

## Acúmulo de nutrientes nas folhas e produção do capim Tamani inoculado com *Azospirillum brasilense*

## Nutrient accumulation in the leaves and production of Tamani grass inoculated with *Azospirillum brasilense*

Reginaldo Almeida Andrade<sup>1</sup>, Rychaellen Silva de Brito <sup>2</sup>, Cleverson Agueiro de Carvalho <sup>3</sup>, Sandra Bezerra da Silva <sup>4</sup>, Mayara Almeida Drumond e Silva <sup>5</sup>, Keilyson Naazio Oliveira Moraes <sup>6</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, reginaldo.andrade@unir.br. <sup>2</sup>Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia, Doutoranda em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, rychaellenbrito@gmail.com. <sup>3</sup>Engenheiro Florestal, Mestre em Ciência Florestal, Doutorando em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, cleversoncarvalho92@gmail.com. <sup>4</sup>Engenheira Florestal, Mestra em Ciências Florestais, Doutoranda em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, sandrinha.czs@hotmail.com. <sup>5</sup>Engenheira Agrônoma, Especialista em Agricultura Familiar, Mestranda em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, mayaradrumond29@gmail.com. <sup>6</sup>Engenheiro Florestal, Mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia. keilysonnaazio@gmail.com

### ARTIGO

Recebido: 19/08/2021  
 Aprovado: 11/03/2022

#### Palavras-chave:

Adubação fosfatada  
*Azospirillum brasilense*  
 Fixação biológica de nitrogênio

#### Key words:

Phosphate fertilization  
*Azospirillum brasilense*  
 Biological nitrogen fixation

### RESUMO

A implantação de pastagens pode ser favorecida por estratégias que combinem métodos convencionais de cultivo com a inoculação de microrganismos promotores de crescimento de plantas, como a rizobactéria *Azospirillum brasilense*, que são capazes de melhorar o estado nutricional das plantas através de vários mecanismos, incluindo a solubilização de fosfatos e a fixação biológica de nitrogênio, e com isso, reduzir a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos. Objetivou-se avaliar a produção de forragem e os teores de macronutrientes nas folhas do capim Tamani, adubado com fosfato natural e inoculado com *Azospirillum brasilense*. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em um delineamento inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 2 x 2 x 5, com 3 repetições. Os tratamentos consistiram na presença e ausência da rizobactéria; duas fontes de fósforo (superfosfato triplo e fosfato natural); e cinco doses de nitrogênio (0; 75; 150; 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup>), utilizadas como parâmetros para estimar o nitrogênio fixado biologicamente. A concentração de nutrientes foi determinada em amostras de cortes realizados aos 56, 84 e 112 dias após a emergência. Os efeitos da adubação nitrogenada foram avaliados por análise de regressão, com resultados demonstrando que os teores de N, Mg e S aumentam e os de P diminuem linearmente em função das doses aplicadas. A inoculação melhora o estado nutricional das plantas, aumentando os teores foliares de N, P, K, resultando em maior produção de fitomassa seca, além de reduzir a necessidade de aplicação de nitrogênio em até 40 kg ha<sup>-1</sup>.

### ABSTRACT

The implantation of pastures can be favored by strategies that combine conventional methods of cultivation with the inoculation of microorganisms that promote plant growth, such as the rhizobacterium *Azospirillum brasilense*, which are capable of improving the nutritional status of plants through several mechanisms, including the phosphate solubilization and biological nitrogen fixation, thereby reducing the need to apply chemical fertilizers. The purpose was to evaluate forage production and macronutrient contents in the leaves of Tamani grass, fertilized with natural phosphate and inoculated with *Azospirillum brasilense*. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, organized in a 2 x 2 x 5 factorial scheme, with 3 replications. The treatments consisted of the presence and absence of rhizobacteria; two sources of phosphorus (triple superphosphate and natural phosphate); and five nitrogen rates (0; 75; 150; 225 and 300 kg ha<sup>-1</sup>), used as parameters to estimate biologically fixed nitrogen. The concentration of nutrients was determined in samples of cuts, performed at 56, 84 and 112 days after emergence. The effects of nitrogen fertilization were evaluated by regression analysis, with results demonstrating that the levels of N, Mg and S increase and those of P decrease linearly as a function of the applied rates. Inoculation improves the nutritional status of plants, increasing the foliar contents of N, P, K, resulting in higher production of dry biomass, in addition to reducing the need for nitrogen application by up to 40 kg ha<sup>-1</sup>.

## INTRODUÇÃO

As rizobactérias do gênero *Azospirillum* podem se associar com gramíneas e potencializar o crescimento e a produtividade das culturas por uma série de mecanismos, incluindo a produção de fitormônios, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e aumento no desenvolvimento radicular. Além disso, podem aumentar a resistência das plantas e atenuar estresses causados por fatores bióticos e abióticos, como o ataque de fitopatógenos, radiação e temperatura excessiva, salinidade e seca (CARDOZO et al., 2021; HUNGRIA et al., 2016; SANTOS et al., 2020).

Desde sua descoberta, na década de 1970, 22 espécies de *Azospirillum* foram identificadas, sendo *A. brasilense* umas das mais promissoras para serem utilizadas como inoculantes microbianos (CASSÁN et al., 2020). A introdução dessas rizobactérias em pastagens cultivadas tem gerado resultados promissores a baixo custo, e podem favorecer a atividade na região amazônica, onde a pecuária é baseada principalmente no sistema extensivo de criação, e devido a fatores como o manejo ineficiente, introdução de espécies inadequadas e falta de reposição de nutrientes ao solo, as forrageiras perdem vigor e capacidade de rebrotar após alguns anos de exploração (HUNGRIA et al., 2016; LEITE et al., 2018).

Na fase inicial de formação do pasto, o fósforo é o nutriente mais limitante no desenvolvimento das plantas (ANAND et al., 2016). Nas regiões tropicais, onde os solos são predominantemente ácidos, com baixa fertilidade natural e alta capacidade de fixação de fósforo nos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, a disponibilidade desse nutriente é baixa, e a reposição essencial para o desenvolvimento das plantas (SHARMA et al., 2013). A fertilização com fosfatos naturais reativos, obtido através da moagem de rochas, normalmente sedimentares, tem sido amplamente utilizada em detrimento ao uso de fosfatos acidulados, que tem maior eficiência inicial, entretanto, tem custos elevados, além do alto gasto energético e impactos ambientais gerados durante seu processamento industrial (SOUZA et al., 2014).

