

LAURA PEREIRA DE OLIVEIRA SILVEIRA

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DO CAPIM MARANDU
ADUBADO COM COMPLEXO SUPER FOSFATO-ÁCIDOS HÚMICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S587c
2016
Silveira, Laura Pereira de Oliveira, 1987-
Crescimento e eficiência nutricional do capim marandu
adubado com complexo super fosfato-ácidos húmicos /
Laura Pereira de Oliveira Silveira. - Viçosa, MG, 2016.
ix, 74f. : il. ; 29 cm.

Orientador : Hermínia Emília Prieto Martinez.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Plantas forrageiras - Nutrição. 2. *Brachiaria
brizantha*. 3. Capim marandu. 4. Ácido húmico.
5. Adubação fosfatada. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação
em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.2

LAURA PEREIRA DE OLIVEIRA SILVEIRA

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DO CAPIM MARANDU
ADUBADO COM COMPLEXO SUPER FOSFATO-ÁCIDOS HÚMICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de junho de 2016.

Adriene Woods Pedrosa

Leonardo Duarte Pimentel

Reinaldo Bertola Cantarutti
(Coorientador)

Hermínia Emilia Prieto Martinez
(Orientadora)

Às razões da minha existência:
Murilo, Heitor e Clarissa, pelo amor,
companhia e apoio incondicional,
principalmente nos momentos difíceis, tão
comuns para aqueles que trilham novos
caminhos! Sem vocês nada valeria a pena!

“Porque eu sou do tamanho do que eu vejo,
e não do tamanho da minha altura” (Alberto
Caeiro)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me abençoar grandiosamente, colocando em meu caminho pessoas maravilhosas, sem as quais este trabalho não seria possível:

Murilo - obrigada por me ajudar em tudo, sempre. Por ser a pessoa com quem eu posso contar e pelo pai maravilhoso que você é!

Mamãe, papai e Livia - jamais conseguiria terminar tudo isso se não fosse a imensa ajuda e disponibilidade que vocês tiveram comigo desde o nascimento dos *nossos* gêmeos. Mãe, obrigada por ter se dedicado a nós durante todo o tempo que precisei.

Heitor e Clarissa - vocês são minha fonte diária de inspiração e me motivam a ser cada vez melhor, amo vocês mais do que eu consigo demonstrar.

Professora Hermínia - obrigada pelo seu tempo, seus ensinamentos e, principalmente, por sua paciência comigo!

Amigos de Viçosa - sem palavras para descrever o quanto vocês são (e foram) importantes nesta jornada! Acredito que construímos laços que serão para sempre! A companhia e a amizade de vocês tornaram tudo mais leve, obrigada!

Professor Reinaldo Cantarutti: para mim é motivo de muito orgulho e alegria ter tido a honra de ser orientada por um pesquisador cujo trabalho eu sempre li e admirei.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todos os professores, funcionários e colegas da Universidade Federal de Viçosa que participaram e contribuíram para a minha formação.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultivo de forrageiras no Brasil	3
2.2 O gênero <i>Brachiaria</i>	4
2.3 Importância do fósforo para as forrageiras.....	5
2.3.1 Fósforo na planta.....	7
2.3.2 Dinâmica do fósforo no solo	8
2.4 Adubos e a adubação fosfatada.....	12
2.4.1 Fertilizante TopPhos	13
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO 1	25
Crescimento do capim marandu em função da calagem e adubação fosfatada	25
1. Introdução.....	25
3. Resultados	32
4. Discussão	42
5. Conclusão.....	45
6. Referências Bibliográficas.....	46
CAPÍTULO 2.....	48
Disponibilidade de fósforo no solo, produção de biomassa e concentração de fósforo no capim marandu em função da calagem e adubação fosfatada ...	48
1. Introdução.....	48
2. Material e Métodos	50

3. Resultados	53
4. Discussão	55
6. Referências Bibliográficas.....	58
CAPÍTULO 3.....	60
Produção e eficiência nutricional do capim marandu em função da calagem e adubação fosfatada	60
1. Introdução.....	60
2. Material e Métodos	62
3. Resultados	66
5. Conclusão.....	71
6. Referências Bibliográficas.....	72

RESUMO

SILVEIRA, Laura Pereira de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2016. **Crescimento e eficiência nutricional do capim marandu adubado com complexo super fosfato-ácidos húmicos**. Orientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez. Coorientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.

Os solos tropicais são conhecidos por sua elevada acidez e deficiência em fósforo, sendo este nutriente adsorvido fortemente às partículas minerais, ocasionando uma baixa disponibilidade às plantas, limitando a produção das espécies, especialmente as forrageiras, que possuem elevada exigência por fósforo, graças ao intenso desenvolvimento vegetal. Nos últimos anos vem crescendo os estudos no sentido de buscar fontes alternativas para a adubação fosfatada, e o uso de fertilizantes fosfatados complexados com ácidos húmicos tem se mostrado como uma alternativa para reduzir a adsorção do P no solo, permitindo uma maior disponibilidade deste nutriente para as plantas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção e eficiência nutricional do capim marandu em função de duas fontes de fósforo e calagem. Para tanto, cultivaram-se plantas de capim marandu em vasos contendo Latossolo Vermelho Distrófico por um período de 58 dias. Obteve-se três conjuntos de dados que foram avaliados de formas diferentes. No primeiro conjunto, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 3x2x6, sendo duas fontes fósforo (superfosfato simples, fosfato complexado com ácidos húmicos – TopPhos) e tratamento testemunha (solo sem adubação) e duas condições de acidez do solo (solo ácido e corrigido), com parcelas subdivididas no tempo (seis épocas de avaliação – aos 21, 28, 35, 43, 49 e 57 dias após a emergência) e quatro repetições. Nas épocas de avaliação, quatro plantas ao acaso de cada tratamento foram colhidas para análises destrutivas. Foram avaliadas as seguintes características: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa assimilatória líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), razão de massa foliar (RMF). No segundo conjunto de dados, o esquema fatorial considerado foi de 3x2, duas fontes de fósforo e o tratamento testemunha (superfosfato simples e fosfato complexado com ácidos húmicos – TopPhos) e duas condições de acidez do solo, com quatro repetições. Para

estes dados, as plantas foram coletadas aos 57 dias após a emergência, cortadas e estratificadas em parte aérea e raízes para a devida mensuração da concentração de fósforo no tecido vegetal. Amostras de solo de cada unidade experimental também foram coletadas para a determinação do teor de P no solo. Determinou-se também a produção de matéria seca destas plantas e, a partir destes dados, foram calculadas as seguintes eficiências: eficiência de absorção (EAB), eficiência de utilização de P (EUP), eficiência de utilização do P disponível (EUPD), eficiência fisiológica (EF), eficiência de recuperação (ER) e eficiência agrônômica (EAG). Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de medias (teste de Tukey). A adubação fosfatada, independentemente da fonte e da realização da calagem, foi determinante para o maior crescimento inicial e rápido estabelecimento do capim marandu, promovendo aumento da TCA, RAF e AFE. O fertilizante TopPhos promoveu maior teor de P disponível no solo em comparação com o superfosfato simples, sem, no entanto, resultar em diferença na produção de matéria seca total e na concentração de P na planta. O capim marandu utilizou mais eficientemente o fósforo absorvido quando cultivado em solo onde a acidez foi corrigida pela calagem. O fertilizante TopPhos promoveu maior acúmulo de P pela planta e maior eficiência de recuperação, ao passo que o superfosfato simples promoveu maiores eficiência de utilização e fisiológica. Conclui-se que o fertilizante fosfatado TopPhos pode ser utilizado em substituição ao superfosfato simples por seu incremento no teor de P do solo, no entanto, outros estudos avaliando o efeito de fertilizantes fosfatados complexados no cultivo do capim marandu deverão ser realizados, especialmente pesquisas que avaliem sucessões de cortes e custos de produção.

ABSTRACT

SILVEIRA, Laura Pereira de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2016. **Growth and nutritional efficiency of palisade grass fertilized with organic complexed superphosphate.** Advisor: Hermímia Emília Prieto Martinez. Co-advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti.

Tropical soils are known by their high acidity and phosphorus deficiency, this nutrient is strongly adsorbed to mineral particles, causing a low availability to plants, limiting the vegetables production, especially the forage, which have high demand for phosphorus, due to intense plant development. In recent years has grown studies searching for alternative sources for phosphate fertilizer, besides the use of complexed phosphate fertilizers with humic acid has been shown as an alternative to reduce the adsorption of P in the soil, allowing greater availability of this nutrient for plants. In this sense, the objective of this study was to evaluate the growth, production and nutritional efficiency of palisade grass due to the liming and phosphorus fertilization. Therefore, plants of palisade grass were grown in pots containing an Oxisol for a period of 58 days. Three set of data were evaluated in different ways. In the first set, the experimental design was completely randomized in a factorial 3x2x6 scheme, three phosphorus sources (superphosphate, complexed phosphate with humic acids - TopPhos and no soil fertilization) and two soil acidity conditions (acidic soil and amended soil) with split plots (six evaluation periods - at 21, 28, 35, 43, 49 and 57 days after emergence) and four replications. In each evaluation, four plants at random from each treatment were taken for destructive analysis. The following characteristics were evaluated: absolute growth rate (AGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), leaf mass ratio (LMR). In the second set of data, a 3x2 factorial design was considered, with three sources of phosphorus (without fertilizer, simple superphosphate and phosphate complexed with humic acids - TopPhos) and two soil acidity conditions, with four replications. For these data, the plants were harvested 57 days after emergence, cut and divided into shoots and roots for proper measurement of phosphorus concentration in plant tissue. Soil samples from each treatment were also collected to determine the P content in the soil. Also was determined

the dry matter yields of these plants, and from these data, the following efficiencies were calculated: absorption efficiency (AE), P utilization efficiency (PUE), utilization efficiency of P available in soil (UEAP), physiological efficiency (PE), recovery efficiency (RE) and agronomic efficiency (AGE). All set of data were subjected to analysis of variance and mean comparison test (Tukey test). The phosphorus fertilization, regardless of the source and fulfillment of liming, was decisive for the higher initial growth and rapid establishment of palisade grass, increasing TCA, RAF and AFE. The TopPhos fertilizer promoted higher P content available in the soil compared with superphosphate, without, however, result in difference in the total dry matter and the concentration of P in the plant. The palisade grass used more efficiently phosphorus absorbed when grown in soil where the acidity was corrected by liming. The TopPhos fertilizer promoted higher accumulation of P by the plant and higher recovery efficiency, while superphosphate promoted greater efficiency of use and physiological efficiency. It is concluded that the phosphate fertilizer TopPhos can be used instead of superphosphate by its increase in the P content of the soil, however, other studies evaluating the effect of phosphate fertilizer complexed in palisade grass cultivation should be conducted, especially research evaluating sequences of cuts and production costs.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Segundo dados da Organização Mundial das Nações Unidas, a população mundial deverá aumentar para mais de 8,5 bilhões até 2030 (ONU, 2015). Este aumento no crescimento da população intensificará a pressão sobre a base de recursos naturais do planeta (terra, água e ar) para alcançar maior produção de alimentos (Baligar et al, 2001). O aumento da produção de alimentos pode ser alcançado por meio da expansão de áreas de cultivo e aumento da produtividade por unidade de área através da intensificação da agricultura. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), até 2050 o Brasil deverá responder por cerca de 40% da produção mundial de alimentos (FAO, 2015) e, para tanto, o país deve conseguir lidar com uma série de desafios (biológicos, climáticos, ambientais e econômicos) a fim de suprir as demandas internacionais crescentes.

Uma característica importante da pecuária brasileira é ter a maior parte do seu rebanho criado a pasto (Dias Filho, 2014). Na região dos Cerrados essa atividade se destaca como uma das mais importantes para a economia, onde, segundo dados do Anualpec (2011), cerca de 44% do rebanho nacional bovino povoa essa região. Concomitantemente, os solos dessa região se caracterizam por serem altamente intemperizados, ácidos e com baixa disponibilidade de fósforo, sendo este último um dos principais fatores nutricionais que mais limita a produção. O alto grau de intemperização dos solos do Cerrado gera altos teores de óxidos e sesquióxidos de ferro e alumínio, baixo pH, altos teores de argilas silicatadas e baixo teor de matéria orgânica, que propiciam a adsorção de ânions, como o ortofosfato, diminuindo a disponibilidade de P (Novais et al, 2007).

Uma vez que as plantas forrageiras demandam grandes quantidades de P para se desenvolverem adequadamente, a deficiência generalizada deste nutriente nos solos é um dos fatores que mais restringe a pecuária brasileira. Esta grande demanda por P ocorre em virtude da grande produção de biomassa, com grande extração e exportação deste nutriente (Oliveira et al, 2007).

O fósforo é considerado elemento essencial para as plantas por desempenhar funções importantes na transferência de energia nos processos de respiração e fotossíntese (Epstein & Bloom, 2006). Além disso, é componente estrutural de ácidos nucleicos e diversas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. Graças as funções desempenhadas pelo P, plantas cujo ciclo vegetativo foi marcadamente limitado pela disponibilidade deste nutriente apresentam restrições no seu desenvolvimento das quais não são capazes de recuperar-se, mesmo tendo acesso a níveis adequados de P posteriormente (Zucareli et al, 2006).

As gramíneas do gênero *Brachiaria* se destacam e são amplamente difundidas nos sistemas pastoris brasileiros. Dentre as plantas deste gênero, a mais utilizada na produção animal tem sido a *B. brizantha*, pelo seu valor nutritivo satisfatório, baixa estacionalidade de produção, boa relação folha/colmo, capacidade de tolerância ao alumínio, tolerância a solos ácidos e relativa adaptação à baixa fertilidade do solo (Paulino et al, 1994; Monteiro et al, 1995).

A capacidade de produção de matéria seca de uma forragem é grandemente influenciada pelas condições ambientais às quais as plantas estão submetidas e às práticas de manejo adotadas. Assim sendo, fatores como temperatura, luminosidade, disponibilidade de água e nutrientes determinam o potencial fotossintético do dossel, implicando em alterações da área foliar e capacidade fotossintética da planta (Marcelino et al, 2006). Esta prerrogativa leva a crer que as condições ambientais e a baixa fertilidade do solo interferem na produção até mesmo das espécies consideradas mais adaptadas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a adubação com fertilizante fosfatado orgânico-complexado apresenta vantagem comparativa em relação à convencional, com superfosfato simples, no crescimento e eficiência nutricional do capim marandu, em solo com duas condições de acidez.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo de forrageiras no Brasil

O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, com um efetivo de aproximadamente 211 milhões de cabeças. O país ocupa também o topo do ranking de maior exportador de carne bovina do planeta (IBGE, 2012). De todo o efetivo criado em território nacional, cerca de 90% são terminados à pasto, em sistema extensivo de produção, tendo a pastagem como base da alimentação.

As pastagens são consideradas a forma mais econômica e prática de produzir e ofertar alimentos para os animais ruminantes, no entanto, por muitos anos, a pecuária de corte foi conduzida de maneira extrativista, na qual as plantas e solo foram explorados de forma indiscriminada, resultando em baixos índices produtivos dos animais e alta degradação das pastagens. Dados do Anualpec (2013) apontam que as pastagens ocupam cerca de 22% de todo território nacional, somando 190 milhões de hectares, sendo que 80% destes apresentam algum grau de degradação. O manejo inadequado das plantas forrageiras em associação a longos períodos de estiagem se caracterizam como principais causadores da degradação dos pastos (Perón & Evangelista, 2004).

De igual modo, o uso de prática como queimadas, ausência de um adequado controle de plantas invasoras, utilização de taxas de lotação não condizentes com a capacidade de suporte e a ausência da adubação podem acelerar o processo de degradação e ocasionar queda na oferta de alimentos aos animais e um impacto negativo no desempenho destes.

A queda da fertilidade do solo ocasionada pela ausência da adubação é apontada pela Anualpec (2013) como uma das principais causas de degradação dos solos nas regiões centro-oeste e norte do Brasil. Adubação de pastagens é uma prática ainda pouco frequente entre os pecuaristas brasileiros. Estima-se que apenas 2% dos fertilizantes que são comercializados no Brasil são destinados a pecuária e apenas 1,6% das propriedades rurais brasileiras adubam seus pastos.

Nos últimos anos, o aumento da disponibilidade de tecnologia (técnicas para recuperação e manejo de pastagens, lançamento de cultivares mais produtivos, etc) e a pressão da opinião pública e de mercado sobre as questões ambientais têm gerado uma mudança de comportamento no setor produtivo de carne no Brasil. Assim, um número cada vez maior de produtores tem direcionado a pecuária a pasto a uma fase de aprimoramento, onde a busca pela maior produtividade ocorre através da intensificação, ou seja, produzir maior quantidade de carne em menores áreas de pastagem (Dias Filho, 2014). Para tanto, se faz necessário o aumento da capacidade de suporte das plantas forrageiras, conseguido, principalmente, pela escolha da espécie adequada e adubação.

