



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL (UFFS)

CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL

CURSO AGRONOMIA

JENIFER NUNES

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

LARANJEIRAS DO SUL-PR

2022

JENIFER NUNES

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

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
Bacharel em Agronomia com ênfase em Agroecologia da
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Professor Dr. Juliano Cesar Dias

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Nunes, Jenifer
PRODUÇÃO FORRAGEIRA E FÓSFORO NA PARTE AÉREA DA
ALFAFA (Medicago sativa) INOCULADA COM BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO / Jenifer Nunes. -- 2022.
28 f.:il.

Orientador: DOUTOR Juliano César Dias
Co-orientador: DOUTOR José Francisco Grillo
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, , 2022.

1. PRODUÇÃO FORRAGEIRA E FÓSFORO NA PARTE AÉREA DA
ALFAFA (Medicago sativa) INOCULADA COM BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO. I. Dias, Juliano César,
orient. II. Grillo, José Francisco, co-orient. III.
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JENIFER NUNES

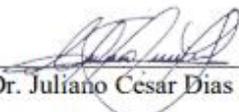
PRODUÇÃO FORRAGEIRA E FÓSFORO NA PARTE AÉREA DA ALFAFA (*Medicago sativa*) INOCULADA COM BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia linha de formação em Agroecologia pela Universidade Federal da Fronteira Sul- Campus Laranjeiras do Sul (PR).

Orientador: Prof. Dr. Juliano Cesar Dias.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

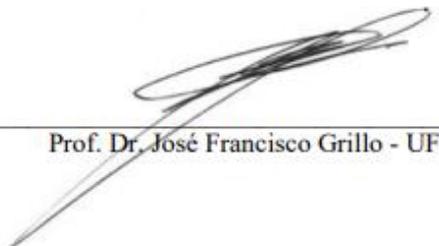
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Juliano Cesar Dias - UFFS



Prof. Dr. Henrique von Hertwig Bittencourt - UFFS



Prof. Dr. José Francisco Grillo - UFFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir chegar até aqui.

A minha querida e amada Mãe, por todo apoio e incentivo para nunca desistir.

Aos meus bons amigos, Nathalia Leal, Família Belo, Kamila Pereira, Gustavo Guimarães, Lucas Matheus e aos colegas que se fizeram presentes de alguma forma.

Ao meu querido namorado Eduardo, por me incentivar, apoiar e sempre estar presente em todas as etapas.

Ao meu querido orientador Dr. Juliano Cesar Dias, por toda a compreensão, ajuda e ensinamentos.

Ao professor Dr. José Francisco Grillo, por todas as contribuições e ensinamentos.

Aos professores que durante a graduação, com seus ensinamentos permitiram que eu concluísse essa etapa.

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

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato sobre a produção forrageira e disponibilidade de fósforo na alfafa (*Medicago sativa*). O experimento foi conduzido de julho/2021 a fevereiro/2022, utilizando-se um delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC), com 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 unidades experimentais (parcelas). Os tratamentos utilizados foram: 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. Os resultados obtidos da análise estatística demonstraram que massa seca total, relação folha/colmo, e teor de P (1º e 2º cortes) não foram influenciadas significativamente pelos tratamentos testados. 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 sofrem influência da inoculação com microrganismo solubilizador de fosfato.

Palavras-chave: biosolubilidade; microrganismo; nutrientes; pastagem.

FORAGE PRODUCTION AND PHOSPHORUS IN THE AERIAL PART OF ALFAFA (*Medicago sativa*) INOCULATED WITH PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria on forage production and phosphorus availability in alfalfa (*Medicago sativa*). The experiment was conducted from July/2021 to February/2022, using a randomized block experimental design (DBC), with 6 treatments and 4 repetitions, totaling 24 experimental units (plots). The treatments used were: control (base fertilization); inoculation; fertilization with soluble phosphorus source; fertilization with low solubility phosphorus source; inoculation + fertilization with soluble phosphorus source and inoculation + fertilization with low solubility phosphorus source. The results of the statistical analysis showed that total dry mass, leaf/stalk ratio, and P content (1st and 2nd cuts) were not significantly influenced by the treatments tested. As for the variables natural matter of stalk and leaf, height and dry matter of stalk and leaf, there was an effect of treatment ($p < 0.05$), but with variability between the cuts evaluated. The variability in the responses found between cuts does not allow us to infer the influence of inoculation with phosphate solubilizing microorganisms on the forage production of alfalfa. The levels of phosphorus in the aerial part of alfalfa are not influenced by inoculation with phosphate solubilizing microorganisms.