Após o estabelecimento, a deficiência de nitrogênio é apontada como principal causa de redução da produção de forragem, fato que se agrava em regiões tropicais, onde os teores de matéria orgânica, principal reserva de nitrogênio, são baixas (DUPAS et al., 2016). Além disso, o nitrogênio químico aplicado na adubação pode ser facilmente perdido por lixiviação ou volatilização (NEVES et al. 2019). Por ser capaz de fixar nitrogênio atmosférico, a introdução de bactérias diazotróficas pode ser estratégia viável para reduzir a necessidade de fertilização nitrogenada. Além disso, pode melhorar a eficiência da adubação fosfatada, dado à capacidade desses agentes em solubilizar formas inorgânicas do fósforo no solo.

Além de melhorar a qualidade física, química e biológica do solo, a escolha de forrageiras produtivas e adaptadas é essencial para a sustentabilidade da pecuária. O gênero *Panicum* agrupa diversas espécies de gramíneas que são utilizadas principalmente em sistemas intensivos de produção, onde a demanda por

nutrientes é elevada (DIAS RODRIGUES et al., 2017). A cultivar BRS Tamani, apesar de menor porte que outras espécies do gênero, tem se destacado pelo seu elevado valor nutritivo, alta produção de folhas, colmos pequenos e tolerância ao pastejo mais intenso (TESK et al., 2020).

Neste contexto, se torna evidente que a intensificação dos sistemas de produção é uma das principais estratégias para evitar a degradação e melhorar a eficiência do sistema de produção de forragens. A inoculação de rizobactérias, capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio e estimular a produção de compostos indutores de crescimento vegetal, pode ser alternativa viável para reduzir os custos com fertilizantes e aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção (SHARMA et al., 2013; HUNGRIA et al., 2016).

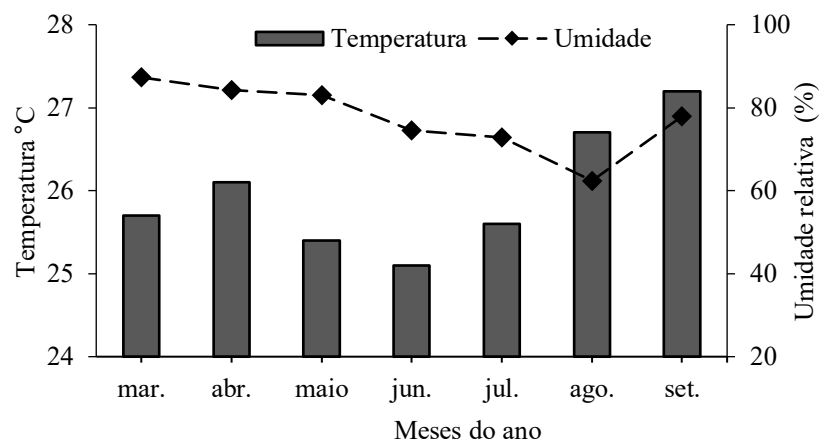
A mensuração da eficiência dessa prática pode ser realizada através de avaliações dos parâmetros de crescimento da planta, ou por meio de análises bromatológicas e verificação dos teores de nutrientes acumulados em seus tecidos foliares (SAMPAIO et al., 2020). O objetivo deste trabalho foi a produção de forragem e o acúmulo de macronutrientes nas folhas do capim Tamani, adubado com fosfato natural e inoculado com *Azospirillum brasilense*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre março e setembro de 2017 na Universidade Federal de Rondônia, município de Rolim de Moura, Rondônia. O clima local foi caracterizado por Alvares et al. (2013) como Am, com precipitação anual variando de 1.500 a 2.100 mm e temperatura média em torno de 26 °C. Na Figura 1 são apresentados os dados meteorológicos ocorridos durante o período do experimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, organizado no fatorial 2 x 2 x 5, com três repetições. Os fatores avaliados foram à presença e ausência da inoculação com *Azospirillum brasilense*, duas fontes de fósforo (superfosfato triplo, 41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e fosfato natural reativo de Bayóvar, 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cinco doses de nitrogênio (0,0; 75; 150; 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup>).

As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade para 15 dm<sup>3</sup>, preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, de textura média, peneirado em malha de 4,0 mm e com as seguintes características na camada de 0,0 - 0,2 m: pH



**Figura 1.** Umidade relativa do ar e temperatura média mensal referente ao período de março a setembro de 2017 para a região da Zona da Mata, Rolim de Moura, Rondônia.

(H<sub>2</sub>O) = 5,1; P = 2,1 mg dm<sup>-3</sup>; K, Ca, Mg e [H + Al] = 0,17, 1,7, 0,2 e 4,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> respectivamente, e matéria orgânica = 0,8 dag kg<sup>-1</sup>. Antes da semeadura foi realizado a calagem corretiva, com objetivo de elevar a saturação por bases para 60%. Para isso, aplicou-se calcário dolomítico (27% de óxido de cálcio; 16% de óxido de magnésio e PRNT = 73%), sendo posteriormente umedecido próximo a capacidade de campo e incubado por 30 dias.

A adubação pré-semeadura foi realizada com 20 mg da formulação FTE 12 dm<sup>-3</sup> de solo (9% de zinco, 1,8% de boro, 0,8% de cobre, 2% de manganês, 3,5% de ferro e 0,1% de molibdênio) e 60 mg de fósforo dm<sup>-3</sup> de solo (superfósforo triplo e fosfato natural reativo, conforme os tratamentos), adaptado das orientações de Novais et al. (1991), Cantarutti et al. (1999) e Souza e Lobato (2004). Em cobertura foram aplicados 50 mg de KCl dm<sup>-3</sup> de solo (KCl = 60% de K<sub>2</sub>O), parcelados em três vezes, junto com as adubações nitrogenadas, aos 30, 60 e 90 dias após a emergência das plantas (DAE). As adubações nitrogenadas foram realizadas conforme os tratamentos (0,0; 75; 150; 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup>) sendo utilizada a ureia (45% de N) como fonte.

