

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ALINE DIVINA MARQUES

USO DE ORGANOFOSFATO EM ASSOCIAÇÃO COM MAP NA CULTURA DA
UROCHLOA BRIZANTHA CV. MARANDU

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ALINE DIVINA MARQUES

USO DE ORGANOFOSFATO EM ASSOCIAÇÃO COM MAP NA CULTURA DA
UROCHLOA BRIZANTHA CV. MARANDU

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Camargo.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M357 Marques, Aline Divina, 2001-
2026 Uso organofosfato em associação com o MAP na cultura da
Urochloa brizantha cv. Marandu [recurso eletrônico] / Aline Divina
Marques. - 2026.

Orientador: Reginaldo De Camargo.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Camargo, Reginaldo De, 1972-, (Orient.). II.
Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Agronomia. III.
Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ALINE DIVINA MARQUES

USO DE ORGANOFOSFATO EM ASSOCIAÇÃO COM MAP NA CULTURA DA
UROCHLOA BRIZANTHA CV. MARANDU

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia, 31 de julho de 2026.

Banca Examinadora:

Reginaldo de Camargo- Doutor (ICIAG/UFU)

Júlio Eduardo Santana Maia- Eng. Agrônomo (UFU)

Lorena Braz Carneiro- Mestre (UEG)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela fé, saúde e força ao longos dos anos.

A minha família, pelo apoio incondicional, a minha mãe, meu pai e minha avó Abadia que com bondade me direcionaram ao longo da vida.

Ao meu orientador, Prof^o Dr^o Reginaldo de Camargo e ao Grupo de Pesquisa em Fertilizantes Especiais pelo apoio durante toda essa jornada.

A Universidade Federal de Uberlândia, seu corpo docente, direção, administração, as pessoas que convivi nesse espaço durante minha formação acadêmica.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram e fizeram parte da minha formação, muito obrigada.

Agradeço

RESUMO

A *Urochloa brizantha* cv. Marandu desempenha um papel fundamental na pecuária tropical, embora seu potencial produtivo seja frequentemente limitado pela baixa disponibilidade de fósforo (P) característica de solos ácidos e altamente intemperizados. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da associação entre o Fertilizante Orgânico Fosfatado (FOF) e o Fosfato Monoamônico (MAP) no desenvolvimento da gramínea cultivada em um Latossolo Vermelho distrófico. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, composto por sete tratamentos (combinações de FOF: 80–100% e MAP: 5–20%) e quatro repetições. As variáveis analisadas aos 45 e 90 dias após a semeadura (DAS) incluíram a altura do dossel, o índice SPAD, o número de perfilhos, a biomassa e o teor de P-residual no solo. Os resultados evidenciaram que a combinação FOF 90% + MAP 10% proporcionou os maiores valores de P-residual ($159,78 \text{ mg dm}^{-3}$), superando de forma significativa ($p < 0,05$) as aplicações isoladas de MAP ($62,06 \text{ mg dm}^{-3}$) e de FOF 100% ($101,45 \text{ mg dm}^{-3}$). Adicionalmente, esse tratamento otimizou os parâmetros produtivos, resultando em plantas com 89,75 cm de altura, índice SPAD de 50,17 e média de 7,25 perfilhos. A análise demonstrou que a inclusão de 10% a 20% de MAP junto ao FOF reduziu a adsorção de P pelos óxidos do solo, assegurando a disponibilidade do nutriente por um período prolongado. Constatou-se, portanto, que a integração de fontes de liberação gradual e imediata (FOF 90% + MAP 10%) constitui uma estratégia promissora para o manejo nutricional em solos tropicais ácidos, conciliando produtividade, sustentabilidade e otimização de custos, além de reforçar a necessidade de doses customizadas para gramíneas forrageiras.

PALAVRAS-CHAVE: fertilizantes fosfatados, eficiência agronômica, fósforo residual, solos ácidos.

ABSTRACT

Urochloa brizantha cv. Marandu plays a fundamental role in tropical livestock production, although its productive potential is often limited by the low phosphorus (P) availability characteristic of acidic and highly weathered soils. Given this context, this study aimed to evaluate the effect of the association between Phosphated Organic Fertilizer (POF) and MAP on the development of this grass species cultivated in a dystrophic Red Latosol. The experiment was conducted using a randomized block design, consisting of seven treatments (POF: 80–100% and MAP: 5–20% combinations) and four replications. The variables analyzed at 45 and 90 days after sowing (DAS) included canopy height, SPAD index, number of tillers, biomass, and residual P content in the soil. The results showed that the combination of 90% POF + 10% MAP provided the highest residual P values ($159.78 \text{ mg dm}^{-3}$), significantly outperforming ($p < 0.05$) the isolated applications of MAP (62.06 mg dm^{-3}) and 100% POF ($101.45 \text{ mg dm}^{-3}$). Additionally, this treatment optimized productive parameters, resulting in plants with a height of 89.75 cm, a SPAD index of 50.17, and an average of 7.25 tillers. The analysis demonstrated that the inclusion of 10% to 20% MAP along with POF reduced P adsorption by soil oxides, ensuring nutrient availability over a prolonged period. Therefore, it was concluded that the integration of gradual and immediate-release sources (90% POF + 10% MAP) constitutes a promising strategy for nutritional management in acidic tropical soils, balancing productivity, sustainability, and cost optimization, while reinforcing the need for customized doses for forage grasses.

KEYWORDS: phosphate fertilizers, agronomic efficiency, residual phosphorus, acidic soils.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo de análise química e física do solo. Uberlândia- MG, 2024.....	14
Tabela 2: Descrição dos tratamentos com fontes e proporções de fertilizantes fosfatados no desenvolvimento de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu. Uberlândia-MG, 2024.....	14
Tabela 3: Detalhamento das doses e recomendação de P_2O_5 ha para cada fonte de fósforo na cultura da brachiaria. Uberlândia-MG, 2024.....	15
Tabela 4: Detalhamento da adubação de plantio com fontes de fósforo na cultura da brachiaria. Uberlândia-MG, 2024.....	15
Tabela 5: Detalhamento da adubação de plantio com fontes de cloreto de potássio e ureia na cultura da brachiaria. Uberlândia-MG, 2024.....	15
Tabela 6: Valores de altura de planta de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 45 DAS em função de fontes de P_2O_5 Uberlândia- MG 2024.....	16
Tabela 7: Valores de índice SPAD de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 45 DAS em função de fontes de P_2O_5 Uberlândia-MG, 2024.....	18
Tabela 8: Valores de Número de perfilhos de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 45 DAS em função de fontes de P_2O_5 Uberlândia-MG, 2024.....	18
Tabela 9: Valores de altura de planta de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.....	19
Tabela 10: Índice SPAD de plantas de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.....	21
Tabela 11: Número de perfilho em plantas de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.....	22
Tabela 12: Massa fresca de plantas de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.....	22
Tabela 13: Massa seca de plantas de <i>Urochloa brizantha</i> Cv.. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.....	23
Tabela 14: Teores médios de fósforo no solo (P-resina) em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após o corte das plantas. Uberlândia-MG, em 2024.....	23
Tabela 15: Teores médios em g/kg de nitrogênio (N) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após o corte das plantas. Uberlândia-MG, em 2024.....	25
Tabela 16: Teores médios em g/kg de fósforo (P) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	26
Tabela 17: Teores médios em g/kg de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	26
Tabela 18: Teores médios em g/kg de enxofre foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	27

