilosidade distribuída na face ventral, enquanto a face dorsal se apresenta glabra. Essa combinação de características morfológicas não apenas favorece a eficiência fotossintética, mas também aumenta a tolerância da braquiária a condições adversas de clima e manejo, garantindo sua competitividade e persistência nas pastagens (Nunes, 1984).

As inflorescências podem medir até 40 cm de comprimento e costumam ter de 4 a 6 racemos, dispostas de forma bastante equidistante ao longo do eixo, variando de 7 a 10 cm, podendo alcançar até 20 cm em plantas particularmente vigorosas. A raque da inflorescência tem uma forma estreita e curvada. As espiguetas, dispostas em uma única fileira ao longo da raque, são oblongas a elíptico-oblongas, medindo entre 5 a 5,5 mm de comprimento por 2 a 2,5 mm de largura, com pelos esparsos na extremidade (Rabaioli, 2005).

Os principais atributos positivos da *Urochloa Brizantha* incluem sua alta resistência à cigarrinha-das-pastagens, elevado a capacidade de resposta à aplicação de fertilizantes, grande capacidade de cobertura do solo, bom desempenho em condições sombreadas, excelente qualidade nutritiva da forragem e alta produção de raízes e sementes. No entanto, essa planta apresenta algumas limitações, como baixa adaptação a solos mal drenados, resistência moderada à seca e a necessidade de solos medianamente férteis para garantir sua persistência a longo prazo (Valle; Euclides; Macedo, 2000).

Vale ressaltar que a exigência da *Urochloa* em relação à fertilidade do solo não deve ser considerada um aspecto negativo, desde que se adote uma filosofia de manejo racional das pastagens. As plantas forrageiras devem ser vistas como culturas igualmente exigentes, com requerimentos específicos que, isoladamente ou em conjunto, influenciam a produtividade e a longevidade das pastagens (Silva, 1995).

Para uma gestão sustentável, a utilização das bactérias promotoras de crescimento vegetal é relevante devido à sua aplicação prática como inoculantes em sementes, raízes e partes aéreas. Além disso, por serem organismos nativos do solo ou das plantas, essas bactérias não comprometem o equilíbrio ecológico, estando, assim, completamente compatíveis com os princípios da agricultura orgânica e sustentável. Esses microrganismos desempenham papéis essenciais na preservação do ecossistema, com a capacidade de estimular o desenvolvimento das plantas, seja por meio da produção de hormônios vegetais, da liberação de nutrientes ou até da supressão de fitopatógenos (Glick, 2012).

2.2 Inoculante *BiomaPhos*

A proporção de fósforo na solução do solo é, em geral, baixa. Por isso, o uso de fertilizantes fosfatados é essencial para compensar essa baixa disponibilidade para as plantas. No entanto, a maior parte do fósforo aplicado pode se tornar indisponível devido à sua adsorção aos colóides do solo (Barroso, 2012). Essa forte adsorção faz com que a adubação fosfatada precise ser realizada com doses muito superiores ao necessário para o crescimento das plantas, resultando em altos custos para o produtor.



Para reduzir a forte fixação de fósforo no solo, foi se destacando os inoculantes microbianos. Esses inoculantes podem mineralizar o fósforo orgânico ou solubilizar o fósforo inorgânico, aumentando sua disponibilidade para as plantas. Vários estudos demonstram sua eficácia, seja em conjunto com insumos químicos ou como substitutos desses (Hungria; Nogueira; Araujo, 2013).

Os Microrganismos Solubilizadores de Fósforo (MSP) possuem a capacidade de solubilizar fosfatos naturais, tanto os que já estão presentes no solo, quanto os que são adicionados, além de compostos de baixa solubilidade resultantes da aplicação de fosfatos solúveis (Ferreira; Paiva, 2017). Entre os 109 microrganismos estudados, destacam-se as bactérias que têm um impacto positivo na produção, com as do gênero *Bacillus Rhizobium* e *Pseudomonas* sendo as mais eficazes (Rodriguez; Fraga, 1999).

Os solos com maior capacidade de retenção de fósforo (P) cobrem cerca de 1 bilhão de hectares nas regiões tropicais (Sanchez; Logan, 1992). Em média, apenas 0,1% do fósforo total presente no solo está na forma solúvel, imediatamente disponível para ser assimilado pelas plantas (Oliveira-Paiva, 2022). Por essa razão, é necessário adicionar fósforo na maioria dos solos agrícolas por meio da aplicação de fertilizantes sintéticos.

Por outro lado, estima-se que uma grande parte do fósforo aplicado ao solo por fertilizantes, que não é absorvida pelas culturas (>70%), permanece no solo em formas inacessíveis às plantas (Pavinato *et al.*, 2020). Nos solos brasileiros, a maior quantidade de fósforo está imobilizada nas formas insolúveis de fosfatos de cálcio, ferro e alumínio, ou fortemente adsorvida a minerais argilosos (Novais; Smyth, 1999).

O P é um nutriente limitante para o desenvolvimento das plantas, pois, apesar de sua quantidade total ser relativamente alta na maioria dos solos, a fração disponível para as plantas é bastante baixa, especialmente em solos tropicais intemperizados (Novais; Smyth, 1999).

Sua deficiência é uma das principais limitações ao desenvolvimento vegetal, podendo provocar atrasos no crescimento e afetar processos essenciais como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão celular e o crescimento das células vegetais (Oliveira-Paiva, 2020). O BiomaPhos® é um bioinoculante inovador desenvolvido pela EMBRAPA, cuja principal finalidade é otimizar a eficiência na utilização do fósforo pelas plantas.

