

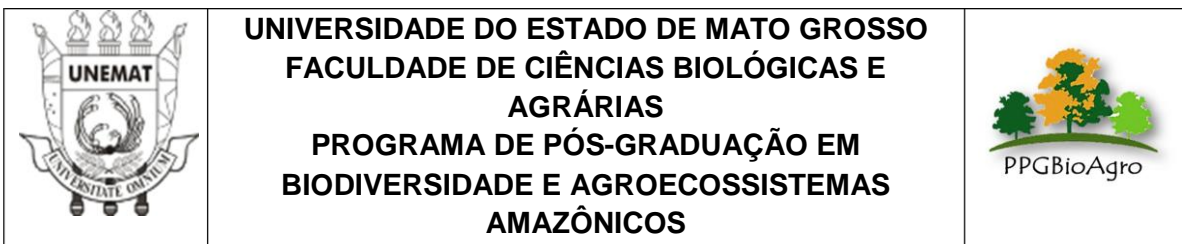
HENILDO DE SOUSA PEREIRA

**CLASSES DE DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
EM SOLOS DO NORTE DE MATO GROSSO
CULTIVADOS COM CAPIM PIATÃ**

Dissertação de Mestrado

ALTA FLORESTA-MT

2017



HENILDO DE SOUSA PEREIRA

CLASSES DE DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
EM SOLOS DO NORTE DE MATO GROSSO
CULTIVADOS COM CAPIM PIATÃ

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Getulio de Freitas Seben Junior

ALTA FLORESTA-MT

2017

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

P436c Pereira, Henildo de Sousa
Classes de disponibilidade de fósforo em solos do Norte de Mato Grosso cultivados com capim Piatã / Henildo de Sousa Pereira. – Alta Floresta - MT, 2017.
42 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias.

Orientador: Dr. Getulio de Freitas Seben Junior.

1. Adsorção de fósforo. 2. Mehlich-1. 3. Pastagens. 4. Resina trocadora de ânions. 5. *Urochloa brizantha* cv. Piatã. I. Título

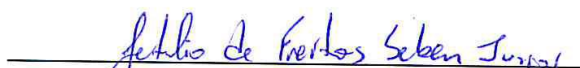
CDU 631.8:633.2 (817.2)

**CLASSES DE DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO
EM SOLOS DO NORTE DE MATO GROSSO
CULTIVADOS COM CAPIM PIATÃ**

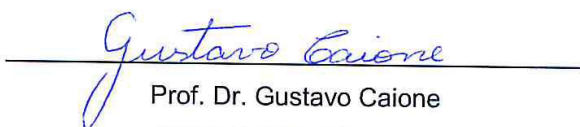
HENILDO DE SOUSA PEREIRA

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: 20 / 02 / 2017



Prof. Dr. Getulio de Freitas Seben Junior
Orientador – UNEMAT/ PPGBioAgro



Prof. Dr. Gustavo Caione
UNEMAT/ PPGBioAgro



Prof. Dr. Evandro Luiz Schofingher
UNEMAT/ FCBA



Prof. Dr. Luis Lessi dos Reis
IFMT/ Câmpus Confresa

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, *Manoel Pereira de Sousa e Antônia Rodrigues de Sousa*.

À minha irmã *Enilde de Sousa Pereira*.

À minha esposa *Michelle Rezende Brito Pereira*, o amor da minha vida.

Pois confiaram em mim e me deram apoio para concretizar mais uma etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por ser o dono da vida.

À minha família, meus pais Manoel Pereira de Sousa e Antônia Rodrigues de Sousa, minha irmã Enilde de Sousa Pereira e minha amada esposa Michelle Rezende Brito Pereira, que mesmo não estando presentes sempre foram a minha fonte de inspiração para poder chegar até aqui.

À Universidade do Estado de Mato Grosso – Câmpus Universitário de Alta Floresta, pela oportunidade ofertada.

À Fundação de amparo à pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pela bolsa de estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Getulio de Freitas Seben Junior, pelos ensinamentos acadêmicos e de vida.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Gustavo Caione, pelas muitas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luis Lessi dos Reis e as bolsistas (Ester e Thayane) pelo tempo dedicado durante a condução do experimento.

Ao MSc. Guilherme e o Prof. Dr. Evandro Luiz Schoninger pelas contribuições na realização das análises.

Ao Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar – LASAF, onde foram realizadas as análises.

À todos os Professores do PPGBioAgro, obrigado pelos ensinamentos ao longo dessa caminhada.

À todos os colegas da Pós-graduação, especialmente a Simone Hemkemeier Lourini, pelas ajudas no desenvolvimento deste trabalho e ao meu primo Givanildo de Sousa Gonçalves pela convivência neste período.

Aos proprietários das áreas onde foram instalados os experimentos:
Arlindo, Geraldo, Juvelino e ao Instituto Federal do Mato Grosso – Câmpus
Confresa.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Contextualização das pastagens	3
2.2 <i>Uroclhoa brizantha</i> cv. Piatã	3
2.3 Fósforo no solo	4
2.4 Adsorção de fósforo	5
2.5 Recomendação de adubação fosfatada.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Identificação das áreas experimentais.....	9
3.2 Implantação e condução	12
3.3 Tratamentos	13
3.4 Características avaliadas na planta.....	14
3.5 Características avaliadas no solo.....	14
3.6 Análise dos dados	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Produtividade de massa seca	17
4.2 Acúmulo de fósforo pelas plantas	23
4.3 Correlação do acúmulo de fósforo na planta e produção de massa seca	28

4.4	Classes de disponibilidade de fósforo no solo	28
5.	CONCLUSÕES.....	34
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELAS	Página
1. Identificação das classes dos solos e suas localizações.	9
2. Características químicas e textura dos solos.....	10
3. Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) seguindo a CMAP de cada solo.....	14
4. Produtividade de massa seca do capim Piatã em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico (PVAd) e Argissolo Acinzentado Distrófico (PACd).	17
5. Produtividade de massa seca do capim Piatã em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (LVAd) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd)..	20
6. Acúmulo de fósforo pelo capim Piatã, em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico (PVAd) e Argissolo Acinzentado Distrófico (PACd)..	24
7. Acúmulo de fósforo pelo capim Piatã, em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (LVAd) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd)..	26
8. Coeficiente de correlação entre o fósforo acumulado na planta com a produção de massa seca.....	28
9. Limite de interpretação de teores de fósforo no solo para capim Piatã quando o extrator de P disponível for o Mehlich-1 e a argila a característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo	31