Tabela 19: Teores médios em g/kg de boro (B) e cobre (Cu) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após o corte das plantas. Uberlândia-MG, em 2024.....	28
Tabela 20: Teores médios em g/kg de ferro (Fe) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	28
Tabela 21: Teores médios de manganês (Mn) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	29
Tabela 22: Teores médios em g/kg de zinco (Zn) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	30
Tabela 23: Teores médios em g/kg de molibdênio (Mo) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Importância dos fertilizantes fosfatados na agricultura	12
2.2 Urochloa Brizantha CV. Marandu.....	12
2.3 Fertilizantes Especiais e convencionais: Sinergismo.....	12
2.4 Métodos de avaliação do crescimento vegetal.....	13
2.5 Dinâmica do Fósforo no solo.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
5 CONCLUSÃO.....	31
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

A *Urochloa brizantha* cv. Marandu, popularmente conhecida como braquiária, destaca-se como uma das forrageiras tropicais mais utilizadas na pecuária brasileira. Essa relevância decorre de sua notável adaptabilidade a solos ácidos e de baixa fertilidade, além de sua elevada capacidade de produção de biomassa (Sampaio *et al.*, 2020). No entanto, a eficiência produtiva dessa gramínea está intrinsecamente relacionada à disponibilidade de fósforo (P). Este é um nutriente crítico em solos tropicais, nos quais os processos de fixação por óxidos de ferro e alumínio limitam severamente sua absorção pelas plantas (Gobbi *et al.*, 2018).

Nesse cenário, fontes fosfatadas convencionais, como o fosfato monoamônico (MAP), são amplamente empregadas devido à alta solubilidade em água e rapidez na liberação de fósforo (P) e nitrogênio (N), o que favorece o arranque inicial da cultura (Porto *et al.*, 2024). Por outro lado, os fertilizantes de eficiência aumentada (FEAs) têm ganhado protagonismo no setor agrícola. Essa categoria engloba produtos com mecanismos de liberação controlada ou revestimentos que reduzem as perdas por adsorção, lixiviação ou volatilização, potencializando a permanência do P na solução do solo (Frazão *et al.*, 2014).

Os fertilizantes orgânicos fosfatados (FOF), são enquadrados na classe dos FEAs, destaca-se por apresentar maior estabilidade na matriz do solo, otimizando a assimilação radicular e mitigando passivos ambientais (Borges, 2021; Almeida, 2016). Pesquisas recentes indicam que o uso conjugado de FEAs e fontes solúveis tradicionais como o MAP pode gerar um efeito sinérgico, reunindo os benefícios da liberação imediata e gradual para elevar a eficiência agrônômica e o rendimento de culturas agrícolas e forrageiras (Franco Júnior *et al.*, 2023).

Apesar de tais avanços, ainda persistem lacunas científicas a respeito da dosagem ideal e da dinâmica de interação entre o FOF e o MAP em condições controladas, sobretudo para gramíneas de pastagem. Torna-se imperativo investigar proporções de associação que equilibrem a viabilidade econômica e eficácia biológica, tomando como base o crescimento vegetativo, o teor de clorofila e o P-residual. Adicionalmente, o emprego de índices fisiológicos indiretos, como o índice SPAD, tem se mostrado fundamental para monitorar o status nutricional das plantas em tempo real, servindo de norte para o manejo da adubação (Bernardo *et al.*, 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica do fertilizante orgânico fosfatado (FOF) em associação com o MAP no desenvolvimento da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, por meio da análise de variáveis morfológicas, produtivas e do teor residual de P em um Latossolo Vermelho distrófico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância dos fertilizantes fosfatados na agricultura

Os fertilizantes fosfatados desempenham um papel primordial na nutrição vegetal, sobretudo em sistemas agrícolas estabelecidos sobre solos tropicais, como os Latossolos Vermelhos. Nesses ambientes, a disponibilidade natural de fósforo (P) é severamente restrita devido ao fenômeno de adsorção/fixação em óxidos de ferro e alumínio. Na fisiologia vegetal, o P é um elemento indispensável para o metabolismo e o vigor das plantas, atuando diretamente em processos vitais como a fotossíntese, a transferência de energia via trifosfato de adenosina (ATP) e a expansão do sistema radicular. Consequentemente, o suprimento adequado deste nutriente reflete de forma direta no potencial produtivo de gramíneas forrageiras, a exemplo da *Urochloa brizantha*. Diante dessa demanda nutricional, o fosfato monoamônico (MAP) consolidou-se como uma das fontes mais empregadas na agricultura, em razão de sua elevada solubilidade em água e rapidez na liberação conjunta de P e nitrogênio (N), fatores que beneficiam o arranque inicial e o estabelecimento do estande (Porto *et al.*, 2024).

2.2 Urochloa Brizantha CV. Marandu

A *Urochloa brizantha* cv. Marandu é uma gramínea forrageira de grande importância econômica no Brasil, adaptada a solos ácidos e de baixa fertilidade, típicos do cerrado e outras regiões tropicais. Sua produtividade está diretamente relacionada à disponibilidade de nutrientes, em especial o fósforo, que influencia o perfilhamento, crescimento e produção de biomassa. A adubação fosfatada tem mostrado aumentar a eficiência fotossintética da planta, refletida em maiores índices SPAD e melhor desenvolvimento morfológico (Brasil, 2012; Embrapa, 2015).

2.3 Fertilizantes Especiais e convencionais: Sinergismo

A associação de fertilizantes convencionais, a exemplo do MAP, com fontes especiais e de eficiência aumentada visa otimizar a eficiência agrônômica e mitigar perdas por lixiviação e fixação no perfil do solo (Silva, 2024). Investigações recentes indicam que o uso conjugado de fosfato monoamônico e fertilizantes organofosfatados potencializa a absorção de fósforo (P) e eleva a produtividade de gramíneas forrageiras; esse efeito benéfico é ainda mais pronunciado em solos compactados, ambientes nos quais a difusão e a disponibilidade de P são severamente restritas (Nutrição de Safras, 2024). Nesse cenário, o FOF destaca-se por ser produzido a partir de subprodutos da suinocultura submetidos ao tratamento em biodigestores e posterior secagem (Pires *et al.*, 2024). Essa matriz orgânica constitui uma fonte fosfatada de elevado potencial, podendo atuar como substituta integral de insumos minerais em sistemas de cultivo orgânico ou de forma parcial em manejos convencionais (Silva, 2022).

2.4 Métodos de avaliação do crescimento vegetal

Indicadores morfológicos e fisiológicos, tais como a altura do dossel, o número de perfilhos e o índice SPAD, são amplamente consolidados na literatura para monitorar a resposta vegetal à adubação fosfatada. Enquanto a massa seca da parte aérea atua como um reflexo direto da eficiência da cultura no acúmulo de biomassa, a mensuração do teor de fósforo residual no solo viabiliza a avaliação do efeito residual dos fertilizantes aplicados ao longo do tempo (Motta, 2009). Complementarmente, a análise química foliar constitui uma ferramenta indispensável para o diagnóstico preciso do estado nutricional das plantas. Para a interpretação segura dessas variáveis, o teste estatístico de Scott-Knott é frequentemente empregado em pesquisas agronômicas, uma vez que realiza a comparação de médias por agrupamento mútua e totalmente exclusivo, garantindo elevado rigor científico e evitando ambiguidades nos resultados (Pinheiro, 2017).