Esse produto foi concebido para contribuir significativamente na redução da dependência de adubos químicos, promovendo uma agricultura mais sustentável. Ao diminuir a quantidade de fertilizantes químicos necessários, o BiomaPhos® não apenas reduz os custos associados à produção agrícola, mas também minimiza os impactos ambientais gerados pelo uso excessivo de fertilizantes. Assim, ele se torna um recurso importante para os agricultores que buscam melhorar a produtividade de suas culturas de maneira mais ecológica e econômica (Oliveira-Paiva, 2020).

Com base nesses resultados, a aplicação do BiomaPhos® pode ser vista como uma estratégia significativa para impulsionar a produtividade e promover o aumento da eficiência no aproveitamento de fosfatos pelas plantas (Malusà; Pinzari; Canfora, 2016).

2.2.1 Bactérias *Bacillus Subtilis*

Bacillus Subtilis é uma bactéria amplamente empregada na agricultura moderna, destacando-se por suas múltiplas propriedades benéficas que favorecem tanto o crescimento das plantas quanto a manutenção da saúde e da estrutura do solo. Essa espécie bacteriana é reconhecida por sua notável capacidade de melhorar a absorção de



nutrientes, especialmente o fósforo, que frequentemente atua como fator limitante no desenvolvimento vegetal devido à sua baixa disponibilidade natural no solo. Além disso, *Bacillus Subtilis* secreta compostos bioativos e fitormônios, como as auxinas, que estimulam o crescimento radicular, aumentam a capacidade de exploração do solo e, conseqüentemente, promovem maior absorção de água e nutrientes. Essa ação resulta em plantas com maior vigor, maior acúmulo de biomassa e melhor desempenho fisiológico, contribuindo para sistemas agrícolas mais produtivos e sustentáveis (Bashan; Holguin, 1997).

Além disso, é capaz de produzir uma variedade de substâncias antibióticas e enzimas que desempenham um papel fundamental na proteção das plantas contra patógenos do solo, incluindo fungos e bactérias nocivas. Essas substâncias não apenas inibem o crescimento de organismos patogênicos, mas também promovem um ambiente saudável no solo, favorecendo o desenvolvimento de micro-organismos benéficos. Essa ação é essencial para manter a saúde geral das plantas, contribuindo para sua resistência a doenças e estresses ambientais (Kloepper, Ryu, 2006).

Bacillus Subtilis também desempenha um papel importante na melhoria da qualidade do solo, atuando de forma significativa na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, processos fundamentais para o equilíbrio e a fertilidade do ecossistema edáfico. Sua presença contribui para o aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de favorecer o desenvolvimento de uma microbiota benéfica no solo. A utilização desse microrganismo como bioinoculante tem demonstrado ser altamente eficaz em diversas culturas agrícolas, promovendo melhorias no crescimento vegetal, aumento na produtividade e maior eficiência no uso de fertilizantes, reduzindo a dependência de insumos químicos e contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis (Sahu P.; Sahu A., 2019).

2.2.2 Bactéria *Bacillus Megaterium*

Bacillus Megaterium é uma bactéria gram-positiva que se destaca na agricultura por suas propriedades vantajosas. Atua como bioinoculante, melhorando a absorção de fósforo e nitrogênio, essenciais ao desenvolvimento das culturas (Teja, 2023). Sua principal função é solubilizar o fósforo no solo, tornando-o mais acessível às plantas e contribuindo para o aumento da produtividade. Também produz fitormônios, como auxinas e citocininas, que estimulam o crescimento radicular e a formação de brotações (Wang, 2013).

A bactéria também desempenha um papel importante na proteção das plantas contra patógenos do solo, uma vez que produz substâncias antimicrobianas que inibem o crescimento de fungos e bactérias prejudiciais. Adicionalmente, a presença de *Bacillus Megaterium* no solo está relacionada à melhoria da qualidade deste, pois ela auxilia na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, promovendo um solo mais fértil e saudável (Gehlot; Pareek; Vivekanand, 2021).

2.2.3 Mecanismo de Solubilização de Fósforo

As bactérias do gênero *Bacillus* atuam de forma eficiente na disponibilização de fósforo para as plantas, principalmente por meio da solubilização de fosfatos insolúveis presentes no solo. Esse processo ocorre, em grande parte, pela produção de ácidos orgânicos, como os ácidos cítrico, láctico e acético, que reduzem o pH do microambiente rizosférico, promovendo a liberação de íons fosfato ao quelar cátions como cálcio (Ca^{2+}), ferro (Fe^{3+}) e alumínio (Al^{3+}), os quais normalmente formam complexos estáveis com o fósforo. Essa acidificação localizada e a complexação de cátions são mecanismos



bioquímicos fundamentais que favorecem a mineralização de formas inorgânicas de fósforo, tornando-o acessível à absorção pelas raízes das plantas (Wahyudi et al., 2011; Bahadir et al., 2018).

Além disso, espécies de *Bacillus* podem atuar na mineralização de fósforo orgânico por meio da produção de enzimas hidrolíticas, como fosfatases ácidas, alcalinas e fitases. Essas enzimas catalisam a quebra de compostos orgânicos fosforados, como os fitatos, liberando formas inorgânicas de fósforo assimiláveis. Assim, a multifuncionalidade dessas bactérias no ambiente rizosférico — tanto na solubilização de fósforo mineral quanto na mineralização de fósforo orgânico — representa um mecanismo ecológico crucial para a promoção do crescimento vegetal, especialmente em solos com baixa disponibilidade de fósforo biodisponível (Mohite, 2013; Bjelić et al., 2018; Shafi et al., 2017).