10. Limite de interpretação de teores de fósforo no solo para capim Piatã quando o extrator de P disponível for a RTA	33
---	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
1. Precipitação pluvial diária durante a condução dos experimentos nas áreas PVAd e PACd no ano de 2016. Estação automática no município de Alta Floresta, MT. Fonte: INMET (2016)	11
2. Precipitação pluvial diária, durante os primeiros cinco meses de condução do experimento no ano de 2016. Estação automática do município de Carlinda, MT. Fonte: INMET (2016). Obs. O 2º corte foi realizado dia 02/11/2016, e os dados pluviométricos para este período não estão disponíveis no banco de dados no site do INMET..	12
3. Precipitação pluvial diária durante a condução do experimento (ano 2016). Estação automática no município de Confresa, MT. Fonte: INMET (2016).	12
4. Massa seca de capim Piatã, cultivado em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico (A) e Argissolo Acinzentado Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos.* e **; significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.....	18
5. Massa seca de capim Piatã, cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (A) e Latossolo Amarelo Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos. * e **; significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.....	21
6. Acúmulo de P pelo capim Piatã, cultivado em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (A) e Argissolo Acinzentado Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos.* e **; significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.....	25

7. Acúmulo de P pelo capim Piatã, cultivado em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (A) e Latossolo Amarelo Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos. * e **; significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente..... 27
8. Produção relativa de capim Piatã em função do P extraído por Mehlich-1, em Argissolo Acinzentado Distrófico - (A), Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico - (B), Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico - (C) e Latossolo Amarelo Distrófico - (D). Média de quatro repetições. *Significativo ao nível de probabilidade de 0,05..... 29
9. Produção relativa de capim Piatã em função do P extraído por RTA. Média das quatro repetições de cada experimento. **Significativo ao nível de probabilidade de 0,05 32

RESUMO

PEREIRA, Henildo de Sousa. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Fevereiro de 2017. **Classes de disponibilidade de fósforo em solos do Norte de Mato Grosso cultivados com capim Piatã**. Orientador: Prof. Dr. Getulio de Freitas Seben Junior.

O fósforo é o nutriente que mais limita a produtividade em solos tropicais, necessitando assim, de adubação fosfatada para obter produções elevadas. No entanto, na Região do estudo (Norte do Mato Grosso), não se tem trabalhos de classes de disponibilidade de fósforo no solo. Objetivou-se com o presente trabalho, definir intervalos de teores disponíveis de P em solos do Norte de Mato Grosso cultivados com capim Piatã, para determinar uma interpretação da disponibilidade deste nutriente e sugerir classes de interpretação de disponibilidade para implantação de pastagem. Foram desenvolvidos quatro experimentos em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico - PVAd, Argissolo Acinzentado Distrófico - PACd, Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico - LVAd e Latossolo Amarelo Distrófico - LAd. Os tratamentos consistiram na aplicação de doses de P_2O_5 determinadas com base em cinco níveis da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) dos solos (0, 3, 6, 12 e 24%) utilizando como fonte o MAP. Determinou-se o acúmulo de P pela forragem, os teores de P no solo e a produtividade de forragem e, assim, foi proposto um critério de interpretação da disponibilidade de P no solo. A adubação fosfatada aumentou a produção de massa seca e acúmulo de P em todos os solos estudados. Os teores extraídos pela resina de troca aniônica (RTA) foram maiores em todos os solos; a produção de MS se correlacionou de forma positiva com o acúmulo de P pelas plantas; solos com maiores CMAP necessitam de maiores doses de P para alcançar as máximas produções. Os níveis críticos de P para proporcionar produção relativa de 80%, quando o extrator foi Mehlich-1 foram: $10,0 \text{ mg dm}^{-3}$ no PACd; $6,5 \text{ mg dm}^{-3}$ no PVAd; $4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ no LAd e $11,0 \text{ mg dm}^{-3}$ no LVAd. Quando o extrator foi o RTA o nível crítico para alcançar 80% da PR foi de 14 mg dm^{-3} .

Palavras-chave: Adsorção de fósforo, Mehlich-1, pastagens, resina trocadora de ânions, *Urochloa brizantha* cv. Piatã

ABSTRACT

PEREIRA, Henildo de Sousa. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Janeiro de 2017. **Phosphorus availability classes in soils of northern Mato Grosso cultivated with grass Piatã**. Orientador: Prof. Dr. Getulio de Freitas Seben Junior.

Phosphorus is the most limiting nutrient in tropical soils, thus requiring, phosphate fertilization to get obtain high production. However, in the study region (North of Mato Grosso), there are not have work for soil phosphorus availability classes. This work aimed to define intervals of available levels of P in soils of northern Mato Grosso cultivated with grass Piatã, to determine an interpretation of the availability of this nutrient and to suggest classes of interpretation of availability for pasture implantation. Four experiments were carried out in Dystrophic Yellow Red Argisol - PVAd, Dystrophic Gray Argisol - PACd, Dystrophic Yellow Red Latosol - LVAd and Dystrophic Yellow Latosol - LAd. The treatments consisted in the application of P_2O_5 doses determined on the basis of five levels of the maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC) of the soils (0, 3, 6, 12 and 24%) using MAP as the source. The accumulations of P though the forage, soil P content and forage yield were determined and, thus, a criterion for the interpretation of P availability in soil was proposed. Phosphate fertilization increased dry mass (DM) production and P accumulation in all studied soils. The contents extracted by anion exchange resin (AER) were higher in all soils; the production of DM correlated positively with the accumulation of P by the plants; Soils with higher MPAC require higher doses of P to achieve maximum yields. Critical levels of P to provide relative production (RP) of 80%, when the extractor was Mehlich-1 were: 10.0 mg dm^{-3} in PACd; 6.5 mg dm^{-3} in PVAd; 4.0 mg dm^{-3} in LAd and 11.0 mg dm^{-3} in LVAd. When the extractor was AER, the critical level to reach 80% of RP was 14 mg dm^{-3} .

Key-words: Phosphorus adsorption, Mehlich-1, pastures, anion exchange resin, *Urochloa brizantha* cv. Piatã.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil detém o segundo maior rebanho bovino do mundo com aproximadamente 193,4 milhões de animais (ANUALPEC, 2013). As gramíneas forrageiras são as principais fontes de alimentos para os bovinos, criados em sua maioria à pasto (INOUE et al., 2012). As forrageiras mais cultivadas são pertencentes ao gênero *Urochloa* spp., as quais são tradicionalmente cultivadas em solos de baixa a média fertilidade e sem o uso adequado de corretivos e fertilizantes.