2.2 O gênero *Brachiaria*

As plantas do gênero *Brachiaria* compreendem os capins mais cultivados no Brasil, graças a capacidade destas planta em se adaptar a diversas condições de solo e clima (Jank et al, 2014). A utilização deste gênero como pastagem proporcionou acréscimos significativos nas taxas de lotação e no desempenho do rebanho brasileiro, quando comparadas com as espécies nativas e naturalizadas. Este gênero é composto por diversas espécies de interesse forrageiro, com diferenças acerca da morfologia e necessidades de manejo. Dentro deste gênero se destaca a espécie *Brachiaria brizantha* Stapf., uma das mais utilizadas como planta forrageira na América do Sul (Jank et al, 2014).

A *B. brizantha* ocupa papel de destaque na pecuária nacional devido a sua produtividade e qualidade de cultivares disponíveis no mercado de sementes. No entanto, independentemente do cultivar, as plantas desta espécie são conhecidas por sua alta capacidade de produção. Estas possuem um robusto sistema radicular que lhes confere elevada tolerância a seca e capacidade de absorver nutrientes das camadas mais profundas do solo, desenvolvendo-se em condições ambientais em que a maior parte das culturas produtoras de grãos não são capazes de se desenvolver (Barducci et al, 2009).

Esta espécie se originou no Leste da África, onde ocorre naturalmente nas savanas africanas, que possuem clima tropical (Vilela, 2005), se adaptou bem as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste do Brasil. Segundo Ferraz (2003), a importância da *B. brizantha* como gramínea forrageira é observada também em diversas regiões da Ásia, Austrália e América do Sul.

Das cultivares desta espécie, a mais utilizada no Brasil é a marandu, e foi introduzida em 1967. Ao final da década de 70, foi fornecida à Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) para avaliações e distribuição no país. Em 1984 foi disponibilizada pela Embrapa para comercialização como alternativa de forrageira adaptada às condições dos solos do cerrado (Miles et al, 1996). Rapidamente difundiu-se entre os produtores brasileiros graças a sua boa adaptação e alta produção de matéria seca. Vilela (2005) atribuiu o sucesso dessa cultivar à sua boa cobertura do solo, com capacidade de suprimir plantas invasoras e a sua adaptação às condições de baixa luminosidade. No entanto, a tolerância a cigarrinha das pastagens é a principal característica que contribuiu para a sua dispersão em todo território nacional.

2.3 Importância do fósforo para as forrageiras

Se ausente, o fósforo é considerado como um dos nutrientes que mais limita a produção de forrageiras (Rezende et al, 2011). Este nutriente desempenha papel importante em função da intensa atividade meristemática ocorrida durante os estágios iniciais da plântula, com o desenvolvimento radicular, perfilhamento, emissão de estolões, além disso, o P é fundamental durante a divisão celular, graças a suas funções estruturais nos ácidos nucléicos (Cantarutti et al, 2002). É principalmente durante a fase inicial do desenvolvimento das plantas forrageiras que o fósforo desempenha papel mais importante.

As espécies de gramíneas foram separadas em grupos segundo o grau de exigência relativa a fertilidade, neste contexto, as plantas do gênero *Brachiaria* são classificadas como pouco exigentes, apesar de as espécies do

gênero *Brachiaria brizantha* serem consideradas moderadamente exigentes (Dias Filho, 2012).

Níveis críticos de P para o estabelecimento de *B. decumbens*, *B. brizantha* e capim-colonião *Panicum maximum* foram estudados por Corrêa (1991). O autor relata que houve diferenças evidentes nas exigências das plantas em condições de campo, onde a *B. decumbens* se destacou como a menos exigente em P para o seu estabelecimento. A seguir, em ordem crescente de exigência, se destacaram o capim-colonião e a *B. brizantha*.

O crescimento vegetativo de uma gramínea é marcado pelo surgimento de folhas e perfilhos, alongamento do colmo e desenvolvimento do sistema radicular (Silsbury, 1970). Diversas pesquisas comprovam a importância do estado nutricional da planta forrageira durante a fase de crescimento vegetativo. O fósforo tem influência direta no perfilhamento e crescimento das raízes, e por isso, Santos et al. (2002) afirmam que a deficiência deste nutriente impacta negativamente o crescimento vegetativo. De igual modo, leiri et al. (2010) afirmam que a deficiência em P reduz a capacidade de produção das pastagens.

Camacho et al. (2015) avaliaram a eficiência de produção de matéria seca em genótipos de *Brachiaria brizantha* sob aplicação de fósforo e constataram que a adubação fosfatada influenciou a produção de matéria seca de todos os genótipos. Quando se avaliou a produção de matéria seca de raízes (MSR), as cultivares marandu, capiporã e piatã se mostraram superiores aos demais genótipos estudados, demonstrando mais uma vez a importância deste nutriente para a formação do sistema radicular. No que diz respeito produção de folhas, foi observado que o fósforo promoveu diferença em todos os genótipos estudados, indicando que este nutriente está diretamente relacionado com a produção de folhas e, conseqüentemente, com a maior qualidade da forrageira.

Estudos relatam que a adição de fósforo promove maiores produções de matéria seca, tanto de folhas, quanto da parte aérea como um todo (Camacho et al, 2015). Esta característica é interessante para a produção de bovinos em pastejo, uma vez que folhas são preferidas pelos animais e possuem maior valor nutricional do que colmos. Monteiro et al. (1995),

avaliaram a produção de forragem em função do suprimento ou ausência da adubação fosfatada, os autores relataram que as plantas oriundas de tratamentos sem fósforo tiveram seu crescimento limitado e, conseqüentemente, baixa produção de matéria seca, permanecendo raquíticas e sem perfilhos.

Segundo Santos et al. (2009), a produtividade e perenidade das gramíneas forrageiras são garantidas pela sua capacidade em rebrotar após cortes e pastejo sucessivos, ou seja, é a sua capacidade em emitir folhas de meristemas remanescentes e perfilhar que lhe permitem a sobrevivência, graças a formação de uma nova área foliar. Em concordância, Hodgson (1990), relata que o perfilho é considerado unidade básica de desenvolvimento das plantas forrageiras, pois as gramíneas o utilizam como forma de crescimento e desenvolvimento, acarretando aumento da produtividade e persistência das pastagens, tendo o fósforo comprovada importância neste processo.

2.3.1 Fósforo na planta

O fósforo compõe a fração mineral das plantas e se destaca como um dos principais elementos por sua associação a praticamente todos os processos metabólicos e fisiológicos que acontecem nos vegetais. A baixa disponibilidade deste nutriente durante a fase de crescimento vegetativo compromete todo o desenvolvimento subsequente das plantas (Grant et al, 2001). Logo, os danos causados as plantas pela deficiência de P comprometem drasticamente a sua produtividade.

No solo, o P é absorvido pelas raízes através de proteínas transportadoras de H^+ e $H_2PO_4^-$, em sistema simporte (Marschner, 2012). Após ser absorvido pela célula, parte deste fosfato é metabolizado em uma gama de compostos. O principal caminho de assimilação do fosfato ocorre no processo de formação de ATP. O P está presente na composição da membrana celular, fazendo parte dos fosfolipídios e é também componente estrutural dos ácidos nucléicos (DNA e RNA), estruturas responsáveis pela transferência de informação genética.

O ATP é a principal fonte energética para a síntese do amido. Para a síntese de compostos como a sacarose e celulose são utilizadas moléculas energéticas que também possuem P em sua composição, como a uridina difosfato (UDP) e a guanosina (GTP). Nas primeiras fases da fotossíntese, conhecida como etapa bioquímica, o CO₂ é incorporado pela ação de enzimas que apresentam fosfato em suas estruturas, são elas a ribulose bifosfato carboxilase – RUBP (em plantas C3) e a fosfoenolpiruvato carboxilase – PEPcase (em plantas C4). Além destas, existem outras inúmeras funções que o P desenvolve no metabolismo das plantas, e todas elas demonstram sua importância durante todo o ciclo de vida das culturas (Taiz & Zeiger, 2010).

Nas plantas o P é armazenado como polifosfato e fitato, sendo o vacúolo o principal reservatório (armazena de 85 a 90% do fósforo celular) (Taiz & Zeiger, 2010). Quando em condições de deficiência, as plantas utilizam o P dos vacúolos até a exaustão, sendo capazes também de remobilizá-lo das estruturas mais velhas para as mais jovens (Epstein & Bloom, 2006). A deficiência de P nos solos promove o esgotamento das reservas inorgânicas de P das células, sem afetar, no entanto, os níveis metabólicos de P orgânico. Deficiência nutricional promove estresse nas plantas, afetando seu metabolismo, gerando diversas alterações fisiológicas que culminam na redução do crescimento e comprometimento da produção de matéria seca.

2.3.2 Dinâmica do fósforo no solo

No solo, o fósforo é constituído por compostos derivados de ácido ortofosfórico e pirofosfatos. A microbiota presente no solo é responsável por imobilizar ou liberar os íons ortofosfato, colaborando para a dinâmica do P no solo, que é também dependente de diversos fatores ambientais. A maior parte do P do solo se encontra na forma orgânica (Po) ou na forma mineral (Pi), adsorvido fracamente aos minerais secundários, no entanto, em solos jovens e pouco intemperizados é possível encontrar P ligados a minerais primários (Santos et al, 2008).

Em solos intemperizados ocorre uma mudança no perfil de cargas que faz com que ele se torne menos eletronegativo e mais eletropositivo, conseqüentemente, a capacidade de troca catiônica ($CTC_{efetiva}$) e saturação por bases diminuem, aumentando a adsorção aniônica e, desta forma, a imobilização de fosfato, sulfato, molibdato, etc. A soma destes fatores faz com que o solo passe gradualmente de fonte para dreno de fósforo (Novais et al, 2007). Nestes casos, como ocorre com os Latossolos no Cerrado, as formas inorgânicas do P estão ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente. O grau de estabilidade destes compostos é classificado como lábil e não lábil (Santos et al, 2008).

Na fração lábil, os compostos fosfatados são capazes de repor a solução do solo quando este é absorvido pelas raízes das plantas ou incorporado por microrganismos. Esta fração é dependente de diversos fatores, tais como o grau de intemperização, mineralogia, textura, teor de matéria orgânica, características físico-químicas e atividade biológica do solo.

Quando o P é retirado do solo, seja pela absorção radicular ou mobilização por microrganismos, ocorre um desequilíbrio entre a concentração de P na solução do solo e do P que está ligado à superfície do coloide. Então, o P lábil sofre dessorção e é liberado para a solução, restaurando o equilíbrio químico. Quando esta reação não ocorre e o P permanece ligado a superfície das partículas, ele pode passar para uma forma menos disponível às plantas, não contribuindo para o equilíbrio químico da solução do solo. Esta forma é conhecida como “não-lábil” (Novais et al, 2007).

O P, seja lábil ou não, é retido no solo através de sua precipitação em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca e através da adsorção pelos oxidróxidos de Fe, Al e Ca que estão presentes em maiores quantidades nos solos tropicais mais intemperizados, principalmente nos mais argilosos (Eghball et al, 1990). A acidez e a elevada concentração de ferro e alumínio dos solos argilosos aumentam a capacidade de fixação do fósforo, que está associado à sua grande área superficial (Quintero et al, 1999).

A baixa disponibilidade de P no solo associada à sua alta reatividade representa um dos maiores entraves à produção agrícola nas regiões tropicais e subtropicais (Sarwar et al, 2014), pois muitas vezes são encontrados nos

solos níveis inferiores às necessidades da maioria das culturas. Concomitantemente, os solos ácidos prejudicam a eficiência dos fertilizantes fosfatados, sendo inferior a 20%, comprometendo o sucesso da produção agrícola (Araújo et al, 2003; Ramos et al, 2009). De acordo com Costa (2008) as características mineralógicas dos solos tropicais influenciam diretamente a capacidade de fixação do fósforo, e este é o principal fator que contribui para a baixa disponibilidade do P para planta.

A fixação do P por Fe, Al e Ca são processos dependentes de diversos fatores, dentre eles, se destaca, principalmente, o pH e os minerais existentes na fração argila (Andrade et al, 2003). Solos com pH abaixo de 6,5 tendem a solubilizar hidróxidos de ferro e alumínio, formando fosfatos de ferro e alumínio, principalmente em solos com predomínio de argila caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Quanto mais ácido for o solo, maior será a capacidade de reação do fosfato com o ferro e alumínio, uma vez que estes elementos estão mais disponíveis em solos com baixo pH.

O efeito da calagem na disponibilidade de P já é bastante conhecido. A maioria das plantas não se desenvolvem nem em condições de solos ácidos, pois é baixa a disponibilidade de nutrientes e estes solos se caracterizam pela presença de alumínio tóxico e pela fixação do P pelo ferro (Fe) e alumínio (Al) formando compostos insolúveis e não aproveitáveis para as plantas. A disponibilidade de nutrientes sofre influência do pH do solo. O fósforo tem maior disponibilidade para as plantas em pH 6 a 6,5, sendo imprescindível, para este nutriente, a correção da acidez do solo através do calcário.

Estudos apontam a existência de uma correlação positiva entre os teores de matéria orgânica presentes no solo e a adsorção de P (Delgado et al, 2002; Wandruszka, 2006). Segundo Fontes et al. (1992), a maior capacidade de adsorção do P no solo está relacionada à redução dos teores de matéria orgânica através da diminuição de ácidos húmicos e outros ânions capazes de impedir estas reações. A matéria orgânica, através de seus vários grupamentos funcionais, é capaz de reagir com os metais presentes no solo (Silva & Mendonça, 2007). Estas interações entre a matéria orgânica e os metais ocorrem através de uma reação de adsorção catiônica via atração

eletrostática ou interações mais complexas, formando ligações de coordenação com os ligantes orgânicos.

Nos solos tropicais, os ácidos orgânicos competem pelos sítios de adsorção dos óxidos de Fe e Al, formando, através da quelatação, complexos organometálicos estáveis com o Fe e Al e aumentando a disponibilidade do P (Jones, 1998; Sposito, 1989). Estes complexos formados influenciam na adsorção de P, ou seja, quanto mais estáveis, maior é a eficiência na redução da adsorção de P. De acordo com Stevenson (1986), essa maior estabilidade está relacionada com a estrutura dos ácidos orgânicos. Ácidos húmicos e fúlvicos, por exemplo, possuem estrutura mais complexa e são mais estáveis em relação aqueles de cadeia mais simples, e dessa forma podem recobrir a superfície dos óxidos de Fe e Al, dificultando a adsorção de P, aumentando a disponibilidade deste nutriente.

No entanto, este efeito positivo da redução da adsorção do P em função da maior disponibilidade de matéria orgânica não ocorre em todos os casos. Nziguheba et al. (1998) observaram a redução da adsorção de P com a adição de resíduos de girassol em solos intemperizados, porém, o mesmo não ocorreu quando aplicou-se resíduos de milho. Estudos indicam que os mecanismos envolvidos na adsorção de P ocorrem graças a combinação do aumento do pH (com diminuição do Al trocável) e também com a quantidade de P mineralizável que é liberado pelas fontes de matéria orgânica.

A presença de ácidos orgânicos em solos ácidos e deficientes em P pode auxiliar na solubilização de fosfatos de Fe e Al de baixa solubilidade, considerando a quelatação dos metais (Costa, 2008). Como já citado anteriormente, os ácidos orgânicos podem também competir diretamente com o P pelos sítios de adsorção dos metais, favorecendo a desorção do P para a solução do solo (Silva & Mendonça, 2007). Estas características resultam em um maior aporte de P para as plantas, por isso, a aplicação de ácidos orgânicos e húmicos vem sendo amplamente estudadas nos processos de adsorção e precipitação de fosfato, bem como seu efeito no crescimento das culturas.

Apesar da discordância dos dados apresentados na literatura, é conhecida que esta capacidade da matéria orgânica em complexar e formar

quelatos com os metais são fundamentais para diversos processos que ocorrem no solo, como por exemplo, o intemperismo, a disponibilidade de nutrientes e outros metais e nos aspectos ambientais do solo (Costa, 2008).

2.4 Adubos e a adubação fosfatada de forrageiras

As gramíneas forrageiras são tão ou mais exigentes que as culturas anuais em fósforo, graças ao seu rápido crescimento, e desta forma, a obtenção de quantidades satisfatórias de forragem só é possível se realizada a correção e adubação do solo (Silva, 1995).