Keywords: biosolubility; microorganisms; nutrients; grazing.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Coleta de solo para análise em área experimental da cultura de alfafa..... 11
- Figura 2** – Fontes de fósforo utilizadas em experimentação com a cultura da alfafa (A = fosfato natural; B = super fosfato simples)..... 12
- Figura 3** – Preparação de área experimental (A) e emergência de plântulas (B) de alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato..... 12
- Figura 4** – Secagem de parte aérea de alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato, em estufa de ventilação forçada..... 13
- Figura 5** – Medição de altura de corte em relação ao solo (A) e de altura da planta (B) na cultura de alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato..... 14

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Médias e desvios-padrão da produção forrageira (matéria natural) em função de diferentes fontes e bactérias solubilizadoras de fosfatos.....15
- Tabela 2** – Médias e desvios-padrão da matéria seca de alfafa cv. crioula em função de diferentes fontes e bactérias solubilizadoras de fosfatos.....16
- Tabela 3** – Médias e desvios-padrão da relação folha: colmo e da altura de corte da alfafa em função de diferentes fontes e bactérias solubilizadoras de fosfatos.....18
- Tabela 4** – Médias e desvios-padrão do teor de fósforo na matéria seca da parte aérea da alfafa em função de diferentes fontes e bactérias solubilizadoras de fosfatos.....19

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS	9
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4 CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

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 95% do rebanho bovino seja criado a pasto (FERRAZ; FELÍCIO, 2010), principalmente pelo baixo custo de produção. 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.

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma forrageira com origem na Ásia Central e Sudoeste da Ásia ou Oriente Próximo (Irã, Iraque, Síria, Turquia e Afeganistão), de onde foi levada para a Europa e Américas (MONTEIRO, 1999). Sua adaptação a variados tipos de clima e solo tornou possível seu cultivo na maioria das regiões agrícolas do mundo, sendo a primeira forrageira domesticada (RASSINI; FERREIRA; MOREIRA, 1998).

Estima-se que no Brasil a alfafa seja cultivada em aproximadamente 26.000 hectares, onde 200.000.000 há são destinados a pastagens, a alfafa corresponde a 0,013%, sendo Rio Grande do Sul e Paraná os estados mais produtores. Entretanto, a área de produção nas regiões não tradicionais de cultivo vem aumentando, principalmente no Sudeste e Centro-Oeste do país (PEREIRA; FERREIRA, 2008), devido à concentração da bovinocultura nestas regiões (RASSINI; FERREIRA; CAMARGO, 2007).

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 (PEREIRA; FERREIRA, 2008)

A alfafa é uma forrageira leguminosa com alto valor nutricional e excelentes características agronômicas, com 22 a 25% de proteína bruta e 60% de nutrientes digestíveis totais, apresentando boa palatabilidade e digestibilidade, além da capacidade de fixação biológica de nitrogênio no solo e baixa sazonalidade de produção (RASSINI; FERREIRA; CAMARGO, 2007). O potencial de produção de matéria seca da alfafa situa-se em torno de 25 toneladas/hectare/ano, porém, esse potencial não é atingido na maioria das condições de cultivo por não atendimento das necessidades da planta (FONTES et al., 1993).

Como a maioria das plantas domesticadas, a alfafa necessita de fatores climáticos e edáficos para maximizar seu potencial de produção forrageiro, 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 com pH 6,5, bem drenados, sem impedimentos físicos e elementos tóxicos (alumínio e manganês), devendo receber atenção aos fertilizantes e corretivos agrícolas (RASSINI; FERREIRA; MOREIRA, 1998).

Há indicações nas pastagens brasileiras, de sucessos no uso planejado de adubos como ureia, super fosfato 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 (LEÃO, 2006).

O fósforo é tido como nutriente de baixa mobilidade no solo, essa característica é atribuída à sua “fixação” em minerais da argila, 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 acordo com Lopes et al. (2004), geralmente, acredita-se que de 20% a 30% do fósforo aplicado como fertilizante é aproveitado pelas culturas anuais em solos tropicais, fazendo-se necessária a aplicação de quantidades que, em geral, evoluem as extrações dessas culturas.

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 (NOVAIS; SMYTH, 1999). 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 (RICHARDSON et al., 2001).