Uma das forrageiras mais cultivadas é a *Urochloa brizantha* cv. Piatã, devido à alta produtividade, alto acúmulo de folhas, alta tolerância a solos com má drenagem (PIMENTA, 2009), e também por apresentar boa aceitação pelos bovinos (VALLE et al., 2007).

Um dos problemas para o cultivo das forrageiras em regiões tropicais é a elevada capacidade de adsorção e baixos teores de fósforo (P) disponível nos solos, o que torna a nutrição fosfatada um fator limitante à produtividade de matéria seca pelas forrageiras (COSTA et al., 2006). Nesses solos o P está fortemente adsorvido aos óxidos de Fe e de Al e apenas pequena parte está disponível às plantas (MALAVOLTA, 1981; RAIJ, 1991).

Sendo o desenvolvimento inicial das plantas muito dependente do P no solo (MALAVOLTA et al., 1974), sua baixa disponibilidade pode causar severas restrições (MARSCHNER, 1995). O P desempenha papel fundamental no metabolismo das plantas, na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, além de ser componente estrutural dos ácidos nucléicos, coenzimas, entre outros (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Outro fator que contribui para o baixo teor de P disponível no solo é a sua baixa mobilidade e, assim, sua absorção pelas plantas fica comprometida. Desta forma, surge a necessidade de efetuar a adubação fosfatada, sendo uma prática muito indicada quando se deseja altos índices de produção (LIMA et al., 2007).

A recomendação de adubação fosfatada deve considerar não apenas o P disponível, mas também as características do solo que possam prever o fator capacidade de P (FCP). O FCP é utilizado para expressar a capacidade de adsorção de P nos solos (SCHLINDWEIN & GIANELLO, 2009).

Cada solo retém quantidades distintas de P dependendo de sua classe textural (SANTOS et al., 2008), além do tipo de mineral constituinte da fração argila, os quais determinam a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) do solo (BROGGI et al., 2011; SIMÕES NETO et al., 2015).

Muitos resultados encontrados no Brasil mostram haver linearidade entre, níveis críticos de P no solo e FCP (MUNIZ et al., 1987). Já para a relação entre classes texturais e disponibilidade de P, Novais & Smyth (1999) alertam que nem sempre é possível ter boas correlações.

Doses de P na cultura do milho (BASTOS et al., 2010), e na cultura da cana (SIMÕES NETO et al., 2012) recomendadas em função da CMAP podem ser usadas como referência nas recomendações de adubação fosfatada (BASTOS et al., 2010).

Conforme o exposto é importante avaliar a CMAP para a geração de informações sobre o uso racional da adubação fosfatada, pois não existe recomendação de adubação específica para a Região Norte de Mato Grosso, que tem como base da economia a pecuária extensiva. Outro fator que justifica a necessidade de pesquisas nesta região é a alta incidência de morte súbita das pastagens, que tem levado os pecuaristas a substituírem as espécies forrageiras por outras ainda mais exigentes em nutrição.

Neste contexto, a adubação fosfatada torna-se um assunto de grande relevância, pois na implantação das pastagens é o nutriente que mais limita o seu crescimento. Além disso, a recomendação de adubação fosfatada é realizada de forma bastante empírica, baseada em recomendações de outras Regiões e para outras culturas.

Objetivou-se definir intervalos de teores disponíveis de P em solos do norte de Mato Grosso cultivados com capim Piatã, para determinar uma interpretação da disponibilidade deste nutriente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contextualização das pastagens

A pastagem é um dos principais tipos de vegetação que forma uma boa cobertura do solo. Estima-se que este ecossistema cobre uma área de aproximadamente 24% da área total do mundo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

O Brasil possui uma área de aproximadamente 174 milhões de hectares de terras recobertas com pastagens (IBGE, 2010), o que corresponde a 20,5% do território total nacional, dessa área 60% são ocupadas por pastagens cultivadas (FERRAZ, 2009), isso responde pela alimentação de aproximadamente 193,4 milhões de bovinos (ANUALPEC, 2013). Portanto, segundo Ferraz (2010), o pasto constitui a base de sustentação da pecuária brasileira, sendo uma fonte de alimento de menor custo.

Detentor do segundo maior rebanho bovino do mundo, o Brasil possui aproximadamente 193,4 milhões de animais (ANUALPEC, 2013). As gramíneas forrageiras são as principais fontes de alimentos para os bovinos, criados em sua maioria à pasto (INOUE et al., 2012). As forrageiras mais cultivadas são pertencentes ao gênero *Urochloa* spp., as quais são tradicionalmente cultivadas em solos de baixa a média fertilidade.

2.2 *Urochloa brizantha* cv. Piatã

Das forrageiras tropicais o gênero *Urochloa* apresenta as principais espécies, com destaque para o capim Piatã um dos mais recentes lançamentos da Embrapa Gado de Corte no ano de 2007, é uma das opções de forrageiras para atenderem as necessidades de produção de bovinos. Foi desenvolvida a partir de forrageiras da Embrapa Gado de Corte coletadas na África pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (VALLE et al., 2007).

A origem do nome “piatã” é tupi-guarani que significa fortaleza, nome este atribuído pelas suas características de robustez e produtividade. É indicada para ser implantada em solos de média fertilidade, com um diferencial dentre as demais do gênero *Urochloa*, pois é destacada pelo elevado valor nutritivo, taxa de crescimento e rebrota (CNPGC, 2008).

Muitas espécies de gramíneas forrageiras apresentam favoráveis características para se formar as pastagens, satisfazendo os requerimentos dos produtores. Com destaque para os do gênero *Urochloa*, pois pode ser cultivado em condições ambientais variadas (MONTEIRO et al., 1995).

O capim *U. brizantha* cv. Piatã é apontado como uma opção para a diversificação das pastagens, apresentando como vantagens sobre outros capins do mesmo gênero, a produção de forragem de melhor qualidade, maior acúmulo de folhas e maior tolerância a solos com má drenagem, sendo assim uma das forrageiras mais cultivadas (PIMENTA, 2009).

No Brasil, de acordo com Monteiro et al. (1995), várias espécies de gramíneas forrageiras apresentam características favoráveis à formação das pastagens, atendendo as expectativas dos produtores. Devido à adaptação as variadas condições ambientais e de manejo da pastagem, os capins do gênero *Urochloa* tem se destacado dentre as demais.