A maioria dos solos brasileiros possuem uma deficiência generalizada em P, o que compromete o estabelecimento das pastagens em virtude da importância deste nutriente no estabelecimento do sistema radicular e no perfilhamento das plantas, tornando a adubação fosfatada fundamental. De modo geral, maiores respostas em produção são encontradas até a faixa de adubação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Corrêa et al, 1997a; Corrêa et al, 1997b), podendo variar em função da espécie forrageira.

De um modo geral são indicados teores de P no solo, pelo método resina, de 10 mg dm⁻³ e 20 mg dm⁻³ pelo Mehlich 1 (Werner, 1971). As variações de indicação são em função do tipo de exploração e do potencial produtivo do solo e da espécie forrageira.

A adição de P ao solo é imprescindível para o adequado estabelecimento das pastagens na maioria dos solos brasileiros (Werner, 1971), uma vez que em condições naturais, são encontrados teores muito abaixo do necessário para o adequado desenvolvimento das plantas, fazendo com que a adubação fosfatada seja um fator limitante ao sistema de produção. É recomendado que a adubação seja feita a lanço, seguida de incorporação, melhorando a distribuição de P no solo (Macêdo, 2013).

As fontes de fósforo mais utilizadas e consideradas mais eficientes são as solúveis, onde se enquadram o superfosfato simples (com 20% de P₂O₅), superfosfato triplo (com 46% de P₂O₅) e os fosfatos monoamônio (MAP) e diamônio (DAP) (com 50% e 46% de P₂O₅, respectivamente). Em seguida os termofosfatos (com 18% de P₂O₅) e os fosfatos parcialmente acidulados

(cerca de 25 a 30% de P_2O_5). Os fosfatos naturais brasileiros praticamente não possuem P solúvel em ácido cítrico a 2% ou em água, e por isso são menos utilizados em sistemas intensivos de exploração de pastagens.

Após a dissolução do adubo fosfatado que foi aplicado ao solo, uma grande parte do P fica retido na fase sólida formando compostos menos solúveis. No entanto, boa parte do P retido é aproveitado pelas plantas. Essa recuperação do P depende grandemente da espécie cultivada e é afetada pela textura, tipos de minerais de argila e acidez do solo, além de características relacionadas com o adubo, como a dose aplicada, a fonte (solúvel ou não), granulometria e forma de aplicação. O sistema de preparo do solo também tem grande influência sobre este processo (Sousa et al, 2007).

Além da adubação durante o estabelecimento da pastagem, é fundamental que seja realizada a adubação de manutenção, a fim de se garantir a produtividade e o teor adequado de P na forragem. Esta adubação deve ser feita em cobertura, juntamente com outras adubações e dose utilizada dependerá do nível de exploração e da dose de P aplicado durante o estabelecimento. Apesar da baixa mobilidade no solo, as pastagens, principalmente quando bem adubadas, apresentam intenso desenvolvimento de raízes ativas na superfície do solo, permitindo uma absorção eficiente do P aplicado em cobertura (Corsi & Nussio, 1993).

2.4.1 Fertilizante TopPhos

Em geral a eficiência média de fertilizantes fosfatados minerais é geralmente inferior a 40% do total de P aplicado ao solo (Marschner, 2012). Segundo Erro et al. (2012), o superfosfato simples possui baixa eficiência agrônômica, principalmente relacionada a intensa fixação de fósforo no solo. Estes autores relatam que o fertilizante TopPhos é uma modificação química do SFS que promove menores taxas de fixação de P no solo e possui maior eficiência agrônômica quando comparado ao SFS convencional. Segundo Urrutia et al. (2014) a disponibilidade de P em diferentes tipos de solo é significativamente influenciada pelas características físico-químicas de cada

solo, onde, em solos alcalinos, prevalece a formação de fosfato monocálcico, dicálcico e tricálcico, enquanto em solos ácidos, a precipitação do P acontece devido a formação de fosfatos de ferro e alumínio.

Os mecanismos propostos para explicar os efeitos positivos da matéria orgânica sobre a disponibilidade de P no solo são diversos e, provavelmente, complementares entre si. Estes mecanismos incluem: (1) a concorrência entre os ânions contidos na matéria orgânica (húmicos, fúlvicos, e ânions orgânicos simples, como o ácido cítrico ou oxálico) com o fosfato inorgânico para os sítios de adsorção de argilas e óxidos metálicos (Staunton & Leprince, 1996); (2) o efeito de HS modificando o padrão de precipitação de sais de P insolúveis como o cálcio em solos calcários, ou de ferro e alumínio em solos ácidos (Gross & Inskeep, 1991); (3) a capacidade de HS em formar complexos com metais, que podem tanto inibir a formação de sais insolúveis em água, quanto a formação de complexos fósforo-metal indisponíveis para as plantas; (4) a interação da matéria orgânica (ou frações específicas da matéria orgânica) com os microorganismos na rizosfera, que podem favorecer a proteção do P da fixação do solo (Pinton et al 2001).

A aplicação de fosfatos combinados com substratos orgânicos tem mostrado aumento na disponibilidade de P para a planta em relação a aplicação de adubos fosfatados que não possuem substratos orgânicos em sua composição (Bolan et al, 1994). Os motivos pelos quais a matéria orgânica atua benéficamente sobre a solubilização do P não estão bem elucidados, embora diversos autores tentem explicar esta dinâmica. Além de aumentar a solubilidade do P, as substâncias húmicas podem incrementar o crescimento das plantas, graças a sua capacidade de formar complexos húmico-mineral, que disponibilizam nutrientes para as plantas (Giovannini et al, 2013).

A complexação organo-mineral é dependente da presença de substâncias húmicas no solo, descritas como polímeros biológicos oriundos da decomposição de tecidos animais e vegetais e formados por meio de processos químicos e biológicos (Sparks, 2003). Estas substâncias são resistentes a degradação dos microorganismos e representam uma considerável parte do carbono do solo (Baigorri et al, 2013).

Gerke et al (1995) propuseram a teoria da complexação entre substâncias húmicas-metal-fosfato, que explica a ocorrência de reações de formação de pontes metálicas de Ca, Fe ou Al entre fosfato e ácido húmico presentes no solo. Os ortofosfatos não se ligam diretamente as moléculas húmicas, porém, os metais complexados pelas substâncias húmicas formam pontes metálicas com os ânions fosfato, onde o Al^{3+} e Fe^{3+} demonstram ser os mais importantes (Gerke, 2010). Ligações similares ocorrem com os óxidos de Fe e Al, onde o ânion $H_2PO_4^-$ substitui o OH^- ou H_2O que está ligada ao metal via troca de ligantes (Gerke, 1992).

Estes mecanismos vêm sendo aplicados na produção de novos fertilizantes, como por exemplo, os superfosfatos complexados. Estes fertilizantes são produzidos da mesma forma que os superfosfatos simples e triplo (Urrutia et al, 2014), no entanto, matéria orgânica é adicionada durante o ataque do ácido na rocha fosfática, que originam associações estáveis compostas pelas macromoléculas orgânicas ligadas aos grupos fosfato por pontes de cálcio. Desta forma, a formação do complexo organo-mineral impedirá a reação do fosfato com o Fe, Al ou Ca livres na solução do solo, evitando a precipitação que reduz o P disponível às plantas e também reduzirá a adsorção de P nos óxidos de Fe e Al, graças a formação de um complexo estável.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade F, Mendonça E, Alvarez V, Novais R. 2003. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 1003-1011

Anualpec Anuário da Pecuária Brasileira. 2011. São Paulo: Instituto FNP, 378 p.

Anualpec, Anuário da Pecuária Brasileira. 2013. São Paulo: Instituto FNP. 298 p.

Araújo I, Resende A, Furtini Neto A, et al. 2003. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. Revista Ceres, p. 27-39

Baigorri R, Urrutia O, Erro J, et al. 2013. Structural characterization of anion-calcium-humate complexes in phosphate-based fertilizers. Chemosuschem, v. 6, n.7, p. 1245-1251

Baligar V, Fageria N, He Z. 2001. Nutrient use efficiency in plants. Communications in Soil Science Plant Analysis. p. 921-950

Barducci R, Costa C, Crusciol C, et al. 2009. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada, Archivos de Zootecnia, v. 58, n. 222, p. 211-222

Bolan N, Naidu, R, Mahimairaja S, Baskaran S. 1994. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. Biology and Fertility of Soil, v. 18, n, 4, p. 311-319

Camacho M, Silveira L, Silveira M. 2015. Eficiência de genótipos de *Brachiaria brizantha* Stapf. (Syn: *Urochloa brizantha*) na produção de biomassa sob

aplicação de fósforo. Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.67, n.4, p. 1133-1140

Cantarutti R, Tarré M, Macedo R, et al. 2002. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystem, v.64, n.11, p. 257-271

Corrêa L & Freitas A. 1997b. Adubação fosfatada na produção e teor de fósforo em quatro cultivares de *Panicum maximum*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, 1997, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.2, p.157-159

Corrêa L, Freitas A, Vitti G. 1997a. Resposta de *Panicum maximum* cv. tanzânia a fontes e doses de fósforo no estabelecimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.2, p. 190-192

Corrêa L. 1991. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *Brachiaria decumbens* Stapf, *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. marandu e *Panicum maximum* Jacq. em latossolo vermelho amarelo, álico. Tese (Doutorado em Solos). Piracicaba, SP, ESALQ. 83 p.

Corsi M & Nussio L. 1993. Manejo do capim-elefante: correção e adubação do solo. In: Simpósio sobre manejo de pastagem, 10, 1992, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ. p. 87-115

Costa A. 2008. S. V. O Fósforo no sistema solo-planta. Governador Valadares-MG: Univale, 63 p.

Delgado A, Madrid A, Kassem S, et al. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. Plant and Soil, v. 245, n. 2, p. 277-286

Dias Filho M. 2012. Formação e Manejo de Pastagens. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 10 p.

Dias Filho M. 2014. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 36 p.

Eghball B, Sander V, Skopp J. 1990. Diffusion, adsorption and predicted longevity of banded phosphorus fertilizer in three soils. Soil Science Society of America Journal. v.54, p. 1161-1165

Epstein E & Bloom A. 2006. J. Nutrição Mineral de Plantas – Princípios e Perspectivas. 2ed. Londrina: Editora Planta, 401 p.

Erro J, Urrutia O, Baigorri R, et al. 2012. Organic complexed superphosphates (CPS): physicochemical characterization and agronomical properties. Journal of Agricultural and Food Chemistry. v. 60, p. 2008-2017

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Agricultural Outlook 2015-2024. OECD-FAO, 148 p.

Ferraz F. 2003. Pastagens garantem o futuro da agropecuária brasileira. Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 56 p.

Fontes M, Weed S, Bowen L. 1992. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. Soil Science Society of America Journal. v. 56, p. 982-990

Gerke J, Meyer U, Romer W. 1995. Phosphate, Fe and Mn uptake of N₂ fixing red-clover and ryegrass from a Oxisol as affected by P and model humic substances application. 1. plant-parameters and soil solution composition. Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde, v. 158, n. 3, p. 261-268

Gerke J. 1992. Phosphate, aluminium and iron in the soil solution of three diferente soils in relation to varying concentrations of citric acid. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, v. 155, p. 339-443

Gerke K. 2010. Humic (organic matter)-Al (Fe)- phosphate complexes: na underestimated phosphate form in soils and source of plant-available phosphate. *Soil Science*, v. 175, n. 9. p. 417-425

Giovannini C, Garcia-Mina J, Ciavatta C, Marzadori C. 2013. Effect of organic-complexed superphosphates on microbial biomass and microbial activity of soil. *Biology and fertility of soil*, v. 42, n. 3, p. 491-498

Grant C, Flaten D, Tomasiewicz D, Sheppard S. 2001. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas*, n.95. Potafós, Piracicaba, SP, 5 p.

Gross I & Inskeep W. 1991. Precipitation of dicalcium phosphate dehydrate in the presence of organic acids. *Soil Science Society of America Journal.*, v. 55, p. 670-675

Hodgson J. 1990. *Grazing management: Science into practice*. Longman Scientific and Technical, Longman Group, London, 203 p.

Ileri A, Lana R, Korndorfer G, Pereira, H. 2010. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com *Brachiaria*. *Ciência e Agrotecnologia*. v.34, n.5, p. 1154-1160

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Brasileira*. 2012. Rio de Janeiro, v. 40, p. 1-71

Jank L, Barrios S, Valle C, et al. 2014. The value of improved pastures to Brazilian beef production. *Crop and Pasture Science*, v. 65, p. 1132-1137

Jones D. 1998. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. *Plant and Soil*, v.205, p. 25-44

Macêdo V. 2013. Adubação de implantação, manutenção e recuperação de capim-mombaça (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal de Goiás, Goiania, 30 p.

Marcelino K, Nascimento Junior D, Silva S, et al. 2006. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim Marandú submetido à intensidade e frequência de desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p. 2243-2252

Marschner H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 2.^a ed. Academic. New York, 874 p.

Miles J, Maass B & Valle C. 1996. Brachiaria: biology, agronomy and improvement. Brasília: Centro Internacional de Agricultura Tropical, p. 164-177

Monteiro F, Ramos A, Carvalho D, et al. 1995. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandú em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. *Scientia Agricola*, v.52, p. 135-141

Novais R, Smyth T, Nunes F. 2007. Fósforo. In: Novais R, Alvares V, Barros N, Fontes R, Cantarutti R, Neves J (Ed). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 471-550

Nziguheba G, Palm C, Buresh R, Smithson P. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. *Plant and Soil*, v.198, p. 159-168

Oliveira P, Oliveira W, Corsi M. 2007. Efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. marandu em Neossolo Quartzarênico. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.6, p. 1715-1728

ONU – UN News Centre. 2015. UN projects world population to reach 8,5 billion by 2030, driven by growth in developing countries. Disponível em: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=51526#.WATNoFQrLIV>
Acesso em 17/10/2016.

Paulino V, Costa N, Lucena M, et al. 1994. Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. marandú a calagem e a fertilização fosfatada de um solo ácido. *Pasturas Tropicales*, v.16, p. 34-40

Peron A & Evangelista A. 2004. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. *Ciência Agrotecnologia*, v. 28, p. 655-662

Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P. 2001. The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. New York: Marcel Dekker, 472 p.

Quintero C, Boschetti N, Benavidez, R. 1999. Phosphorus Retention in Some Soils of the Argentinian Mesopotamia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. p. 1449-1461

Ramos S, Faquin V, Rodrigues C, et al. 2009. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p. 335-343

Rezende A, Lima J, Rabelo, et al. 2011. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. marandu em resposta à adubação fosfatada. *Revista Agrarian*, v.4, n.14, p. 335-343

Santos D, Gatiboni L, Kaminski J. 2008. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. *Ciência Rural*, v.38, n.2, p. 576-586

Santos H, Fonseca D, Cantarutti R, Alvarez V, Nascimento Júnior D. 2002. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p. 173-182

Santos L, Bonomo P, Silva V, et al. 2009. Características morfogênicas de braquiárias em resposta a diferentes adubações. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, p. 221-226

Sarwar M, Hyder S, Ehsan Akhtar M, Tabassam T, Malik S. 2014. Integrated effects of humic acid and bio fertilizer on yield and phosphorus use efficiency in mungbean under rainfed condition. *World Journal of Agricultural Sciences*. v.2, n.3, p. 40-46

Silisbury J. 1970. Leaf growth in pasture grasses. *Tropical Grasslands*, v. 4, p. 17-36

Silva I & Mendonça E. 2007. Matéria orgânica do solo. In: Novais R, Alvarez V, Barros N, Fontes R, Cantarutti R, Neves J. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-374

Silva S. 1995. Condições edafoclimáticas para a produção de *Panicum sp.* In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 12., 1995, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, p. 129-146

Sousa D, Martha Júnior G, Vilela L. 2007. Adubação fosfatada. In: Martha Júnior G, Vilela L, Sousa D. *Cerrado, uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens*. 1.ed. Planaltina, p. 145-176

Sparks D. 2003. Environmental soil chemistry. Waltham: Academic Press, 352 p.

Sposito G. 1989. The chemistry of soil. New York: Oxford University, 1989. 277 p.

Staunton S & Leprince F. 1996. Effect of pH and some organic anions on the solubility of soil phosphate: implications for P bioavailability. European Journal of Soil Science, v. 47, p. 231-239

Stevenson F. 1986. J. Cycles of: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrientes. New York: John Wiley & Sons, 380 p.

Taiz L & Zeiger E. 2010. Fisiologia vegetal. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 848 p.

Urrutia O, Erro J, Guardado I, et al. 2014. Physico-chemical characterization of humic-metal-phosphate complexes and their potential application to the manufacture of new types of phosphate-based fertilizers. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 177, p. 128-136

Vilela H. 2005. Pastagem: Seleção de plantas forrageiras, implantação e adubação. Aprenda Fácil Editora, Viçosa, MG, 283 p.