Uma estratégia seria 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 utilizados como maneira de 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 dos nutrientes, deixando-os disponíveis às plantas.

Desta forma, os MSF fazem um importante papel na disponibilização em formas inorgânicas de fosfatos de baixa solubilidade fosfato de cálcio, fosfato de alumínio e fosfato de ferro, originando o teor de fósforo na solução, aumentando o crescimento e maior rendimento das culturas (RODRIGUES et al., 2006). Além disso, estes microrganismos não causam danos ao ambiente e podem ser utilizados para suplementar fertilizantes químicos sintéticos (KALAYU, 2019; OLIVEIRA et al., 2020).

Posteriormente, podem proporcionar o crescimento a partir da solubilização de fósforo, produz fito-hormônios e enzimas contra patógenos que podem secundariamente aumentar a absorção de outros nutrientes e água. Muitos estudos têm demonstrado que o uso de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato aumentam consideravelmente o fósforo disponível e a absorção pelas plantas (RICHARDSON et al., 2009).

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). Tal capacidade foi mostrada em diversos estudos de validação em escala de bancada (RICHARDSON et al., 2009) que acarretaram o desenvolvimento de inoculantes com microrganismos solubilizadores de fosfatos, com resultados positivos.

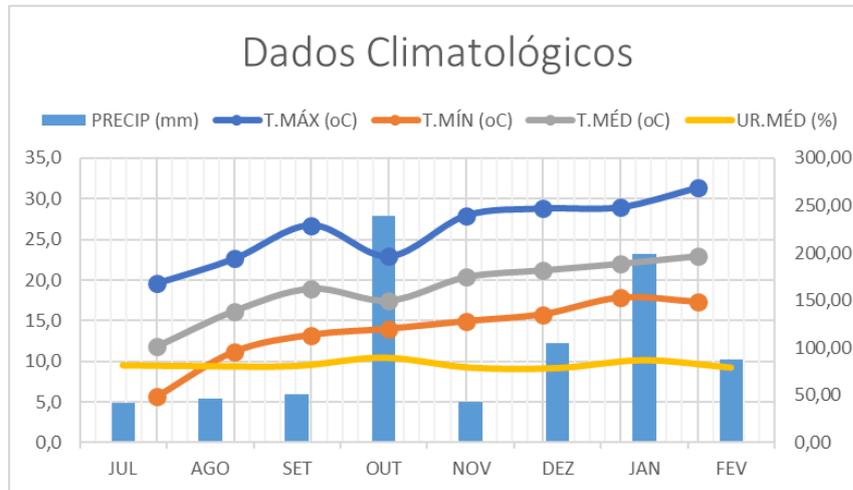
Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato na produção forrageira e disponibilidade de fósforo na alfafa (*Medicago sativa*).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em propriedade particular localizada no município de Ponta Grossa, próximo ao Rio Tibagi, na estrada José Kalinoski, nas dependências da chácara Santa Luzia, 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 18,3°C e pluviosidade média de 1505 mm/ano. Durante os meses de desenvolvimento do trabalho, o acumulado de chuvas na região foi de aproximadamente 810 mm, com distribuição irregular entre os meses (Gráfico 1).

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



Fonte: Fundação ABC (2022).

Anteriormente, na implantação da cultura coletou-se amostra de solo da superfície superior (0-20 cm) (Figura 1), que apresentou as seguintes características químicas: 19,07 g dm⁻³ de matéria orgânica (M.O); 24,03 mg dm⁻³ de P; 0,2 cmol_c dm⁻³ de K⁺ ; 4,7 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 1,41 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 4,05 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺ e 4,8 de pH em CaCl₂ ; 6,31 cmol_c dm⁻³ de Soma de Bases (SB); 10,36 cmol_c dm⁻³ de Capacidade de Troca Catiônica (CTC); 60,89 % de Saturação por Bases (V%), 0,20 mg dm⁻³ de B; 0,98 mg dm⁻³ de Cu²⁺; 41 mg dm⁻³ de Fe²⁺; 7,14 mg dm⁻³ de Mn²⁺ e 0,64 mg dm⁻³ de Zn²⁺; possuindo também 228 g kg⁻¹ de argila; 48 g kg⁻¹ de silte e 724 g kg⁻¹ de areia em sua composição, sendo classificado como textura média (EMBRAPA, 2018).

Figura 1 – Coleta de solo para análise em área experimental da cultura de alfafa



Fonte: Elaborada pela autora.