2.3 Fósforo no solo

O fósforo (P) é o nutriente que mais limita a produtividade de biomassa em solos tropicais e, em geral, os solos brasileiros apresentam baixos teores disponíveis de P, em consequência do material de origem e da forte interação do P com os coloides do solo, uma vez que menos de 0,1% deste elemento encontra-se em solução (CORRÊA, 2004; ROCHA et al., 2005).

Outra característica que colabora com essa restrição às plantas, é a pouca mobilidade do P no solo e, assim, sua absorção fica comprometida. Desta forma, surge a necessidade de efetuar a adubação fosfatada, sendo uma prática muito indicada quando se deseja altos índices de produção (LIMA et al., 2007).

O solo pode assumir o papel de fonte ou dreno do P aplicado. Quando este apresenta reservas favoráveis à planta, é denominado fonte, ou, quando compete com a planta, fixando parte do P adicionado como fertilizante, é denominado dreno. Em solos tropicais, com o aumento do intemperismo, o solo deixa de ser fonte e passa a ser dreno, tornando assim, mais

eletropositivos e aumentado à capacidade de adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Cerca de 70% dos solos cultivados no Brasil apresentam limitação em fertilidade, e o P é o elemento cuja ausência limita mais frequentemente a produção das culturas nos solos ácidos tropicais (SANTOS et al., 2002). Onde o P está fortemente adsorvido aos óxidos de Fe e Al, e apenas uma pequena parte está disponível às plantas (MALAVOLTA, 1981; RAIJ, 1991). Isso ocorre devido a sua capacidade em formar compostos de alta energia de ligação com óxidos, onde um oxigênio do fosfato é ligado ao metal (ligação monodentada); dois oxigênios são ligados ao metal (bidentadas) e quando dois oxigênios do fosfato são ligados a dois átomos do metal (binucleada) tendo, assim, alta estabilidade na fase sólida (SANTOS, GATIBONE & KAMINSKI, 2008).

Como resultado disso, têm-se redução no perfilhamento e atraso no desenvolvimento das gramíneas forrageiras, o que faz com que o pasto tenha uma cobertura deficiente (ROSSI; MONTEIRO, 1999), o que torna a nutrição fosfatada um fator limitante à produtividade de matéria seca pelas forrageiras (COSTA et al., 2006). Assim a adubação fosfatada torna-se o assunto de maior necessidade de pesquisa, pois na implantação das pastagens é o nutriente que mais limita o crescimento.

2.4 Adsorção de fósforo

A retenção de P no solo, genericamente chamada de adsorção, é conhecida desde 1850 por Tomas Way, citado por Sample et al. (1980). Se tratando de evitar perdas provocadas por lixiviação, por exemplo, é um fenômeno favorável quanto à utilização do P pelas plantas. Por outro lado, quando a retenção é forte e o P passa a formas não lábeis, se torna uma problemática (JORDÃO, 2006). Sendo o principal fator que reduz a disponibilidade do P aplicado no solo para as plantas. Levando o P ao patamar de um dos nutrientes mais pesquisados, devido às complexas interações com o solo.

Em solos muito intemperizados (inclui os solos do Norte do Mato Grosso), a retenção do P adicionado, ocorre pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca e principalmente pela sua adsorção aos

hidróxidos de Fe e Al, presentes em grandes quantidades em solos tropicais (LOPES & COX, 1979; NOVAIS et al., 2007).

A capacidade dos solos em adsorver o P, tem grande influência quanto à resposta das plantas à aplicação de fertilizantes, e conseqüentemente a calibração do P disponível no solo. Assim, o conhecimento da capacidade de cada solo em reter o P, melhora a interpretação de análises dos solos e as estimativas dos requerimentos de fósforo para os cultivos (RON et al., 1995).

Cada solo retém quantidades distintas de P dependendo de sua classe textural (SANTOS et al., 2008), além do tipo de mineral constituinte da fração argila, os quais determinam a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) do solo (SIMÕES NETO et al., 2015). De acordo com Gonçalves et al. (2000), os solos das Regiões Tropicais e Subtropicais possuem alta capacidade de fixação de fósforo. Ressalta-se, desta forma, a importância de estudos considerando a CMAP, em trabalhos que visam criar classes de disponibilidades de P no solo.

2.5 Recomendação de adubação fosfatada

A evolução do conhecimento científico em várias áreas da ciência do solo é uma realidade e o manejo da fertilização fosfatada também tem acompanhado essa evolução. Contudo, as recomendações de adubação fosfatada em regiões menos favorecidas com instituições de pesquisa, são realizadas com base em boletins de outras regiões com características diferentes.

Doses de P na cultura do milho (BASTOS et al., 2010), e na cultura da cana-de-açúcar (SIMÕES NETO et al., 2015), recomendadas em função da CMAP, podem ser usada como referência nas recomendações de adubação fosfatada. Assim, é de fundamental importância estudos que buscam avaliar a disponibilidade de P no solo para fins de recomendação de adubação fosfatada em pastagens, de acordo com a CMAP e o teor de argila, uma vez que, são raras as pesquisas relacionadas à recomendação de adubação fosfatada em pastagens em solos no Estado de Mato Grosso, que tem como base da economia a pecuária extensiva.

A recomendação de adubação fosfatada deve considerar não apenas o P disponível, mas também as características do solo que possam prever o Fator Capacidade de P (FCP). O FCP é um fator utilizado para expressar a capacidade de adsorção de P nos solos (SCHLINDWEIN & GIANELLO, 2009).

Sabendo da necessidade dos produtores aumentarem a produtividade de suas pastagens, e maximizar sempre a utilização do P, têm se procurado formas de recomendação de adubação e também métodos de extração que mais se correlacionem com a produtividade das forrageiras na região. Considerando o alto custo unitário dos fertilizantes fosfatados e sua importância na composição dos custos de produção dos sistemas pecuários, faz-se necessário assegurar sua máxima eficiência, através da determinação das doses mais adequadas para o estabelecimento das pastagens (COSTA et al., 2016).

Devido à complexidade do comportamento do P no solo, há grande preocupação em obter um extrator químico que melhor se correlacione com o P absorvido pelas plantas (disponível). Assim, existem diversos métodos de extrair o P do solo (NOVAIS et al., 1999).

No Brasil, os mais utilizados são via dissolução ácida, onde se faz uso de ácidos fortes (clorídrico e sulfúrico), sendo um representante deste grupo o extrator Mehlich-1 (GATIBONI et al., 2003). E também a resina trocadora de ânions (RTA) que age substituindo o fósforo dos sítios de adsorção dos colóides, não apresentando diferença quanto à mudança de colóides, pois o método é baseado na troca iônica.