Wandruszka R. 2006. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. Geochemical Transactions. v.7, n.6, p. 1-8

Werner J. 1971. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 95 p.

Zucareli C, Ramos Junior E, Barreiro A, Nakagawa J, Cavariani C. 2006. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade

fisiológica em sementes de feijão. Revista Brasileira de Sementes, v.28, p. 9-15

CAPÍTULO 1

Crescimento do capim marandu em função da calagem e adubação fosfatada

1. Introdução

A produção pecuária no Brasil, caracterizada por ser extensiva e sobre pastagens nativas ou cultivadas, apresenta baixos índices zootécnicos em razão, dentre outros fatores, da baixa qualidade e reduzida capacidade de suporte das pastagens. A baixa produtividade das forrageiras nos solos tropicais se deve, principalmente, a elevada acidez do solo ($\text{pH} < 5,0$), toxidez de alumínio e manganês, e a baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente o fósforo, por estar pouco disponível em solos ácidos e por sua importância no crescimento inicial das forrageiras. Além disso, na maioria das propriedades, a pecuária ainda é extrativista, onde muito pouco dos nutrientes que são retirados do solo através da produção animal são repostos via adubação e as pastagens são manejadas incorretamente (Santos et al, 2002).

O P desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas. Sendo então fundamental para o estabelecimento e crescimento inicial adequado, e ajudará a determinar maior produtividade das forrageiras. De acordo com Holford (1997). Este nutriente é o segundo que mais limita a produção agrícola nos solos tropicais, onde a disponibilidade natural de P é baixa, associada a uma alta capacidade de adsorção e de fixação do mesmo. Assim, o fósforo é considerado como o elemento que mais limita a produção de forrageiras, uma vez que estas plantas possuem uma maior demanda inicial por este nutriente, quando comparadas a espécies anuais (Malavolta, 2006).

Diversos trabalhos têm comprovado que o suprimento adequado ou a ausência de fósforo determinam o crescimento das plantas. Camacho et al (2015) avaliaram a eficiência de produção de matéria seca em diferentes genótipos de *Brachiaria brizantha* adubados com fósforo e constataram que houve incremento na produção de matéria seca em todos os genótipos

estudados, especialmente para a produção de folhas. Isso demonstra que a adubação fosfatada contribui para o aumento da área foliar das plantas forrageiras.

Associado à importância da adubação para um adequado estabelecimento das plantas forrageiras está a necessidade de corrigir a acidez do solo, uma vez que o baixo pH torna indisponível grande parte dos nutrientes essenciais às plantas, e promove a solubilização de elementos tóxicos, como o alumínio. As consequências de um solo ácido são os prejuízos causados pelo baixo rendimento das culturas. Portanto, a correção da acidez do solo através da calagem é considerada uma das práticas que mais contribui para o aumento da eficiência dos adubos e, conseqüentemente, aumento da produtividade das plantas.

Alguns fatores de ambiente, como intensidade luminosa e temperatura irão afetar o crescimento inicial e a produção das plantas forrageiras (Andrade et al, 2005). As condições do ambiente, associadas ao estado nutricional das plantas e a idade de crescimento, são determinantes no processo de formação, crescimento e manutenção dos tecidos, principalmente, da área foliar.

De acordo com Radford (1967), as principais características de crescimento das plantas são: taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, razão de área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar, índice de área foliar e duração da área foliar. Segundo Santos Junior et al. (2004), o fundamento da análise de crescimento é a medida sequencial da acumulação de matéria orgânica e sua determinação é realizada por meio da avaliação do acúmulo de matéria seca (MS) da planta e do crescimento da área foliar. Esta determinação é importante, uma vez que as folhas são as principais responsáveis pela captação de energia solar e pela produção de matéria orgânica por meio da fotossíntese. Tendo em vista a importância da adubação fosfatada e da calagem no crescimento inicial das plantas forrageiras, este trabalho objetivou analisar algumas características de crescimento da *Brachiaria brizantha* cv. marandu em função da calagem e adubação com duas fontes de adubo fosfatado.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, no período de janeiro a março de 2015.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa, removendo-se a cobertura vegetal e coletando-se a camada arável do solo (0 – 20 cm). Suas características químicas foram determinadas pela análise de uma amostra composta coletada previamente a instalação do experimento.

A espécie *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. marandu foi cultivada no delineamento experimental inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 2 x 3 x 6 (duas condições de acidez do solo e três composições de adubo fosfatado) com parcelas subdivididas (seis épocas de avaliação), e quatro repetições. O fator principal consistiu de duas condições de solo, solo ácido e solo corrigido por meio de calagem. Para o solo corrigido, foi realizado o método de neutralização do alumínio e suprimento de cálcio e magnésio através da utilização de calcário com PRNT de 76% e um período de incubação de 30 dias, onde a necessidade de calcário é calculada com base no teor de argila e alumínio do solo. Em ambas as condições de solo foram realizados dois tipos de adubação fosfatada, uma composta de fosfato complexado com ácidos húmicos (Top Phos®, Timac Agro) e outra composta de superfosfato simples e um tratamento testemunha, sem a adição de nenhum adubo fosfatado. A adubação foi incorporada ao solo na ocasião do enchimento dos vasos, nas doses 150, 150, 60, 0,8, 1,5, 3,5, 5 e 0,15 mg dm⁻³ respectivamente para N, K, S, B, Cu, Mn, Zn e Mo (PA), além de 400 mg dm⁻³ de P, seguindo os tratamentos, adaptado de Silva et al. (2013). Foi feita análise do solo corrigido após o período de incubação com o calcário. Os resultados obtidos através da análise do solo, antes e após a correção, se encontram na tabela 1.

Tabela 1. Características químicas da camada do solo de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

Características químicas	Sem correção	Corrigido
pH em água – 1:2,5	4,3	5,5
Fósforo (P) (mg dm ⁻³) ¹	3,2	2,7
Potássio (K) (mg dm ⁻³) ¹	57	51
Cálcio (Ca ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ²	1,0	2,3
Magnésio (Mg ²⁺) (cmol _c dm ⁻³) ²	0,1	0,8
Acidez trocável (Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ²	1,4	0,0
Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) (cmol _c dm ⁻³) ⁴	10,9	6,44
Soma de bases (SB) (cmol _c dm ⁻³)	1,25	3,23
Capacidade de troca de cátions: CTC efetiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	2,15	3,23
Capacidade de troca de cátions: CTC a pH 7,0 (T) (cmol _c dm ⁻³)	12,14	9,67
Saturação por bases (V%)	10	33
Saturação por alumínio (m%)	42	0
P-remanescente (mg dm ⁻³)	11,6	13,3
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ⁵	5,42	4,54

¹Extrator Mehlich-1; ²Extrator KCl 1 molL⁻¹; ⁴Extrator Acetato de cálcio 0,5mol L⁻¹ pH 7,0;

⁵MO= C.Org x 1,724 – Walkley-Black

A semeadura foi realizada em vasos de plástico com superfície quadrada, aresta de 17 cm e capacidade de 4,2 dm⁻³. Estes vasos foram preenchidos com solo seco ao ar, peneirado, destorroado e processados conforme os tratamentos. Posteriormente, cada vaso foi irrigado com água desionizada até atingir a capacidade de campo. Semearam-se em cada vaso 25 sementes, aproximadamente, em profundidade de 0,5 cm e distribuídas ao acaso na superfície.

Uma semana após a emergência iniciou-se o desbaste das plântulas seguindo desbastes periódicos até a permanência de cinco plantas por vaso. Utilizou-se como critério para desbaste a sanidade, uniformidade e distribuição na superfície do vaso. As plantas foram irrigadas todos os dias com água desionizada a fim de se manter a umidade próxima a capacidade de campo. Uma vez por semana realizava-se amostragem de 25% dos vasos, sendo estes pesados em balança digital e verificado a umidade do solo, completando-se com água desionizada até atingir a capacidade de campo do solo.

Aos 21, 28, 35, 43, 49 e 57 dias após a emergência quatro plantas ao acaso por tratamento foram colhidas para análises destrutivas. Após cada dia

de coleta, uma dose de 30 mg dm⁻³ de NH₄NO₃ era aplicada nos vasos remanescentes, de modo que as plantas retiradas aos 21 dias não receberam esta aplicação, ao passo que aquelas retiradas aos 56 dias após a emergência receberam uma dose final de 150 mg dm⁻³ de NH₄NO₃.

As plantas foram cortadas rentes à superfície do substrato, procedendo-se à coleta da parte aérea e das raízes, que foram separadas do solo e lavadas com água corrente e água desionizada, utilizando-se duas peneiras de malha com diâmetro de 0,25 e 1,00 mm. O material colhido foi estratificado em folha, colmo e raiz. A área foliar foi medida utilizando o equipamento LI-COR 3100 (Inc. Lincoln, Nebraska, USA). Posteriormente, todo o material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, até atingir massa constante, e em seguida pesados em balança de precisão.

Com os dados de massa seca (g planta⁻¹) e área foliar (cm² planta⁻¹) foram calculadas as seguintes razões alométricas e análise de crescimento: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa assimilatória líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), e razão de massa foliar (RMF) utilizou-se as fórmulas descritas por Hunt et al. (2002).

Taxa de crescimento absoluto (TCA)

$$TCA = \frac{MST_2 - MST_1}{t_2 - t_1}$$

Onde, massa seca total (MST₁ e MST₂) são as biomassas secas de duas amostragens sucessivas e t₂ e t₁ são os dias ocorridos entre as duas observações.

Taxa assimilatória líquida (TAL)

A taxa assimilatória líquida (g cm⁻² dia⁻¹) é a relação entre a matéria seca total (MST) e a área foliar (AF) por unidade de tempo. Esse índice

representa a conversão de matéria seca da planta em relação à AFP e foi calculado a partir da seguinte relação:

$$TAL = \frac{MST_2 - MST_1}{AF_2 - AF_1} \times \frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{t_2 - t_1}$$

Onde, MST_1 e MST_2 ; AF_1 e AF_2 representam a variação da massa da matéria seca total e da área foliar em duas amostras consecutivas, respectivamente, tomadas nos tempos t_1 e t_2 ; e \ln é o logaritmo neperiano.

Razão de área foliar (RAF)

A RAF é a razão entre a área foliar (AF) (área responsável pela absorção de luz e CO_2) e a massa seca total (MST) (resultado da fotossíntese líquida). Este índice representa a área foliar em cm^2 que é usada para produzir 1 g de massa seca e foi calculado a partir da seguinte relação:

$$RAF = \frac{AF}{MST}$$

Área foliar específica (AFE)

Este parâmetro é calculado através da razão entre a área foliar (AF) e a massa seca das folhas (MSFol) e foi obtido a partir da seguinte relação:

$$AFE = \frac{AF}{MSFol}$$

Razão de massa foliar (RMF)

A razão de massa foliar foi calculada pela relação entre a massa seca folhas e a massa seca total e expressa em $g \cdot g^{-1}$, conforme equação:

$$\text{RMF} = \frac{\text{MSFol}}{\text{MST}}$$

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, seguida de comparação de médias, pelo teste de Tukey (5% de significância) para comparações qualitativas. Empregou-se análise de regressão para dados quantitativos, para tanto, foi utilizado o programa estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011).

3. Resultados

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) da adubação fosfatada e das idades de crescimento sobre a taxa de crescimento absoluto (TCA), que representa a velocidade de crescimento do capim marandu (Tabela 3). A calagem não influenciou a TCA. Não houve interação entre calagem e adubação fosfatada, no entanto, foi realizado o desdobramento desta interação para a variável TCA (Tabela 4), assim como para as demais variáveis estudadas neste trabalho, independentemente da constatação da significância da interação. As demais interações tiveram efeito significativo, exceto a interação tripla entre todas as fontes de variação estudadas.

Tabela 2 – Análise de variância da taxa de crescimento absoluto (TCA) e da taxa assimilatória líquida (TAL) do capim marandu em função da calagem e da adubação fosfatada, cultivada no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Fontes de variação	G. L.	Quadrados Médios	
		TCA	TAL
Bloco	3	0,0128**	0,00000028 ^{NS}
Solo (S)	1	0,0012 ^{NS}	0,00000200**
Fonte de P (F)	2	2,3150**	0,00000500**
Interação S x F	2	0,0027 ^{NS}	0,00000100**
Erro A	15	0,0022	0,00000061
Idade de Crescimento (I)	4	0,1256**	0,00000200**
Interação S x I	4	0,0054*	0,000000670**
Interação F x I	8	0,0375**	0,000000782**
Interação S x F x I	8	0,0030 ^{NS}	0,000000820**
Erro B	72	0,0018	0,00000064
CV Parcela (%)	-	16,1	27,4
CV Subparcela (%)	-	14,9	28,2

^{NS}, ** e * - não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 3 – Desdobramento da interação entre calagem e adubação fosfatada para a taxa de crescimento absoluto (TCA) do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Solo	Fontes de Fósforo			Média
	Sem P	SFS	TP	
 TCA (g dia ⁻¹)			
Acidez Natural	0,012 aB	0,425 aA	0,416 aA	0,285
Acidez Corrigida	0,008 aB	0,451 aA	0,414 aA	0,291
Média	0,010	0,438	0,415	0,288

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A adubação fosfatada, independentemente da fonte utilizada, aumentou significativamente a TCA em relação ao tratamento que não foi adubado com fósforo. As fontes de fósforo utilizadas não diferiram entre si, sendo que ambas provocaram aumento na TCA de pelo menos 40 vezes. A calagem não influenciou a TCA, independentemente da adubação fosfatada e da fonte utilizada (Tabela 3 e 4).

Na Figura 1 está apresentado o desdobramento da interação entre as fontes de fósforo e as idades de crescimento. No tratamento sem aplicação de fósforo, a TCA não variou em função das idades de crescimento, sendo observado um reduzido e constante crescimento. Quando foi aplicado fósforo no solo, a TCA teve efeito variado em função das idades de crescimento, com resposta ajustada ao modelo de regressão linear quadrático para ambas as fontes utilizadas. Observa-se um comportamento semelhante da TCA em função das idades de crescimento, independentemente da fonte de fósforo utilizada, sendo os valores máximos alcançados aos 42,7 e 45,0 dias após a emergência (DAE), respectivamente, para TopPhos (TP) e superfosfato simples (SFS).

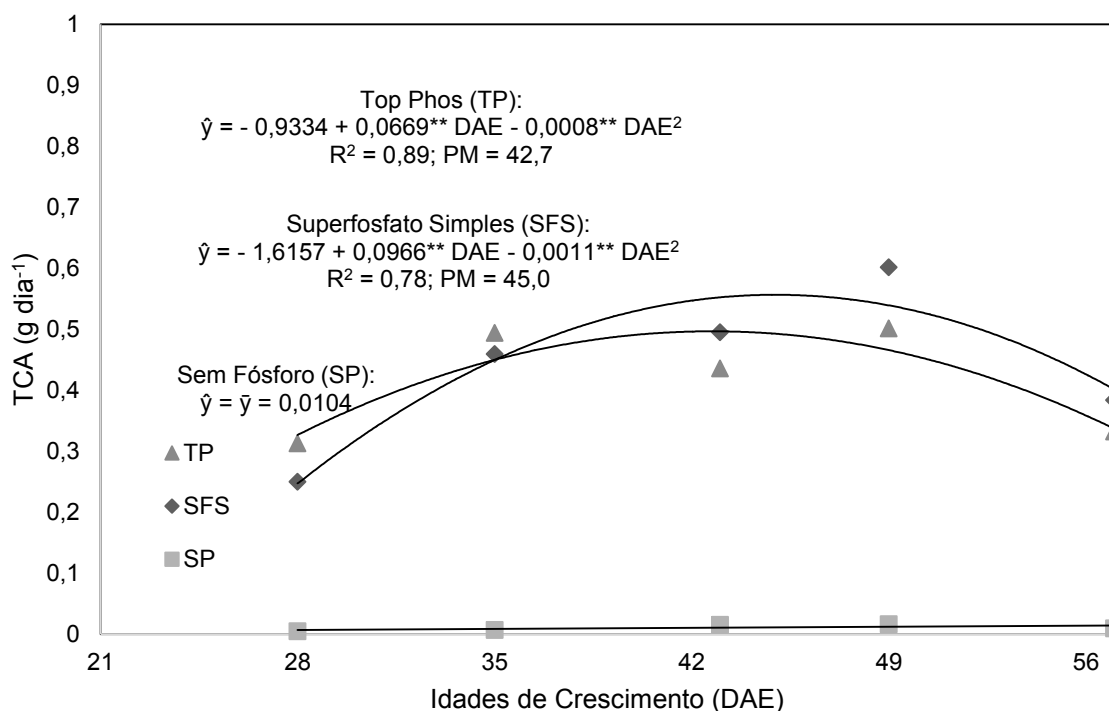


Figura 1 - Desdobramento da interação entre as fontes de fósforo e as idades de crescimento sobre a taxa de crescimento absoluto (TCA) do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Para a taxa assimilatória líquida (TAL), houve efeito significativo de todos os fatores avaliados (Tabela 3). Avaliando a interação entre a calagem e a adubação fosfatada (Tabela 5), observa-se que quando não foi aplicado fósforo no solo a calagem promoveu aumento nos valores médios obtido para a TAL. Quando foi fornecido fósforo de ambas as fontes, superfosfato simples e TopPhos, o aumento da TAL promovido pela calagem não foi significativo. Sem a realização da calagem a média do tratamento sem aplicação de fósforo foi superior do que o tratamento que recebeu fósforo da fonte TopPhos; já quando foi realizada a calagem o valor médio do tratamento sem fósforo foi superior ao dos tratamentos que receberam fósforo de ambas as fontes utilizadas.