3 MATERIAS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Município de União do Sul, localizado no norte do Estado de Mato Grosso (MT), a aproximadamente 500 km de distância da capital, Cuiabá. A área experimental situa-se em planície, com coordenadas geográficas de 11°31'59" de latitude sul e 54°38'57" de longitude oeste de Greenwich, e altitude média de 350 metros acima do nível do mar. Essa região apresenta clima tropical, caracterizado por duas estações bem definidas — uma chuvosa e outra seca —, com temperatura média anual variando entre 16 °C e 36 °C, raramente inferior a 16 °C ou superior a 39 °C. A umidade relativa do ar e a precipitação anual também se mantêm dentro dos padrões típicos do bioma Amazônico de transição, influenciando diretamente o desenvolvimento das culturas agrícolas.

O solo predominante no local é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, comum na região, apresentando boa drenagem, porém com baixa fertilidade natural. O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0–20 cm em uma área de pastagem que atendia às exigências agronômicas da *Urochloa*, sendo posteriormente submetido a análises químicas e físicas, além de correção de acidez por calagem, garantindo condições adequadas para a condução do experimento.

A semeadura foi realizada com sementes comerciais da empresa Sementes Santa Fé, da espécie *Urochloa Brizantha* cultivar Marandu, amplamente recomendada para pastejo, formação de forragens e também para cobertura do solo, devido à sua elevada produção de massa seca (MS). Essa cultivar apresenta porte médio variando entre 0,85 m e 1,10 m de altura, boa capacidade de rebrota e excelente adaptação às condições de cerrado e solos ácidos. O experimento buscou avaliar o tempo necessário para que as plantas atingissem seu porte médio, observando-se o comportamento vegetativo e o desenvolvimento radicular sob diferentes condições de tratamento.

Foram utilizados vasos com capacidade para 10 litros de solo, totalizando 20 parcelas experimentais, distribuídas em 5 tratamentos com 4 repetições cada (delineamento 5 × 4). Em cada vaso foram semeadas sete sementes a uma profundidade de 3 cm, conforme as recomendações técnicas da cultivar. Após a emergência, foi realizado o desbaste, mantendo-se as três plântulas mais vigorosas, com crescimento uniforme e aparência saudável, a fim de reduzir a competição por nutrientes, luz e espaço.

Os tratamentos experimentais foram definidos com base em diferentes dosagens do produto testado. O primeiro tratamento, T1, serviu como testemunha, sem aplicação (0 ml/ha). O segundo tratamento, T2, recebeu metade da dose recomendada, correspondendo



a 100 ml/ha. O terceiro tratamento, T3, foi conduzido com a dose padrão de 200 ml/ha. O quarto tratamento, T4, recebeu 1,5 vez a dose recomendada (300 ml/ha), enquanto o quinto tratamento, T5, recebeu o dobro (400 ml/ha). Essa distribuição permitiu observar o comportamento fisiológico das plantas diante de níveis crescentes do produto, avaliando possíveis respostas de estímulo ou estresse em diferentes concentrações.

A coleta do solo foi realizada em 25 de janeiro de 2025 (25/01/2025), em uma área agrícola de primeiro ano de cultivo de arroz, onde o solo já havia passado por correção e manejo adequados. O processo de amostragem considerou a retirada da camada de 0 a 20 cm, eliminando plantas espontâneas da superfície para evitar contaminações por raízes e resíduos orgânicos. As amostras foram coletadas com o auxílio de enxada, pá e trena, sendo posteriormente acondicionadas em um big-bag de 1000 kg, devidamente identificado e transportado até o local do experimento, no município de União do Sul-MT.

A análise química e física do solo (AM 01) revelou textura predominantemente argilosa, pH ácido (5,2 em H₂O), baixo teor de matéria orgânica (1,86%) e baixos níveis de nutrientes essenciais, como fósforo, potássio, cálcio e magnésio. A acidez potencial e a presença de alumínio trocável foram consideradas elevadas, indicando a necessidade de calagem para correção. A saturação por bases apresentou-se baixa (30,4%), e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) total foi de 4,62 cmol/dm³. Dentre os micronutrientes, o ferro apresentou níveis adequados, porém o cobre, manganês e zinco estavam abaixo do ideal, o que pode limitar o desenvolvimento radicular e a atividade enzimática das plantas.

Dando sequência ao processo experimental, o solo foi acondicionado em vasos de 10 L, respeitando-se o delineamento proposto. As unidades de plantio apresentavam 24,5 cm de diâmetro na borda superior, 29 cm de altura e 19 cm de largura na base, garantindo boa aeração e drenagem. O preparo criterioso do substrato e a remoção prévia das plantas garantiram uniformidade nas condições iniciais do ensaio.

A instalação do experimento ocorreu no dia 03 de março de 2025 (03/03/2025), também em União do Sul-MT. O estudo teve como objetivo avaliar três parâmetros principais: altura do caule, comprimento da última folha completamente desenvolvida e comprimento do sistema radicular. As avaliações referentes à altura e às folhas foram realizadas em intervalos regulares de 7 a 13 dias, durante um período total de 60 dias de cultivo. Já em 07 de março, foi observada a emergência da primeira plântula no tratamento T4, embora com certa desuniformidade atribuída à compactação superficial do solo, ocasionada pela força das chuvas sobre o substrato argiloso, o que resultou em leve estresse hídrico e mecânico nas plântulas recém-emergidas.

Com o avanço do experimento, no dia 03 de abril (03/04/2025) foi efetuado o desbaste, reduzindo-se o número de plantas de sete para três por vaso. Essa prática, realizada 30 dias após a semeadura, foi essencial para evitar competição por luz e nutrientes, assegurando o crescimento equilibrado das plantas remanescentes. No dia 12 de abril (12/04/2025), observou-se a presença do fungo *Pyricularia Oryzae*, causador da brusone, especialmente nas plantas do tratamento T5, que receberam a maior dosagem. Apesar da infecção inicial, as plantas demonstraram capacidade de recuperação, e embora algumas lesões foliares tenham persistido até o final do ciclo, a severidade da doença foi considerada baixa.