A inoculação das sementes foi realizada com as estirpes Abv5 e Abv6 de *Azospirillum brasilense*, cuja concentração no inoculante foi estimada pela contagem de colônias em placas de Petri em meio NFb semissólido, e análise por tabelas do número mais provável (NMP). Após a contagem, procedeu-se a inoculação com a concentração ajustada em 2,0 x 10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup> e aplicado 2,5 mL para cada 1000 sementes, que posteriormente foram secas à sombra por três horas. Em seguida, foram semeadas oito sementes de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani por vaso, e 15 DAE foram realizados os desbastes, deixando apenas três plantas. Aos 30 DAE realizou-se corte de uniformização a 5,0 cm do solo e descarte desse primeiro material.

As irrigações foram feitas de forma manual, duas vezes ao dia, sendo elas no início da manhã e no final da tarde, mantendo-se o solo a 80% da capacidade de campo.

Os tecidos foliares analisados foram oriundos de três coletas, realizadas aos 56, 84 e 112 DAE. Antes do corte foram medidas as alturas das plantas (cm), tomando como referência o nível do solo até o ápice da última folha completamente expandida. Após cada corte, (25 cm do solo) as folhas foram lavadas e encaminhado para a estufa de ventilação forçada, com temperatura controlada a 65 °C, até atingir massa constante. Em seguida foram determinadas a massa seca da parte aérea (g), moídas em moinho tipo Willey, peneiradas em malha de 4,0 mm e armazenadas em geladeira a 6,0 °C.

Após todas as coletas, os materiais de cada unidade experimental foram homogeneizados e efetuadas as análises químicas, determinando os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), conforme metodologia descrita por Malavolta (2006).

Os dados obtidos foram submetidos à verificação da presença de dados discrepantes, à normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Atendido os pressupostos, realizou-se a análise de variância utilizando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), para verificação dos efeitos isolados e interações entre os fatores, e quando significativo ( $p < 0,05$ ), os tratamentos qualitativos foram comparados pelo teste F, e para as concentrações de nitrogênio e sua interação com os demais fatores foram ajustadas equações de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de macronutrientes nas folhas do capim-Tamani variaram em função dos tratamentos, com efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) para os três fatores analisados, (inoculação, fontes de fósforo e doses de nitrogênio), indicando alterações no estado nutricional das plantas. Não foram verificadas interações triplas, e os teores de N, P, K, Mg e S diferiram em função da única interação verificada, (inoculação x fontes de fósforo). Os parâmetros de crescimento, altura de plantas e matéria seca da parte aérea foram afetados por interações duplas entre (inoculação x fontes de fósforo; inoculação x doses de nitrogênio e fontes de fósforo x doses de nitrogênio). Na Tabela 1 é possível verificar as melhores respostas para cada variável analisada em função da inoculação e as fontes.

Isoladamente, a inoculação com *A. brasilense* não influenciou nos teores de Mg e S foliares, mas promoveu aumentos de 11,59, 7,04, 5,33 e 14,2% nas concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio respectivamente, indicando associação positiva entre a rizobactéria e o capim-Tamani. Além disso, em comparação aos tratamentos não inoculados, promoveu aumento de 20,03% na altura das plantas e 22,28% na produção de massa seca da parte aérea. Esse efeito pode estar associado a alterações bioquímicas e produção de fitohormônios pela planta, aumento da área superficial de raízes, que conseguem maximizar a extração de nutrientes no solo, fixação de nitrogênio, além da solubilização de compostos pouco solúveis, com melhor aproveitamento do fósforo aplicado via adubação, ou de sua forma inorgânica no solo (D'ANGIOLI et al., 2017; SANTOS et al., 2020; ZECCA et al., 2019).

**Tabela 1.** Comparação de médias para altura de plantas (AP), massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos tecidos foliares, do capim-Tamani em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e fontes de fósforo.

Tratamentos	Médias (Teste F)							AP	MSPA	
	N	P	K	Ca	Mg	S				
		..... g kg <sup>-1</sup> .....							cm	g vaso <sup>-1</sup>
Inoculação	Pres.	15,57 a	0,71 a	18,01 a	5,21 a	1,45 a	1,27 a	49,31 a	8,93 a	
	Aus.	13,88 b	0,66 b	17,05 b	4,87 b	1,41 a	1,32 a	39,43 b	6,94 a	
CV%		12,2	13,1	12,3	8,6	9,3	14,2	8,7	16,3	
Fontes	SFT	13,47 b	0,77 a	16,12 b	4,94 a	1,40 a	1,19 b	47,81 a	11,6 a	
	FNR	15,98 a	0,61 b	18,94 a	4,84 a	1,45 a	1,39 a	40,93 b	4,32 a	
CV%		10,2	9,1	6,7	7,6	8,72	11,06	7,89	14,42	

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste F.

Hungria et al. (2016), pesquisando a associação de *Azospirillum* e fertilização nitrogenada, verificaram que a produção média de biomassa das *Urochloa brizantha* e *U. ruzizienses* aumentaram 24,7% quando a fertilização química foi combinada com a inoculação. Os autores relatam que essa rizobactéria promove efeitos no desenvolvimento das forrageiras, similares àqueles observados com aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo uma opção viável para intensificar os sistemas de produção e contribuir na recuperação de pastagens degradadas.