Tabela 4 – Desdobramento da interação entre calagem e adubação fosfatada para a taxa assimilatória líquida (TAL) do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Solo	Fontes de Fósforo			Média
	Sem P	SFS	TP	
 TAL (g cm ⁻² dia ⁻¹)			
Acidez Natural	0,000934 bA	0,000735 aAB	0,000602 aB	0,000757
Acidez Corrigida	0,001663 aA	0,000798 aB	0,000663 aB	0,001041
Média	0,001298	0,000767	0,000633	0,000899

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação entre os tratamentos de correção de acidez do solo e fontes de adubo fosfatado em função das idades de crescimento é apresentado na figura 2. Observa-se tendência de redução linear dos valores de TAL no período de crescimento da cultura estudado, exceto para o tratamento em que se realizou a calagem, mas não foi aplicado fósforo, no qual foi observado aumento dos valores em função do tempo. Além do comportamento contrastante entre os tratamentos em que não foi aplicado fósforo, observa-se reduzido grau de ajuste das equações de regressão. Porém, nos tratamentos em que foi aplicado fósforo, melhor ajustado ao modelo de regressão linear foi o comportamento apresentado pela cultura, verificando-se decréscimo na ordem 0,000023 e 0,000020 g cm⁻² dia⁻¹ para as fontes SFS e TP, respectivamente, para ambos as condições de solo, com acidez natural (SAN) ou acidez corrigida (SAC).

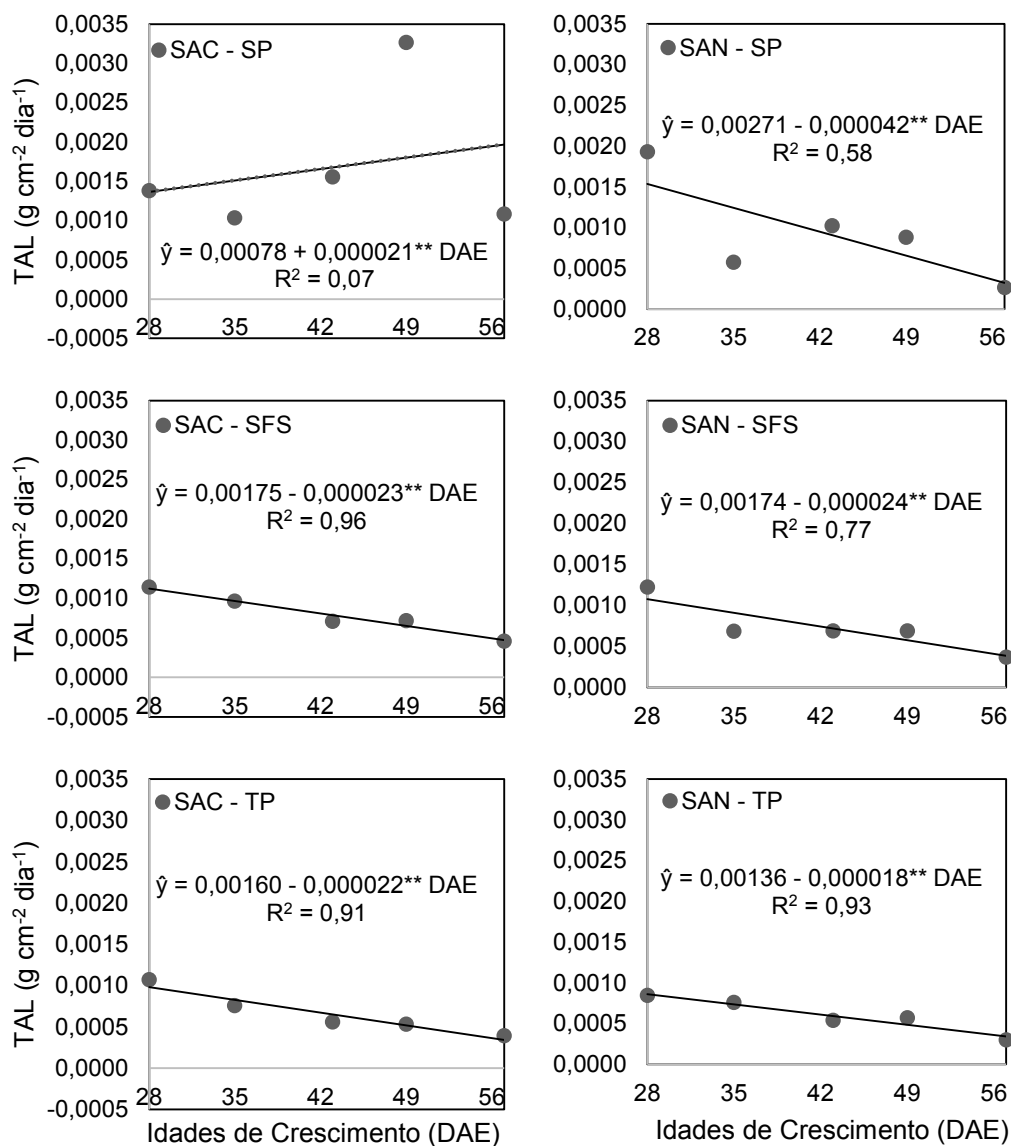


Figura 2 Desdobramento da interação entre os tratamentos de correção de acidez do solo e fontes de adubo fosfatado para a variável taxa assimilatória líquida (TAL) em função das idades de crescimento do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Para as variáveis razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de massa foliar (RMF) o efeito individual dos fatores estudados foram significativos ($p < 0,01$) (Tabela 6). Houve interação entre as fontes de variação acidez do solo e fonte de fósforo apenas para RMF ($p < 0,05$). A interação simultânea entre as três fontes de variação estudadas foi significativa para RAF e RMF ($p < 0,05$).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de massa foliar (RMF) do capim marandu em função da calagem e da adubação fosfatada, cultivada no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Fontes de variação	G. L.	Quadrados Médios		
		RAF	AFE	RMF
Bloco	3	1609,9**	3577,6*	0,00520**
Solo (S)	1	2962,3**	11292,4**	0,00279*
Fonte de P (F)	2	42293,5**	238824,0**	0,01422**
Interação S x F	2	456,5 ^{ns}	1413,5 ^{ns}	0,00172*
Erro A	15	209,2	724,3	0,00044
Idade de Crescimento (I)	5	6116,3**	21156,6**	0,01025**
Interação S x I	5	175,3 ^{ns}	558,8 ^{ns}	0,00162 ^{ns}
Interação F x I	10	4038,9**	15296,7**	0,00404**
Interação S x F x I	10	334,4*	906,7 ^{ns}	0,00229*
Erro B	90	150,5	564,5	0,00099
C. V. Parcela (%)	-	17,4	14,5	4,7
C. V. Subparcela (%)	-	14,8	12,8	7,1

^{ns}, ** e * - não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O desdobramento da interação entre as condições de acidez do solo e a adubação fosfatada apresentou comportamento semelhante para RAF, AFE e RMF (Tabela 7), onde a calagem promoveu redução na média do tratamento que não foi adubado com fósforo. A adubação fosfatada promoveu aumento nas médias de RAF e AFE, independente da realização ou não da calagem. Já para RMF, a adubação fosfatada promoveu redução dos valores médios.

As variáveis RAF, AFE e RMF apresentaram padrão de redução linear dos valores médios observados com o aumento das idades de crescimento (Figuras 3, 4 e 5). No entanto, para RAF e AFE, quando não foi aplicado fósforo no solo, houve aumento dos valores observados com o aumento das idades de crescimento. Observou-se que quando as plantas receberam a adubação com fósforo, os valores observados e sua variação em função das idades de crescimento foram semelhantes.

Tabela 6 – Desdobramento da interação entre calagem e adubação fosfatada para as variáveis razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de massa foliar (RMF) do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Solo	Fontes de Fósforo			Média
	Sem P	SFS	TP	
 RAF (cm ² g ⁻¹)			
Acidez Natural	56,68 aB	100,13 aA	105,53 aA	87,45
Acidez Corrigida	40,73 bB	96,08 aA	98,32 aA	78,37
Média	48,71	98,10	101,92	82,91
 AFE (cm ² g ⁻¹)			
Acidez Natural	119,85 aB	229,76 aA	235,30 aA	194,97
Acidez Corrigida	89,61 bB	218,27 aA	223,90 aA	177,26
Média	104,73	224,01	229,60	186,12
 RMF (g g ⁻¹)			
Acidez Natural	0,475 aA	0,431 aB	0,444 aB	0,450
Acidez Corrigida	0,455 bA	0,435 aB	0,434 aB	0,441
Média	0,465	0,433	0,439	0,445

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

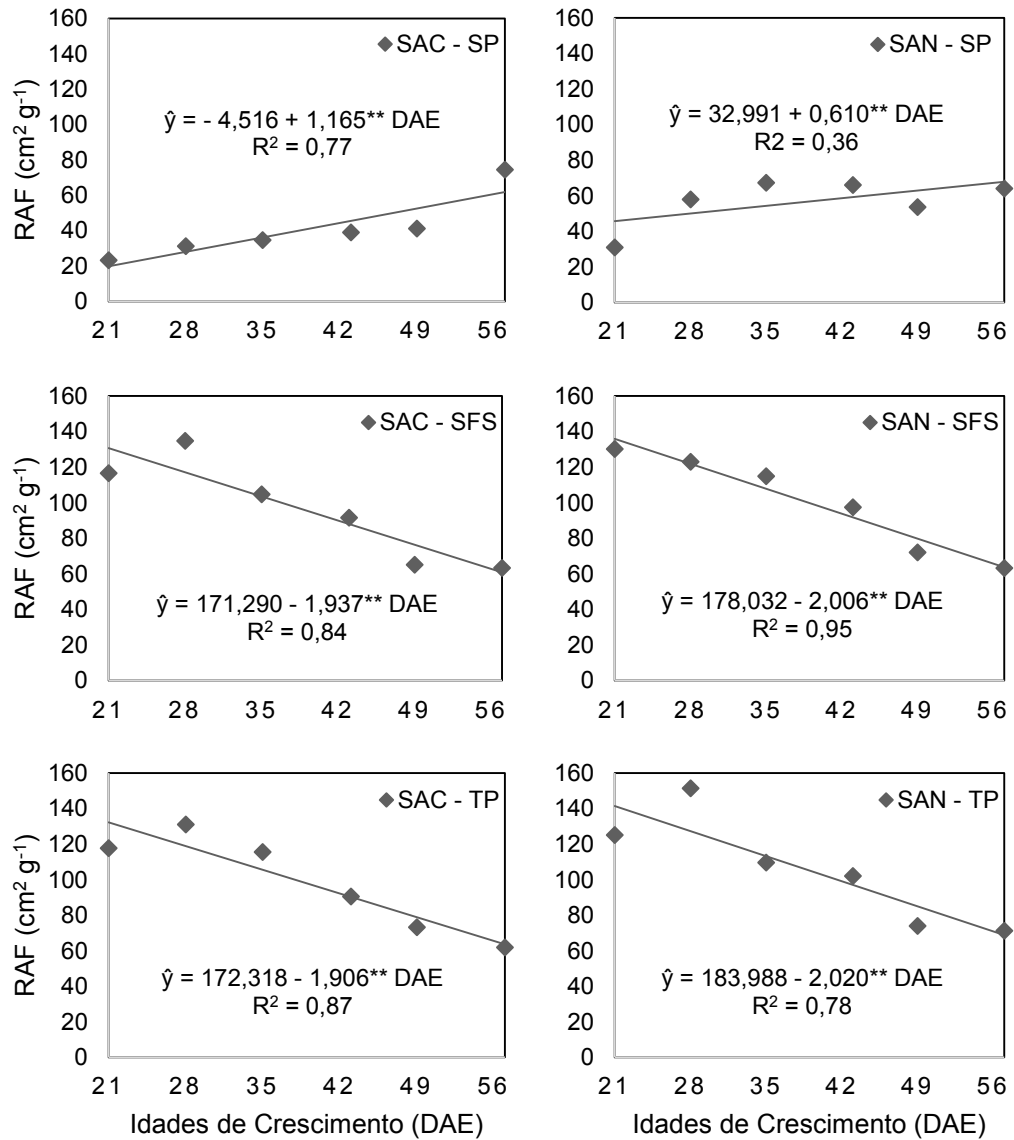


Figura 3 – Desdobramento da interação entre os tratamentos de correção de acidez do solo e fontes de adubo fosfatado para a variável razão de área foliar (RAF) em função das idades de crescimento do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

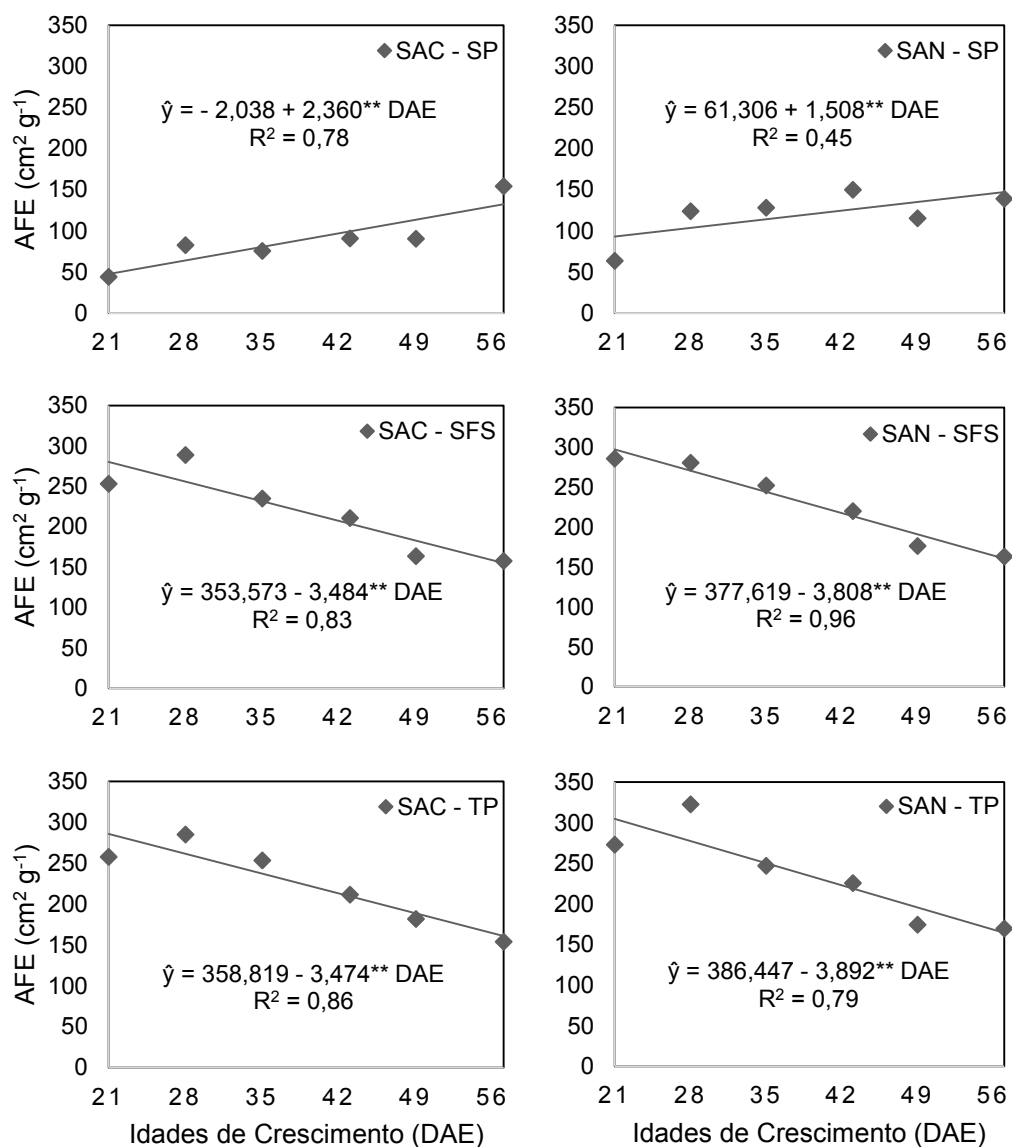


Figura 4 – Desdobramento da interação entre os tratamentos de correção de acidez do solo e fontes de adubo fosfatado para a variável área foliar específica (AFE) em função das idades de crescimento do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