A melhora na condição fitossanitária foi constatada nas avaliações seguintes, especialmente em T5, onde não foram mais observadas lesões ativas. A brusone, apesar de altamente destrutiva em culturas como o arroz, mostrou-se de baixa agressividade em gramíneas forrageiras como a *Urochloa Brizantha*. Essa recuperação pode estar associada tanto a fatores ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento do fungo quanto à possível



resposta de resistência induzida nas plantas, além da senescência foliar natural, que reduz a incidência de tecidos suscetíveis.

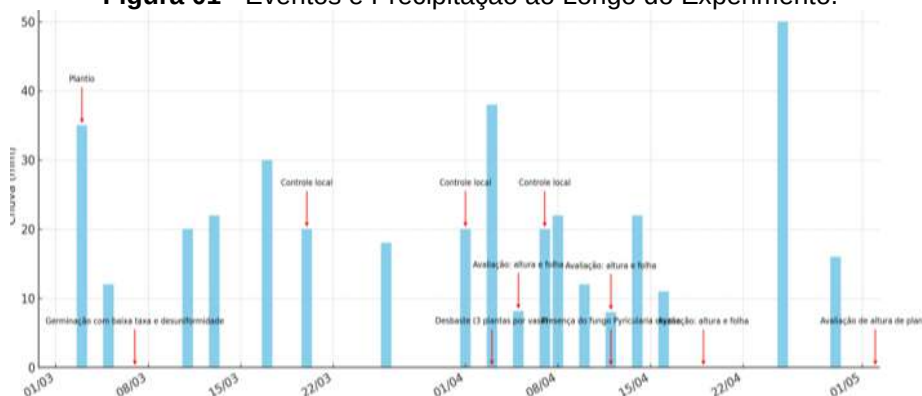
Durante as observações, em 19 de abril, uma planta pertencente ao tratamento T3 destacou-se por apresentar haste floral bem desenvolvida, indicando o início do estágio reprodutivo. Esse comportamento, atípico em relação às demais plantas do ensaio, pode estar relacionado a estresse nutricional, variação genética ou diferenças microambientais. A planta em questão atingiu 1,53 m de altura de área foliar, superando consideravelmente as demais do mesmo tratamento, que apresentaram altura máxima de 95 cm, evidenciando a influência combinada de fatores genéticos e ambientais sobre o desenvolvimento morfológico.

O encerramento do cultivo ocorreu em 03 de maio (03/05/2025), com a retirada cuidadosa das plantas dos vasos. O procedimento exigiu atenção especial para evitar danos às raízes, sendo a extração realizada manualmente, utilizando a própria massa do vaso para soltar gradualmente o substrato. Optou-se por não cortar os recipientes devido à natureza vigorosa do sistema radicular da *Urochloa Brizantha*. Após a remoção, as raízes foram lavadas cuidadosamente com água corrente, possibilitando a observação de sua estrutura completa e a mensuração precisa de seu comprimento.

As plantas foram, então, mantidas em ambiente sombreado, a fim de evitar o ressecamento das raízes e preservar suas características fisiológicas. A lavagem permitiu separar as partículas de solo e as raízes mais finas, facilitando a análise e a medição da massa seca. Durante essa etapa, foi recomendada a utilização de uma mesa de apoio para garantir estabilidade e melhor escoamento da água entre os feixes radiculares, o que assegurou maior precisão nas avaliações morfofisiológicas.

Por fim, um gráfico complementar foi elaborado para ilustrar a distribuição da precipitação e os principais eventos agrônômicos registrados ao longo dos 60 dias de experimento. A representação visual permitiu correlacionar as fases de desenvolvimento fenológico das plantas com as variações climáticas observadas, reforçando a importância da interação entre fatores ambientais, manejo e fisiologia vegetal para o desempenho da *Urochloa Brizantha* sob diferentes condições experimentais.

Figura 01 - Eventos e Precipitação ao Longo do Experimento.



Fonte: Própria (2025).



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados de avaliação de altura do caule

O gráfico referente à altura do caule apresentou um efeito significativo, ajustando-se a um padrão quadrático ($P = 0,038$), o que indica uma resposta não linear das plantas aos diferentes tratamentos aplicados. A curva de regressão ajustada foi representada pela equação $Y = 10,86 + 11,06x - 1,90x^2$, que apresentou um coeficiente de determinação (R^2) bastante elevado, igual a 93,46%, demonstrando um excelente grau de ajuste do modelo estatístico aos dados experimentais observados. Esse valor de R^2 evidencia que a maior parte da variação na altura do caule pode ser explicada pelas diferentes dosagens do produto testado, confirmando a confiabilidade da tendência observada.

Os resultados, representados graficamente na Figura 3, mostraram um comportamento típico de crescimento até determinado ponto, seguido por uma redução gradual. Observou-se que a altura média das plantas aumentou de forma progressiva do tratamento T1 até o T3, alcançando o ponto máximo em torno de 28 cm, valor que corresponde à dose recomendada de 200 mL/ha. A partir desse ponto, verificou-se uma diminuição na altura nos tratamentos subsequentes (T4 e T5), que receberam doses superiores à recomendada, indicando que o incremento excessivo do produto pode ter ocasionado efeitos de saturação fisiológica ou inibição no crescimento das plantas.