2.5 Dinâmica do Fósforo no solo

Em Latossolos Vermelhos distróficos, o fenômeno de adsorção do fósforo aos óxidos de ferro e alumínio restringe severamente sua disponibilidade na solução do solo, o que demanda estratégias de manejo integradas, tais como a calagem e a inserção de fertilizantes organofosfatados (Oliveira, 2019). Nesse sentido, investigações recentes comprovam que o uso conjugado de fontes altamente solúveis, a exemplo do fosfato monoamônico (MAP), com matrizes orgânicas estabilizadas eleva de forma expressiva os teores de P-resina no solo. Esse comportamento evidencia um efeito sinérgico capaz de mitigar a fixação química do P e, consequentemente, otimizar a eficiência de absorção do nutriente pelo sistema radicular das plantas (Souza *et al.*, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em ambiente controlado no Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, Brasil. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura argilosa, conforme a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). A análise química prévia do solo orientou as práticas de correção e adubação adotadas (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo de análise química e física do solo. Uberlândia- MG, 2024

pH H ₂ O 5	pH CaCl ₂ -	P _{meh} ⁻¹ mg dm ³ 0,33	K mg dm ³ 12,8
	Ca cmolc dm ³ 0,56	Mg cmolc dm ³ 0,17	Al cmolc dm ³ 0,04
T cmolc dm ³ 1,96	V% 38,90	m% 4,97	
	H + Al cmolc dm ³ 1,20	MO dag kg ⁻¹ 1,1	SB cmolc dm ³ 0,76
Teores (g kg ⁻¹)			
Areia grossa 114	Areia fina 92	Silte 127	Argila 667

No preparo do solo foi realizado o enchimento dos vasos com solo e o calcareamento. A calagem foi aplicada 60 dias antes da semeadura e foi realizada com óxido de cálcio e magnésio, seguindo recomendações técnicas para a cultura (Figura 1). A umidade do solo foi mantida em valores entre 60 e 80% da capacidade de campo durante o desenvolvimento da *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

Quanto ao delineamento adotado foi o de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela consistiu em dois vasos de 18 L, preenchidos com solo corrigido e homogeneizado. Os tratamentos avaliaram diferentes proporções do FOF(fertilizante orgânico fosfatado) em associação com MAP (fosfato monoamônico), conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos com fontes e proporções de fertilizantes fosfatados no desenvolvimento de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Uberlândia-MG, 2024

Tratamento	Descrição
T1	Controle
T2	FOF 100%
T3	MAP 100%
T4	FOF 95%+MAP 5%
T5	FOF 90%+MAP 10%
T6	FOF 85%+MAP 15%
T7	FOF 80%+MAP 20%

A adubação de plantio foi distribuída na superfície do solo de cada parcela, conforme detalhado nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3. Detalhamento das doses e recomendação de P_2O_5 ha para cada fonte de fósforo na cultura da brachiaria. Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Formulação	FOF P_2O_5 kg ha	MAP P_2O_5 kg ha
T1	Controle		0	0
T2	FOF 100%	00-13-00	100	0
T3	MAP 100%	11-52-00	0	100
T4	FOF 95%+MAP 5%		95	5
T5	FOF 90%+MAP 10%		90	10
T6	FOF 85%+MAP 15%		85	15
T7	FOF 80%+MAP 20%		80	20

Tabela 4. Detalhamento da adubação de plantio com fontes de fósforo na cultura da brachiaria. Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	FOF kg ha	MAP kg ha	FOF g/parcela	MAP g/parcela
T1	Controle	0	0	0	0
T2	FOF 100%	666,67	0	6	0
T3	MAP 100%	0	192,32	0	1,7
T4	FOF 95%+MAP 5%	633,33	9,62	5,7	0,09
T5	FOF 90%+MAP 10%	600	19,23	5,4	0,17
T6	FOF 85%+MAP 15%	566,67	28,85	5,1	0,26
T7	FOF 80%+MAP 20%	533,33	38,46	4,8	38,46

Tabela 5. Detalhamento da adubação de plantio com fontes de cloreto de potássio e ureia na cultura da brachiaria. Uberlândia-MG, 2024.

Fertilizante	Formulação	Kg ha	g/parcela
KCL	00-00-60	66,67	0,6
Ureia	45-00-00	111,11	1

As adubações foram realizadas com ureia e KCL, em 28 de agosto de 2024, No mesmo dia das adubações com ureia e KCL, foram semeadas vinte sementes por vaso, após uma cobertura com uma camada de 0,5cm de solo. Os fertilizantes foram aplicados superficialmente nos vasos sem incorporação e aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi realizado desbaste, mantendo-se 6 plântulas por parcela. O manejo da irrigação foi realizado por uso de regadores, sendo necessária a realização de três regas diárias, á 8:00, 13:00 e 17:00 horas, durante todo período de condução do projeto. Não houve necessidade de controle fitossanitário.

VARIÁVEIS AVALIADAS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

As avaliações foram conduzidas aos 45 e 90 dias após a semeadura (DAS), contemplando a mensuração da altura do dossel forrageiro, medida da base ao ápice da folha mais longa, o índice SPAD para determinação da unidade relativa de clorofila por meio do medidor portátil SPAD-502 Plus, e a contagem do número de perfilhos por planta.

Especificamente aos 90 DAS, foram determinadas as massas fresca e seca da parte aérea, obtidas após a secagem do material vegetal em estufa a 65 °C até atingir peso constante. Nessa mesma ocasião, visando avaliar o estado nutricional das plantas e o efeito residual da adubação fosfatada, realizaram-se as análises dos teores de macronutrientes foliares e do teor de fósforo residual no solo, este último extraído pelo método da resina trocadora de íons.

Por fim, os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), empregando o software estatístico Sisvar®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS AOS 45 DAS

Aos 45 dias após a semeadura (DAS), as diferentes fontes de P_2O_5 promoveram variações significativas nos parâmetros avaliados para a *Urochloa brizantha* cv. Marandu, conforme apresentado na Tabela 6. De acordo com o teste estatístico de Scott-Knott a 5% de probabilidade, os tratamentos influenciaram diretamente a altura das plantas, o índice SPAD e o número de perfilhos.

Tabela 6. Valores de altura de planta de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 45 DAS em função de fontes de P_2O_5 Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Altura (cm)
T1	Controle	15,75b
T2	FOF 100%	61,75a
T3	MAP 100%	67,25a
T4	FOF 95%+MAP 5%	56a
T5	FOF 90%+MAP 10%	63,5a
T6	FOF 85%+MAP 15%	55,5a
T7	FOF 80%+MAP 20%	64a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

Altura das plantas

A ausência de aplicação de P_2O_5 no tratamento testemunha resultou na menor altura de planta (15,75 cm), diferindo significativamente ($p<0,05$) das demais condições avaliadas. Dentre as fontes fosfatadas testadas, os maiores crescimentos foram promovidos pelo MAP (67,25 cm) e pelo FOF 80% (64,00 cm), seguidos pelas formulações FOF 90% (63,50 cm) e FOF 100% (61,75 cm). Esse comportamento evidencia que o fornecimento de P_2O_5 sobretudo por meio de fontes de alta solubilidade como o MAP, potencializa o alongamento celular e o desenvolvimento vegetativo, aspectos fundamentais para a expansão de gramíneas forrageiras tropicais. Essa vantagem competitiva do MAP está associada à sua célere solubilização na matriz do solo, o que assegura uma absorção radicular mais eficiente e o pronto suprimento do elemento para o vegetal (Novais et al., 2024; Costa, 2023).