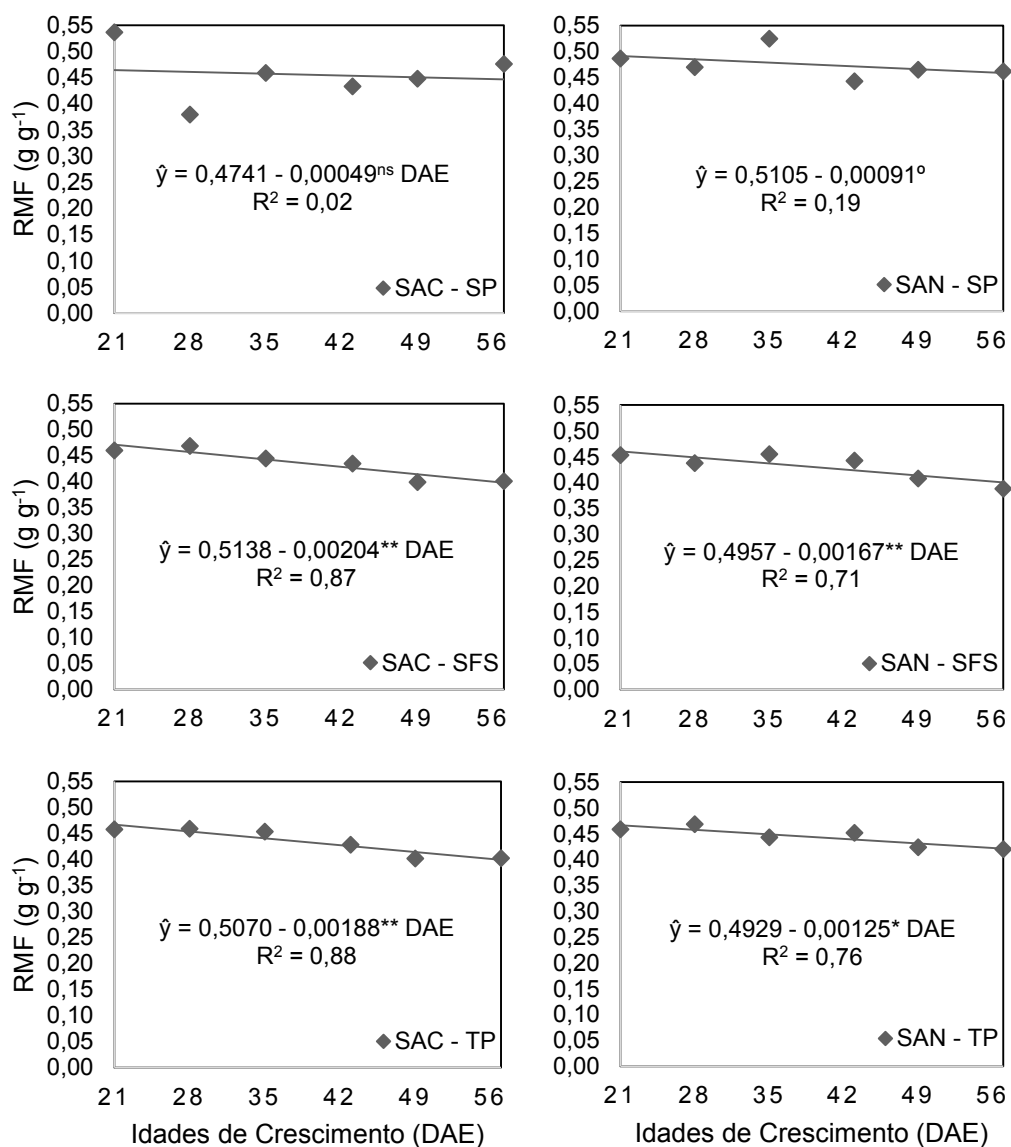


Figura 5 – Desdobramento da interação entre os tratamentos de correção de acidez do solo e fontes de adubo fosfatado para a variável razão de massa foliar (RMF) em função das idades de crescimento do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

4. Discussão

Em concordância com os resultados obtidos neste trabalho, Gomide et al. (2003), estudando capim mombaça, observaram que os valores médios de TCA (velocidade de crescimento do capim marandu), TAL (expressa a taxa de fotossíntese líquida em termos de massa seca produzida) e RAF (área foliar em uso pela planta para produzir um grama de massa seca) reduziram com o avanço da idade das plantas. Os autores justificaram o resultado obtido em função da senescência e morte dos tecidos e estabilização no acúmulo de matéria seca após algumas semanas de crescimento. Gomide & Gomide (1999) obtiveram respostas compatíveis e justificam que a queda destes parâmetros se deve à competição por luz, autossombreamento, avanço da idade da planta e incremento das demandas respiratórias.

A queda na RAF, que representa a área foliar útil para a fotossíntese para produzir um grama de massa seca total, reflete, segundo Santos Junior et al. (2004), a diminuição da capacidade fotossintética em relação ao aumento da massa total da planta, o que, segundo os autores, representa um detrimento da produção de folhas em função da maior redistribuição de fotoassimilados para o crescimento da planta, como colmos, raízes e perfilhos (órgãos que respiram, mas não contribuem para a fotossíntese). Gomide & Gomide (1999) também relataram queda abrupta nos valores de RAF para as cultivares mombaça, tanzânia e vencedor. Santos Júnior et al (2004), em estudo com capim marandu, relatam que o máximo valor da RAF ocorreu aos 21 dias, com queda significativa até os 53 dias.

De acordo com Gomide et al (2003), nas primeiras semanas após a emergência, a massa seca de folhas representa mais da metade da massa seca total, indicando a preferência da planta para alocar fotoassimilados para o meristema apical e as folhas em expansão. Após este período, a representatividade da matéria seca de folhas cai em relação à da matéria seca total da planta, destacando-se o aumento na participação de outras estruturas, colmos e raízes.

Diversos trabalhos que comparam fontes alternativas de fósforo aos fertilizantes mais solúveis relatam um desempenho inferior dos fosfatos

alternativos em comparação com o superfosfato simples ou triplo. Oliveira et al. (2012) avaliaram diferentes fontes de fósforo (fosfato natural reativo de Arad, farinha de ossos e superfosfato simples), no estabelecimento e produtividade de forrageiras. Os autores relatam que houve superioridade do SS para a maioria das variáveis analisadas. Também Maciel et al. (2007), em um estudo que avaliou diferentes fontes de fósforo no cultivo do capim marandu relatam que as fontes mais solúveis apresentaram as melhores respostas.

Neste trabalho, as fontes fosfatadas não diferiram entre si no que diz respeito ao crescimento inicial do capim marandu, tendo, todos os parâmetros avaliados o mesmo comportamento, tanto para o tratamento que foi adubado com o superfosfato simples, quanto o adubado com o TopPhos. Esse fator demonstra um desempenho promissor do fertilizante TopPhos, uma vez que, uma nova fonte fosfatada é sempre avaliada em comparação com os adubos mais solúveis, apesar de outros estudos serem necessários para avaliar a viabilidade econômica da adubação com o TopPhos.

Independentemente da fonte, os tratamentos que receberam adubação fosfatada foram superiores em relação a testemunha para as variáveis TCA, RAF, AFE, demonstrando a importância do fósforo no crescimento das plantas e na produção de aparato fotossintético, uma vez que a RAF e a AFE são quantificadas levando em consideração a área foliar sobre a matéria seca, sendo matéria seca total para a RAF e matéria seca de folhas no caso da AFE. Lira et al (1994) descreve que o fósforo desempenha papel importante no desenvolvimento do sistema radicular e perfilhamento das gramíneas e por isso promove aumento da taxa de crescimento inicial e favorece o estabelecimento das forrageiras. Camacho et al. (2015) relatam também que a adubação fosfatada promoveu incremento na produção de matéria seca de folhas do capim marandu, contribuindo para maiores valores de RAF e AFE nos tratamentos que receberam fósforo.

A TAL e a RMF foram maiores para o tratamento testemunha, que não recebeu adubação fosfatada. Esses valores podem ser justificados pelo fato das duas variáveis considerarem para efeito de cálculo a matéria seca total (MST) das plantas. Para a RAF, por exemplo, a representatividade das folhas

no total do peso da planta é maior, em razão do valor diminuto da MST, o mesmo ocorre com a TAL.

Segundo Santos Junior et al. (2004), a taxa fotossintética da cultura não é necessariamente uma função direta de sua área foliar, visto a contribuição desigual de folhas de diversas idades e os atributos morfológicos, como ângulo de disposição de folhas, que interferem na interceptação luminosa. Desse modo, duas plantas com a mesma área de folhas podem interceptar mais ou menos luz, variando sua TAL, em função do ângulo de inserção das folhas. No presente trabalho, as plantas que não receberam adubação fosfatada apresentaram menor autossombreamento, havendo maior interceptação de luz/folha, apesar de a interceptação de luz/planta ter sido menor em comparação com os tratamentos que receberam adubação fosfatada. Esse fator talvez possa justificar uma maior TAL no tratamento sem fósforo.

5. Conclusão

A adubação fosfatada, independentemente da fonte e da realização da calagem, é determinante para o maior crescimento inicial, rápido estabelecimento e produção do capim marandu.

Estudos posteriores sobre a viabilidade econômica da utilização das fontes de fósforo estudadas e sua fixação no solo são necessários.

6. Referências Bibliográficas

Andrade A, Fonseca D, Lopes R, et al. 2005. Análise de crescimento do capim-elefante “Napier” adubado e irrigado. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, n.2, p. 415-423.

Camacho M, Silveira L, Silveira M. 2015. Eficiência de genótipos de *Brachiaria brizantha* Stapf. (Syn: *Urochloa brizantha*) na produção de biomassa sob aplicação de fósforo. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.67, n.4, p. 1133-1140.

Ferreira D. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n.6, p. 1039-1042.

Gomide C & Gomide J. 1999. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.4, p. 675-680.

Gomide C, Gomide J, Alexandrino E. 2003. Índices morfogênicos e de crescimento durante o estabelecimento e a rebrotação do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 4, p 795-803.

Holford I. 1997. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research.*, v.35, p. 227-239.

Hunt R, Causton DR, Shipley B, Askew P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis: technical note. *Annals of Botany*, v. 90, p. 485-488.

Lira M, Farias I, Fernandes A. 1994. Estabilidade de resposta do capim Braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) sob níveis crescentes de nitrogênio e fósforo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.8, p. 1151-1157.

Maciel G, Costa S, Furtini Neto A, et al. 2007. Efeitos de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada em dois tipos de solos. *Ciencia Animal Brasileira*, v.8, p. 227-233.

Malavolta E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p.

Oliveira S, Caione G, Camargo M, et al. 2012. Fontes de fósforo no estabelecimento e produtividade de forrageiras na região de alta floresta – MT. *Global Science and Technology*, v.5, n.1, p. 01-10.

Radford, P. 1967. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. *Crop Science*, v.7, n.3, p.171-175.

Santos H, Fonseca D, Cantarutti R, et al. 2002. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais em diferentes idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n.26, p. 173-182.

Santos Junior J, Monteiro F, Lavres Junior J. 2004. Análise de crescimento do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.33, n.6, p. 1985-1991.

Silva J, Silva I, Rodas C, Carvalho J. 2013. Critical levels for *Brachiaria brizantha* and *Panicum Maximum* using different sources of phosphorus. *IDESIA*, v.31, n.1, p. 59-65.

CAPÍTULO 2

Disponibilidade de fósforo no solo, produção de biomassa e concentração de fósforo no capim marandu em função da calagem e adubação fosfatada

1. Introdução

Em regiões de clima tropical, os solos geralmente se caracterizam por serem ácidos e pobres em fósforo disponível às culturas agrícolas, em função da capacidade de adsorção deste nutriente pelo solo. Nesta reação, as moléculas de P adicionadas ao solo na forma de fosfato (PO_4^{3-}) reagem com a fase sólida mineral do solo, formando uma ligação química muito forte, de caráter covalente (Pajara, 2014). Ainda, em condições de pH elevado e altos valores de cálcio disponível, o fosfato pode reagir com o cálcio, precipitando na forma de fosfato tricálcio, forma insolúvel de P. Estas reações de adsorção e precipitação tornam o P indisponível às plantas, mesmo após a aplicação de doses elevadas de adubos fosfatados.

Mesmo nos solos que apresentam alto teor de P-total, esses valores não se refletem na disponibilidade deste nutriente para as plantas, limitando o desenvolvimento da maior parte dos cultivos de importância agrícola. Esta baixa disponibilidade deve-se ao fato do P ligar-se com os colóides do solo na forma de complexos de esfera interna, com compostos estáveis de ligação muito forte, refletindo em pouca disponibilidade às plantas. A eficiência da adubação fosfatada é limitada, sendo o aproveitamento máximo deste nutriente na ordem dos 25% do total aplicado (Raij, 2004).

Na agricultura brasileira predomina o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados e solúveis em água, obtidos a partir do tratamento ácido de rochas fosfáticas. Os principais são o superfostato triplo (SFT) com 41% de P_2O_5 e o superfostato simples (SSP), com 18% de P_2O_5 . Os dois representam, aproximadamente, 50% dos fertilizantes fosfatados fabricados no mundo (Fassbender & Bornemisza, 1994). A eficiência destes fosfatos

depende de fatores relacionados com suas propriedades, com os atributos do solo, com as práticas de manejo e com as características das plantas.

A eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados solúveis é, em média, 20% (Araújo et al, 2003), por causa desta baixa eficiência, nos últimos anos foram estudados e disponibilizados novos fertilizantes com P que dispõem de diferentes tecnologias embutidas no processo de fabricação com o objetivo de melhorar a eficiência agronômica do P aplicado. Estes mecanismos, que visam diminuir a adsorção no solo e aumentar a eficiência, são muito variados e vão desde a alteração da composição química do P presente no adubo até a limitação do contato com o solo através da restrição física por constituintes do fertilizante fosfatado. Alguns destes fertilizantes alternativos são produzidos através da modificação da rota de fabricação de produtos tradicionais, como, por exemplo, o superfosfato simples e o superfosfato triplo (Pajara, 2014).

Este processo se dá através da adição de componentes (fontes orgânicas e óxidos de magnésio) no processo de acidulação do P ou por granulação conjunta com fontes orgânicas, carbonatos de cálcio e fosfatos naturais reativos. Formulações contendo fontes solúveis e pouco solúveis de P em água estão disponíveis com a justificativa no sentido de que diferentes solubilidades das fontes fornecem P de maneira gradual às culturas implantadas, aumentando o índice de aproveitamento deste nutriente no solo e conferindo maior eficiência a estes produtos. Estas características teoricamente influenciam o efeito residual do P aplicado no solo, aumentando a sua eficiência agronômica quando em comparação às fontes de P tradicionais.

Nesse sentido, objetivou-se verificar o efeito da calagem e da adubação superfosfato complexado (TopPhos) em comparação com fonte de P tradicional (superfosfato simples) sobre a disponibilidade de fósforo no solo e na produção de matéria seca do capim marandu.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, no período de janeiro a março de 2015.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa, removendo-se a cobertura vegetal e coletando-se a camada arável do solo (0 – 20 cm). Suas características químicas foram determinadas pela análise de uma amostra composta coletada previamente a instalação do experimento, sendo os resultados estão apresentados na Tabela 1 do segundo capítulo.

A espécie *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. marandu foi cultivada no delineamento experimental inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 3x2 (três composições de adubo fosfatado e duas condições de acidez do solo) e quatro repetições. O fator principal consistiu de duas condições de solo, solo ácido e solo corrigido por meio de calagem. Para o solo corrigido, foi realizado o método de neutralização do alumínio e suprimento de cálcio e magnésio através da utilização de calcário com PRNT de 76% e um período de incubação de 30 dias, onde a necessidade de calcário foi calculada com base no teor de argila e alumínio do solo.

