



# PRODUÇÃO FORRAGEIRA E FÓSFORO NA PARTE AÉREA DA ALFAFA (*Medicago sativa*) INOCULADA COM BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO

Jenifer Nunes<sup>1</sup>, Nathália Heloíza Wiesenhütter Leal<sup>2</sup>, Juliano Cesar Dias<sup>3\*</sup>, José Francisco Grillo<sup>4</sup>, Henrique von Hertwig Bittencourt<sup>5</sup>

Submissão: 03/11/2023

Aceite: 07/05/2024

<sup>1</sup>Discente do curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil, ORCID: [0009-0000-1976-739X](https://orcid.org/0009-0000-1976-739X)

<sup>2</sup>Discente do curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil, ORCID: [0009-0004-0559-0211](https://orcid.org/0009-0004-0559-0211)

<sup>3</sup>Professor, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil, ORCID: [0000-0003-3950-0240](https://orcid.org/0000-0003-3950-0240)

<sup>4</sup>Professor, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil, ORCID: [0000-0002-7254-2883](https://orcid.org/0000-0002-7254-2883)

<sup>5</sup>Professor, Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil, ORCID: [0000-0003-1324-383X](https://orcid.org/0000-0003-1324-383X)

\*Email para correspondência: [julianocdias@yahoo.com.br](mailto:julianocdias@yahoo.com.br)

**Resumo:** Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato sobre a produção forrageira e a concentração de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* cv. crioula). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e seis tratamentos: controle (adubação de base); inoculação; adubação com fonte solúvel de fósforo; adubação com fonte de baixa solubilidade de fósforo; inoculação + adubação com fonte solúvel de fósforo e inoculação + adubação com fonte de baixa solubilidade de fósforo. As variáveis avaliadas foram matéria natural e seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), altura de planta (cm), relação folha:colmo e teor de fósforo foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Os resultados obtidos demonstraram que massa seca total, relação folha/colmo, e teor de P (1º e 2º cortes) não foram influenciados significativamente pelos tratamentos. Já as variáveis matéria natural de colmo e folha, altura e matéria seca de colmo e folha, apresentaram efeito de tratamento ( $p < 0,05$ ), porém com variabilidade entre os cortes avaliados. A variabilidade nas respostas encontradas entre os cortes não permite inferir a influência da inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato na produção forrageira da alfafa. Os níveis de fósforo na parte aérea da alfafa não sofreram influência da inoculação com microrganismo solubilizador de fosfato.

**Palavras-chaves:** biosolubilidade; microrganismos; nutrientes; pastagem.

## 1. Introdução

No Brasil, a atividade pecuária é caracterizada pelo sistema extensivo de produção, com baixas taxas de produtividade e lotação nas áreas ocupadas. Estima-se que, aproximadamente, 90% do rebanho bovino seja criado a pasto (MALAFAIA; CANELLA FILHO, 2019; ABIEC, 2022). Nesse sentido, a escolha de forrageiras adaptadas e a adubação de pastagens são práticas crescentes entre pecuaristas, com o objetivo de aumentar a capacidade de produção dos sistemas, pelos aumentos de produtividade e qualidade das forrageiras destinadas ao consumo animal.

O uso de forrageiras com alta produtividade e qualidade nutricional, além de uniformidade de produção durante o ano, é a forma mais econômica para intensificar a produção bovina, aumentando a produção por animal e por área, reduzindo ou eliminando períodos de baixa produtividade e o uso de alimentos concentrados (BARBERO et al., 2021)

A alfafa (*M. sativa*) é uma forrageira leguminosa com alto valor nutricional e excelentes características agrônomicas, apresentando bons teores de proteína bruta e nutrientes digestíveis totais, boa palatabilidade e digestibilidade, além da capacidade de fixação biológica de nitrogênio no solo e baixa sazonalidade de produção (HERRMANN et al., 2018; ÁVILA et al., 2019).

Como a maioria das plantas domesticadas, a alfafa necessita de fatores climáticos e edáficos para maximizar seu potencial de produção forrageira, sendo uma forrageira perene, com até oito anos de cultivos sucessivos, principalmente em sistemas intensivos de pastejo e/ou cortes. Essa forrageira é considerada uma grande exportadora de nutrientes, exigindo solos profundos, férteis, bem drenados, sem impedimentos físicos e elementos tóxicos (alumínio e manganês), devendo receber atenção aos fertilizantes e corretivos agrícolas (HERRMANN et al., 2018; ÁVILA et al., 2019).

Há indicações nas pastagens brasileiras, de destaque no uso planejado de adubos como ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fonte de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente. O fósforo é elemento fundamental ao crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas com importante papel no processo de constituição de sementes (CABRAL et al., 2020).