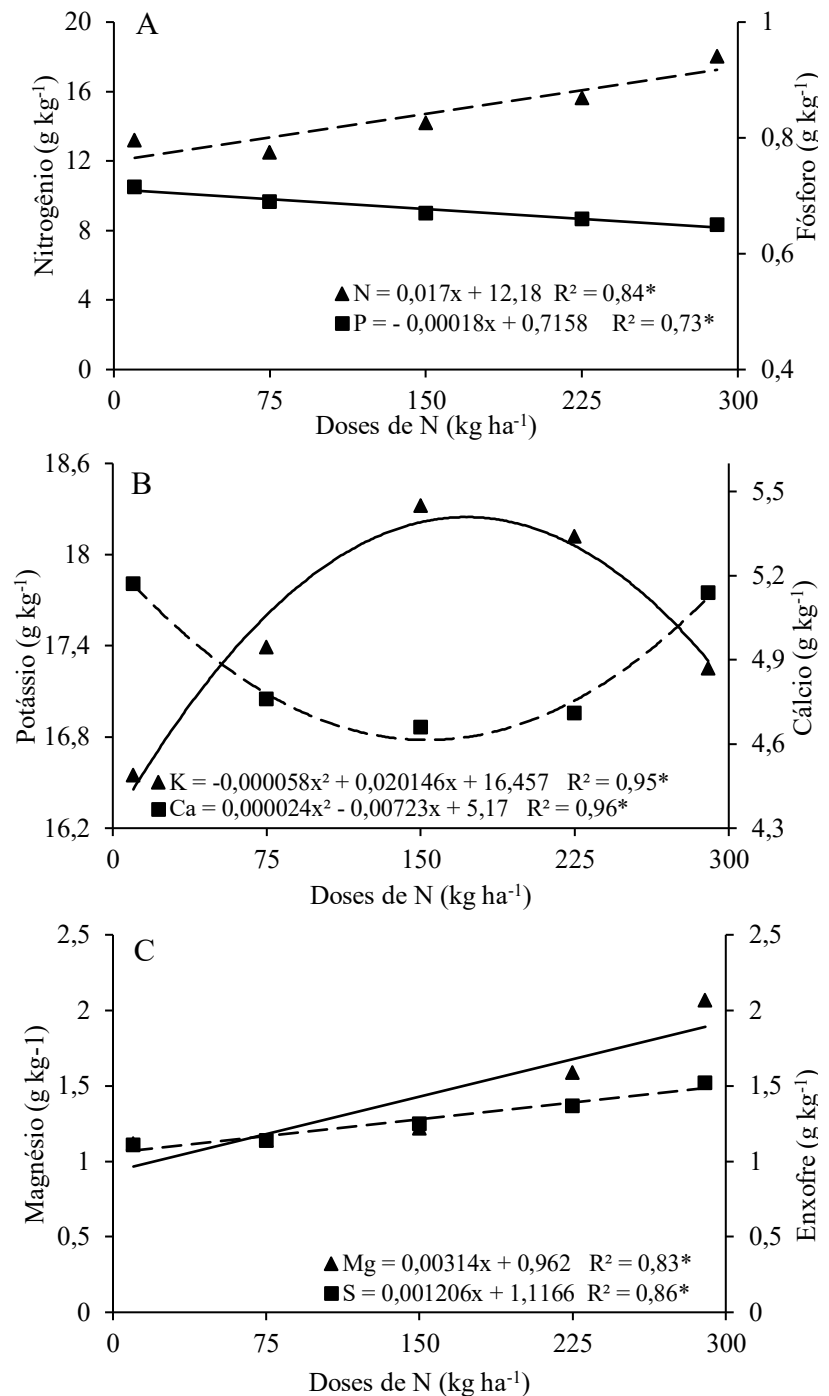
Esse efeito benéfico promovido pela inoculação do *A. brasilense* sobre o desenvolvimento de forrageiras tropicais também foi verificado por Leite et al. (2019), que constataram aumento no número de perfilhos, na altura da planta e alteração na arquitetura radicular, aumentando a produção de forragem e reduzindo em 20% a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Para as concentrações de nutrientes nas folhas, não houve interação entre as doses de nitrogênio e os demais tratamentos, sendo o fator (DO) analisado isoladamente através de modelos ajustados por análise de regressão. O teor de N nos tecidos foliares aumentou linearmente em função das doses de nitrogênio aplicadas, indicando que as concentrações escolhidas não foram suficientes para atingir o ponto de máximo acúmulo. Isso pode estar associado à baixa eficiência da adubação, onde parte de nitrogênio aplicado pode ter sido perdido por volatilização ou lixiviação (NEVES et al. 2019).

Com 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, constatou-se 17,28 g de N kg<sup>-1</sup> de tecido foliar, incremento de 29,51% em relação aos tratamentos que não receberam fertilização nitrogenada (Figura 2A). Embora não tenha atingido o máximo acúmulo, com exceção dos tratamentos que não receberam fertilização nitrogenada, as concentrações de nitrogênio nos tecidos foliares variaram entre 13,45 e 17,28 g de N kg<sup>-1</sup>, faixa considerada adequada para *Panicum maximum* (MALAVOLTA et al., 1997).

O nitrogênio é essencial na síntese proteica e sua concentração pode representar de 2 a 5% da biomassa das plantas. O nutriente pode ser absorvido pelas formas nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), e na planta, se associa às cadeias de carbono, promovendo aumentos dos componentes celulares, favorecendo a capacidade de rebrota e produção de matéria verde e seca (GALINDO et al., 2017).

Respostas positivas à aplicação de fertilizantes nitrogenados tendem a serem frequentes, principalmente quando não há perda de nutriente por lixiviação ou volatilização. No estado de Rondônia, Sampaio et al. (2020)



**Figura 2.** Teores de nitrogênio e fósforo (A), potássio e cálcio (B), magnésio e enxofre (C) nos tecidos foliares do capim-Tamani em função de doses de nitrogênio

verificaram que o aumento das doses de nitrogênio, no primeiro ciclo do capim-Marandu, promove aumento do perfilhamento e surgimento de novas folhas, resultando em maior acúmulo de matéria seca e qualidade da forragem produzida. Mesmo em regiões com solos férteis, Yasuoka et al. (2017) observaram que até a dose de 250 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ocorre contribuição para o aumento da área foliar e altura do dossel do capim-Mulato II, resultando em maior produtividade de forragem.

Em contraste, o aumento da concentração de nitrogênio na solução do solo promoveu redução linear nos teores de fósforo (Figura 2A), evidenciando que altas concentrações de nitrato ou amônio no solo pode reduzir a absorção e concentração de

fósforo na folha. Na ausência da adubação nitrogenada, o teor de P foi de 0,71 g kg<sup>-1</sup> e decresceu 7,04% na maior dose aplicada (300 kg ha<sup>-1</sup>).

Mesmo nos tratamentos que não receberam adubação nitrogenada, os teores de fósforo nos tecidos foliares ficaram abaixo de 0,8 g de P kg<sup>-1</sup>, indicando início de deficiência, visto que a faixa adequada para o gênero *Panicum*, segundo Malavolta et al. (1997), situa-se entre 0,8 e 1,1 g de P kg<sup>-1</sup> de tecido foliar seco.

Analisar a composição mineral dos tecidos da planta é essencial para diagnose de possíveis casos de deficiência nutricional, além de ser indicador de qualidade do manejo adotado. Após a calagem, ocorre aumento de cálcio na solução do solo, e parte pode precipitar com o fósforo, gerando compostos insolúveis (MEYER et al., 2021). Possivelmente, a calagem realizada na pré-semeadura pode ter influenciado nos teores de fósforo disponível e absorvido pelas plantas. Além disso, a maior disponibilidade de nitrogênio no solo promove aumento do desenvolvimento do colmo, bainha e lâmina da folha, ocorrendo efeito de diluição do fósforo nos tecidos, além do maior acúmulo no colmo (MAGALHÃES et al., 2011).