Em ambas as condições de solo foram realizados dois tipos de adubação fosfatada, uma composta de fosfato complexado com ácidos húmicos (Top Phos®, Timac Agro) e outra composta de superfosfato simples e um tratamento testemunha, sem a adição de nenhum adubo fosfatado. Os adubos foram incorporados ao solo na ocasião do enchimento dos vasos, nas doses 150, 150, 60, 0,8, 1,5, 3,5, 5 e 0,15 mg dm⁻³ respectivamente para N, K, S, B, Cu, Mn, Zn e Mo (PA), além de 400 mg dm⁻³ de P, seguindo os tratamentos, adaptado de Silva et al. (2013). A análise do solo corrigido foi realizada após o período de incubação com o calcário. Os dados da análise do solo corrigido se encontram na Tabela 1 do primeiro capítulo.

O experimento foi conduzido em vaso de plástico com superfície quadrada, aresta de 17 cm e capacidade de 4,2 dm⁻³. Estes vasos foram

preenchidos com solo seco ao ar, peneirado, destorroado e processados conforme os tratamentos estudados. Posteriormente, cada vaso foi irrigado com água desionizada até atingir a capacidade de campo. Semearam-se em cada vaso 25 sementes, aproximadamente, em profundidade de 0,5 cm e distribuídas ao acaso na superfície.

Uma semana após a emergência iniciou-se o desbaste das plântulas seguindo desbastes periódicos até a permanência de cinco plantas por vaso. Como critério para desbaste, utilizou-se a sanidade, uniformidade e distribuição na superfície do vaso. As plantas foram irrigadas todos os dias com água desionizada a fim de se manter a umidade próxima a capacidade de campo. Uma vez por semana realizava-se amostragem de 25% dos vasos, sendo estes pesados em balança digital e verificada a umidade do solo, completando com água desionizada até atingir a capacidade de campo do solo.

As plantas receberam, ao longo dos dias de cultivo, uma dose de 30 mg dm⁻³ de NH₄NO₃, aplicados semanalmente, até que ao final do período do experimento (57 dias após a emergência) cada planta recebeu uma quantidade final de 150 mg dm⁻³ de NH₄NO₃.

Aos 57 dias após a emergência as plantas foram cortadas rentes à superfície do substrato, procedendo-se à coleta da parte aérea e das raízes, que foram separadas do solo e lavadas com água corrente e água desionizada, utilizando-se duas peneiras de malha com diâmetro de 0,25 e 1,00 mm. O material colhido foi estratificado em folha, colmo e raiz. Posteriormente, todo o material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e secos em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até atingir massa constante, após, foram pesados em balança de precisão.

O material vegetal foi encaminhado ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFV para quantificação da concentração de fósforo no tecido vegetal. Foi realizada digestão nítrico-perclórica do tecido vegetal, seguida de determinação da concentração do fósforo pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974). A determinação do teor de P no solo foi feita através da extração do P

pelo método Mehlich 1. A quantificação do teor de P nos extratos de solo foi realizada empregando-se o mesmo método usado para o material vegetal. As leituras dos teores de P no solo e na planta foram feitas por espectrofotômetro de absorção molecular. A produção do capim marandu foi estimada através da quantificação da matéria seca total (MST) de cada planta.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, seguida de comparação de médias, pelo teste de Tukey a 5% de significância. Foi utilizado o programa estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011).

3. Resultados

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) da adubação fosfatada sobre as variáveis fósforo disponível no solo (PDS), matéria seca total (MST) e concentração de fósforo na planta (TPP) do capim marandu (Tabela 1). A calagem não influenciou nenhuma das variáveis estudadas e não houve interação entre a calagem e a adubação fosfatada, no entanto, foi realizado o desdobramento das interações para todas as variáveis, independente da constatação da significância da interação.

Tabela 1 – Análise de variância das variáveis fósforo disponível no solo (PDS), matéria seca total (MST) e concentração de fósforo na planta (TPP) do capim marandu em função da calagem e da adubação fosfatada, cultivada no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Fontes de variação	G. L.	Quadrados Médios		
		PDS	MST	TPP
Bloco	3	322,1 ^{NS}	6,891*	0,355**
Solo (S)	1	326,7 ^{NS}	0,067 ^{NS}	0,018 ^{NS}
Fonte de P (F)	2	123297,2**	603,898**	5,035**
Interação S x F	2	72,8 ^{NS}	0,065 ^{NS}	0,133 ^{NS}
Resíduo	15	546,3	1,332	0,060
C. V. (%)	-	15,5	11,0	12,5

No desdobramento da interação entre as fontes de fósforo e a calagem para as variáveis fósforo disponível no solo (PDS), matéria seca total (MST) e concentração de fósforo na planta (TPP). Observou-se variação em relação ao teor de PDS proporcionado pelas diferentes fontes aplicadas, sendo que o fertilizante TopPhos proporcionou maior teor de P no solo (258,6 mg dm⁻³), extraído pelo método Mehlich-1, seguido pelo superfosfato simples (178,6 mg dm⁻³) (Tabela 2). O tratamento que não recebeu fósforo apresentou o menor teor deste elemento no solo (15,1 mg dm⁻³).

Apesar da maior disponibilidade de P no solo oferecida pelo adubo TopPhos, no que diz respeito a concentração de P na planta (TPP), não houve diferença entre as fontes de fósforo avaliadas, assim como a produção do capim marandu, estimada através da MST, não foi influenciada pelos adubos

fosfatados. O tratamento que não recebeu P apresentou as médias mais baixas para todas as variáveis estudadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Desdobramento da interação entre calagem e adubação fosfatada para as variáveis fósforo disponível no solo (PDS), matéria seca total (MST) e concentração de fósforo na planta (TPP) do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Solo	Fontes de Fósforo			Média
	Sem P	SFS	TP	
 PDS (mg dm ⁻³)			
Acidez Natural	16,0	185,5	261,9	154,5 a
Acidez Corrigida	14,1	171,7	255,4	147,1 a
Média	15,1 C	178,6 B	258,6 A	150,8
 MST (g planta ⁻¹)			
Acidez Natural	0,47	15,33	15,45	10,42 a
Acidez Corrigida	0,41	15,42	15,74	10,52 a
Média	0,44 B	15,37 A	15,60 A	10,47
 TPP (mg kg ⁻¹)			
Acidez Natural	0,92	2,38	2,63	1,98 a
Acidez Corrigida	1,16	2,21	2,40	1,92 a
Média	1,04 B	2,29 A	2,51 A	1,95

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4. Discussão

Substâncias húmicas (SH) são moléculas derivadas de biopolímeros formados no solo durante a decomposição dos resíduos vegetais e animais, por meio de processos químicos e biológicos e são resistentes a degradação microbiana (Baigorri et al 2013). SH são amplamente utilizadas em práticas agrícolas, seja através da aplicação direta de soluções que contenham SH ou através de aditivos orgânicos de compostagem. Um dos efeitos mais importantes das SH no solo é o aumento do potencial de biodisponibilidade de nutrientes minerais devido a sua capacidade de formar complexos organo-minerais estáveis.

Estudos como os de Urrutia et al (2014), Gerke (1992), Gerke & Meyer (1995), entre outros, descrevem a formação de complexos estáveis e solúveis em água de fósforo-metal-húmus. Estes também demonstram também que os complexos estáveis, quando formados, impedem a fixação de fósforo no solo e melhoram a absorção de fósforo pela raiz das plantas. Outros estudos indicaram a possibilidade de preparar adubos fosfatados, como o superfosfato simples (SFS) e superfosfato triplo (SPT) que contenham complexos de fósforo-metal-húmus. Estes fertilizantes, chamados por Baigorri et al. (2013) de superfosfato orgânico complexado (TopPhos) demonstram uma maior eficiência como fonte de fósforo para as plantas do que os fertilizantes tradicionais SSP e STP, confirmando os resultados encontrados no presente trabalho, onde o teor de fósforo disponível no solo (PDS) foi de 258,6 mg dm⁻³ para o fertilizante TopPhos e 178,6 mg dm⁻³ para o SFS.

Gerke (1992), Gerke & Meyer (1995) e Gerke et al. (1995) observaram que o nível de P na solução do solo está associado com a presença de SH, Fe³⁺ e Al³⁺ na solução do solo. A primeira explicação para este fato sugere que o P se torna protegido por SH a partir da interação com o Fe e Al por meio da complexação com estes cátions. De acordo com a hipótese destes autores, estes compostos seriam estáveis e solúveis em solução do solo, e deste modo, o P complexado também estaria disponível para a absorção das plantas através da interação dos ácidos orgânicos naturais secretados e liberados pelas raízes, tais como o ácido cítrico ou oxálico, com o metal

presente nos complexos. Estes trabalhos podem explicar os dados encontrados neste estudo, onde o adubo complexado com HS propiciou teores mais elevados de P disponível para as plantas no solo.

Em conformidade com os dados obtidos neste trabalho, Urrutia et al. (2014) afirmam que estes tipos de complexos formados por fósforo, metais e ácidos húmicos são capazes de reduzir significativamente o grau de fixação de P nos solos com diferentes características físico-químicas e valores de pH. Por outro lado, esses autores relatam que em relação a disponibilidade de P complexado para absorção pelas plantas, diversos estudos demonstram que diferentes espécies de plantas foram capazes de adquirir P a partir destes complexos, pelo menos ao mesmo nível que o obtido através de fontes de fósforo convencionais. Estes dados corroboram os dados obtidos neste trabalho onde, apesar da maior disponibilidade de fósforo no solo no tratamento com o fertilizante TopPhos, a produção de matéria seca total (MST), bem como o teor de fósforo na planta (TPP) foram semelhantes nos dois tratamentos cujas plantas receberam fósforo, independentemente da fonte (Tabela 2).

A eficiência da absorção do P (balanço entre o nutriente absorvido pela planta e o nutriente disponível na rizosfera) é mais elevada para as plantas recebem fósforo de fontes convencionais, este fato é explicado porque o P incluído nos complexos P-metal-SH não é livre, mas complexado, e por tanto, as raízes das plantas necessitam competir com estes complexos para obtenção do P (Urrutia et al, 2014).

Apesar da diferença significativa entre o SFS e o TopPhos no que diz respeito ao PDS, os fertilizantes promoveram maiores teores de P para as plantas quando comparados ao tratamento que não recebeu adubação fosfatada, confirmando os dados da literatura que relatam a baixa disponibilidade de P na maioria dos solos brasileiros, e a baixa ineficiência das plantas em aproveitar o P retido nestes solos, uma vez que as variáveis MST e TPP também apresentaram média inferior no tratamento sem adubação, em relação aos tratamentos que receberam adubação fosfatada, demonstrando, mais uma vez, a importância do P no desenvolvimento e produção de MS e qualidade nutricional das plantas forrageiras.

5. Conclusão

O fertilizante Top Phos promove maior teor de P disponível no solo em comparação ao superfosfato simples, sem, no entanto, resultar em diferença na produção de matéria seca total e na concentração de fósforo na planta.

Outros estudos necessitam ser realizados para avaliar o efeito da maior disponibilidade do P oferecida pelo Top Phos para a rebrota das plantas forrageiras após cortes consecutivos.

6. Referências Bibliográficas

Araújo I, Resende A, Furtini Neto A, et al. 2003. Eficiência Nutricional do Milho em Resposta a Fontes e Modos de Aplicação de Fósforo. Revista Ceres, v. 50, 27-39 pp.

Baigorri R, Urrutia O, Erro J, et al. 2013. Structural characterization of anion-calcium-humate complexes in phosphate-based fertilizers. ChemSusChem, v.6, 1245-1251 pp.

Braga J & Defelipo B. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. Revista Ceres, v. 21, p. 73-85.

Fassbender H & Bornemisza E. 1994. Química de suelos: Com énfasis en suelos de América Latina. 2.ed. San José: IICA, 420 pp.

Ferreira D. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, n.6, p. 1039-1042.

Gerke J & Meyer U. 1995. Phosphate acquisition by red clover and black mustard on humic podzol. Journal of Plant Nutrition, v.18, 2409-2429 pp.

Gerke J, Meyer U, Romer W. 1995. Phosphate, fe and mn uptake of n-2 fixing red-clover and ryegrass from na oxisol as affected by p and model humic substances application.1. plant-parameters and soil solution composition. Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde, v. 158, n. 3, 261-268 pp.

Gerke J. 1992. Phosphate, aluminium and iron in the soil solution of three diferente soils in relation to varying concentrations of citric acid. Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde v. 155, 339-443 pp.

Pajara F. 2014. Disponibilidade de fósforo no solo em função da aplicação de adubos fosfatados minerais e organominerais (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages-RS, 83 pp.

Raij B. 2004. Fósforo no Solo e Interação com Outros Elementos. In: Yamada T & Abdalla S, Eds. Fósforo na Agricultura Brasileira. Piracicaba. Potafos, 107-108 pp.

Silva J, Silva I, Rodas C, Carvalho J. 2013. Critical levels for *Brachiaria brizantha* and *Panicum Maximum* using different sources of phosphorus. IDESIA, v.31, n.1, 59-65 pp.

Urrutia O, Erro J, Guardado I, et al. 2014. Physico-chemical characterization of humic-metal-phosphate complexes and their potential application to the manufacture of new types of phosphate-based fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 177, 128-136 pp.

CAPÍTULO 3

Produção e eficiência nutricional do capim marandu em função da calagem e adubação fosfatada

1. Introdução

A produção de forragem como resultado dos processos de crescimento e desenvolvimento pode ter sua eficiência substancialmente melhorada com o uso de fertilizantes, sobretudo fósforo e nitrogênio, por seus efeitos positivos na produção de biomassa (Duru & Ducrocq, 2000). Segundo Werner (1986), a deficiência de P provoca graves perturbações no metabolismo e desenvolvimento de gramíneas, como o crescimento lento e baixo perfilhamento, minando a produtividade. A adubação fosfatada é, portanto, considerada vital para o estabelecimento de gramíneas.

O manejo da fertilidade do solo é de grande importância para alcançar a sustentabilidade na exploração de forrageiras. A adubação de áreas de pastagens é uma forma de fornecer os nutrientes para atender as necessidades metabólicas e promover o melhor desenvolvimento das plantas forrageiras (Monteiro, 2004).

Em virtude da grande importância do P para a construção da fertilidade do solo e, conseqüentemente, para o estabelecimento das pastagens, torna-se fundamental o conhecimento da eficiência nutricional e do aproveitamento do P pelas gramíneas forrageiras, para que se mantenham em condições de sustentabilidade e produtividade rentável. Segundo Fageria (1998), a eficiência nutricional expressa à relação entre a produção obtida e os insumos aplicados, o que significa que a eficiência nutricional é quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente aplicado. A eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade da planta em adquirir e utilizar os nutrientes para a produção de fibras grãos ou forragem (Gourley et al, 1994) e tem dois componentes básicos: eficiência de absorção e eficiência de utilização dos nutrientes.

Para as espécies forrageiras, a eficiência nutricional depende de vários fatores, dentre eles, a fonte utilizada, as condições do solo e clima, o grau de fracionamento e dose aplicada, o potencial de resposta da planta, presença do animal, entre outros (Lupatini et al, 1998). Estes fatores que interferem na taxa de acúmulo e na recuperação do nutriente pela planta, também influenciam a eficiência de utilização deste nutriente (Soares & Restle, 2002). Maranville et al. (1980); Siddiqi & Glass (1981); Craswell & Godwin (1984) e Fageria (1992) relataram que a eficiência nutricional pode ser expressa e calculada de diversas maneiras, dentre estas, pode-se citar a “recuperação do nutriente aplicado”, que representa a quantidade do nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado, a “eficiência agrônômica”, que é a razão entre produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado e a “eficiência fisiológica ou biológica” que é a produção biológica por unidade de nutriente acumulado.

Em pastagens manejadas intensivamente, demandando elevadas quantidades de nutrientes, o conhecimento da eficiência nutricional das plantas torna-se importante para a criação de estratégias afim de se maximizar a eficiência de uso dos fertilizantes e minimizar o impacto ambiental. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca e a eficiência nutricional do capim marandu em função da calagem e da adubação fosfatada.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, no período de janeiro a março de 2015.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa e foi obtido através da remoção da cobertura vegetal e coleta da camada arável do solo (0 – 20 cm). Suas características químicas foram determinadas pela análise de uma amostra composta coletada previamente a instalação do experimento, sendo os resultados apresentados na Tabela 1 do primeiro capítulo.

A espécie *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. marandu foi cultivada no delineamento experimental inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 3x2 (três composições de adubo fosfatado e duas condições de acidez do solo) e quatro repetições. Um dos fatores consistiu de duas condições de solo, solo ácido e solo corrigido por meio de calagem. Para o solo corrigido, foi realizado o método de neutralização do alumínio e suprimento de cálcio e magnésio através da utilização de calcário com PRNT de 76% e um período de incubação de 30 dias, onde a necessidade de calcário foi calculada com base no teor de argila e alumínio do solo.