A adubação de base foi realizada com cloreto de potássio (60% K_2O) na dose de 150 kg ha^{-1} , dividido 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 amônia na dose de 50 kg ha^{-1} de N, também dividida em duas aplicações, a primeira 139 dias após a emergência (DAE) e a segunda 180 DAE, de acordo com análise de solo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), com 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos utilizados foram: controle (adubação de base); inoculação; adubação com fonte solúvel de fósforo (150 kg ha^{-1} de P_2O_5); adubação com fonte de baixa solubilidade de fósforo (150 kg de ha^{-1} P_2O_5); inoculação + adubação com fonte solúvel de fósforo (150 kg de ha^{-1} P_2O_5) e inoculação + adubação com fonte de baixa solubilidade de fósforo (150 kg ha^{-1} de P_2O_5) (Figura 2).

Figura 2 – Fontes de fósforo utilizadas em experimentação com a cultura da alfafa (A = fosfato natural; B = super fosfato simples)



Fonte: Elaborada pela autora.

As dimensões das parcelas foram de 1,5 x 1,5 m, totalizando 2,25 m², com 0,5 m de corredor entre as parcelas para evitar contaminação entre as mesmas e facilitar o manejo. A área experimental teve um dimensionamento total de 7,5 m x 11,5 m (86,25 m²) (Figura 3).

Figura 3 – Preparação de área experimental (A) e emergência de plântulas (B) de alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato



Fonte: Elaborada pela autora.

O experimento teve início no dia 18/07/2021 com a implantação da alfafa (*Medicago sativa*), variedade crioula, com semeadura a lanço de 20 kg de sementes ha⁻¹. Para a adubação fosfatada, realizada em 18/07/2021, utilizou-se superfosfato simples (21% de P₂O₅) e fosfato natural reativo (7% de P₂O₅), fontes de alta e baixa solubilidade, respectivamente.

Para a inoculação das sementes com microrganismos solubilizadores de fósforo, realizada no dia anterior ao plantio, foi utilizado inoculante comercial (Bioma Phos - cepas

Bacillus subtilis e *Bacillus magaterium* - 4×10^9 células viáveis/ml) na dose de 4mL do produto para cada quilograma de semente de alfafa.

A emergência iniciou três dias após a semeadura (Figura 3B) e aos 139 DAE (04/12/2021) 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.

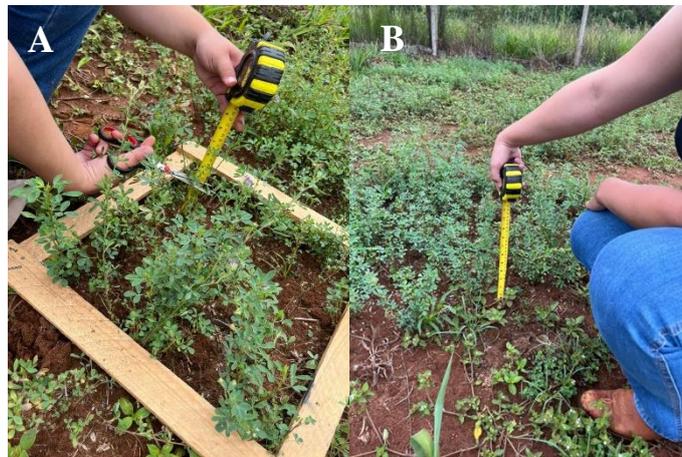
Para estimar a produção de matéria seca (MS), realizou-se o corte de uma área de 0,25 m² por parcela, separando-se na sequência o material em folha e colmo (colmo + bainha); as amostras foram condicionadas em saco de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante (Figura 4). O primeiro e segundo cortes foram realizados aos 41 e 72 dias após o corte de uniformização, respectivamente, com auxílio de tesoura manual e resíduo de 10 cm do solo (Figura 5A).

Figura 4 – Secagem de parte aérea de alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato, em estufa de ventilação forçada



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5 – Medição de altura de corte em relação ao solo (A) e de altura da planta (B) na cultura de alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato



Fonte: Elaborada pela autora.

Anteriormente ao corte, coletou-se a altura do dossel forrageiro, medindo com trena graduada em três pontos distintos de cada parcela a partir do nível do solo (Figura 5B). A relação folha:colmo das gramíneas foi determinada pela razão entre os pesos secos 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 10,0 cm, utilizando roçadeira costal.