Esse comportamento quadrático é comum em estudos agrônômicos que envolvem bioestimulantes, microrganismos ou nutrientes de efeito cumulativo, pois reflete a existência de uma faixa ótima de resposta. Dentro dessa faixa, os benefícios promovidos pelo insumo são maximizados; entretanto, acima desse limite, o sistema fisiológico da planta tende a reagir de maneira inversa, seja por competição metabólica, toxicidade relativa ou redução da eficiência de absorção de nutrientes.

A análise dos dados sugere que os Microrganismos Solubilizadores de Fósforo (MSP) exerceram papel fundamental nesse processo, contribuindo de forma positiva para o crescimento em altura até um determinado ponto de equilíbrio. O tratamento T3, correspondente à dose recomendada de 200 mL/ha, foi o que proporcionou o melhor desempenho em termos de altura, destacando-se pela eficiência em promover um balanço adequado entre a atividade microbiana e a disponibilidade de fósforo no solo.

Esse equilíbrio é de extrema importância, pois o fósforo é um nutriente essencial que participa de diversos processos metabólicos, incluindo a transferência de energia (ATP), a síntese de ácidos nucleicos e o desenvolvimento radicular e foliar. Assim, quando os microrganismos solubilizadores atuam de maneira eficiente, eles aumentam a fração de fósforo disponível para absorção pelas raízes, o que, por sua vez, reflete diretamente na expansão celular e no alongamento do caule.

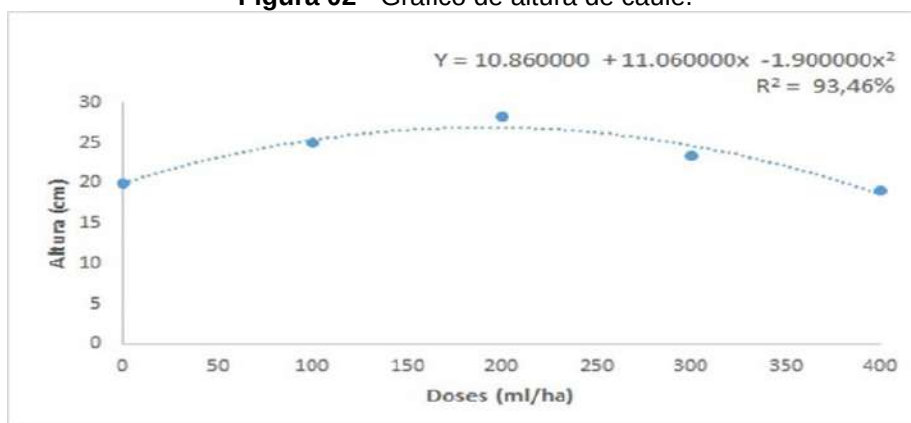
Quando essa relação simbiótica entre o solo, os microrganismos e a planta, se estabiliza, os efeitos fisiológicos positivos tornam-se mais evidentes, resultando em um crescimento mais expressivo da parte aérea e em plantas com maior vigor estrutural. Por outro lado, doses superiores à faixa ideal podem alterar a dinâmica microbiana do solo, reduzindo a eficiência dos MSP ou até mesmo provocando desequilíbrios nutricionais, o que justifica a redução da altura observada nos tratamentos T4 e T5.

De modo geral, o comportamento observado no gráfico demonstra claramente que há uma relação dose-resposta otimizada para o produto avaliado, sendo a dose de 200 mL/ha a mais indicada para promover o crescimento em altura da *Urochloa Brizantha* sob as condições do presente experimento. Esse resultado reforça a importância de se respeitar os limites fisiológicos das plantas e de compreender o papel dos microrganismos no manejo



sustentável da fertilidade do solo, garantindo tanto a eficiência produtiva quanto a preservação do equilíbrio biológico do sistema.

Figura 02 - Gráfico de altura de caule.



Fonte: Própria, 2025.

4.2 Dados de avaliação do comprimento de folha

O comprimento foliar apresentou efeito significativo ($P = 0,013$), respondendo de maneira positiva aos diferentes tratamentos que incluíram a aplicação dos microrganismos solubilizadores de fósforo (MSP). A análise de regressão ajustou-se a um modelo quadrático, expresso pela equação $Y = 42,20 + 7,65x - 0,0167x^2$, com um coeficiente de determinação (R^2) de 97,04%, indicando um excelente ajuste entre o modelo e os dados observados experimentalmente. Esse elevado valor de R^2 demonstra que quase toda a variação do comprimento das folhas pode ser explicada pelas doses aplicadas dos tratamentos, conferindo grande confiabilidade ao comportamento identificado.

O ponto máximo da curva foi registrado no segundo tratamento (T2), apresentando um valor médio próximo a 52 cm, o que representa o maior comprimento foliar observado entre as plantas avaliadas. A partir do terceiro tratamento (T3), observou-se um declínio gradual no comprimento das folhas, indicando uma possível saturação fisiológica da capacidade da planta em responder positivamente a níveis mais elevados de solubilização de fósforo. Esse comportamento reflete o equilíbrio dinâmico existente entre a absorção de nutrientes e o crescimento vegetativo: quando o fósforo disponível atinge determinado limite, a planta tende a estabilizar seu desenvolvimento foliar, priorizando outros processos metabólicos, como o acúmulo de reservas ou o fortalecimento do sistema radicular.