Por ser um elemento estrutural na molécula de ATP, o fósforo desempenha um papel crucial no metabolismo vegetal, fornecendo a energia necessária para os processos de divisão e alongamento celular, além de integrar a síntese de ácidos nucleicos e fosfolipídios indispensáveis ao crescimento (Novais et al., 2024). Todavia, a dinâmica desse nutriente em solos tropicais é frequentemente limitada pela fixação em óxidos de ferro e alumínio, cenário que demanda o uso de fontes capazes de aliar solubilização rápida e liberação gradual para maximizar a eficiência do fertilizante (Instituto da Potassa & Fosfato, 2021).

Nesse contexto, a utilização de fontes solúveis de fósforo, a exemplo do MAP, combinada a fertilizantes fosfatados como o FOF, atua como uma estratégia eficaz para impulsionar o desenvolvimento vegetativo de gramíneas forrageiras. Esse estímulo, evidenciado pelo incremento na altura das plantas, favorece o estabelecimento inicial e eleva o teto produtivo de pastagens em regiões tropicais (Costa, 2023; Novais et al., 2024).

Índice SPAD

Aos 45 DAS, o índice SPAD, utilizado para estimar o teor de clorofila nas folhas, oscilou entre 28,85 no tratamento testemunha e 48,11 nas plantas que receberam o FOF 80%, conforme detalhado na Tabela 7. Todas as parcelas que contaram com o aporte de P_2O_5 exibiram valores significativamente superiores aos do controle ($p<0,05$), o que reforça a atuação indispensável do fósforo na síntese de ATP e NADPH, compostos energéticos vitais para o pleno funcionamento do aparato fotossintético. O pico no índice SPAD verificado com o uso do FOF 80% pode estar associado ao equilíbrio nutricional de sua formulação, que atua sinergicamente para otimizar a eficiência fotoquímica do vegetal (Costa, 2023; Silva et al., 2014).

Tabela 7. Valores de índice SPAD de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 45 DAS em função de fontes de P₂O₅ Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	SPAD
T1	Controle	28,85b
T2	FOF 100%	43,48a
T3	MAP 100%	47a
T4	FOF 95%+MAP 5%	43,07a
T5	FOF 90%+MAP 10%	46,07a
T6	FOF 85%+MAP 15%	37,67a
T7	FOF 80%+MAP 20%	48,11a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade.

O índice SPAD é um método não destrutivo amplamente utilizado para estimar o teor de clorofila nas folhas, apresentando alta correlação com os pigmentos foliares (clorofilas a, b e totais) e refletindo o estado nutricional das plantas, especialmente em relação ao nitrogênio e fósforo (Ferreira *et al.*, 2019). Valores elevados de SPAD indicam maior capacidade fotossintética, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas, o que está diretamente relacionado à disponibilidade adequada de fósforo no solo (Novais *et al.*, 2024). Assim, a aplicação de fontes de fósforo, especialmente na forma combinada como no Fertilizante orgânico fosfatado 80%, contribui para o aumento do índice SPAD, indicando maior teor de clorofila foliar e melhor desempenho fisiológico das plantas.

Número de perfilhos

O número de perfilhos foi significativamente maior nos tratamentos com MAP (4,71) e FOF 80% (4,69), enquanto a testemunha apresentou o menor valor (0,21).. Esses dados reforçam a importância do fósforo no perfilhamento, um processo dependente da energia e da divisão celular, fundamentais para a formação de gemas basais e emissão de novos perfilhos. A eficiência observada no MAP e no FOF 80% pode ser atribuída à maior disponibilidade de fósforo no solo, que estimula o crescimento radicular e a atividade meristemática, favorecendo o perfilhamento das gramíneas tropicais (Novais *et al.*, 2024; Costa, 2023).

Estudos indicam que o fósforo exerce papel crucial no desenvolvimento do sistema radicular e na produção de perfilhos, pois é vital para a formação de ATP, principal fonte energética para processos metabólicos e divisão celular nas plantas (Mesquita *et al.*, 2023; Instituto da Potassa & Fosfato, 2021). Além disso, a combinação de fontes de fósforo solúvel e de liberação gradual, como MAP e FOF, pode otimizar a disponibilidade do nutriente ao longo do ciclo da cultura, promovendo maior perfilhamento e vigor das plantas (Costa, 2023).

A baixa disponibilidade de fósforo, como no tratamento testemunha, limita a emissão de perfilhos, prejudicando o estabelecimento e a produtividade das gramíneas forrageiras, enquanto a adubação fosfatada adequada contribui para maior densidade de perfilhos e melhor estrutura da pastagem (Mesquita *et al.*, 2023; Novais *et al.*, 2024).

Tabela 8. Valores de Número de perfilhos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 45 DAS em função de fontes de P_2O_5 Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Perfilhos
T1	Controle	0,21c
T2	FOF 100%	3,83b
T3	MAP 100%	4,71a
T4	FOF 95%+MAP 5%	3,46b
T5	FOF 90%+MAP 10%	4,25a
T6	FOF 85%+MAP 15%	3,3b
T7	FOF 80%+MAP 20%	4,69a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

Os dados tornam evidente a relação positiva entre o fornecimento de P_2O_5 e o desenvolvimento da cultura. Na Tabela 6, observa-se que a altura das plantas tendeu a um gradiente crescente associado à disponibilidade de fósforo, comportamento que divergiu apenas no tratamento FOF 85%, que registrou 55,50 cm. Adicionalmente, a Tabela 7 reforça a correlação direta entre o aporte de P_2O_5 e os teores de clorofila, enquanto a Tabela 8 destaca a resposta exponencial do perfilhamento em função da adubação fosfatada.

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS AOS 90 DAS

Aos 90 dias após a semeadura (DAS), as diferentes fontes de P_2O_5 exerceram impactos significativos sobre as características morfológicas e produtivas da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, conforme registrado na Tabela 9. De acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, os tratamentos promoveram variações estatisticamente perceptíveis na altura das plantas, no índice SPAD, no número de perfilhos, bem como na produção de massa fresca e de massa seca da parte aérea.

Tabela 9. Valores de altura de planta de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Altura (cm)
T1	Controle	36,12b
T2	FOF 100%	89,75a
T3	MAP 100%	91,25a
T4	FOF 95%+MAP 5%	86,25a
T5	FOF 90%+MAP 10%	89,75a
T6	FOF 85%+MAP 15%	97,5A
T7	FOF 80%+MAP 20%	85,25a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

Altura das plantas

O tratamento testemunha apresentou o menor valor médio para a altura das plantas (36,12 cm), diferindo significativamente ($p < 0,05$) das demais condições experimentais. Entre as fontes de P_2O_5 avaliadas, o FOF 85% destacou-se com a maior média de crescimento (97,50 cm), sendo seguido pelo MAP (91,25 cm) e pelo FOF 100% (89,75 cm), conforme ilustrado na Tabela 9. Esses achados reforçam a atuação indispensável do fósforo nos processos de alongamento celular e na expansão dos tecidos vegetais, em consonância com o observado por Silva e Delatorre (2009) para gramíneas tropicais. Ademais, o desempenho superior do FOF 85% pode ser associado ao seu mecanismo de liberação gradual, característica que assegura o fornecimento contínuo do nutriente ao longo do tempo e sustenta o crescimento estável da cultura (Henrique, 2019).