O fósforo é tido como nutriente de baixa mobilidade no solo, essa característica é atribuída à sua adsorção na argila, sendo que esse elemento possui presença relevante nos solos tropicais que apresentam elevados teores de óxidos de ferro e de alumínio, pelos quais o P tem grande afinidade. De 5 a 25% do fósforo aplicado como fertilizante é aproveitado pelas culturas, fazendo-se necessária a aplicação de quantidades que, em geral, superam as extrações por essas culturas (TIMOFEEVA; GALYAMOVA; SEDYKH, 2022).

Em ocasiões, a solução obtida para manter uma boa produtividade tem sido a adição de fósforo no solo no modo de fertilizante fosfatado solúvel, o que ocasiona a formação de complexos insolúveis com os constituintes do solo, deixando apenas uma parte do nutriente disponível para o uso das plantas. Contudo, há a necessidade de aplicações desses fertilizantes que podem apresentar custos



elevados e causar danos ambientais. Desse modo, buscam-se o desenvolvimento e uso de tecnologias inovadoras eficientes embasadas na inoculação de microrganismos com atributos que irão contribuir para a obtenção de nutrientes para as plantas (KALAYU, 2019; TIMOFEEVA; GALYAMOVA; SEDYKH, 2022).

Uma estratégia é a inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF), aliados ou não a outros organismos benéficos, aumentando assim a taxa de crescimento das plantas (MENDES; REIS JÚNIOR, 2003). Verifica-se que tais microrganismos exercem função significativa no solo, contribuindo com a disponibilidade de fósforo para as plantas e, desse modo, a eficiência desses organismos com relação à solubilização de fosfatos é um fator a ser considerado.

A inoculação dos MSF e a manipulação de suas populações presentes no solo, estão sendo cada vez mais utilizadas para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados já que através de seus mecanismos solubilizadores provocam melhor rendimento dos fosfatos naturais existentes ou aplicados ao solo (MENDES; REIS JÚNIOR, 2003). Os microrganismos são essenciais na agricultura, pois possuem a capacidade de proporcionar transformações bioquímicas, deixando os nutrientes disponíveis às plantas.

Desta forma, os MSF fazem um importante papel na disponibilização em formas inorgânicas de fosfatos de baixa solubilidade, tais como fosfato de cálcio, fosfato de alumínio e fosfato de ferro, resultando em um maior teor de fósforo na solução e, aumentando o crescimento e rendimento das culturas (TIMOFEEVA; GALYAMOVA; SEDYKH, 2022). Além disso, estes microrganismos não causam danos ao ambiente e podem ser utilizados para suplementar fertilizantes minerais ou sintéticos (KALAYU, 2019; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2022).

Posteriormente, podem proporcionar o crescimento a partir da solubilização de fósforo, produção de fito-hormônios e enzimas contra patógenos que podem secundariamente aumentar a absorção de outros nutrientes e água. Resultados tem demonstrado que o uso de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato podem aumentar consideravelmente o fósforo disponível e a absorção pelas plantas (TIMOFEEVA; GALYAMOVA; SEDYKH, 2022).

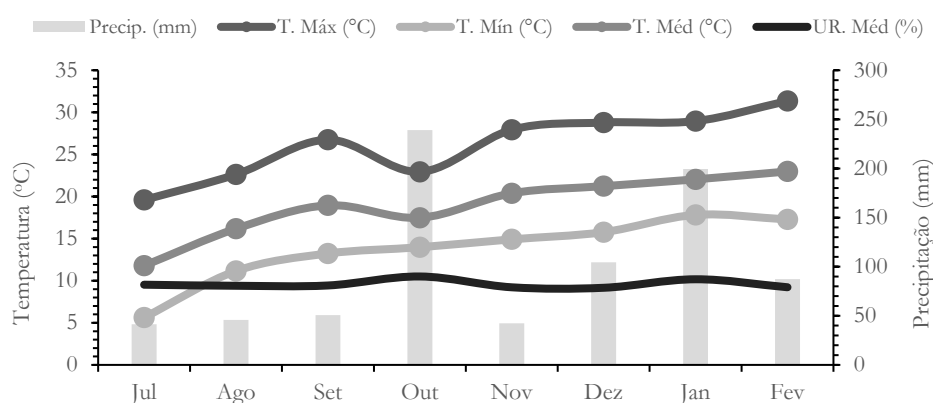
Tais microrganismos do solo podem agir diretamente na solubilização do fósforo ou na liberação de fosfatos solúveis no decorrer de sua ação quelante sobre os cátions (KALAYU, 2019).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato na produção forrageira e na concentração de fósforo na alfafa (*M. sativa*).

## 2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de Ponta Grossa, região centro-oriental do estado Paranaense, apresentando como coordenadas geográficas -25.1393 de latitude e -50.2796 de longitude, e 966 metros de altitude. O período de cultivo foi de 18 de julho de 2021 a 14 de fevereiro de 2022.