O ganho expressivo em comprimento foliar observado no tratamento T2 demonstra a relevância da atuação dos MSP na melhoria da absorção de fósforo e na estimulação do crescimento vegetativo, proporcionando um aumento significativo na produção de biomassa verde. Esse aumento da área foliar é um fator de grande importância agrônoma, pois favorece maior interceptação de luz, intensifica a fotossíntese e resulta em maior acúmulo de matéria seca. Na prática, esse ganho de produtividade pode refletir diretamente no pastoreio, possibilitando incremento na oferta de forragem e, consequentemente, aumento na capacidade de suporte da pastagem. Com estudos mais aprofundados, pode-se inclusive avaliar a possibilidade de adicionar maior número de unidades animais (UA) por hectare, otimizando o uso da área e melhorando o desempenho zootécnico dos sistemas de produção.

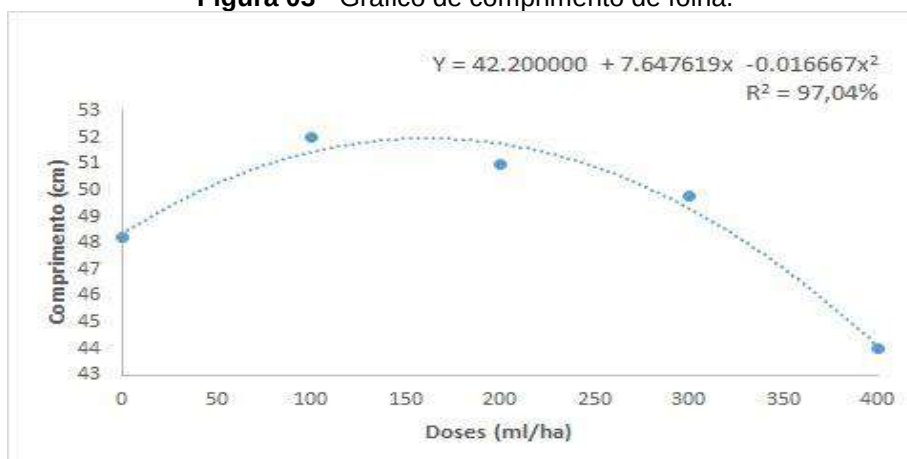
Os resultados obtidos neste experimento corroboram com os achados de Guimarães et al. (2023), que relataram efeitos semelhantes ao avaliarem o uso de *Bacillus*



Megaterium (B119) e *Bacillus Subtilis* (B2084) — microrganismos amplamente reconhecidos por sua capacidade de solubilizar fosfatos e promover o crescimento vegetal. Esses autores destacam que o uso de tais espécies bacterianas representa uma alternativa sustentável e eficiente para o manejo da fertilidade do solo, promovendo melhor aproveitamento dos nutrientes, com destaque para o fósforo, cuja baixa mobilidade no solo costuma limitar o desenvolvimento das plantas.

Portanto, a aplicação de MSP não apenas se mostra tecnicamente viável, mas também economicamente vantajosa, uma vez que pode reduzir custos com adubação fosfatada e aumentar a eficiência nutricional do sistema. Além disso, contribui para um modelo de produção mais sustentável e resiliente, reduzindo o impacto ambiental causado pelo uso excessivo de fertilizantes químicos e favorecendo o equilíbrio microbiológico do solo. Dessa forma, práticas que envolvem a utilização de micro-organismos benéficos, como os do gênero *Bacillus*, consolidam-se como estratégias promissoras para o incremento da produtividade forrageira e para a melhoria da sustentabilidade dos sistemas agropecuários.

Figura 03 - Gráfico de comprimento de folha.



Fonte: Própria, 2025.

4.3 Dados de avaliação do comprimento do sistema radicular

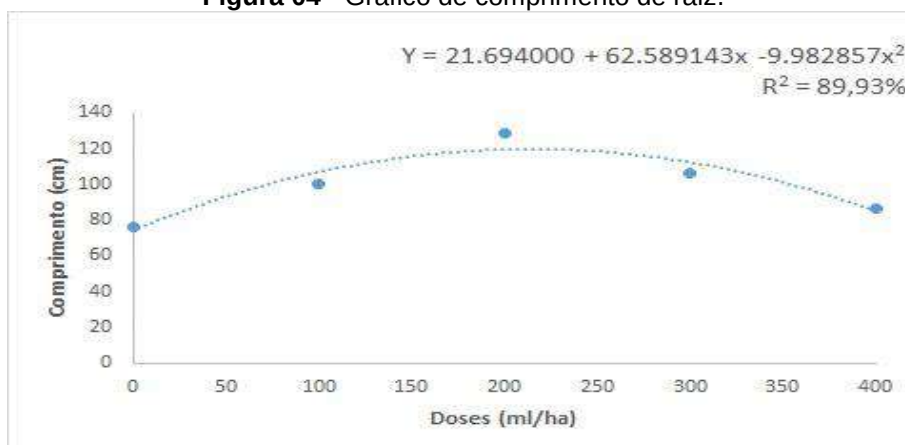
Em relação ao sistema radicular, observou-se um efeito quadrático significativo ($P = 0.048$), indicando que as diferentes doses aplicadas influenciaram de forma não linear o crescimento das raízes. O gráfico apresentou uma curva ascendente até o terceiro tratamento, seguido por uma queda gradual nos tratamentos com doses mais elevadas, demonstrando que há um ponto de máximo desenvolvimento antes do efeito negativo do excesso do produto. A equação $Y = 21,69 + 62,59x - 9,98x^2$, com $R^2 = 89,93\%$, representa um bom ajuste do modelo aos dados experimentais, evidenciando consistência estatística entre as variáveis analisadas. O maior comprimento radicular foi observado no terceiro tratamento, com média aproximada de 130 cm, resultado que reforça o efeito positivo da dose intermediária na promoção do crescimento radicular e na eficiência de absorção de nutrientes.