Silva e Delatorre (2009) salientam que a escassez de fósforo restringe o desenvolvimento do sistema radicular e a consequente absorção de nutrientes, o que afeta de forma direta o crescimento da parte aérea. Por sua vez, Henrique et al. (2019) ressaltam que os fertilizantes fosfatados promovem uma sincronização mais eficiente entre a liberação do elemento no solo e a exigência nutricional da cultura, otimizando o desenvolvimento vegetal.

Índice SPAD

Aos 90 DAS, o índice SPAD, que estima o teor de clorofila foliar, oscilou entre 33,19 no tratamento testemunha e 50,17 na parcela que recebeu o FOF 90%, conforme demonstrado na Tabela 10. Todos os tratamentos que contaram com o aporte de P_2O_5 exibiram valores significativamente superiores ao controle ($p < 0,05$), o que confirma a interrelação positiva entre o suprimento de fósforo e a síntese de pigmentos fotossintéticos. O desempenho

destacado da formulação FOF 90% pode ser atribuído ao efeito sinérgico entre o fósforo e os micronutrientes integrantes de sua composição, os quais atuam conjuntamente para potencializar a eficiência fotoquímica do vegetal.

Tabela 10. Índice SPAD de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P₂O₅. Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	SPAD
T1	Controle	33,19b
T2	FOF 100%	48,63a
T3	MAP 100%	48,43a
T4	FOF 95%+MAP 5%	46,82a
T5	FOF 90%+MAP 10%	50,17a
T6	FOF 85%+MAP 15%	45,6a
T7	FOF 80%+MAP 20%	49,25a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

Pesquisas recentes comprovam que o índice SPAD atua como um indicador seguro do estado nutricional das plantas, com ênfase para o monitoramento do fósforo e do nitrogênio, cujos teores influenciam diretamente a capacidade fotossintética e o vigor de gramíneas forrageiras como a *Urochloa brizantha* (Porto et al., 2024; Barros et al., 2017). Diante disso, o uso combinado de fertilizantes fosfatados e micronutrientes vem sendo recomendado como uma estratégia eficiente para potencializar a absorção mineral e elevar o desempenho fisiológico do vegetal (Porto et al., 2024).

Número de Perfilhos

Aos 90 DAS O número de perfilhos foi significativamente maior nos tratamentos com FOF 90%(7,25) e FOF 85%(7,1) enquanto a testemunha apresentou o menor valor (0,29).Novamente esses dados reforçam a importância do fósforo no perfilhamento, um processo dependente da energia e da divisão celular, fundamentais para a formação de gemas laterais e emissão de novos perfilhos. A eficiência observada no FOF pode ser atribuída ao início da liberação há disponibilidade de fósforo no solo, que estimula o crescimento radicular e a atividade meristemática, favorecendo o perfilhamento das gramíneas tropicais (Novais et al., 2024; Costa, 2023).

Tabela 11. Número de perfilho em plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P₂O₅. Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Perfilhos
T1	Controle	0,29b
T2	FOF 100%	6,12a
T3	MAP 100%	6,58a
T4	FOF 95%+MAP 5%	6,12a
T5	FOF 90%+MAP 10%	7,25a
T6	FOF 85%+MAP 15%	7,1a
T7	FOF 80%+MAP 20%	6,54a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

A baixa disponibilidade de fósforo, como no tratamento controle deixa limitada a emissão de perfilhos, prejudicando o estabelecimento e a produtividade das gramíneas forrageiras, enquanto a adubação fosfatada adequada contribui para maior densidade de perfilhos e melhor estrutura da pastagem (Mesquita et al., 2023; Novais et al., 2024).

Massa Fresca e Seca

A produção de massa fresca e de massa seca da parte aérea seguiu um comportamento homólogo, registrando-se os menores valores no tratamento testemunha (5,35 g e 1,16 g, respectivamente). O uso do fosfato monoamônico (MAP) proporcionou o maior rendimento de matéria fresca (155,48 g), ao passo que a formulação FOF 80% destacou-se quanto ao acúmulo de matéria seca (41,74 g). Esses achados evidenciam a relevância do fósforo na deposição de biomassa vegetal, reflexo de sua atuação essencial na síntese de ácidos nucleicos e na constituição de membranas celulares, processos vitais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Marschner, 2011; Taiz et al., 2023).

Tabela 12. Massa fresca de plantas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P₂O₅. Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Massa fresca (g)
T1	Controle	5,35b
T2	FOF 100%	114,91a
T3	MAP 100%	155,48a
T4	FOF 95%+MAP 5%	96,45a
T5	FOF 90%+MAP 10%	124,97a
T6	FOF 85%+MAP 15%	126,42a
T7	FOF 80%+MAP 20%	120,48a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

Tabela 13. Massa seca de plantas de *Urochloa brizantha* Cv.. Marandu aos 90 DAS em função de fontes de P_2O_5 . Uberlândia-MG, 2024.

Tratamento	Descrição	Massa seca (g)
T1	Controle	1,16b
T2	FOF 100%	24,11a
T3	MAP 100%	28,64a
T4	FOF 95%+MAP 5%	31,34a
T5	FOF 90%+MAP 10%	34,19a
T6	FOF 85%+MAP 15%	36,91a
T7	FOF 80%+MAP 20%	41,74a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

Enquanto a Tabela 9 evidencia o efeito positivo das fontes de P_2O_5 sobre a altura das plantas, a Tabela 10 demonstra a correlação direta entre o suprimento de fósforo e os teores de clorofila. Complementarmente, as Tabelas 11,12 e 13 destacam o incremento exponencial no número de perfilhos e na produção de biomassa em função da adubação fosfatada.

TEOR DE FÓSFORO RESIDUAL NO SOLO APÓS O CORTE DAS PLANTAS.

Os teores de fósforo disponíveis no solo (P-Resina), avaliados após o corte de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, demonstraram variações significativas em resposta às diferentes fontes e doses de fertilizantes fosfatados (Tabela 14) O teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) evidenciou diferenças estatísticas entre os tratamentos, com destaque para combinações que associaram FOF e MAP.

Tabela 14. Teores médios de fósforo no solo (P-resina) em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após o corte das plantas. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	P-resina (mg dm ³)
T1	Controle	13,60f
T2	FOF 100%	101,45c
T3	MAP 100%	62,06e
T4	FOF 95%+MAP 5%	87,89d
T5	FOF 90%+MAP 10%	159,78a
T6	FOF 85%+MAP 15%	129,86b
T7	FOF 80%+MAP 20%	154,21a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, à 5% de probabilidade

Confirmando a baixa fertilidade natural do solo em termos de fósforo, a testemunha exibiu o menor índice de P-resina ($13,60 \text{ mg dm}^{-3}$, classe "f"). Por outro lado, os valores máximos foram obtidos com as misturas de FOF 90% + MAP 10% ($159,78 \text{ mg dm}^{-3}$) e FOF 80% + MAP 20% ($154,21 \text{ mg dm}^{-3}$), pertencentes ao grupo "a". Os achados demonstram que a complementaridade entre fontes solúveis (MAP) e o FOF favorece a manutenção do nutriente na solução do solo. Esse sinergismo entre solubilidade imediata e residual é estratégico para diminuir a fixação do fósforo em frações de ferro e alumínio, contornando uma limitação frequente em solos intemperizados (Novais et al., 2024; Costa, 2023).