O clima da região é descrito como temperado do tipo Cfb, segundo classificação de Köppen e Geiger, com temperatura média anual de 17,8°C e pluviosidade média de 1554 mm ano<sup>-1</sup> (CRUZ, 2007; IDR-PARANÁ, 2024). Durante os meses de desenvolvimento do trabalho, o acumulado de chuvas na região foi de aproximadamente 810 mm, com distribuição irregular entre os meses conforme apresentado no Gráfico 1 (Fundação ABC, 2022).



**Gráfico 1** – Dados climatológicos para os meses de julho de 2021 a fevereiro de 2022 no município de Ponta Grossa, Paraná.

O trabalho foi conduzido em área previamente utilizada para pastagem, com cobertura de *Urochloa brizantha*. Anteriormente, na implantação da cultura, coletou-se amostra de solo da camada superior (0-20 cm), que apresentou as seguintes características químicas: 19,07 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica (M.O); 24,03 mg dm<sup>-3</sup> de P – Mehlich 1; 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 4,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 1,41 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 4,05 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> e 4,8 de pH em CaCl<sub>2</sub>; 60,89 % de Saturação por Bases (V%), 0,20 mg dm<sup>-3</sup> de B; 0,98 mg dm<sup>-3</sup> de Cu<sup>2+</sup>; 41 mg dm<sup>-3</sup> de Fe<sup>2+</sup>; 7,14 mg dm<sup>-3</sup> de Mn<sup>2+</sup> e 0,64 mg dm<sup>-3</sup> de Zn<sup>2+</sup>; possuindo também 228 g kg<sup>-1</sup> de argila; 48 g kg<sup>-1</sup> de silte e 724 g kg<sup>-1</sup> de areia em sua composição, sendo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (EMBRAPA, 2018).



A adubação com cloreto de potássio na dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ , foi dividida em duas aplicações (SBCS/NEPAR, 2017): a primeira na implantação e a segunda após o primeiro corte. Para a adubação nitrogenada utilizou-se ureia e sulfato de amônio na dose de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, também dividida em duas aplicações, a primeira 139 dias após a emergência (DAE) e a segunda 180 DAE.

O experimento teve início no dia 18/07/2021 com o plantio da alfafa (*Medicago sativa*), cultivar crioula, com semeadura a lanço de  $20 \text{ kg}$  de sementes  $\text{ha}^{-1}$ . O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As dimensões das parcelas foram de  $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ , totalizando  $2,25 \text{ m}^2$ , com  $0,5 \text{ m}$  de corredor entre as parcelas.

Os tratamentos utilizados foram: controle (somente adubação com K e N); inoculação; adubação com fonte solúvel de fósforo ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); adubação com fonte de baixa solubilidade de fósforo ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); inoculação + adubação com fonte solúvel de fósforo ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e inoculação + adubação com fonte de baixa solubilidade de fósforo ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Para a adubação fosfatada, realizada no momento da semeadura, utilizou-se superfosfato simples (21% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e fosfato natural de rocha (Fertipar®, 7% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , mínimo de 9% do teor total solúvel em ácido cítrico a 2% e granulometria de 85% das partículas passante em peneira de  $0,075 \text{ mm}$ ), fontes de alta e baixa solubilidade, respectivamente.

A inoculação das sementes com microrganismos solubilizadores de fósforo, foi realizada no dia anterior à semeadura. Foi utilizado inoculante comercial (Bioma Phos® - cepas *Bacillus subtilis* e *Bacillus magaterium* -  $4 \times 10^9$  células viáveis/ml) na dose de  $4 \text{ mL}$  do produto para cada quilograma de semente de alfafa.

A emergência das plantas iniciou três dias após a semeadura e aos 139 dias após a emergência realizou-se o corte de uniformização, quando as plantas apresentavam pelo menos 10% de florescimento (BIEZUS, 2013). O controle de plantas invasoras foi manual, através de capinas na área experimental.

Para estimar as produções de matéria natural (MN) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e matéria seca (MS) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), realizou-se o corte de uma área de  $0,25 \text{ m}^2$  por parcela, separando-se na sequência o material em folha e colmo (colmo + bainha); as amostras foram acondicionadas em saco de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a  $65^\circ\text{C}$  até atingir peso constante para determinação da MS. O primeiro e segundo cortes foram realizados aos 41 e 72 dias após o corte de uniformização, respectivamente, com auxílio de tesoura manual e a  $10 \text{ cm}$  do solo.

Anteriormente ao corte, coletou-se a altura de planta (cm), medindo com trena graduada em três pontos distintos de cada parcela a partir do nível do solo. A relação folha:colmo das gramíneas foi determinada pela razão entre matéria seca de lâminas foliares e de colmos (NERES et al., 2012). Após realizadas todas as coletas nas parcelas, procedeu-se à roçada completa da área a altura de  $10 \text{ cm}$ , utilizando roçadeira costal.