Esses extratores podem extrair quantidades diferentes de P dependendo do tipo de solo (NOVAIS et al., 2007), evidenciando a importância de avaliar qual extrator melhor se correlaciona com o extraído pela planta.

Dentre os extratores de fósforo existentes, os laboratórios de análise de solo do Brasil utilizam com mais frequência o Mehlich-1. Sendo que o Estado de São Paulo é considerado uma exceção, pois utiliza o método da resina de troca aniônica (PROCHNOW et al., 2010).

Extratores ácidos, como o Mehlich-1, tem preferência pelo P ligado a Ca e apenas pequena proporção de P ligado a Fe e Al (GATIBONI et al., 2003).

De forma geral, no Brasil os solos são ácidos e ricos em óxidos de Fe e Al, predominando os fosfatos de Fe e Al, que são mais solúveis à medida que aumenta o pH. Dessa forma, os extratores ácidos não poderiam ser a melhor opção para extrair P desses solos. Assim sendo, torna importante avaliar a RTA como extrator de P em solos do Norte de Mato Grosso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Identificação das áreas experimentais

Foram conduzidos quatro experimentos em condições de campo em solos distintos do Norte do Estado de Mato Grosso (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação das classes dos solos e suas localizações.

Classificação dos solos	Municípios	Coordenadas
PVAd - ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico	Alta Floresta-MT	Lat. 09°52'41" S Lon. 56°07'05" W
PACd - ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico	Alta Floresta-MT	Lat. 09°28'19" S Lon. 56°03'18" W
LVAd - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico	Carlinda-MT	Lat. 09°24'46" S Lon. 55°49'22" W
LAd - LATOSSOLO AMARELO Distrófico	Confresa-MT	Lat. 10°39'42" S Lon. 51°33'12" W

Após escolhidas às áreas para instalação dos experimentos, realizou-se a coleta de amostras simples de solo na profundidade de 0-0,20 m para formar uma amostra composta. As amostras foram submetidas a análise química e textural (Tabela 2), seguindo a metodologia da Embrapa (2009).

Tabela 2. Características químicas e textura dos solos: Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico (PVAd), Argissolo Acinzentado Distrófico (Distrófico), Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (LVAd) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd).

Características	PVAd	PACd	LVAd	LAd
pH (CaCl ₂)	5,0	4,9	4,4	4,38
pH (H ₂ O)	6,0	5,9	5,2	5,28
M.O (g kg ⁻¹)	20,2	32,0	24,4	10,5
P(Mehlich-1) mg dm ⁻³	1,3	5,2	1,2	1,40
K ⁺ (mg dm ⁻³)	64,7	65,5	120,1	32,7
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,17	0,17	0,31	0,08
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,12	1,25	1,02	0,40
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,45	0,56	0,51	0,25
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,85	2,83	7,01	3,51
H ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,77	2,66	6,54	3,18
CMAP (mg dm ⁻³)*	480	450	650	620
m (%)	4,4	7,9	20,4	31,0
V (%)	37,9	41,1	20,8	17,3
CTC _{a pH 7} (cmol _c dm ⁻³)	4,6	4,8	8,9	4,2
Areia (%)	58	72	36	70
Silte (%)	6,0	8,0	4,0	7,0
Argila (%)	36	20	60	23

*Determinado segundo a metodologia descrita por Alvarez & Fonseca (1990).

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) do solo foi determinada antes do início do experimento a fim de estabelecer a dose de P₂O₅ a ser aplicado em cada experimento.

Para determinar a CMAP, foram medidos 2,5 cm³ de amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) e adicionados em erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, foram adicionados 25 mL da solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo P na forma de KH₂PO₄ nas seguintes concentrações (0; 2; 4; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120 mg L⁻¹) (ALVAREZ & FONSECA, 1990). Após agitar por 4 horas a 220 rpm em agitador horizontal, as amostras permaneceram em repouso por 16 horas e em seguida realizou-se a determinação do P, seguindo a metodologia da Embrapa (2009).

Com os resultados obtidos, foram construídas as isotermas de adsorção, onde os dados do P adsorvido plotados no eixo das ordenadas e nas abscissas às concentrações predeterminadas na solução de equilíbrio. Para isso foi adotado a isoterma de Langmuir, sendo a equação de Langmuir em sua forma hiperbólica expressa pela Equação 1.

$$x/m = (abC)/(1 + aC) \quad (1)$$

Em que x/m é a quantidade de P adsorvido ao solo, em mg P (x)/cm³ de solo (m); b é a CMAP do solo, em mg cm⁻³ de P no solo; C é a concentração de P na solução de equilíbrio (sobrenadante), em mg L⁻¹, e a sendo a constante relacionada a energia de adsorção do elemento ao solo, expressa em mg L⁻¹ (OLSEN; WATANABE, 1957). As constantes a e b foram estimadas a partir da linearização da equação hiperbólica de Langmuir (Equação 2).

$$C/(x/m) = 1/(ab) + C/b \quad (2)$$

Os experimentos conduzidos nas áreas PVAd, PACd e LVAd estão em uma região onde, segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Am, tropical chuvoso com nítida estação seca e temperaturas entre 20° e 38 °C, tendo uma média de 26 °C.

As áreas PVAd e PACd localizadas no município de Alta Floresta ficam aproximadamente 6 km de distância entre si e 8 km do perímetro urbano do município, local de onde os dados pluviométricos foram utilizados (estação meteorológica na sede do município) (Figura 1).

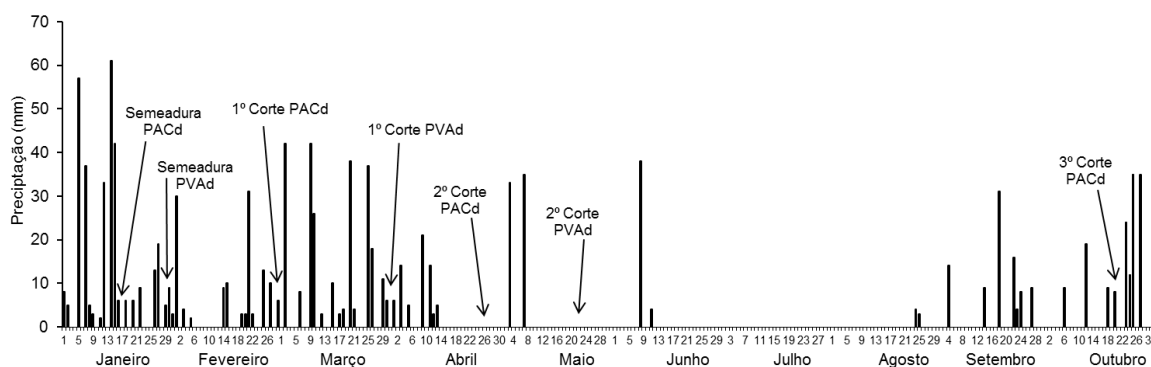


Figura 1. Precipitação pluvial diária durante a condução dos experimentos nas áreas PVAd e PACd no ano de 2016. Estação automática no município de Alta Floresta, MT. Fonte: INMET (2016).