O tratamento com 100% de MAP acusou um teor de $62,06 \text{ mg dm}^{-3}$ ("e"), ficando abaixo das combinações testadas devido, possivelmente, à velocidade de sua solubilização, que predispõe o elemento à fixação no solo ou à lixiviação. Em contrapartida, o FOF 100% alcançou $101,45 \text{ mg dm}^{-3}$ ("c"), sobrepujando o MAP convencional e validando a eficiência de fontes com matriz orgânica na modulação da liberação de fósforo para a planta. Notou-se também que a inserção gradativa de MAP nas formulações do FOF impulsionou linearmente os valores de P-resina, sinalizando um efeito sinérgico benéfico em doses intermediárias da fonte mineral (Instituto da Potassa & Fosfato, 2021; Costa, 2023).

Depreende-se desses resultados que o consórcio de fertilizantes fosfatados é estrategicamente superior ao uso de fontes exclusivas. A mistura FOF 90% + MAP 10% propiciou o maior pico de P-resina e garantiu a manutenção de níveis adequados do nutriente no solo, reduzindo a necessidade de adubações frequentes a curto prazo. Essa perspectiva sintoniza-se com pressupostos que defendem a diversificação de fontes fosfatadas como ferramenta para aperfeiçoar a nutrição de pastagens tropicais (Novais et al., 2024; Instituto da Potassa & Fosfato, 2021).

Contudo, a combinação FOF 85% + MAP 15% ($129,86 \text{ mg dm}^{-3}$, "b") comportou-se como uma exceção ao exibir redução em relação aos níveis de 10% e 20% de MAP. Incompatibilidades momentâneas na dinâmica química do solo podem explicar tal oscilação, reforçando que o balanço exato entre as fontes é determinante para o sucesso da fertilização (Costa, 2023).

ANÁLISES QUÍMICAS FOLIARES

Macronutrientes foliares

Os teores de nutrientes no tecido vegetal (Tabela 15) variaram significativamente de acordo com os tratamentos avaliados. Essa caracterização diagnóstica viabiliza a avaliação da eficiência das fontes fosfatadas na nutrição do capim-marandu, além de evidenciar suas interações químicas com os demais macro e micronutrientes (Fernandes *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2008). Contudo, a avaliação desses índices exige cautela analítica: parcelas com reduzido acúmulo de fitomassa, a exemplo da testemunha, tendem a exibir concentrações numéricas

falsamente elevadas devido ao efeito de concentração, o que não reflete, necessariamente, um estado nutricional satisfatório.

Nitrogênio (N)

O tratamento FOF 90% + MAP 10% propiciou o maior teor de nitrogênio foliar (31,19 g/kg), diferindo estatisticamente das demais parcelas. Esse achado sugere a ocorrência de um efeito sinérgico entre as fontes fosfatadas na absorção de N, hipótese que converge com estudos anteriores que enfatizam o impacto do equilíbrio entre frações solúveis e orgânicas de P sobre a dinâmica do nitrogênio em gramíneas tropicais (Fernandes et al., 2020; Costa et al., 2008).

Tabela 15. Teores médios em g/kg de nitrogênio (N) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após o corte das plantas. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	N
T1	Controle	21,59b
T2	FOF 100%	24,78b
T3	MAP 100%	23,52b
T4	FOF 95%+MAP 5%	24,39b
T5	FOF 90%+MAP 10%	31,19b
T6	FOF 85%+MAP 15%	22,71b
T7	FOF 80%+MAP 20%	20,82b

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fósforo (P)

Não foram detectadas variações estatisticamente significativas nos teores foliares de fósforo entre os tratamentos avaliados, os quais oscilaram de 1,29 a 1,55 g/kg (Tabela 16). Esse comportamento valida a conhecida capacidade do capim-marandu em mobilizar P mesmo sob condições de escassez no solo, um mecanismo adaptativo amplamente relatado em ecossistemas tropicais (Fernandes *et al.*, 2020; Rossi e Monteiro, 2013).

Tabela 16. Teores médios em g/kg de fósforo (P) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	P
T1	Controle	1,55ns
T2	FOF 100%	1,47ns
T3	MAP 100%	1,34ns
T4	FOF 95%+MAP 5%	1,35ns
T5	FOF 90%+MAP 10%	1,29ns
T6	FOF 85%+MAP 15%	1,44ns
T7	FOF 80%+MAP 20%	1,32ns

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

**ns= não significativo

Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Os teores de potássio não apresentaram flutuações estatísticas representativas, mantendo-se na amplitude de 20,17 a 26,37 g/kg (Tabela 17). Em contrapartida, os índices de cálcio mostraram-se consistentemente elevados nos tratamentos adubados, variando de 6,84 a 8,39 g/kg. Na literatura, aponta-se que adubos fosfatados de alta solubilidade, como o MAP, conseguem favorecer a dinâmica e a disponibilidade de Ca em ambientes ácidos (Batista e Monteiro, 2010; Costa *et al.*, 2008). Quanto ao magnésio, as parcelas fertilizadas exibiram teores superiores, situados entre 5,02 e 6,41 g/kg, reflexo provável do Mg contido como impureza nas fontes utilizadas ou decorrente de interações químicas específicas na matriz do solo (Batista e Monteiro, 2010).

Tabela 17. Teores médios em g/kg de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	K	Ca	Mg
T1	Controle	25,39ns	5,34a	3,08b
T2	FOF 100%	21,69ns	7,46a	5,45a
T3	MAP 100%	20,17ns	7,38a	5,48a
T4	FOF 95%+MAP 5%	25,65ns	8,39a	6,09a
T5	FOF 90%+MAP 10%	22,67ns	6,84a	5,02a
T6	FOF 85%+MAP 15%	26,37ns	8,36a	6,41a
T7	FOF 80%+MAP 20%	23,77ns	7,04a	5,4a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

**ns= não significativo

Enxofre (S)

Os maiores valores de enxofre foliar concentraram-se nos tratamentos FOF 85% + MAP 15% (1,85 g/kg) e FOF 80% + MAP 20% (1,73 g/kg). Esse panorama indica que o arranjo entre fontes de P altera a cinética do S no sistema, seja pela presença de sulfatos na composição dos adubos ou pelo estímulo à mineralização de compostos de origem orgânica (Batista e Monteiro, 2010; Costa *et al.*, 2008).

Tabela 18. Teores médios em g/kg de enxofre foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	S
T1	Controle	1,4b
T2	FOF 100%	1,33b
T3	MAP 100%	1,29b
T4	FOF 95%+MAP 5%	1,30b
T5	FOF 90%+MAP 10%	1,43b
T6	FOF 85%+MAP 15%	1,85a
T7	FOF 80%+MAP 20%	1,73a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$)

Em suma, a combinação FOF 90% + MAP 10% potencializa a absorção de nitrogênio, enquanto as formulações com maior participação de MAP beneficiaram o acúmulo de enxofre. Tais interações evidenciam a relevância do manejo integrado e balanceado de fertilizantes como estratégia para otimizar o aproveitamento global de nutrientes pela pastagem (Fernandes *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2008).