Para determinação do teor de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na parte aérea das plantas, uma amostra do material foi acondicionada em sacos de papel, e a determinação realizada pelo método colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade, sendo aplicado transformação logarítmica ( $\log [X+1]$ ) quando necessário. Em seguida foi realizada análise de variância (ANOVA) e as variáveis que apresentaram distribuição normal tiveram as médias comparadas pelo teste de Duncan, com 5% de significância. Já para as variáveis que não se ajustaram a normalidade (não paramétricas), o teste de comparação de médias utilizado foi o de Kruskal-Wallis (SAMPAIO, 2015).

### 3. Resultados

Na tabela 1 encontram-se as médias e os desvios-padrão da produção forrageira, com base na MN, da alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato. Não foram verificadas diferenças entre os tratamentos na produção de MN de colmo no primeiro corte, e de folha no segundo corte.

Observaram-se diferenças ( $p < 0,05$ ) na produção forrageira de folha e total no primeiro corte, e de colmo e total no segundo corte. Constatou-se que no primeiro corte a produção de folha foi semelhante entre os tratamentos com fonte de P de baixa solubilidade e fonte solúvel de P + inoculação, sendo este superior ( $p < 0,05$ ) aos demais.

No segundo corte, a produção de colmo foi maior ( $p < 0,05$ ) no tratamento com inoculação de MSF, sem diferença entre os demais tratamentos. Já para a produção total de MN, foram verificadas diferenças entre os tratamentos para os dois cortes, porém com diferenças nas respostas observadas.

A variabilidade nas respostas encontradas entre os cortes, não permitiu inferir a influência da inoculação com MSF na produção de forrageira da alfafa. Entretanto, pode-se especular que o baixo índice pluviométrico verificado no início do período experimental, somado a irregularidade na distribuição de chuvas durante o período (Gráfico 1), possam ter afetado as respostas observadas. Durante os meses de inverno, no início do cultivo, houve um baixo crescimento, indicando que esse comportamento esteja ligado à dormência, pois a diminuição do crescimento da alfafa em dias curtos é característica das variedades dormentes no inverno. No entanto, até o momento, não foi descrito na literatura essa condição na cultivar crioula. Cunningham et al. (2001) relataram que nem as bases fisiológicas desses mecanismos, nem a interação entre a fisiologia e ambiente estão ainda completamente esclarecidas na alfafa.

Na tabela 2, encontram-se as médias e desvios-padrão para a produção de MS da alfafa em função dos tratamentos. Os resultados mostram uma grande amplitude de produção forrageira entre os tratamentos e cortes, porém com valores inferiores aos relatados por Rassini et al. (2005) e Biezu (2013), que verificaram produções médias de  $1880,44$  e  $2017,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ , respectivamente, para diferentes regiões do estado do Paraná.



**Tabela 1** – Médias e desvios-padrão da produção forrageira (matéria natural) da alfafa cv. crioula em função de diferentes fontes de fósforo e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfatos.

	Matéria Natural (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Colmo	Folha	Total
1º Corte			
Controle	221,19 ± 185,88 <sup>a</sup>	318,21 ± 109,23 <sup>b</sup>	539,40 ± 136,19 <sup>bc</sup>
Inoculação MSF	224,16 ± 94,30 <sup>a</sup>	266,23 ± 96,47 <sup>b</sup>	490,39 ± 70,30 <sup>c</sup>
Fonte de P solúvel	244,87 ± 63,03 <sup>a</sup>	328,05 ± 30,35 <sup>b</sup>	572,92 ± 89,31 <sup>abc</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade	236,46 ± 53,59 <sup>a</sup>	466,58 ± 105,17 <sup>ab</sup>	703,04 ± 79,58 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel + inoculação MSF	242,65 ± 99,26 <sup>a</sup>	512,95 ± 95,75 <sup>a</sup>	755,60 ± 159,24 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade + inoculação MSF	288,98 ± 256,51 <sup>a</sup>	445,29 ± 208,33 <sup>b</sup>	734,27 ± 242,66 <sup>ab</sup>
2º Corte			
Controle	414,36 ± 67,89 <sup>b</sup>	496,14 ± 37,65 <sup>a</sup>	910,50 ± 91,09 <sup>b</sup>
Inoculação MSF	618,34 ± 34,57 <sup>a</sup>	722,90 ± 242,53 <sup>a</sup>	1341,24 ± 223,63 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel	426,44 ± 30,10 <sup>b</sup>	558,63 ± 159,95 <sup>a</sup>	985,07 ± 175,79 <sup>ab</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade	406,59 ± 124,02 <sup>b</sup>	496,80 ± 269,71 <sup>a</sup>	903,39 ± 367,75 <sup>ab</sup>
Fonte de P solúvel + inoculação MSF	538,41 ± 161,85 <sup>b</sup>	638,96 ± 238,76 <sup>a</sup>	1177,37 ± 377,25 <sup>ab</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade + inoculação MSF	345,79 ± 174,80 <sup>b</sup>	563,05 ± 128,02 <sup>a</sup>	908,84 ± 229,56 <sup>ab</sup>