O acúmulo de potássio nas folhas variou em função das concentrações de nitrogênio, podendo ser explicado por um modelo polinomial quadrático, e através da equação ajustada, é possível determinar que 173,67 kg N ha<sup>-1</sup> promoveu a maior concentração de K, 18,20 g kg<sup>-1</sup> de tecido foliar, aumento de 9,57% em relação aos tratamentos que não receberam o N mineral (Figura 2B).

Por ser um cátion monovalente (K<sup>+</sup>), o potássio se liga com menor energia aos colóides do solo (MEYER et al., 2021), sendo facilmente extraído e absorvido. Além disso, Galindo et al. (2018) explicam que o aumento da concentração de nitrogênio na solução do solo promove aumento do sistema radicular e área de exploração do solo, favorecendo a ciclagem de elementos facilmente lixiviáveis como o potássio. Os autores constataram que os teores de potássio nos tecidos foliares aumentam linearmente com as doses de nitrogênio aplicadas, até a taxa de 1200 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Contrastando com os teores de potássio, as variações nas concentrações de cálcio em função das doses de nitrogênio podem ser explicadas por um modelo quadrático decrescente, sendo possível estimar que sem aplicação de nitrogênio mineral, a concentração observada foi de 5,17 g kg<sup>-1</sup> de tecido foliar seco, decrescendo com aumento das taxas de nitrogênio aplicadas e por influência do aumento das concentrações de potássio na folha (Figura 2B).

Moreira et al. (2013) explicam que as gramíneas forrageiras apresentam baixa capacidade de troca de cátions na raiz, e os solos adsorvem com mais energia os elementos de maior valência, como o alumínio (Al<sup>3+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) por exemplo, sendo, portanto, mais eficientes na extração e absorção de cátions monovalentes, como o potássio (K<sup>+</sup>), e com isso limitar a absorção de outros nutrientes, como cálcio. Esse fato torna-se evidente ao observar os ajustes da curva de regressão e os coeficientes de determinação, acima de 95% (Figura 2B), onde é possível verificar, com precisão, que à medida que aumentam as concentrações de potássio nos tecidos foliares, decrescem os teores de cálcio. Entretanto, não foram evidenciados níveis de deficiência, visto que os teores médios de Ca (4,89 g kg<sup>-1</sup>) e K (17,53 g kg<sup>-1</sup>) estão dentro das faixas de suficiência para forrageiras do gênero *Panicum*, que variam de 4,0 a 10,2 g de cálcio kg<sup>-1</sup> e de 14,3 a 18,4 g de K kg<sup>-1</sup> de tecido foliar seco (MALAVOLTA et al., 1997).

Os teores de magnésio e enxofre aumentaram linearmente em função da fertilização nitrogenada, atingindo o máximo de 1,9 g kg<sup>-1</sup> de S e 1,47 g kg<sup>-1</sup> de Mg (Figura 2C). O magnésio é componente da molécula da clorofila, participa diretamente de reações na fotossíntese, e seu teor aumenta com a maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas (MAGALHÃES et al., 2011). As variações observadas nos teores de magnésio, (0,96 a 1,9 g kg<sup>-1</sup>), em função das concentrações de nitrogênio, demonstram que são nutrientes sinérgicos, sendo necessário a aplicação mínima de 43,94 kg de N ha<sup>-1</sup> para que os teores de Mg na folha alcancem a faixa ideal para capins do gênero *Panicum*, que varia entre 1,1 e 1,5 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997).

Adubações com enxofre raramente são realizadas, entretanto, por ser constituinte de proteínas e aminoácidos, sua disponibilidade é fundamental para melhor aproveitamento da adubação nitrogenada, principalmente em regiões tropicais, que tem baixos teores de matéria orgânica, e cerca de 95% do enxofre do solo se encontra na forma orgânica nessa fração. A reposição de enxofre, em concentrações adequadas, pode aumentar a produção e qualidade da forragem produzida (MAGALHÃES et al., 2011; VITTI et al., 2015). As variações observadas neste trabalho, 1,1 a 1,5 g de S kg<sup>-1</sup> de tecido seco foliar (Figura 2C), demonstram que não ocorreu níveis de deficiência, mesmo sem aplicação de nitrogênio, visto que os valores de referência, para esta espécie, se situam entre 0,8 a 2,5 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA et al., 1997).

Com o desdobramento da interação entre fontes de fósforo e inoculação (Tabela 2), constatou-se que a rizobactéria *A. brasilense* melhorou a eficiência da adubação fosfatada independente da fonte utilizada, com elevação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre nos tecidos foliares, além de influenciar nos parâmetros de crescimento da planta. A única exceção foi nas concentrações de nitrogênio quando se combinou o fosfato natural reativo com a inoculação, que não diferiu ( $p > 0,05$ ) do tratamento não inoculado. As plantas que foram inoculadas com *A. brasilense* e fertilizadas com superfosfato triplo obtiveram aumentos médios de 23,75, 15,58 e 16,32% nas concentrações de N, P e K foliares em comparação aos tratamentos inoculados, mas que foram fertilizados com FNR.

Os resultados para os parâmetros de crescimento foram similares, com maiores alturas de plantas e produção de massa seca obtidas com a inoculação combinada com superfosfato triplo. Na presença da rizobactéria, e com a fonte mais solúvel, a produção de forragem foi 63,16% maior em relação aos tratamentos fertilizados com fosfato natural reativo também inoculado, e na ausência, o aumento foi de 61,75%.

O fósforo é o nutriente mais demandado na fase inicial de formação das pastagens, e em áreas com baixa disponibilidade, como em regiões com solos similares ao utilizados neste estudo (P = 2,1 mg dm<sup>-3</sup>), é recomendável a adubação com fontes de maior solubilidade. Isso porque os fosfatos naturais reativos demandam maior tempo para serem disponibilizados no solo, mas que apresenta o efeito residual com aspecto positivo, sobretudo para culturas perenes, como as pastagens (SOMAVILLA et al., 2021). O SFT, por ser mais solúvel que o FNR, favoreceu o desenvolvimento inicial das plantas, constatado pelas maiores concentrações de N, P, K e Mg nos tecidos, independente da inoculação, assim como promoveu melhorias nos parâmetros de crescimento das plantas.