Os dados de pluviosidade da área LVAd foram coletados na sede do município de Carlinda (Figura 2), que fica a uma distância de aproximadamente 20 km do local do experimento.

objetivando elevar a saturação por bases para 60%. Em seguida, foi realizado a segunda gradagem incorporando o calcário na profundidade de 0,20 m.

Aos 30, 38 e 56 dias após a correção no LAd, PACd e PVAd, respectivamente, realizou-se a adubação de base com potássio (K), exceto na área do LVAd, utilizando como fonte (cloreto de potássio) à lanço, seguindo as recomendações de Sousa e Lobato (2004). A adubação com fósforo (P) foi realizada de acordo com cada tratamento e teve como fonte o fosfato monoamônico (MAP). Os fertilizantes foram aplicados e incorporados na camada de aproximadamente 0 – 0,20 m de profundidade, com auxílio de enxada rotativa.

Em seguida realizou-se a semeadura a lanço seguida de incorporação leve com o auxílio de rastelo, onde, foram semeados 550 pontos de VC (valor cultural) ha^{-1} , onde para encontrar a quantidade em kg ha^{-1} de semente dividiu-se a quantidade de pontos de VC desejado (550) pelo VC da semente (40).

A adubação de cobertura com N foi realizada quando as plantas já tinham iniciado o perfilhamento e apresentavam uma boa cobertura do solo, seguindo a recomendação de Sousa e Lobato (2004), sendo aplicados 50 kg ha^{-1} de N via ureia.

3.3 Tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, onde os tratamentos consistiram em cinco doses de fósforo, determinadas em função da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) dos solos: (zero, 3, 6, 12 e 24% da CMAP) com quatro repetições. As parcelas apresentavam 20 m^2 (5 x 4m), e para efeito de avaliação desconsiderou 0,5 m em cada extremidade. As doses de P_2O_5 correspondentes a cada tratamento estão na Tabela 3.

Tabela 3. Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹) seguindo a CMAP de cada solo.

% CMAP	PVAd	PACd	LVAd	LAd
	----- Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) -----			
0	----	----	----	----
3	66	62	89	85
6	132	124	178	170
12	264	248	356	340
24	528	496	712	680

3.4 Características avaliadas na planta

A primeira avaliação foi realizada aos 62, 50, 70 e 60 dias após a semeadura, para o PVAd, PACd, LVAd e LAd, respectivamente. Avaliou-se a massa seca de forragem contida dentro de um quadrante de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) escolhido ao acaso dentro da área útil da parcela sendo cortado a 20 cm do solo, em seguida foram secas em estufa a 65 °C ± 2 até peso constante. As amostras coletadas foram lavadas, secas e moídas em moinho tipo Wiley e, posteriormente, analisado o teor de P, seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (2009). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar - LASAF da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Câmpus Universitário de Alta Floresta.

O segundo corte foi realizado quando as plantas dos tratamentos medianos apresentavam uma altura de plantas satisfatória para o pastejo, variando entre as áreas, sendo 40 dias após o primeiro corte no solo PVAd; 50 dias no PACd e 30 dias no LAd. No LVAd foi realizado o segundo corte após o período de inverno, pois não atingiu altura de corte satisfatória. O terceiro corte foi realizado 40 dias após o segundo no solo LAd, já no solo PACd apenas depois do período de inverno. Para o PVAd e LVAd não foi realizado o terceiro corte.

3.5 Características avaliadas no solo

Nove meses após a aplicação dos tratamentos, na área útil de cada parcela, com auxílio de um trado, cinco amostras simples na camada 0,0-0,20 m de profundidade foram coletadas para formar uma amostra composta.

As amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm de malha, e realizadas as análises químicas de P pelos métodos Mehlich-1, seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (2009), e resina trocadora de ânions (RTA), conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) com algumas alterações.

A resina utilizada nas análises, já havia sido utilizada anteriormente e passada pelo pré-condicionamento. Assim, esta foi lavada com água deionizada por decantação, e retirada do líquido sobrenadante, para eliminar detritos orgânicos. A areia foi separada da resina por decantação, onde se transferiu a resina de um béquer para outro, eliminando sempre a areia retida no béquer. Após, lavou a resina com dez volumes de NH_4Cl 1 mol L^{-1} e em seguida com um volume de água.

O tratamento para o uso diário foi feito com cinco volumes de NaHCO_3 1 mol L^{-1} em pH 8,5. Adiante colocou a resina em um béquer em contato com 1/3 dessa solução durante uma hora, sendo submetido à agitação ocasional para liberação de CO_2 . Decorrido essa uma hora, os 2/3 restantes da solução foi dividida em quatro partes, sendo colocada em contato com a resina, agitado e esperado meia hora, fazendo o mesmo procedimento para os quatro volumes. Em seguida, lavou-se com vinte volumes de água. Assim, estava pronta para o uso.

Para a extração do P, transferiram-se $2,5 \text{ cm}^3$ de terra para frasco plástico cônico de 80 mL; acrescentaram-se 25 mL de água e uma bolinha de vidro, e os frascos tampados e as amostras agitadas durante uma hora, a fim de promover a desagregação do solo. Em seguida retirou-se a bolinha de vidro e adicionaram-se $2,5 \text{ cm}^3$ de resina, medida com cachimbo provido de fundo de malha de poliéster; os frascos foram fechados e agitados por 16 horas em agitador com movimento circular-horizontal a uma velocidade de 200 rotações por minuto (RPM).

No dia seguinte, com auxílio de uma peneira promoveu-se a retirada do solo com o mínimo possível de água deionizada, em seguida foi transferida da peneira para frasco plástico de 80 mL com auxílio de um funil utilizando exatamente dois jatos de 25 mL de solução de NH_4Cl $0,8 \text{ mol L}^{-1}$ em HCl $0,2 \text{ mol L}^{-1}$.

A determinação do P foi realizada utilizando espectrofotometria de absorção em 660 nm (EMBRAPA, 2009).

3.6 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$), utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2011). Quando significativos, os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados, para escolha dos modelos significativos com maior coeficiente de determinação (R^2).