OBS: Letras diferentes na mesma coluna e por corte, diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Duncan. MSF = microrganismos solubilizadores de fosfato; Fonte de P solúvel = superfosfato simples (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); Fonte de P de baixa solubilidade = fosfato natural de rocha (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Não foram observados ( $p > 0,05$ ) efeitos de tratamento para a produção de MS total nos cortes avaliados; além disso, a produção de MS de colmo no primeiro corte e de folha no segundo corte, também não foram influenciadas pela inoculação com MSF e/ou pelas fontes de adubação fosfatada utilizadas.

**Tabela 2** – Médias e desvios-padrão da matéria seca de alfafa cv. crioula em função de diferentes fontes de fósforo e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfatos.

	Matéria Seca (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Colmo	Folha	Total
1º Corte			
Controle	78,26 ± 45,71 <sup>a</sup>	123,87 ± 62,00 <sup>b</sup>	202,13 ± 106,14 <sup>a</sup>
Inoculação MSF	92,52 ± 48,23 <sup>a</sup>	107,51 ± 63,68 <sup>b</sup>	200,03 ± 85,46 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel	99,41 ± 40,35 <sup>a</sup>	183,69 ± 31,35 <sup>ab</sup>	283,10 ± 41,30 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade	105,93 ± 33,43 <sup>a</sup>	196,84 ± 77,87 <sup>b</sup>	302,77 ± 79,95 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel + inoculação MSF	131,81 ± 59,44 <sup>a</sup>	193,95 ± 79,70 <sup>ab</sup>	325,76 ± 129,17 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade + inoculação MSF	171,48 ± 100,89 <sup>a</sup>	258,92 ± 20,97 <sup>a</sup>	430,40 ± 121,36 <sup>a</sup>
2º Corte			
Controle	108,44 ± 41,55 <sup>b</sup>	176,36 ± 46,55 <sup>a</sup>	284,80 ± 86,33 <sup>a</sup>
Inoculação MSF	162,87 ± 22,94 <sup>a</sup>	224,57 ± 46,75 <sup>a</sup>	387,44 ± 56,82 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel	92,44 ± 3,86 <sup>b</sup>	178,43 ± 34,62 <sup>a</sup>	270,87 ± 35,56 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade	94,45 ± 36,40 <sup>b</sup>	160,52 ± 66,39 <sup>a</sup>	254,97 ± 95,69 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel + inoculação MSF	128,33 ± 44,22 <sup>b</sup>	215,61 ± 73,65 <sup>a</sup>	343,94 ± 109,61 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade + inoculação MSF	93,30 ± 39,20 <sup>b</sup>	145,43 ± 48,98 <sup>a</sup>	238,73 ± 83,09 <sup>a</sup>

OBS: Letras diferentes na mesma coluna e por corte, diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelos testes de Duncan e Kruskal-Wallis (matéria seca de colmo - 2º corte). MSF = microrganismos solubilizadores de fosfato; Fonte de P solúvel = superfosfato simples (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); Fonte de P de baixa solubilidade = fosfato natural de rocha (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

No primeiro corte, observou-se efeito de tratamento ( $p < 0,05$ ) apenas para a produção de MS de folhas, com a fonte de baixa solubilidade + inoculação apresentando produção semelhante aos tratamentos com fonte solúvel de P e com fonte solúvel + inoculação com MSF, porém superior aos demais.

Coefficientes não eficientes de utilização biológica observados em plantas recebendo doses elevadas de fósforo sinalizam faixa de absorção de luxúria, pois a absorção superior do nutriente, nas maiores doses aplicadas, não proporcionou maior produção de matéria seca (FONSECA et al., 2000), o que corrobora os achados deste estudo, onde o teor inicial de fósforo no solo já se encontrava em nível satisfatório (24,03 mg dm<sup>-3</sup>).

Nas plantas, o fósforo possui papel importante na formação de trifosfato de adenosina (ATP), sendo a principal fonte de energia para a realização de processos como a fotossíntese, divisão celular, transporte de assimilados e carga genética, contribuindo para o





acúmulo de MS (ALCÂNTARA NETO et al., 2010). Já no segundo corte, apenas a produção de MS de colmo variou entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), onde o tratamento com inoculação com MSF apresentou maior acúmulo de colmo que os demais.