Esse aumento no comprimento das raízes pode estar diretamente associado à maior disponibilidade de fósforo proporcionada pela ação dos microrganismos solubilizadores, uma vez que o fósforo é um elemento essencial para o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular. Esse nutriente participa ativamente de processos metabólicos relacionados à divisão celular, ao alongamento das raízes e à formação de



novas ramificações, o que favorece uma maior exploração do solo pelas plantas. Além disso, a maior proliferação e o aprofundamento das raízes podem representar uma estratégia adaptativa da planta para otimizar a absorção de água e de outros nutrientes, aumentando sua eficiência fisiológica e sua tolerância a condições de estresse nutricional. Esse comportamento foi também discutido por Oliveira (2024), que ressalta a importância do fósforo na promoção do crescimento radicular e na melhoria da capacidade de absorção de nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal.

Figura 04 - Gráfico de comprimento de raiz.



Fonte: própria, 2025.

Os melhores desempenhos foram observados nos tratamentos 2 e 3, evidenciando que as doses intermediárias de inoculantes microbianos apresentam maior eficiência para o crescimento e o desenvolvimento da forrageira. Esse resultado sugere que tais doses proporcionam um equilíbrio ideal entre a atividade microbiana e a disponibilidade de nutrientes, especialmente do fósforo, no solo. Assim, há uma melhora significativa na absorção e no aproveitamento desse nutriente pelas plantas, sem causar possíveis desequilíbrios fisiológicos, toxidez ou interferências negativas na microbiota do solo. Dessa forma, o uso racional e equilibrado dos inoculantes microbianos mostra-se fundamental para otimizar o desempenho das pastagens e garantir a sustentabilidade do sistema produtivo.

A redução do desempenho nos tratamentos 4 e 5 pode estar relacionada a efeitos inibitórios causados por excesso de solubilização de fósforo ou competição microbiana, como discutido por (LIMA *et al.* 2011) que cita, por um lado, houve um efeito positivo do *Bacillus Subtilis* no acúmulo deste elemento na planta. Estes resultados sugerem efeitos benéficos da bactéria na assimilação de nitrogênio (DINODET *et al.*, 1996) e no aumento da superfície de absorção das raízes (SALOMONE & DOBREINER, 1996).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise conjunta dos três parâmetros indica que os tratamentos com MSP tiveram efeito significativo no crescimento da *Urochloa Brizantha* cv. Marandu. O desempenho máximo foi observado nos tratamentos intermediários (2 e 3) nas doses de 100ml/ha a 200ml/ha, o que sugere que a eficácia dos microrganismos solubilizadores está relacionada



ao equilíbrio entre dose aplicada e a capacidade da planta em absorver e utilizar o fósforo solubilizado.

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo exercem influência significativa no crescimento da *Urochloa Brizantha* cv. Marandu, promovendo aumentos expressivos na altura do caule, comprimento das folhas e desenvolvimento do sistema radicular.

A utilização desses microrganismos representa uma estratégia sustentável e promissora para a melhoria da produtividade de pastagens, podendo reduzir a dependência de fertilizantes químicos fosfatados. No entanto, recomenda-se a realização de estudos complementares em campo, com diferentes cultivares e condições edafoclimáticas, para validar e ampliar a aplicabilidade dos resultados obtidos em ambiente controlado.

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, T. **Como o inoculante BiomaPhos contribui para o aumento da produtividade.** Porto Alegre: Aegro, 2023.

BARROSO, Tiago Rodrigo Gonçalves. **Fungos micorrízicos arbusculares e microrganismos solubilizadores de fosfato e rizóbio em sistemas de manejo do solo no cerrado.** Tese de Doutorado. Instituto Federal de Educação, 2012.

BASHAN, Yoav; HOLGUIN, Gina. **Azospirillum–plant relationships: environmental and physiological advances (1990–1996).** Canadian journal of microbiology, v. 43, n. 2, p. 103-121, 1997.

BAHADIR, PINAR SÖZER; LIAQAT, Fakhra; ELTEM, Rengin. **Propriedades promotoras do crescimento vegetal de espécies de Bacillus solubilizadoras de fosfato isoladas da região do Mar Egeu, na Turquia.** Turkish Journal of Botany , v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.

COSTA, N. de L. et al. **Productive performance, chemical composition and morphogenesis of Megathyrsus maximus cv. Tamani under rest periods.** 2020.

CARMO HORTA, Maria et al. **Relação entre Olsen P e lactato de amônio–P extraível em solos ácidos portugueses.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 41, n. 19, p. 2358-2370, 2010.

COSTA, N et al. **Acúmulo de forragem e características morfogenéticas e estruturais de Megathyrsus maximus cv. Tamani sob intensidades de desfolha.** PUBVET, 14(4), 2020.

DIDONET, A.D., RODRIGUES, O., KENNER, M.H. **Acúmulo de nitrogênio e de massa seca em plantas de trigo inoculadas com Azospirillum brasiliense.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.16, n.9, p.645-651, 1996.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Inoculante.** 2021.



ERASMO, E et al. **Crescimento de *Brachiaria brizantha* plantada em diferentes densidades e épocas no sistema Santa Fé com cultura de soja.** Emirates Journal of Food and Agriculture, v.29, n.9, p.658-663, Out. 2017.

FERREIRA, F. B.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. **Coinoculação com microrganismos solubilizadores de fósforo, fungos micorrízicos e fixadores de N₂: qualidade biológica do solo e acúmulo de massa seca em milho.** 2017.

GEHLOT, Priyanka; PAREEK, Nidhi; VIVEKANAND, V. **Desenvolvimento de biofertilizantes e consórcio microbiano, uma abordagem para práticas agrícolas sustentáveis.** Plant, Soil and Microbes in Tropical Ecosystems, p. 315-348, 2021.