Em ambas as condições de solo foi realizada a adubação fosfatada com duas fontes de P: fosfato complexado com ácidos húmicos (TopPhos®, Timac Agro), superfosfato simples e um tratamento testemunha, sem a adição de nenhum adubo fosfatado. A adubação foi incorporada ao solo na ocasião do enchimento dos vasos, nas doses 150, 150, 60, 0,8, 1,5, 3,5, 5 e 0,15 mg dm⁻³ respectivamente para N, K, S, B, Cu, Mn, Zn e Mo (PA), além de 400 mg dm⁻³ de P, seguindo os tratamentos, adaptado de Silva et al. (2013). A análise do solo corrigido foi realizada após o período de incubação com o calcário. Os dados da análise do solo corrigido se encontram na Tabela 1 do primeiro capítulo.

O experimento foi conduzido em vaso de plástico com superfície quadrada, aresta de 17 cm e capacidade de 4,2 dm⁻³. Estes vasos foram

preenchidos com solo seco ao ar, peneirado, destorroado e processados conforme os tratamentos estudados. Posteriormente, cada vaso foi irrigado com água desionizada até atingir a capacidade de campo. Semearam-se em cada vaso 25 sementes, aproximadamente, em profundidade de 0,5 cm e distribuídas ao acaso na superfície.

Uma semana após a emergência iniciou-se o desbaste das plântulas seguindo desbastes periódicos até a permanência de cinco plantas por vaso. Utilizou-se como critério para desbaste a sanidade, uniformidade e distribuição na superfície do vaso. As plantas foram irrigadas todos os dias com água desionizada a fim de se manter a umidade próxima à capacidade de campo. Uma vez por semana realizava-se amostragem de 25% dos vasos, sendo estes pesados em balança digital e verificado a umidade do solo, completando com água desionizada até atingir a capacidade de campo do solo.

As plantas receberam, ao longo dos dias de cultivo, uma dose de 30 mg dm⁻³ de NH₄NO₃, aplicados semanalmente, até que ao final do período do experimento (57 dias após a emergência) cada planta recebeu uma quantidade final de 150 mg dm⁻³.

Aos 57 dias após a emergência as plantas foram cortadas rentes à superfície do substrato, procedendo-se à coleta da parte aérea e das raízes, que foram separadas do solo e lavadas com água corrente e água desionizada, utilizando-se duas peneiras de malha com diâmetro de 0,25 e 1,00 mm. O material colhido foi estratificado em folha, colmo e raiz. Posteriormente, todo o material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, até atingir massa constante, após, foram pesados em balança de precisão.

O material vegetal foi encaminhado ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFV para quantificação da concentração de fósforo. Foi realizada digestão nítrico-perclórica do tecido vegetal, seguida de determinação da concentração do fósforo pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga e Defelipo

(1974). A produção do capim marandu foi estimada através da quantificação da matéria seca total (MST) de cada planta.

A partir dos dados obtidos (teor de P no tecido vegetal e matéria seca da planta), foram calculadas as eficiências de absorção (EAB), Eficiência de utilização do P (EUP), Eficiência de utilização do fósforo disponível (EUPD), eficiência fisiológica (EF), eficiência de recuperação (ER) e eficiência agrônômica (EAG).

Para as estimativas destas eficiências utilizou-se as seguintes fórmulas:

Eficiência de absorção (EAB) (mg g^{-1}) (Swiader et al, 1994)

$$EAB = \frac{\text{Conteúdo de P na planta (mg)}}{\text{Matéria seca de raiz (g)}}$$

Eficiência de utilização do P (EUP) ($\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$) (Siddiqi & Glass, 1981)

$$EUP = \frac{[\text{Matéria seca total da planta (g)}]^2}{\text{Conteúdo de P na planta (mg)}}$$

Eficiência de utilização do P disponível (EUPD) (g mg^{-1}) (Procópio et al, 2005)

$$EUPD = \frac{\text{Matéria seca total da planta (g)}}{\text{Conteúdo de P no solo (mg)}}$$

Eficiência fisiológica (EF) (g mg^{-1}) (Baligar, et al 2001)

$$EF = \frac{MST \text{ adubado} - MST \text{ não adubado}}{CPT \text{ adubado} - CPT \text{ não adubado}}$$

MST = Matéria seca total

CPT = Conteúdo de P na planta (mg)

Eficiência de recuperação (ER) (mg mg⁻¹) (Fageria, 1998)

$$ER = \frac{CPT \text{ adubado} - CPT \text{ não adubado}}{\text{Quantidade de P aplicado}}$$

Eficiência agronômica (EAG) (g g⁻¹) (Fageria, 1998)

$$EAG = \frac{MST \text{ adubado} - MST \text{ não adubado}}{\text{Quantidade de P aplicado}}$$

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, seguida de comparação de médias, pelo teste de Tukey a 5% de significância. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011)

3. Resultados

Não houve efeito significativo ($p > 0,10$) da interação entre as fontes e as variáveis estudadas (acidez do solo e fontes de fósforo). Realizou-se a comparação entre os tratamentos dentro de cada fator individualmente e apresenta-se os valores médios observados dos desdobramentos (Tabela 1).

A correção da acidez do solo através da calagem promoveu aumento significativo nos valores médios observados para as variáveis eficiência de utilização do P disponível (EUPD) e eficiência fisiológica (EF). Para as demais variáveis não houve diferença com a realização ou não da calagem.

A produção de matéria seca total (MST) não foi significativamente afetada pelas fontes de fósforo, bem como a eficiência de absorção (EAB), eficiência de uso (EUP) e eficiência agrônômica (EAG). O adubo TopPhos promoveu maior conteúdo de fósforo na planta (CPT) e maior eficiência de recuperação (ER), ao passo que o superfosfato simples foi superior para as variáveis eficiência de utilização do P disponível (EUPD) e eficiência fisiológica (EF).

Tabela 1 - Desdobramento da interação entre calagem e adubação fosfatada para as variáveis matéria seca total (MST), conteúdo de fósforo na planta (CPT), eficiência de absorção (EAB), eficiência de uso (EUSO), eficiência de utilização (EU), eficiência fisiológica (EF), eficiência de recuperação (ER) e eficiência agrônômica do capim marandu cultivado no período de janeiro a março de 2015 em Viçosa, MG.

Solo	Fontes de Fósforo		Média
	SFS	TP	
	MST (g planta ⁻¹)		
Acidez Natural	15,3	15,5	15,4 a
Acidez Corrigida	15,4	15,7	15,6 a
Média	15,4 A	15,6 A	15,5
	CPT (mg planta ⁻¹)		
Acidez Natural	36,4	40,2	38,3 a
Acidez Corrigida	33,4	37,6	35,5 a
Média	34,9 B	38,9 A	36,9
	EAB (mg g ⁻¹)		
Acidez Natural	7,89	9,11	8,50 a
Acidez Corrigida	7,69	8,15	7,92 a
Média	7,79 A	8,63 A	8,21
	EUP (g ² mg ⁻¹)		
Acidez Natural	6,57	6,05	6,31 a
Acidez Corrigida	7,27	6,69	6,98 a
Média	6,92 A	6,37 A	6,65
	EUPD (g mg ⁻¹)		
Acidez Natural	0,428	0,388	0,408 b
Acidez Corrigida	0,464	0,423	0,444 a
Média	0,446 A	0,406 B	0,426
	EF (g mg ⁻¹)		
Acidez Natural	0,420	0,381	0,400 b
Acidez Corrigida	0,459	0,418	0,438 a
Média	0,439 A	0,399 B	0,419
	ER (mg mg ⁻¹)		
Acidez Natural	0,107	0,118	0,113 a
Acidez Corrigida	0,098	0,110	0,104 a
Média	0,102 B	0,114 A	0,108
	EAG (g g ⁻¹)		
Acidez Natural	44,22	44,58	44,40 a
Acidez Corrigida	44,69	45,65	45,17 a
Média	44,45 A	45,12 A	44,78

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4. Discussão

O crescimento de uma planta está relacionado à concentração do nutriente nos tecidos e não somente na quantidade absoluta acumulada, uma vez que o crescimento ocorre a partir de uma concentração mínima no tecido vegetal, que é diferente entre espécies ou variedades (Siddiqi & Glass, 1981). Fonseca (1987) relata que, em geral, as plantas são mais eficientes em utilizar um nutriente quando este está em menor disponibilidade, porém necessitam de um teor mínimo no solo para expressar sua máxima utilização. Estas afirmações talvez expliquem os valores obtidos para EUP e EUPD, sendo que, no caso da primeira, não houve diferença significativa entre os dois adubos e, para a segunda, as plantas provenientes do tratamento com superfosfato simples mostraram melhor desempenho.

Para evitar a seleção de plantas com eficiência de uso de altas concentrações de nutrientes, mas com baixo rendimento, Siddiqi & Glass (1981) propuseram o cálculo da eficiência de uso (EUNutr) como relacionado com a concentração de nutrientes na matéria seca. Ramos et al (2009), em um trabalho que avaliou duas fontes de P e várias espécies forrageiras, dentre elas a *Brachiaria brizantha*, descreveram que em geral, para as duas fontes de P, a produção de MST e a EUNutr da *Brachiaria brizantha* foi superior as demais espécies, apesar de o conteúdo de P acumulado tenha sido relativamente pequeno. Estes dados mostram que, dentre as espécies avaliadas por Ramos et al (2009), a *Brachiaria brizantha* possui uma boa taxa de eficiência de uso de P na produção de matéria seca, dado que pode justificar o fato de não ter havido diferença significativa para a produção de MST e EUP.

A Recuperação do nutriente aplicado (ER) refere-se à percentagem do total de P aplicado pelas fontes que foi absorvida e acumulada adicionalmente pelas plantas das parcelas adubadas, em relação às não adubadas. De acordo com Primavesi et al. (2006), esse índice é de fácil estimativa e de baixo custo, pois utiliza apenas o teor de P total da planta e a massa seca da forragem de parcelas adubadas e não adubadas. Em pastagens manejadas intensivamente, conhecer a recuperação do P do fertilizante pelas plantas

torna-se importante para maximizar a sua eficiência de recuperação e minimizar o impacto ambiental. Neste trabalho, as plantas adubadas com adubo TopPhos apresentaram uma ER significativamente superior aquelas adubadas com superfosfato simples, o que demonstra que estas plantas absorveram e acumularam uma quantidade maior de P deste tratamento, fato que talvez pode ser explicado pela maior disponibilidade de P no solo promovida pelo fertilizante TopPhos, conforme os resultados expostos no terceiro capítulo deste trabalho.

No que diz respeito à eficiência de absorção de fósforo (EAB), onde não houve diferença significativa entre as fontes de fósforo utilizadas. Goerdert et al. (1986) e Sousa et al. (2007) relatam que a *Brachiaria brizantha* é considerada uma forrageira muito eficiente na absorção de P, mesmo em solos com menores teores de P disponível ou quando expostas a fontes de P menos solúveis. Esta afirmação talvez explique o fato de que, mesmo com maior teor de P no solo promovido pelo fertilizante TopPhos, não ter havido diferença para esta variável.

A capacidade que uma planta tem em absorver nutrientes do solo depende, principalmente, da magnitude e da morfologia do seu sistema radicular e da eficiência na absorção de nutrientes (Anghinoni et al, 1989). Sistemas radiculares mais desenvolvidos são particularmente importantes em solos de baixa fertilidade, considerando-se o maior volume de solo a ser explorado (Moody, 1981). Em solos férteis e sem restrições hídricas, a eficiência das raízes na absorção de nutrientes está mais relacionada ao desenvolvimento da parte aérea. A rápida acumulação de matéria seca na parte aérea aumenta a demanda e, conseqüentemente, a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes (Chapin, 1980).

Camacho et al (2015), em um experimento com *Brachiaria brizantha* cultivada em presença e ausência de adubação fosfatada, relatam que o P promoveu incremento significativo na produção de raízes, demonstrando a importância deste nutriente na construção de um eficiente sistema radicular. Neste trabalho, não apenas a EAB foi semelhante para os dois adubos, mas também a produção de MST. Considerando a importância do P no crescimento radicular, e conseqüentemente na EAB, e, levando em conta que

a produção de parte aérea (inclusa no cálculo de MST) influencia diretamente na EAB, pode-se dizer que a presença de fósforo no solo, independentemente da fonte utilizada, é capaz de promover uma absorção adequada desse nutriente.

5. Conclusão

Estando o P no solo em quantidades satisfatórias, a correção da acidez do solo através da calagem não promove incrementos na produção de biomassa e acúmulo de fósforo pelo capim marandu.

O capim marandu apresenta maior eficiência fisiológica de uso de P e de utilização do P disponível quando cultivado em solos onde a acidez foi corrigida pela calagem.

A fonte de fósforo TopPhos promove maior acúmulo de fósforo pela planta e maior eficiência de recuperação, ao passo que o adubo superfosfato simples promove maiores eficiência de utilização e eficiência fisiológica.

6. Referências Bibliográficas

Anghinoni I, Volkart C, Fattore N, et al. 1989. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 13, n.3, 355-361 pp.

Baligar V, Fageria N, He Z. 2001. Nutrient use efficiency in plants. Communications in Soil Science Plant Analysis, V. 32, 921-950 pp.

Braga J & Defelipo B. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. Revista Ceres, v. 21, p. 73-85.

Camacho M, Silveira L, Silveira M. 2015. Eficiência de genótipos de *Brachiaria brizantha* Stapf. (Syn: *Urochloa brizantha*) na produção de biomassa sob aplicação de fósforo. Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.67, n.4, 1133-1140 pp.

Chapin F. 1980. The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, v.11, 233-260, pp.

Craswell E & Godwin D. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: Tinker P, Lauchi A. (Ed.). Advances in plant nutrition. New York: Praeger, 1-55 pp.

Duru M & Ducrocq H. 2000. Growth and senescence of the successive leaves on a Cocksfoot tiller. Ontogenic development and effect of temperature. Annals of Botany, v.85, 635-643 pp.

Fageria N. 1992. Maximizing crop yields. New York: M. Dekker, 274 pp.

Fageria N. 1998. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v.2, 6-16 pp.

Ferreira D. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n.6, p. 1039-1042.

Fonseca D. 1987. Níveis críticos de fósforo em amostras de solo para o estabelecimento de antropogon gayanus, brachiaria decumbens e hyparrhenia rufa. 1987. 146f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 49-58 pp.

Goedert W, Souza D, Thomaz A. 1986. Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo. Planaltina: Embrapa.

Gourley C, Allan D, Russelle M. 1994. Plant nutrient efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. *Plant Soil*, v.158, n.1, 29-37 pp.

Lupatini G, Restle J, Ceretta M, et al. 1998. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. I - Produção e qualidade de forragem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.11, 1939-1943 pp.

Maranville J, Clark R, Ross W. 1980. Nitrogen efficiency in grain sorghum. *Jornal of Plant Nutrition*, New York, v.2, 577-589 pp.

Monteiro F. 2004. Concentração e distribuição de nutrientes em gramíneas e leguminosas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa. Anais... Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 71-107 pp.

Moody K. 1981. Weed-fertilizer interactions in rice. Manila: IRRI, 1981. 35 pp.

Peel M, Finlayson B, McMahon T. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Australia, Hydrology and Earth System Sciences* v. 11, 1633-1644 pp.

Primavesi A, et al. 2006. Nutrientes na fitomassa de capim marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. Revista Ciência e Agrotecnologia, v.30, n.3, 562-568 pp.

Procópio S, Santos J, Pires F, et al. 2005. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, 911-921 pp.

Ramos S, Faquin V, Rodrigues C, et al. 2009. Biomass produto and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. Revista Brasileira de Ciência do Solo v. 33, 335-343 pp.

Siddiqi M & Glass A. 1981. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plant. Journal of Plant Nutrition, v.4, n.3, 289-302 pp.

Silva J, Silva I, Rodas C, Carvalho J. 2013. Critical levels for *Brachiaria brizantha* and *Panicum Maximum* using different sources of phosphorus. IDESIA, v.31, n.1, 59-65 pp.

Soares A & Restle J. 2002. Adubação nitrogenada em pastagem de *Triticale* e *Azevém* sob pastejo com lotação contínua: recuperação de nitrogênio e eficiência na produção de forragem. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.1, 43-51 pp.

Sousa D, Martha Júnior G, Vilela L. 2007. Adubação fosfatada. In: Martha Júnior G, Vilela L, Sousa D. Cerrado, uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. 1.ed. Planaltina, 145-176 pp.

Swiader J. et al. 1994. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. J. Plant Nutrit., New York, v. 17, 1687-1699 pp.