Outro fator a ser considerado é a textura do solo no local de desenvolvimento do trabalho, já que solos arenosos com 70% de areia, possuem maior concentração de fósforo lábil, o que pode ter influenciado as respostas observadas. De acordo Kamprath e Watson (1980), uma maior concentração de fósforo em solução, em solos arenosos, está associada a baixos valores de capacidade de adsorção de fosfato (atribuída aos baixos teores de óxidos de ferro e alumínio), permitindo desta forma, manter níveis mais elevados de fósforo em solução (maior disponibilidade de P para as plantas).

Além disso, observou-se que essa característica foi encontrada em outros trabalhos. Embora os teores de fósforo disponíveis sejam altos, com a adubação o solo fica saturado em fósforo, o que pode causar redução da dose nos cultivos sucessíveis. Assim, não é necessária uma incrementação de tal nutriente ao solo em cada cultivo para se obter a mesma produtividade de matéria seca (CARNEIRO et al., 2011).

Na tabela 3, encontram-se as médias e os desvios-padrão da relação folha:colmo e da altura de plantas da alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato. Constatou-se ausência de efeito de tratamento para a relação folha:colmo nos dois cortes avaliados.

A relação folha:colmo constitui importante característica na qualidade de materiais forrageiros (PEREIRA et al., 2000), uma vez que uma maior proporção de folhas pode evidenciar material de melhor degradação ruminal.

Segundo Sbrissia e Da Silva (2001), a relação folha:colmo tem relevância em grau variável, dependendo da espécie forrageira, sendo menor em espécies de colmo tenro e de menor lignificação, como na alfafa. Pode ser utilizada como indicativo qualitativo, inferindo no valor nutritivo, pois representa uma boa digestibilidade, além de facilitar o pastejo pelo animal (WILSON, 1982).

Em relação à altura de plantas, verificou-se que a alfafa apresentou comportamento distinto entre os cortes realizados. No primeiro corte o tratamento de inoculação com MSF a altura de plantas foi maior ( $p < 0,05$ ) que nos tratamentos em que a suplementação de fósforo ocorreu por fontes de alta e baixa solubilidade; para os demais tratamentos não foram verificadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre as alturas da alfafa no momento do corte.

A alta concentração de fósforo na área em que o experimento foi realizado pode ajudar a explicar os resultados encontrados.

Dentre os fatores que influenciam o valor nutritivo da planta forrageira, destacam-se a disponibilidade e presença dos nutrientes no solo e suas interações (RIBEIRO; GOMIDE; PACIULLO, 1999). Como a concentração de fósforo no solo já se encontrava em níveis satisfatórios, a adição de mais fósforo através de fontes suplementares e/ou a inoculação com MSF não afetou o teor de fósforo na MS da parte aérea da alfafa.

Sarmento, Corsi e Campos (2002) evidenciaram interação entre os vários cortes e doses de fósforo na planta, sugerindo absorção gradual do nutriente.

**Tabela 3** – Médias e desvios-padrão da relação folha: colmo e da altura de plantas da alfafa em função de diferentes fontes de fósforo e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfatos.

	Folha: Colmo		Altura (cm)	
	1º Corte*	2º Corte	1º Corte	2º Corte
Controle	1,63 ± 0,43 <sup>a</sup>	1,67 ± 0,25 <sup>a</sup>	30,47 ± 4,70 <sup>ab</sup>	29,80 ± 0,90 <sup>a</sup>
Inoculação MSF	1,34 ± 0,66 <sup>a</sup>	1,39 ± 0,30 <sup>a</sup>	30,82 ± 2,28 <sup>a</sup>	30,33 ± 0,35 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel	2,36 ± 1,78 <sup>a</sup>	1,93 ± 0,38 <sup>a</sup>	28,26 ± 6,42 <sup>b</sup>	27,65 ± 4,74 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade	2,00 ± 1,09 <sup>a</sup>	1,75 ± 0,42 <sup>a</sup>	25,49 ± 5,79 <sup>b</sup>	26,93 ± 7,72 <sup>b</sup>
Fonte de P solúvel + inoculação MSF	1,54 ± 0,38 <sup>a</sup>	1,71 ± 0,45 <sup>a</sup>	27,63 ± 1,81 <sup>ab</sup>	27,62 ± 2,11 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade + inoculação MSF	2,13 ± 1,60 <sup>a</sup>	1,60 ± 0,36 <sup>a</sup>	26,38 ± 3,04 <sup>ab</sup>	30,05 ± 2,33 <sup>a</sup>

OBS: Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelos testes de Duncan e Kruskal-Wallis\*. MSF = microrganismos solubilizadores de fosfato; Fonte de P solúvel = superfosfato simples (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); Fonte de P de baixa solubilidade = fosfato natural de rocha (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Como verificado no Gráfico 1, as oscilações na temperatura podem ter colaborado para os efeitos no crescimento da alfafa. Este resultado se assemelha aos obtidos por Leach (1971), que estudando o efeito da temperatura no crescimento de alfafa, observou crescimento inicial mais rápido em plantas cultivadas no ambiente com maior temperatura, podendo justificar as diferenças no primeiro corte onde observamos temperatura mais baixa.