Para determinação do teor de fósforo na parte aérea das plantas, uma amostra do material foi acondicionada em sacos de papel, e a determinação realizada pelo método colorímetro.

As variáveis foram submetidas ao teste de normalidade, sendo aplicado transformação logarítmica ($\log [X+1]$) quando necessário.

Os dados foram submetidos a 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 relação folha:colmo (1º corte) e matéria seca do colmo (2º corte), por não se ajustarem a normalidade (não paramétricas), o teste de comparação de médias utilizado foi o de Kruskal-Wallis (SAMPAIO, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Tabela 1 – Médias e desvios-padrão da produção forrageira (matéria natural) em função de diferentes fontes e bactérias solubilizadoras de fosfatos

	Matéria Natural (kg ha ⁻¹)		
	Colmo	Folha	Total
	1º Corte		
Controle	221,19 ± 185,88 ^a	318,21 ± 109,23 ^b	539,40 ± 136,19 ^{bc}
Inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato	224,16 ± 94,30 ^a	266,23 ± 96,47 ^b	490,39 ± 70,30 ^c
Fonte solúvel de P ₂ O ₅	244,87 ± 63,03 ^a	328,05 ± 30,35 ^b	572,92 ± 89,31 ^{abc}
Fonte de P ₂ O ₅ de baixa solubilidade	236,46 ± 53,59 ^a	466,58 ± 105,17 ^{ab}	703,04 ± 79,58 ^a
Fonte solúvel de P ₂ O ₅ + inoculação	242,65 ± 99,26 ^a	512,95 ± 95,75 ^a	755,60 ± 159,24 ^a
Fonte de baixa solubilidade + inoculação.	288,98 ± 256,51 ^a	445,29 ± 208,33 ^b	734,27 ± 242,66 ^{ab}
2º Corte			
Controle	414,36 ± 67,89 ^b	496,14 ± 37,65 ^a	910,50 ± 91,09 ^b
Inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato	618,34 ± 34,57 ^a	722,90 ± 242,53 ^a	1341,24 ± 223,63 ^a
Fonte solúvel de P ₂ O ₅	426,44 ± 30,10 ^b	558,63 ± 159,95 ^a	985,07 ± 175,79 ^{ab}
Fonte de P ₂ O ₅ de baixa solubilidade	406,59 ± 124,02 ^b	496,80 ± 269,71 ^a	903,39 ± 367,75 ^{ab}
Fonte solúvel de P ₂ O ₅ + inoculação	538,41 ± 161,85 ^b	638,96 ± 238,76 ^a	1177,37 ± 377,25 ^{ab}
Fonte de baixa solubilidade + inoculação.	345,79 ± 174,80 ^b	563,05 ± 128,02 ^a	908,84 ± 229,56 ^{ab}

OBS: Letras diferentes na mesma coluna e por corte, diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan.

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 P₂O₅ de baixa solubilidade e fonte solúvel de P₂O₅ + 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 matéria natural, 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 permite 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 as bases fisiológicas desses mecanismos nem a interação entre a fisiologia e ambiente estão ainda completamente esclarecidas em alfafa.

Na tabela 2, encontram-se as médias e desvios-padrão para a produção de matéria seca da alfafa sob inoculação de MSF. 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 pela adubação fosfatada.

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

	Matéria Seca (kg ha ⁻¹)		
	Colmo	Folha	Total
	1° Corte		
Controle	78,26 ± 45,71	123,87 ± 62,00 ^b	202,13 ± 106,14
Inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato	92,52 ± 48,23	107,51 ± 63,68 ^b	200,03 ± 85,46
Fonte solúvel de P ₂ O ₅	99,41 ± 40,35	183,69 ± 31,35 ^{ab}	283,10 ± 41,30
Fonte de P ₂ O ₅ de baixa solubilidade	105,93 ± 33,43	196,84 ± 77,87 ^b	302,77 ± 79,95
Fonte solúvel de P ₂ O ₅ + inoculação	131,81 ± 59,44	193,95 ± 79,70 ^{ab}	325,76 ± 129,17
Fonte de baixa solubilidade + inoculação.	171,48 ± 100,89	258,92 ± 20,97 ^a	430,40 ± 121,36
2° Corte			
Controle	108,44 ± 41,55 ^b	176,36 ± 46,55	284,80 ± 86,33
Inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato	162,87 ± 22,94 ^a	224,57 ± 46,75	387,44 ± 56,82
Fonte solúvel de P ₂ O ₅	92,44 ± 3,86 ^b	178,43 ± 34,62	270,87 ± 35,56
Fonte de P ₂ O ₅ de baixa solubilidade	94,45 ± 36,40 ^b	160,52 ± 66,39	254,97 ± 95,69
Fonte solúvel de P ₂ O ₅ + inoculação	128,33 ± 44,22 ^b	215,61 ± 73,65	343,94 ± 109,61
Fonte de baixa solubilidade + inoculação.	93,30 ± 39,20 ^b	145,43 ± 48,98	238,73 ± 83,09

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 - 2° corte).