Micronutrientes foliares

A análise dos teores de micronutrientes no tecido foliar (Tabelas 19 á 23) evidenciou padrões distintos de absorção em resposta aos tratamentos avaliados, trazendo implicações diretas para o manejo nutricional do capim-marandu

Boro (B) e Cobre (Cu)

No que diz respeito ao boro (B) e ao cobre (Cu), não foram detectadas divergências estatísticas ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Os valores oscilaram entre 4,04 e 4,88 mg/kg para o B (Gráfico 16) e de 6,10 a 8,17 mg/kg para o Cu. Essa estabilidade analítica pode estar associada à baixa dinâmica de mobilidade de ambos os elementos no sistema solo-planta, perfil recorrente em gramíneas forrageiras tropicais (Marschner, 2012; Epstein e Bloom, 2020)

Tabela 19. Teores médios em g/kg de boro (B) e cobre (Cu) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após o corte das plantas. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	B	Cu
T1	Controle	4,85ns	7,65ns
T2	FOF 100%	4,42ns	6,47ns
T3	MAP 100%	4,04ns	6,1ns
T4	FOF 95%+MAP 5%	4,88ns	7,58ns
T5	FOF 90%+MAP 10%	4,44ns	7,63ns
T6	FOF 85%+MAP 15%	4,65ns	7,36ns
T7	FOF 80%+MAP 20%	4,65ns	8,17ns

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

** ns: não significativo.

Ferro (Fe)

Embora os teores de ferro (Fe) tenham apresentado considerável amplitude numérica (118,43 a 173,57 mg/kg), as diferenças não foram estatisticamente significativas (Tabela 20). O tratamento MAP 100% atingiu o maior valor absoluto (173,57 mg/kg), comportamento que encontra provável justificativa no efeito acidificante provocado por fertilizantes fosfatados minerais na rizosfera. Essa redução localizada do pH eleva a solubilidade e a consequente absorção de formas de Fe em latossolos, conforme preconizado por Marschner (2012) e discutido por Cozzolino (2021).

Tabela 20. Teores médios em g/kg de ferro (Fe) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	Fe
T1	Controle	123,2ns
T2	FOF 100%	173,57ns
T3	MAP 100%	118,43ns
T4	FOF 95%+MAP 5%	114,29ns
T5	FOF 90%+MAP 10%	161,79ns
T6	FOF 85%+MAP 15%	169,81ns
T7	FOF 80%+MAP 20%	167,42

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

** ns: não significativo

Manganês (Mn)

Para o manganês (Mn), a testemunha (69,63 mg/kg) e o MAP 100% (61,81 mg/kg) destacaram-se com os maiores teores acumulados, estabelecendo diferença significativa ($p < 0,05$) em relação às demais parcelas (Tabela 21).. Essa resposta sinaliza a ocorrência do fenômeno de diluição nutricional nos tratamentos fertilizados com misturas. Nestes, o estímulo ao crescimento vegetal expandiu a biomassa foliar em ritmo superior à taxa de absorção do Mn, reduzindo sua concentração por unidade de matéria seca (Marschner, 2012; Epstein e Bloom, 2020).

Tabela 21. Teores médios de manganês (Mn) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	Mn
T1	Controle	69,63a
T2	FOF 100%	52,9b
T3	MAP 100%	61,81a
T4	FOF 95%+MAP 5%	48,25b
T5	FOF 90%+MAP 10%	37,13b
T6	FOF 85%+MAP 15%	39,7b
T7	FOF 80%+MAP 20%	44,36b

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

** ns: não significativo

Zinco (Zn)

O zinco (Zn) exibiu uma dinâmica distinta, em que as associações FOF 85% + MAP 15% (31,07 mg/kg) e FOF 80% + MAP 20% (32,19 mg/kg) resultaram nos maiores teores foliares, superando os demais manejos (Tabela 22). Essa resposta positiva pode estar atrelada à presença de agentes quelantes naturais ou frações orgânicas na estrutura do FOF. Tais compostos reduzem a fixação do Zn na matriz do solo e favorecem sua estabilidade na solução, otimizando o aproveitamento do micronutriente quando associado a frações solúveis de P (Cozzolino, 2021).

Tabela 22. Teores médios em g/kg de zinco (Zn) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	Zn
T1	Controle	27,43a
T2	FOF 100%	19,71b
T3	MAP 100%	14,14b
T4	FOF 95%+MAP 5%	24,9a
T5	FOF 90%+MAP 10%	19,33b
T6	FOF 85%+MAP 15%	31,07a
T7	FOF 80%+MAP 20%	32,19a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott($p < 0,05$)

Molibdênio (Mo)

Os teores de molibdênio (Mo) mantiveram-se homogêneos e sem alterações estatísticas, fluindo na faixa de 0,15 a 0,27 mg/kg (Tabela 23). Essa ausência de resposta reflete o baixo requerimento fisiológico do gênero *Urochloa* por este elemento, cujas exigências metabólicas basais são supridas mesmo sob teores discretos no solo (Marschner, 2012).

Tabela 23. Teores médios em g/kg de molibdênio (Mo) foliar em função de fontes e doses de fertilizantes fosfatados após a colheita. Uberlândia-MG, em 2024.

Tratamento	Descrição	Mo
T1	Controle	0,18ns
T2	FOF 100%	0,19ns
T3	MAP 100%	0,18ns
T4	FOF 95%+MAP 5%	0,15ns
T5	FOF 90%+MAP 10%	0,17ns
T6	FOF 85%+MAP 15%	0,27ns
T7	FOF 80%+MAP 20%	0,17ns

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

** ns: não significativo

5 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a eficácia da associação entre o Fertilizante Orgânico Fosfatado e o MAP (fosfato monoamônico) no desenvolvimento de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em um Latossolo Vermelho distrófico. Os resultados demonstraram que a combinação fertilizante orgânico fosfatado 90% + MAP 10% foi a mais eficiente, promovendo os maiores teores de fósforo residual no solo ($159,78 \text{ mg dm}^{-3}$), superando significativamente o MAP isolado ($62,06 \text{ mg dm}^{-3}$) e o fertilizante orgânico fosfatado 100% ($101,45 \text{ mg dm}^{-3}$). Além disso, esse tratamento otimizou parâmetros produtivos, como índice SPAD (50,17) e número de perfilhos (7,25), e a combinação de fertilizante orgânico fosfatado 85% + MAP 15% superou o parâmetro altura do dossel forrageiro, evidenciando uma sinergia entre as fontes de fósforo.

A análise do P-resina revelou que a adição de 10 a 20% de MAP ao fertilizante orgânico fosfatado reduziu a fixação do nutriente em óxidos de Fe/Al, garantindo disponibilidade prolongada no solo. Esses achados destacam a importância de estratégias integradas de adubação, que combinam fontes de liberação imediata e gradual, para equilibrar eficiência agrônômica e sustentabilidade em solos tropicais ácidos.

Em síntese, a combinação fertilizante orgânico fosfatado 90% + MAP 10% mostrou-se uma solução viável para o manejo nutricional de gramíneas forrageiras, reduzindo custos e a frequência de reaplicações, além de contribuir para a produtividade e a conservação ambiental. Os resultados reforçam a necessidade de dosagens personalizadas para otimizar a disponibilidade de fósforo em condições de solo ácido, oferecendo um caminho promissor para a pecuária tropical sustentável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. E. M. (2016). **Fertilizantes de eficiência aumentada: Uso de ureia de liberação controlada ou com inibidores em sistemas agrícolas sustentáveis**. Embrapa Pesca e Aquicultura.