Na tabela 4, encontram-se as médias do teor de fósforo na MS da parte aérea da alfafa. Não foram verificados efeitos de tratamento ( $p > 0,05$ ) na disponibilidade de fósforo na parte aérea da alfafa, indicando ausência de efeito diferenciado da inoculação com MSF na concentração de fósforo na planta.

De maneira geral, como constatado no presente trabalho, a não verificação de efeitos considerados sobre os níveis de P seria um indicativo que o presente já teria sido suficiente para permitir às plantas a expressão dos seus potenciais de produção (FONSECA et al., 2000).



**Tabela 4** – Médias e desvios-padrão do teor de fósforo na matéria seca da parte aérea da alfafa em função de diferentes fontes de fósforo e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfatos.

	Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	
	1º Corte	2º Corte
Controle	2,92 ± 0,30 <sup>a</sup>	2,51 ± 0,68 <sup>a</sup>
Inoculação MSF	2,69 ± 0,46 <sup>a</sup>	2,56 ± 0,60 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel	2,87 ± 0,24 <sup>a</sup>	2,72 ± 0,47 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade	2,61 ± 0,12 <sup>a</sup>	2,65 ± 0,36 <sup>a</sup>
Fonte de P solúvel + inoculação MSF	3,12 ± 0,99 <sup>a</sup>	3,09 ± 0,91 <sup>a</sup>
Fonte de P de baixa solubilidade + inoculação MSF	2,59 ± 0,37 <sup>a</sup>	2,80 ± 0,64 <sup>a</sup>

OBS: Letras semelhantes na mesma coluna e por corte, não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Duncan. MSF = microrganismos solubilizadores de fosfato; Fonte de P solúvel = superfosfato simples (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); Fonte de P de baixa solubilidade = fosfato natural de rocha (150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Deste modo, é necessário acompanhar a análise de solo, verificando suas características para determinar a necessidade de utilização de microrganismos solubilizadores de fosfato.

#### 4. Conclusão

Nas condições de execução do experimento, a variabilidade nas respostas encontradas entre os cortes, não permite inferir a influência da inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato na produção forrageira da alfafa.

Os níveis de fósforo na parte aérea da alfafa não sofreram influência da inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato.

#### 5. Referências

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. *Beef Report 2022 – Perfil da Pecuária no Brasil*. Disponível em: [https://abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report-2022\\_atualizado\\_jun2022.pdf](https://abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report-2022_atualizado_jun2022.pdf). Acesso em: 17 out. 2023.
- ALCÂNTARA NETO, F.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microregião do Alto Médio Gurguéia. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 2 p. 266-271, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/JqhdxrjgVRYxtpnGhsDfNR/h/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2021.
- ÁVILA, K. M. S.; ÁVILA, M. R.; DALL'AGNOL, M.; SCHNEIDER-CANNY, R.; PEREIRA, E. Seleção por meio de marcador morfológico em populações de Alfafa para aptidão ao pastejo. *Revista Científica Agropampa*, v. 1, n. 1, p. 93-102, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/Agropampa/article/view/509>. Acesso em: 20 out. 2023.
- BARBERO, R. P.; RIBEIRO, A. C. C.; MOURA, A. M.; LONGHINI, V. Z.; MATTOS, T. F. A.; BARBERO, M. M. D. Potencial de produção de bovinos de corte em pastagens tropicais: revisão de literatura. *Ciência Animal Brasileira*, v. 22, e-69609, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609>. Acesso em: 13 out. 2023.
- BIEZUS, V. *Produção de forragem de alfafa sob doses de adubação potássica*. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2013. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/753/1/PB\\_PPGAG\\_M\\_Biezus%2C%20Vanessa\\_2013.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/753/1/PB_PPGAG_M_Biezus%2C%20Vanessa_2013.pdf). Acesso em: 11 nov. 2021.
- CABRAL F. L.; BASTOS, A. V. S.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E. C.; SOARES, F. A. L.; SANTOS, L. N. S. Níveis de fertilização de fósforo mineral e organomineral na cultura do milho. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 36414-36426, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/11486/9583>. Acesso em: 11 nov. 2021.
- CARNEIRO, L. F.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, J. Z. L.; CURTI, N.; REIS, T. H. P.; VALLE, L. A. R. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um latossolo com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 483-491, 2011.
- CRUZ, G. C. F. Alguns aspectos do clima dos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G.B. *Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná*. Ponta Grossa, PR: Editora UEPG, 2007. p. 59-72.
- CUNNINGHAM, S. M.; GANA, J. A.; VOLENEC, J. J.; TEUBER, L. R. Winter hardiness, root physiology, and gene expression in successive fall dormancy selections from 'Mesilla' and 'CUF 101' alfalfa. *Crop Science*, v. 41, p. 1091-1098, 2001. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4141091x>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ V., V. H.; SILVA, A. P. R. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Absorção, utilização e níveis críticos internos de fósforo e perfilhamento em *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 26, n. 6, p. 1918-1929, 2000. Disponível em:



- <https://www.sbz.org.br/revista/artigos/2648.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.
- FUNDAÇÃO ABC. *Dados Agrometeorológicos do município de Ponta Grossa, PR*. Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, Setor De Agrometeorologia, 2022.
- HERRMANN, D.; FLAJOULOT, S.; BARRE, P.; HUYGHE, C.; RONFORT, J.; JULIER, B. Comparison of morphological traits and molecular markers to analyse diversity and structure of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v. 65, p. 527-540, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10722-017-0551-z>. Acesso em: 20 out. 2023.
- IDR-PARANÁ – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ. Dados meteorológicos históricos e atuais. [internet]. [https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Ponta\\_Grossa.pdf](https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Ponta_Grossa.pdf). Acesso em: 26 abr. 2024.
- KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, ID 4917256, 7 p., 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>. Acesso em: 18 out. 2023.
- KAMPRATH, E. J.; WATSON, M. E. Conventional soil tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, E. E., SAMPLE, E. C., KAMPRATH, E. J. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1980. p. 433-469.
- LEACH, G. J. The relation between lucerne shoot growth and temperature. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 22, n. 1, p. 49-59, 1971.
- MALAFIA, P.; CANELLA FILHO, C. F. C. Visão crítica dos artigos publicados no Brasil sobre a nutrição de bovinos e bubalinos terminados em confinamento ou a pasto, recebendo ou não suplementos proteico-energéticos. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 17, n. 2, 2019. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v17i2.6153.g10951837>. Acesso em: 17 out. 2023.
- MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. *Microorganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica*. (Documento 85). Planaltina: EMBRAPA CERRADOS, 2003.
- NERES, M. A.; CASTAGNARA, D. D.; SILVA, F. B.; OLIVEIRA, P. S. R.; MESQUITA, E. E.; BERNARDI, T. C.; GUARIANTI, A. J.; VOGT, A. S. L. Características produtivas, estruturais e bromatológicas dos capins Tifton e Piatã e do feijão-guandu cv. Super N, em cultivo singular ou em associação. *Ciência Rural*, v. 42, n. 5, p. 862-869, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000500017>. Acesso em: 09 dez. 2021.
- OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Microorganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. *Bioinsumos na cultura da soja*. Brasília, DF: EMBRAPA, 2022. p. 163-179.
- PEREIRA, A.V.; FERREIRA, R. P.; PASSOS, L. P.; FREITAS, V. P.; VERNEQUE, R. S.; BARRA, R. B.; SILVA, C. H. P. Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-elefante x milheto (*P. purpureum* x *P. glaucum*), em função da idade da planta. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 24, n. 2, p. 490-499, 2000.
- RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P.; BARIONI JUNIOR, W.; RANDO, E. M.; VILELA, D. Cultivares de alfafa para o norte do estado do Paraná. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: SBZ, 2005. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/47157/1/PROCIJBR2005.00078.PDF>. Acesso em: 26 abr. 2024.
- RIBEIRO, K. G.; GOMIDE, J. A.; PACIULLO, D. S. C. Adubação nitrogenada do capim-elefante cv. Mott. 2. valor nutritivo ao atingir 80 e 120 cm de altura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28, n. 6, p. 1194-1202, 1999. Disponível em: <https://www.sbz.org.br/revista/artigos/2320.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- SAMPAIO, I. B. M. *Estatística aplicada à experimentação animal*. 4.ed. Belo Horizonte: FEP-MVZ, 2015.
- SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F. P. Dinâmica do surgimento de brotos de alfafa em função de diferentes fontes de fósforo, da aplicação de gesso e do momento de calagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 2, p. 1103-1116, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000500006>. Acesso em: 25 out. 2021.
- SBRÍSSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba, SP. Anais... Piracicaba: SBZ, 2001, p. 731-754.
- SBSCS/NEPAR - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO / NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ. *Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná*. Curitiba, PR: SBSCS/NEPAR, 2017.
- TIMOFEEVA, A.; GALYAMOVA, M.; SEDYKH, S. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. *Plants (Basel)*, n. 11, v. 16, 2119, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11162119>. Acesso em: 19 out. 2023.
- WILSON, J. R. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: Hacker, J. B. *Nutritional limits to animal production from pastures*. Farnham Royal, UK: CAB, 1982. p. 111-131.