No primeiro corte, observou-se efeito de tratamento (p<0,05) apenas para a produção de matéria seca de folhas, com a fonte de baixa solubilidade + inoculação apresentando produção semelhante aos tratamentos com fonte solúvel de P₂O₅ 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 luxo, 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 os teores de fósforo no solo já se encontravam em níveis satisfatórios.

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

Outro fator a ser considerado é textura do solo no local de desenvolvimento do trabalho, já que solos arenosos com 70% de areia, possuem maior concentração de fósforo, o que pode ter influenciado as respostas observadas. De acordo Kamprath; Watson (1980), uma maior concentração de fósforo em solução, em solos arenosos, está associada a baixos valores de capacidade tampão, que representa uma da capacidade do solo em manter um nível determinado de fósforo em solução, ou seja, disponível para as plantas.

Além disso, observou-se que essa característica foi encontrada em outros trabalhos, embora os teores de fósforo disponíveis sejam altos, com o incremento, o solo fica saturado em fósforo, o que pode causar uma redução da dose nos cultivos sucessíveis. Assim, não é necessária uma incrementação de tal nutriente, causando uma saturação, e não diferenciação na 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 corte da alfafa inoculada com microrganismos solubilizadores de fosfato. Constatou-se ausência de efeito de tratamento para a relação folha:colmo nos dois cortes avaliados.

Tabela 3 – Médias e desvios-padrão da relação folha: colmo e da altura de corte da alfafa em função de diferentes fontes e bactérias solubilizadoras de fosfatos

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

OBS: Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelos testes de Duncan e Kruskal-Wallis*.

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; 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 corte, verificou-se que a alfafa apresentou comportamento distinto entre os cortes realizados. No primeiro corte o tratamento de inoculação com MSF a altura de corte 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

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 uma temperatura mais baixa.

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

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

	Fósforo (g kg^{-1})	
	1º Corte	2º Corte
Controle	2,92 \pm 0,30	2,51 \pm 0,68
Inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato	2,69 \pm 0,46	2,56 \pm 0,60
Fonte solúvel de P_2O_5	2,87 \pm 0,24	2,72 \pm 0,47
Fonte de P_2O_5 de baixa solubilidade	2,61 \pm 0,12	2,65 \pm 0,36
Fonte solúvel de P_2O_5 + inoculação	3,12 \pm 0,99	3,09 \pm 0,91
Fonte de baixa solubilidade + inoculação.	2,59 \pm 0,37	2,80 \pm 0,64

OBS: Letras diferentes na mesma coluna e por corte, diferem estatisticamente ($p<0,05$) pelo teste de Duncan.

A alta concentração de fósforo na área em que o experimento foi realizado pode ajudar a explicar os resultados encontrados. Novais; Braga Filho (1971) obtiveram decréscimo no rendimento com teor superior de 24mg dm^{-3} de fósforo.

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 esta característica.

Provavelmente com a degradação gradual do nutriente com liberação a longo prazo, poder-se-ia verificar elevação nos níveis de fósforo na parte aérea da alfafa, sendo necessário mais cortes para observação desta característica. Sarmiento et al. (2002) evidenciaram interação entre os vários cortes e doses de fósforo na planta, sugerindo absorção gradual do nutriente.

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 expressar seus potenciais de produção (FONSECA et al., 2000).

Deste modo, para os agricultores é necessário acompanhar a análise de solo, verificando as características do solo para utilização dos microrganismos solubilizadores de fosfato.

4 CONCLUSÕES

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 sofrem influência da inoculação com microrganismo solubilizador de fosfato.

Havendo necessidade de um prosseguimento no trabalho, verificando a interação nas variáveis encontradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA NETO, F. et al. Adubação fosfatada na cultura da soja na microregião do alto médio gurguéia. **Rev. Ciênc. Agron.**, [S.l.], v. 41, n. 2 p. 266-271, abr. 2010.