A produção relativa (PR, em %) foi determinada a partir das funções de produção obtidas das suas respostas nos experimentos com doses de P, de acordo com a Equação 3.

$$PR = (y_{Pi}/y_{max}) * 100 \quad (3)$$

Em que y_{Pi} = rendimento com cada dose de P aplicada; y_{max} = rendimento máximo estimado pela equação de acordo com as doses aplicadas.

Com os dados de PR obtidos conforme a equação acima citada, e o teor de P disponível, correspondendo a cada dose de P_2O_5 aplicada, fez-se a curva de disponibilidade, onde a função utilizada no ajuste dos dados da curva, foi feita pela mesma função utilizada no trabalho de Sousa et al. (2007), criando classes de disponibilidade em diferentes forrageiras em solos do Cerrado. A equação utilizada ($y = a - (b/x)$), para criar as classes de disponibilidade, foi calculada com auxílio do software SigmaPlot® versão 10.

Os intervalos de teores disponíveis de P foram criados pelas equações de regressão, calculando-se os teores de P no solo ($mg\ dm^{-3}$) em função da PR. Resultando em intervalos de teores estratificados em quatro classes de fertilidade: muito baixa (<26%), baixa (26-54%), média (55-80%), adequada (>80%) (SOUSA et al., 2007).

Com os dados de acúmulo de P na planta e produtividade de forragem foram determinadas as correlações entre acúmulo de P na planta x produtividade de forragem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade de massa seca

A variável massa seca (MS) foi influenciada em todos os cortes, bem como para o total, em ambos os solos PVAd e PACd (Tabela 4).

Tabela 4. Produtividade de massa seca ($t\ ha^{-1}$) do capim Piatã em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Argisolo Vermelho - Amarelo Distrófico (PVAd) e Argissolo Acinzentado Distrófico (PACd).

% CMAP	PVAd			PACd			
	1ºCorte	2ºCorte	Total	1ºCorte	2ºCorte	3ºCorte	Total
0	2,20	1,80	4,0	2,04	2,73	4,74	9,52
3	10,35	3,55	13,90	4,89	3,36	6,55	15,36
6	11,34	2,94	14,29	6,02	4,38	7,66	18,07
12	11,57	3,35	14,93	7,49	4,39	6,64	18,09
24	8,45	4,30	12,75	12,10	4,26	8,72	25,08
F	13,19** ⁽¹⁾	6,23*	12,84**	17,87**	2,94*	5,29**	13,42**
CV(%) ²	24,3	23,0	21,0	26,9	19,8	18,6	17,7

⁽¹⁾ ** e *: significativo a ($p<0,01$) e ($p<0,05$) respectivamente, pelo teste F.

⁽²⁾ CV= Coeficiente de variação.

No Argisolo Vermelho - Amarelo Distrófico, a MS no primeiro corte, atingiu a máxima produtividade ($13,5\ t\ ha^{-1}$) com a aplicação de $286\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (13% da CMAP) (Figura 4A). Comparando a influência de cinco doses de fósforo na resposta de capim marandu, Melo (2005) relatou que o fósforo influenciou a produção de massa seca chegando à máxima produtividade com a dose de $360\ kg\ ha^{-1}$.

No segundo corte a MS apresentou aumento linear (Figura 4A), aumentando $78\ kg\ ha^{-1}$ de MS para cada 1% da CMAP elevado. Valores estes, menores quando comparado com o primeiro corte. Este comportamento, provavelmente ocorreu devido à baixa precipitação ocorrida entre o primeiro e segundo corte, como pode ser verificado na (Figura 1) (SILVA et al., 2016). A disponibilidade do P é muito dependente da umidade, essa limitação pode ter reduzido à absorção, ocasionado o baixo rendimento de MS. Avaliando

Urochloa decumbens, Rebonatti et al. (2016) também atribuíram a menor produtividade de um corte em relação ao outro, devido a baixa precipitação durante o ciclo da forrageira.

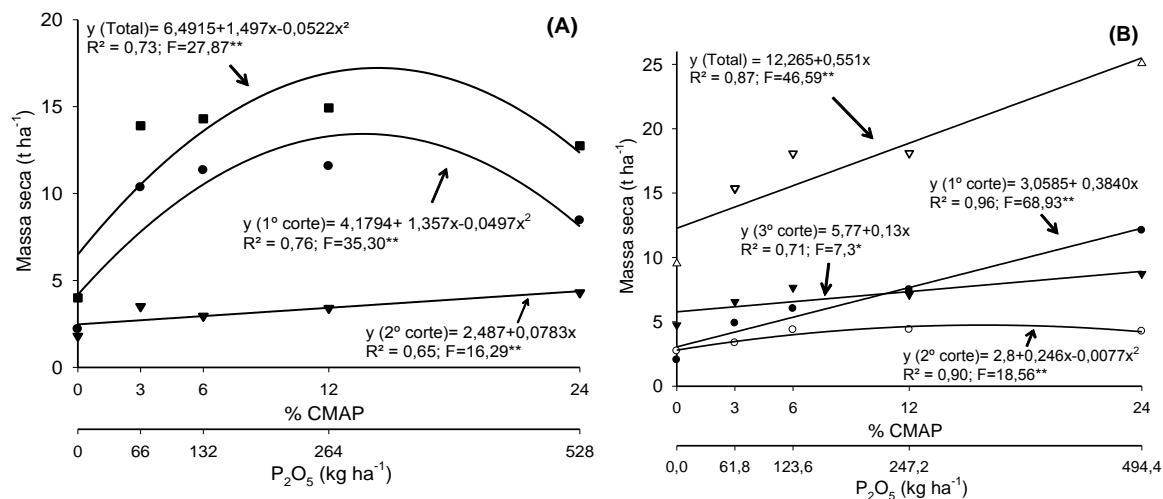


Figura 4. Massa seca de capim Piatã, cultivado em Argisol Vermelho - Amarelo Distrófico (A) e Argissolo Acinzentado Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos. * e **; significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.

Avaliando doses de P em capim Piatã, Rezende (2013) encontrou respostas que concordam com o presente estudo, onde houve diferença de comportamento do primeiro para o terceiro corte. Isto pode ser atribuído ao fato do P aplicado ir “envelhecendo”, e assim, ficando mais adsorvido, reduzindo sua disponibilidade para as plantas.