**Tabela 2.** Altura de plantas (AP), massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos tecidos foliares, de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em função da interação entre inoculação com *Azospirillum brasilense* e fontes de fósforo.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>	Fontes		DMS
		SFT	FNR	
Nitrogênio	Presença	17,68 Aa	13,48 Ba	0,85
	Ausência	14,28 Ab	13,41 Ba	
Fósforo	Presença	0,77 Aa	0,65 Ba	0,04
	Ausência	0,77 Aa	0,55 Bb	
Potássio	Presença	20,15 Aa	16,86 Ba	0,78
	Ausência	17,73 Ab	16,37 Bb	
Magnésio	Presença	1,45 Aa	1,39 Aa	0,06
	Ausência	1,42 Aa	1,31 Bb	
Enxofre	Presença	1,27 Ba	1,39 Aa	0,07
	Ausência	1,19 Bb	1,31 Ab	
Altura de plantas (cm)	Presença	51,1 Aa	44,6 Ab	2,58
	Ausência	47,6 Ba	34,26 Bb	
MSPA (g vaso <sup>-1</sup> )	Presença	13,06 Aa	4,81 Ab	0,84
	Ausência	10,04 Ba	3,84 Bb	

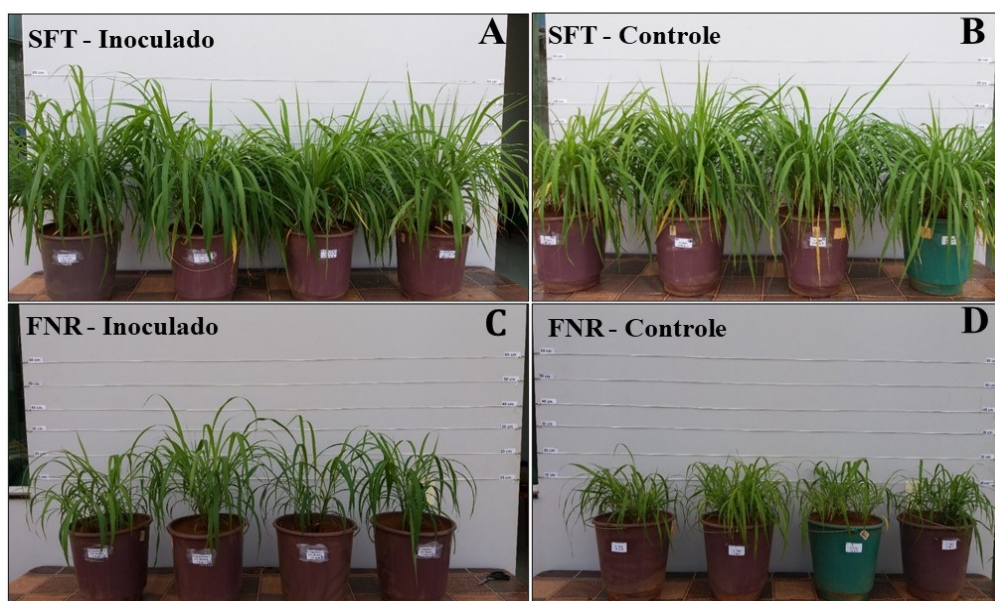
Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, para uma mesma variável, não diferem ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste F; SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Bayóvar; DMS: diferença mínima significativa.

A importância do fósforo no desenvolvimento de plantas é amplamente conhecida, entretanto, em virtude do seu alto preço, o uso em pastagens ainda é limitado. Além disso, o esgotamento das reservas de fosfato e aspectos ambientais negativos, associados à extração e processamento industrial das fontes aciduladas, estimula o uso de microrganismos, como o *A. brasilense*, capazes de solubilizar o P inorgânico do solo, ou aumentar a eficiência de fontes de menor solubilidade, como o FNR. A solubilização ocorre, principalmente, pela produção de ácido orgânico, redução do pH na região radicular, por aumento da quelação de cátions ligados ao P, ou por formação de complexos solúveis com íons associados ao fósforo insolúvel, como o cálcio, alumínio e ferro (SANTOS et al., 2020; SHARMA et al., 2013).

Na Figura 3 podem ser observados os efeitos visuais da interação entre fontes de fósforo e inoculação de *Azospirillum*

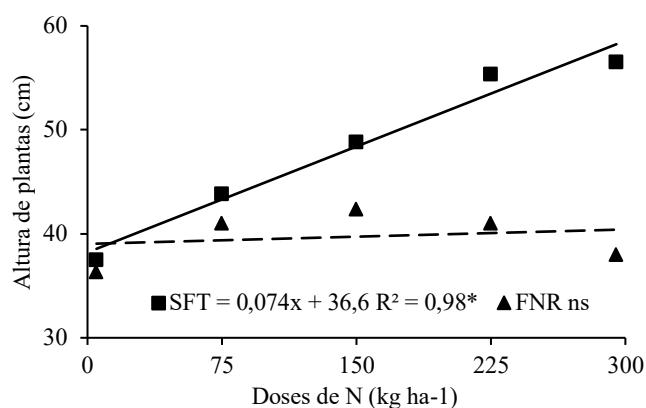
*brasilense*, evidenciando maior vigor nas plantas adubadas com superfosfato triplo, além de alterações na arquitetura da planta mediada pela inoculação com a rizobactéria.

A maior concentração de enxofre, 1,39 g kg<sup>-1</sup> de tecido foliar, foi obtido com o fosfato natural reativo combinado com *A. brasilense*. Isso pode estar associado a maior disponibilidade de fósforo no solo promovido pelo superfosfato triplo, logo após adubação. A adição equilibrada de fósforo e enxofre melhora o estado nutricional das plantas, entretanto, o excesso de fosfato pode reduzir a extração de enxofre em virtude da competição pelos sítios de absorção na planta. No solo, o enxofre solubilizado é encontrado principalmente na forma de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), sendo também a principal forma absorvida pelas plantas, e por ter alta mobilidade no solo, pode ser facilmente perdido por lixiviação, caso não seja extraído pelas plantas (VITTI et al., 2015).