BIEZUS, V. Produção de forragem de alfafa sob doses de adubação potássica. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/753/1/PB_PPGAG_M_Biezus%2C%20Vane_ssa_2013.pdf. Acesso em: 11 nov. 2021.

CARNEIRO, L. F. et al. Métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo em um latossolo com diferentes históricos de uso e doses de fósforo, cultivado com feijoeiro e braquiária. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Uberlândia. **Anais**, 2011.

CUNNINGHAM, S. M. et al. Winter hardiness, root physiology and gene expression in successive fall dormancy selections from ‘Mesilla’ and ‘CUF 101’ alfalfa. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1091-1098, 2001.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5. ed., 2018.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Production systems – An example from Brazil. **Meat Science**, [S.l.], v. 84, p. 238-243, 2010.

FONTES, P.C.R. et al. Produção e níveis de nutrientes em alfafa (*Medicago sativa* L.) no primeiro ano de cultivo na Zona da Mata de Minas Gerais. **Rev. Socied. Bras. Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 205-211, 1993.

FONSECA, D. M. et al. Absorção, Utilização e Níveis Críticos Internos de Fósforo e Perfilhamento em *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*. **Rev. Bras. Zootecnia**, [S.l.], 2000.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **Intern. J. of Agronomy**, [S.l.], 2019.

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. (eds.) The role of phosphorus in agriculture. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. p.433-469.

KORNELIUS, E. et al. Efeitos de doses de nitrogênio e fósforo na produção de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1976, Campinas. **Anais**. Campinas: SBCS, 1976. p. 203-205.

LEACH, G. J. The relation between lucerne shoot growth and temperature. **Austral. J. of Agricult. Res.**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 49-59, 1971.

LEÃO, D. A. S. **Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) e do sorgo**

(**Sorghum bicolor (L.) Moench.**). 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos.

LOPES, A. S. et al. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA, 2004.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. **Microorganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica.** 2003. 25 f. Monografia (Especialização em Agronomia) - Curso de Agronomia, Embrapa Cerrados, Planaltina.

MONTEIRO, A. L. G. **Fisiologia do crescimento.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 16. Piracicaba, 1999. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1999.

NERES, M. A. et al. 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.

NOVAIS, R. F.; BRAGA FILHO, L. J. Aplicação de “tufito” e NPK na adubação do feijão, em um solo de Patos de Minas. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.18, n. 98, p. 308-314, 1971.

PEREIRA, A. V.; FERREIRA, R. P. **Cultivares de alfafa.** In: Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos. Brasília: Embrapa Transferência de Tecnologia, 2008. p. 193-214.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais 1999. **Universidade Federa de Viçosa**, Viçosa, MG. 399p.

PEREIRA, A.V. et al. 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. **Cien. Agrotec.**, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 490-499, 2000.

RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P.; MOREIRA, A. **Recomendações para o cultivo de alfafa na região Sudeste do Brasil.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, Circular técnica, 1998.

RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P.; CAMARGO, A. C. **Cultivo e estabelecimento da alfafa.** In: Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

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. **Rev. Bras. Zootecnia**, [S.l.], v. 28, n. 6, p. 1194-1202, 1999.

RICHARDISON, A. E. Prospects for using soli microorganismos to improve the aquisition of phosphous by plants. **Austral. J. of Plant Phisiology**, [S.l.], 2001.

RODRIGUES, A. A. et al. **Utilização de alfafa em pastejo para alimentação de vacas leiteiras.** In: FERREIRA, R. P.; RASSINI, J. B.; RODRIGUES, A. A.; FREITAS, A. R.; CAMARGO, A. C.; MENDONÇA, F. C. (Ed.). Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 345-378.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2.ed. Belo Horizonte: FEP-MVZ, 2002. 265p.

SARMENTO, P. et. al. Dinâmica do Surgimento de Brotos de Alfafa em Função de Diferentes Fontes de Fósforo, da Aplicação de Gesso e do Momento de Calagem. **Rev. Bras. Zootecnia**, [S.l.], 2002.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 731-754.

SBCS/NEPAR - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO / NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

WILSON, J. R. **Environmental and nutritional factors affecting herbage quality**. In: Hacker, J. B. (ed.). Nutritional limits to production from pastures. Farnham Royal: CAB, 1982. p. 111-131.