BARROS, I. DE, SILVA, J. M., & SANTOS, R. T. **Uso do índice SPAD para o diagnóstico da nutrição nitrogenada e recomendação de adubação de cobertura na cultura do milho híbrido simples AG 7088 em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros**. 2017. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1084665/1/COT204_diagramadofinal.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio em capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 151-161, fev. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832010000100016>. Acesso em: 13 maio 2025.

BERNARDO, F. M., MURTA, F. C., & SALOMÃO, L. C. (2021). Fisiologia da rebrota das gramíneas forrageiras: Aspectos morfofisiológicos e agrônômicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 50, e20210045. Disponível em: https://zootecnia.alegre.ufes.br/sites/zootecnia.alegre.ufes.br/files/field/anexo/bernardo_murta_salomao.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

BORGES, A. L. (ED.). (2021). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Embrapa.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2012). **Brachiaria brizantha: Cultivar BRS Piatã** (Comunicado Técnico, 279). Embrapa Gado de Corte. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/922687/1/cot279brachiariabrizantha.pdf>. Acesso em: 9 maio 2025.

COZZOLINO, D. **Biodisponibilidade de Nutrientes: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Manole, 2021.

COSTA, A. S. V. **O fósforo no sistema solo-planta**. 2023. UNIVALE Editora.

COSTA, S. E. V. G. A. et al. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, out. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542008000500010>. Acesso em: 13 maio 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (5ª ed.). Embrapa.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2015). **Recomendações técnicas para o cultivo de Brachiaria brizantha** (Documentos, 799). Embrapa. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/344105/1/Recomendacoes799.pdf>. Acesso em: 9 maio 2025.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 3. ed. New York: W. H. Freeman, 2020.

FAGERIA, N. K. *et al.* **Micronutrientes na agricultura tropical**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2020.

FERNANDES, A. L. S.; BRACHTVOGEL, E. L.; REIS, L. L. Produção de massa seca, volume radicular e eficiência nutricional de fósforo em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Massai* (*Panicum maximum* x *P. infestum*). *PesquisAgro*, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 32–49, 2020. DOI: 10.33912/pagro.v2i2.582. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/agro/article/view/109>. Acesso em: 13 maio 2025.

FERREIRA, D. F. (2019). SISVAR: Um sistema para análises estatísticas. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, 7(1), 36–41.

FRANCO JÚNIOR, C. A., SILVA, L. R., & OLIVEIRA, M. F. Disponibilidade de fósforo no solo em semanas sob diferentes fontes. 2024. **Research, Society and Development**, 13(10), e47154. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i10.47154>. Acesso em: 9 maio 2025.

FRAZÃO, J. J., SILVA, A. L., & RIBEIRO, C. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. 2014. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(12), 1262–1267. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1262-1267>. Acesso em: 9 maio 2025.

GOBBI, K. F., SANTOS, P. M., & BALSALOBRE, M. A. A. Massa de forragem e características morfológicas de gramíneas do gênero *Brachiaria* na região do Arenito Caiuá/PR. 2018. **Boletim de Indústria Animal**, 75, e1407. Disponível em: <https://doi.org/10.17523/bia.2018.v75.e1407>. Acesso em: 9 maio 2025.

HENRIQUE, H. M. Efeito de liberação gradual de nutrientes em fertilizante organomineral. 2019. In **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Blucher. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/COBECIC2019-FTSP37>. Acesso em: 9 maio 2025.

Instituto da Potassa & Fosfato. (2021). **Manual internacional de fertilidade do solo** (A. S. Lopes, Trad.; 2ª ed.).

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants** (3ª ed.). 2011. Elsevier/Academic Press.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants** (4ª ed.). 2022. Academic Press. Disponível em: https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

MESQUITA, M., OLIVEIRA, R., & COSTA, L. **Requerimentos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas tropicais em solo ácido**. 2023. Embrapa.

Motta, I. S. Acúmulo de massa seca e nutrientes na parte aérea do milheto e o estágio mais adequado de manejo para fins de adubação verde. 2009. **Revista Brasileira De Agroecologia**.

NOVAIS, R. F. *et al.* Dinâmica de manganês em solos sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180123, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbs20180123>.

NOVAIS, R. F., BARROS, N. F., & NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo** (1ª ed.). 2024. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

OLIVEIRA, M. S. **Análise do uso de fertilizantes orgânicos em solos degradados**. 2019. [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. Repositório Institucional UTFPR. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12130/1/LD_COEAM_2019_2_01.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

PINHEIRO, N. O. **Aplicação do Método Scott-Knott em Estudo de Brusone no Trigo**. 2017. [Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Brasília]. Repositório Institucional UnB. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20526/1/2017_NelsonOliveiraPinheiro_tcc.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

PIRES, A. M. M. *et al.* **Uso de resíduos como fertilizantes e/ou condicionadores do solo: biocarvão e biossólidos**. In: *Agricultura & Meio Ambiente: A busca pela sustentabilidade*. [S. l.]: Embrapa, 2024. Cap. 3, p. 99. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1171557/1/cap.-3.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

PORTO, D. W. B., FRANÇA, A. C., FRANCO, M. H. R., NEIVA JÚNIOR, E., & OLIVEIRA, L. L. (). Crescimento de *Urochloa brizantha* sob diferentes fontes de adubações fosfatadas e graus de compactação do solo. 2024. **Journal of**

Environmental Analysis and Progress, 9(1), 38–49. Disponível em: <https://doi.org/10.24221/jeap.9.1.2024.5249.038-049>. Acesso em: 9 maio 2025.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Parâmetros produtivos, nutrição em fósforo e atividade foliar da fosfatase ácida no capim Braquiária cultivado em solução nutritiva. **Boletim de Indústria Animal**, [S. l.], v. 56, n. 2, p. 127–135, 2013. Disponível em: <https://bia.iz.sp.gov.br/index.php/bia/article/view/913>. Acesso em: 13 maio 2025.

SAMPAIO, F. A. R. (2020). **Inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* associada à adubação nitrogenada na nutrição, desenvolvimento e produção do capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu** [Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista]. Repositório Institucional UNESP.

SILVA, A. A., & DELATORRE, C. A. (2009). Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 8(2), 152–163. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/download/5324/3530/14791>. Acesso em: 9 maio 2025.

SILVA, A. C. da. **Fontes de fósforo na nutrição e na produtividade da cultura da soja**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/aa659e98-e222-41bf-84f1-66f77923e360/content>. Acesso em: 14 maio 2025.

SILVA, F. F. **Uso de fertilizantes de eficiência aumentada na agricultura**. 2024. [Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal Goiano]. Repositório Institucional IF Goiano.

SILVA, M. A., SANTOS, C. M., VITORINO, H. S., & RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-çúcar. 2014. **Bioscience Journal**, 30(1), 173–181.

SOUZA, D. J. A. T., LIMA, S. O., DA SILVA, C. P., E FREITAS, G. A. Efeito de diferentes fontes e solubilidades de fósforo no desenvolvimento e nutrição do capim Mombaça. 2020. **Colloquium Agrariae**, 16(3), 72–83. Disponível em: <https://doi.org/10.5747/CA.2020.V16.N3.A373>. Acesso em: 9 maio 2025.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Plant physiology and development**. 2023 (7^a ed.). Sinauer Associates. Disponível em: https://sirsyedcollege.ac.in/crm/public/uploads/download_image/H8aTDrHeKuTogISO7SE1r80gjP2dmU.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.