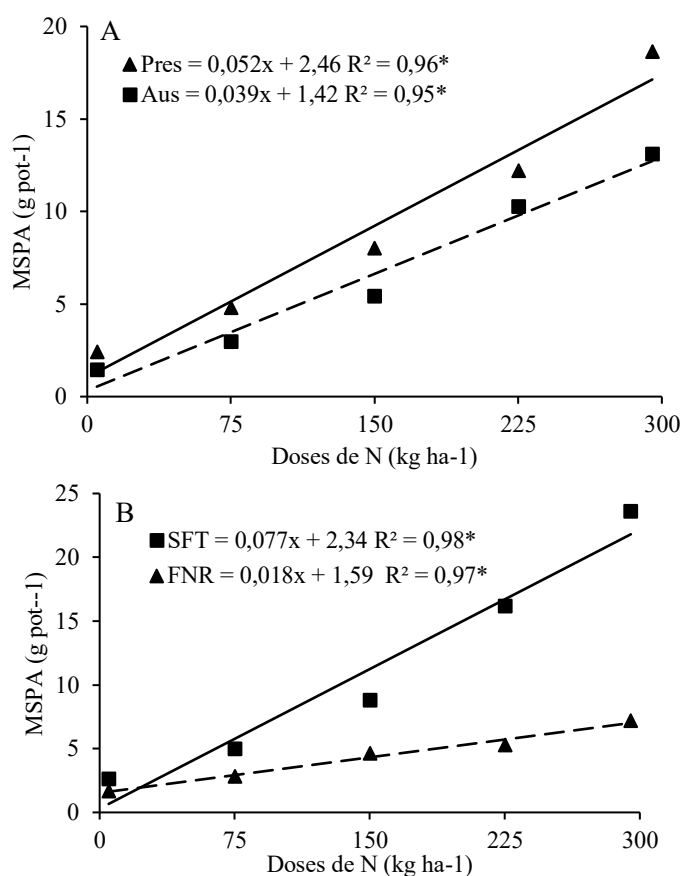
**Figura 3.** Efeitos da interação entre fontes de fósforo (SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Bayóvar) e inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre o desenvolvimento do capim-Tamani aos 60 dias após a germinação. Imagem: Reginaldo Almeida Andrade, 2017

Com o desdobramento da interação entre fontes de fósforo e doses de nitrogênio (Figura 4) observou-se que os tratamentos que receberam fosfato natural reativo não influenciou ( $p > 0,05$ ) no padrão crescimento em altura das plantas, independente da dose de nitrogênio aplicada, mantendo altura média de 40,93 cm. Por outro lado, quando a adubação fosfatada foi realizada com superfosfato triplo, ocorreu aumento linear na altura das plantas e uma taxa de incremento médio de 15,16% a cada 75 kg de N aplicado.



**Figura 4.** Altura de plantas de capim-Tamani em função de doses de nitrogênio e fontes de fósforo, superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo de Bayóvar (FNR). ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Ocorreram interações entre DO x IN e DO x FP sobre a produção de massa seca da parte aérea (MSPA). O desdobramento DO x IN demonstram que a produção de forragem aumentou linearmente em função das concentrações de nitrogênio aplicadas, independente da inoculação com *A. brasilense* (Figura 5A). Entretanto, na presença da rizobactéria, a taxa de incremento médio foi 29,23% superior aos tratamentos não inoculados, representando, em termos de nitrogênio aplicado, a uma dose equivalente a 40,15 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Massa seca da parte aérea (MSPA) de capim-Tamani em função de doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* (5A) e doses de nitrogênio e fontes de fósforo (5B). SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo de Bayóvar; Pres.: presença; Aus.: ausência.

Com o desdobramento da interação DO x FP constatou-se que a massa seca da parte aérea aumentou linearmente com as doses de nitrogênio, com incremento médio de 5,25 g vaso<sup>-1</sup> para cada 75 kg de N ha<sup>-1</sup> aplicados (Figura 5B). Por outro lado, com o fosfato natural reativo, o incremento foi de apenas 1,35 g vaso<sup>-1</sup> para cada 75 kg de N ha<sup>-1</sup>, evidenciando que na fase inicial de formação, o capim-Tamani é altamente responsivo à adubação nitrogenada e fosfatada, sendo a fonte solúvel a mais indicada para regiões onde os solos apresentam baixos teores de fósforo disponível.

Entretanto, novos estudos, avaliando o efeito residual do fósforo natural reativo, e sua eficiência a longo prazo são necessárias para conclusões mais precisas. Além disso, sugerem-se ensaios com aplicações combinadas, onde parte da adubação seja realizada com fontes solúveis, proporcionando condições para o desenvolvimento inicial das plantas, e parte com fontes de menor solubilidade, que podem proporcionar efeito residual e disponibilizar fósforo a longo prazo.

## CONCLUSÕES

A inoculação das sementes de capim Tamani com *Azospirillum brasilense* promove aumento na absorção e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio nos tecidos foliares da forrageira.

As respostas à adubação fosfatada são favorecidas com a presença da rizobactéria *A. brasilense*, e em solos com baixos teores de fósforo, fontes solúveis como o superfosfato triplo são a melhor opção para o desenvolvimento inicial do capim-Tamani.

O uso de *Azospirillum brasilense* aumenta a produção do capim-Tamani e pode reduzir a necessidade de fertilização nitrogenada em até 40,15 kg de N ha<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6): 711-728, 2013. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)
- ANAND, K.; KUMARI, B.; MALLICK, M. A. Phosphate solubilizing microbes: an effective and alternative approach as biofertilizers. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 8(2): 37-40, 2016.
- CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, M. M. de; FONSECA, D. M. da; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. de. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 331-341.
- CARDOZO, P.; DI PALMA, A.; MARTIN, S.; CERLIANI, C.; ESPOSITO, G.; REINOSO H.; TRAVAGLIA, C. Improvement of maize yield by foliar application of *Azospirillum brasilense* Az39. Journal of Plant Growth Regulation, published online, April, 2021. [10.1007/s00344-021-10356-9](https://doi.org/10.1007/s00344-021-10356-9)

- CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S. DE CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROS, F. O.; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56 (sn): 461–479, 2020. [10.1007/s00374-020-01463-y](https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y)
- D'ANGIOLI, A. M.; VIANI, R. A. G.; LAMBERS, H.; SAWAYA, A. C.H. F.; OLIVEIRA, R. S. A. Inoculation with *Azospirillum brasilense* (Ab-V4, Ab-V5) increases *Zea mays* root carboxylate-exudation rates, dependent on soil phosphorus supply. *Plant and Soil*, 410(1): 499-507, 2017. [10.1007/s11104-016-3044-5](https://doi.org/10.1007/s11104-016-3044-5)
- DIAS RODRIGUES, M. O.; SANTOS, A. C.; RODRIGUES, M. O. D.; SILVA, R. R.; SILVEIRA JÚNIOR O. Morphogenesis and structure of mombassa grass over different growth periods. *Semina Ciências Agrárias*. 38(5): 3271-3282. [10.5433/1679-0359.2017v38n5p3271](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n5p3271)
- DUPAS, E.; BUZZETTI, S.; RABÊLO, F. H. S.; SARTO, A. L.; CHENG, N. C.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; DINALLI, R. P.; GAZOLA, R. N. Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen sources in the Cerrado biome. *Australian Journal of Crop Science*, 10(9): 1330-1338, 2016. [10.21475/ajcs.2016.10.09.p7854](https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.09.p7854)
- FERREIRA, D. F. SISVAR.: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6): 1039-1042, 2011.
- GALINDO, F. S.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in Mombasa guinegrass (*Panicum maximum* cv. mombasa) at dry and rainy seasons. *Australian Journal of Crop Science*, 12(11): 1657-1664, 2017.
- GALINDO, F. S.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. *Revista de Agricultura Neotropical*, 5(3): 1-9, 2018. [10.32404/rean.v5i3.2132](https://doi.org/10.32404/rean.v5i3.2132)
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221(1): 125-131, 2016. [10.1016/j.agee.2016.01.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024)
- LEITE, R. da C.; SANTOS, J. G. D.; SILVA, E. L.; ALVES, C. R. C. R.; HUNGRIA, M.; LEITE, R. da C.; SANTOS, A. C. dos. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. *Crop and Pasture Science*, 70(1): 61-67, 2019. <https://doi.org/10.1071/CP18105>
- MAGALHÃES, A. F.; PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P. de; SOUSA, R. S.; SILVA, F. F. da; BONOMO, P.; VELOSO, C. M.; MAGALHÃES, D. M. A.; PEREIRA, J. M. Composição bromatológica e concentrações de nutrientes do capim braquiária adubado com nitrogênio e fósforo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12(4): 893-907, 2011.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Potafos, Piracicaba, 1997, 319 p
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2006, 638p.
- MEYER, G.; BELL, M. J.; LOMBI, E.; DOOLETTE, C. L.; BRUNETTI, G.; NOVOTNY, E. H.; KLYSUBUN, W.; ZHANG, Y.; KOPITKE, P.E. Phosphorus speciation in the fertosphere of highly concentrated fertilizer bands. *Geoderma*, 409(sn), 2021. [10.1016/j.geoderma.2021.115208](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115208)
- MOREIRA, J. F. M.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SIMON, G. A.; CRUVINEL, W. S.; BENTO, J. C. Nutrientes em cultivares de *Brachiaria brizantha* e estilosantes em cultivo solteiro e consorciado. *Archivos de Zootecnia*, 62(240): 513-523, 2013. [10.4321/S0004-05922013000400004](https://doi.org/10.4321/S0004-05922013000400004)
- NEVES, R. G.; FREITAS, G. S.; DEMINICIS, B. B.; MENDONÇA, E. de S.; PEÇANHA, A. L.; DOBBS, L. B.; CHAMBELA NETO, A.; DEMINICIS, R. G. da S. Dry matter yield, growth index, chemical composition and digestibility of Marandu grass under nitrogen and organic fertilization. *Semina: Agricultural Sciences*, 40(5): 1901–1912, 2019. [10.5433/1679-0359.2019v40n5p1901](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5p1901)
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. eds. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p.189-254.
- SOMAVILLA, A.; MARQUES, A. C. R.; CANER, L.; OLIVEIRA, L. B. de; QUADROS, F. L. F. de; CHABBI, A.; TIECHER, T.; SANTOS, D. R. dos. Phosphate fertilization and liming in a trial conducted over 21 years: A survey for greater forage production and Pampa pasture conservation. *European Journal of Agronomy*, published online, 125(126259), 2021. [10.1016/j.eja.2021.126259](https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126259)
- SAMPAIO, F. A. R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; OLIVEIRA, C. E. da S.; JADAL, A.; ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; SOUZA, J. S. de. Nitrogen supply associated with rhizobacteria in the first productive cycle of Marandu grass. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 25(3): 1-10, 2021. [10.1007/s12892-021-00091-8](https://doi.org/10.1007/s12892-021-00091-8)
- SANTOS, R. M. dos; DIAZ, P. A. E.; LOBO, L. L. B.; RIGOBELLO, E. C. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(1): 1-15, 2020. [10.3389/fsufs.2020.00136](https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00136)
- SHARMA, S. B.; SAYYED, R. Z.; TRIVEDI, M. H.; GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2(587): 1-14, 2013. [10.1186/2193-1801-2-587](https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587)



SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E., (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUZA, R. M. de; SOBRAL, L. F.; VIÉGAS, P. R. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; CARVALHO, M. da C. S. Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(6): 1816-1825, 2014. [10.1590/S0100-06832014000600016](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600016)

TESK, C. R. M.; CAVALLI, J.; PINA, D. S.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, C. G. S.; JANK, L. SOLLENBERGER L. E.; PEDREIRA, B. C. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity. *Agronomy Journal*. 112(3): 2081–2091, 2020. [10.1002/agj2.20189](https://doi.org/10.1002/agj2.20189)

VITTI, G. S.; OTTO, R.; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2015, 14 p. (Informações Agrônômicas, 152).

YASUOKA, J. I.; PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, V. J. da; ALONSO, M. P.; SILVA, L. S. da; GOMES, F. J. Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed *Brachiaria* grass pastures. *Grass Forage Science*, 73(1): 183-192, 2017. [10.1111/gfs.12302](https://doi.org/10.1111/gfs.12302)

ZEFFA, D. M.; PERINI, L. J.; SILVA, M. B.; SOUSA, N. V.; SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, A. L. M. de; AMARAL JÚNIOR, A. T. do; GONÇALVES, L. S. A. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *PLOS ONE*, 14(4): 1-19, 2019. [10.1371/journal.pone.0215332](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332)