GUIMARÃES, Vandeir Francisco; KLEIN, Jeferson; KLEIN, Débora Kestring. **Promoção de crescimento e solubilização de fósforo, por *Bacillus megaterium* e *B. subtilis*, via inoculação de sementes, associado à fertilização fosfatada, na cultura da soja.** OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 21, n. 9, p. 11516-11551, 2023.

GLICK, B. R. **"Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications."** International Journal of Plant Biology, v 3, 1-9, 2012.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. **Tecnologia de coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*: incrementos no rendimento com sustentabilidade e baixo custo.** 2013.

KLOEPPER, J. W., & RYU, C. M. **"Bacteria for Enhanced Plant Growth and Health."** In: **Plant Growth-Promoting Bacteria in Sustainable Agriculture.** Springer. 2006.

LIMA, A. R. et al. **Efeitos de doses elevadas de microrganismos solubilizadores de fósforo no crescimento de gramíneas.** Cadernos de Agroecologia, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2022.

MACEDO, M. C. M. **Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável.** In: Simposio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995.

MACEDO, M. C. M. **Sistemas de produção animal em pasto nas savanas tropicais da América: limitações à sustentabilidade.** Reunião Latinoamericana de Produccion Animal, v. 16, 2000.

MACHADO, S et al. **Acúmulo de forragem, perfilhamento e características bromatológicas do capim *Brachiaria* sob adubação nitrogenada.** Científica, 45(2), 197, 2017.

MARTINS, Marcos Vinicius Rodrigues; PEREIRA, Carlos Eduardo; KIKUTI, Hamilton. **Adubação nitrogenada na implantação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Humaitá-AM.** Scientia Plena, v. 18, n. 7, 2022.



MALUSÀ, E.; PINZARI, F.; CANFORA, L. **Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production.** Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity. Functional Applications, v. 2, p. 17- 40, 2016.

MARTINS, M et al. **Adubação nitrogenada na implantação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Humaitá-AM.** Scientia Plena, 18, 070208, 2022.

MOHITE, Bhavna. **Isolamento e caracterização de bactérias produtoras de ácido indol acético (AIA) do solo rizosférico e seu efeito no crescimento de plantas.** Journal of soil science and plant nutrition , v. 13, n. 3, p. 638-649, 2013.

NOVAIS, RF de; SMITH, T. J. **Fósforo em Solos e Planta em Condições Tropicais.** 1ª Edição UFV. 1999.

NUNES, Soladino Gonçalves et al. ***Brachiaria brizantha* cv. Marandu.** 1984.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja.** 2020.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. **Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja.** 2022.

PAVINATO, Paulo S. et al. **Revelando o legado de fósforo do solo para promover a agricultura sustentável no Brasil.** Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 15615, 2020.

PEREIRA, M. M., & SAMPAIO, A. B. (2018). **"Sustentabilidade das pastagens: desafios e oportunidades."** Revista Brasileira de Agricultura Sustentável, 6(2), p. 89-102, 2018.

RABAIOLI, Cristiane Olga. **Componentes de Produtividade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob doses de Nitrogênio e Fósforo.** 2005.

RENVOIZE, S. A.; CLAYTON, W. D.; KABUYE, Christine HS. **Morphology, taxonomy, and natural distribution of *Brachiaria* (Trin.) Griseb.** 1996.

RODRÍGUEZ, Hilda; FRAGA, Reynaldo. **Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion.** Biotechnology advances, v. 17, n. 4-5, p. 319-339, 1999.

SALOMONE, G., DÖBEREINER, J. **Maize genotypes effects on the response to *Azospirillum* inoculation.** Biology Fertilizer Soils, v.21, n.3, p.193-196, 1996.

SANCHEZ, Pedro A.; LOGAN, Terry J. **Mitos e ciência sobre a química e fertilidade dos solos nos trópicos.** Mitos e Ciência dos Solos dos Trópicos, v. 29, p. 35-46, 1992.

SAHU, P. K., & SAHU, A. K. **"Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as Bioinoculants in Sustainable Agriculture."** Journal of Plant Nutrition, 42 (4), 542-554, 2019.



SILVA, SC da. **Condições edafo-climáticas para a produção de Panicum sp.** Capim Coloniao. Anais, 1995.

SOUSA, et al. **Germinação e sanidade de sementes de trigo em função da inoculação com microrganismos eficientes.** Acta Iguazu, v. 9, n. 3, p. 9-19, 2020.

SHAFI, J. et al. **Biocontrol of plant pathogens using Bacillus species: a review.** *Scientifica*, v. 2017, Article ID 9634030, 2017.

TEIXEIRA, R. et al. **Brachiaria brizantha (Syn. Uroclhoa brizantha) cv. Marandu sob diferentes doses de nitrogênio e fósforo em Humaitá-AM, Brasil.** Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia, 11(2), 35–41, 2018.

TEJA, ADV Ravi et al. **Papel das rizobactérias promotoras do crescimento de plantas na agricultura sustentável.** Em: Advanced Microbial Technology for Sustainable Agriculture and Environment. Academic Press, 2023.

VALLE, CB do; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. **Características das plantas forrageiras do gênero Brachiaria.** Simpósio sobre manejo da pastagem, v. 17, p. 65-108, 2000.

WANG, J., et al. **"Bacillus megaterium: A potential agent for phosphorus solubilization and plant growth promotion."** Microbial Ecology. 2013.

WAHYUDI, Aris Tri et al. **Caracterização de cepas de Bacillus sp. isoladas da rizosfera de plantas de soja para seu uso como potencial crescimento vegetal para promover rizobactérias.** J Microbiol Antimicrob , v. 3, n. 2, p. 34-40, 2011.