A produtividade total de MS apresentou a máxima resposta (17 t ha⁻¹), com aplicação da dose de 286 kg ha⁻¹ de P₂O₅ “equivalente” a 13% da CMAP (Figura 4A). Avaliando doses de P em capim-tânzania Politi & Prado (2009) observaram que a dose de 240 mg dm⁻³ promoveu a maior MS da parte aérea durante três cortes em função da aplicação do fósforo em Latossolo Vermelho - Distrófico.

No Argissolo Acinzentado Distrófico, a produção de MS se comportou de modo semelhante nos três cortes e também no total, havendo aumento linear em função das doses de P (Figura 4B). Esse comportamento

pode ter ocorrido devido ao teor inicial de P neste solo ($5,2 \text{ mg dm}^{-3}$, Tabela 2), não estar muito baixo e sim em nível baixo (SOUSA & LOBATO, 2004). Porém, as doses aplicadas não foram suficientes para encontrar um ponto máximo, pelo fato de que na ausência da aplicação de P, já se obteve uma produção de MS relativamente elevada, principalmente no segundo e terceiro corte (Figura 4B).

No primeiro corte as doses de P influenciaram a MS, aumentando $0,38 \text{ t}$ para 1% de aumento na CMAP, ou seja, $23,3 \text{ kg}$ de MS por kg de P_2O_5 aplicado (Figura 4B). Já no segundo e terceiro corte, o aumento não foi de forma acentuada como no primeiro, mesmo assim, teve um efeito significativo. Esse efeito positivo faz do P, um nutriente que merece destaque devido a importante função que exerce nas plantas, como auxílio no desenvolvimento radicular, maior perfilhamento e aumento de produção (ROSSI et al., 1997; CECATO et al., 2004).

A produção de MS total (Figura 4B) foi alterada pelo aumento das doses de P. Avaliando doses de P_2O_5 (com variação de zero à 150 kg ha^{-1}) em capim Brachiaria. Também Leiri et al. (2010) observaram aumento da MS de forma linear. Já Benício et al. (2013) avaliando doses de P_2O_5 em capim Piatã, também observaram comportamento linear nos primeiros cortes.

De maneira geral a aplicação de P no Argissolo Acinzentado Distrófico (Figura 4B) não foi suficiente para atingir um ponto de máxima produtividade. Isso pode ter ocorrido pelo fato do solo apresentar baixa CMAP, tendo assim, baixa aplicação de P (dose máxima $494,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5). Porém a justificativa mais plausível, pode ser a de que o teor de P inicial nesse solo ($5,2 \text{ mg dm}^{-3}$), influenciou o comportamento dos dados, pois mesmo sem aplicação de P (dose zero), pode ter havido um desenvolvimento além do esperado.

No Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico, todos os cortes foram significativos. Já no Latossolo Amarelo Distrófico, apenas o primeiro corte e também o total foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade de massa seca ($t\ ha^{-1}$) do capim Piatã em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (LVAd) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd).

% CMAP	LVAd			LAd			
	1ºCorte	2ºCorte	Total	1ºCorte	2ºCorte	3ºCorte	Total
0	1,44	1,96	3,40	1,09	2,27	2,33	5,70
3	5,05	7,49	12,54	3,58	2,90	3,41	9,90
6	7,41	7,93	15,34	3,59	2,17	3,47	9,23
12	5,76	8,64	14,41	6,49	2,15	4,43	13,09
24	6,68	8,04	14,73	6,47	2,41	3,70	12,58
F	4,73 ^{*(1)}	10,70 ^{**}	16,26 ^{**}	5,78 [*]	1,73 ^{ns}	1,53 ^{ns}	4,49 [*]
CV(%) ²	40,4	24,6	20,3	44,6	9,5	35,1	27,6

⁽¹⁾ **: * e ns: significativo ($p < 0,01$); ($p < 0,05$) e não significativo respectivamente, pelo teste F.

⁽²⁾ CV= Coeficiente de variação.

No Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico, no primeiro corte, a máxima produtividade de MS ($7,7\ t\ ha^{-1}$) foi obtida com a dose de $476\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (16% da CMAP) (Figura 5A). Dados semelhantes foram observados por Pimenta (2009), onde verificou que o capim Piatã produziu $9,5\ t\ ha^{-1}$ de MS, valores próximos ao observado nas maiores doses. A falta de P ocasiona a limitação da produção, o capim respondeu a adubação pelo fato do solo estudado apresentar baixo teor deste nutriente (BENÍCIO et al., 2013).

Para o segundo corte, a máxima produção ($10\ t\ ha^{-1}$), foi estimada com a aplicação de $446,5\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (15% da CMAP). Dias (2015) avaliando capim Piatã, sob fontes de fósforo, verificou que a MS foi maior no segundo corte, em relação ao primeiro.

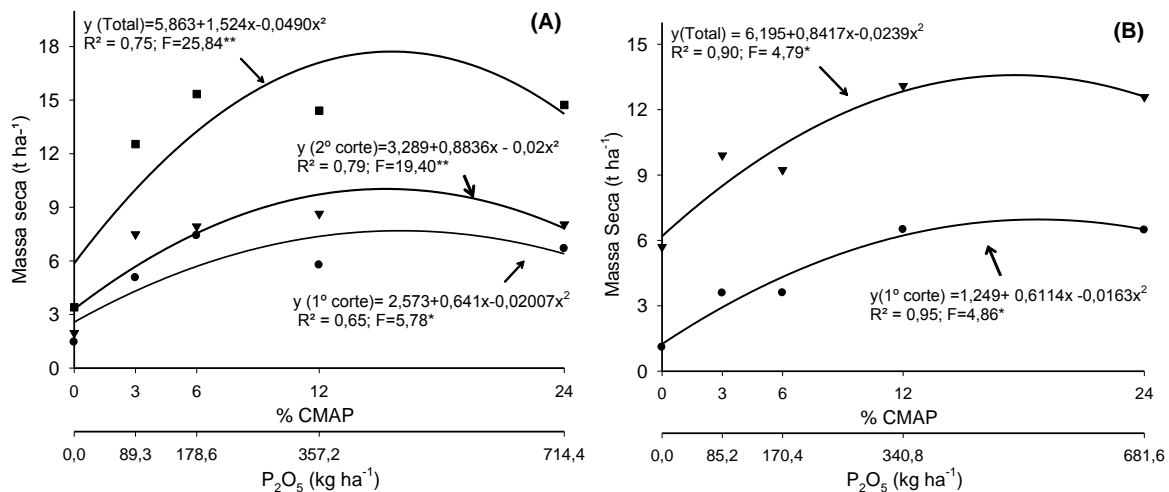


Figura 5. Massa seca de capim Piatã, cultivado em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (A) e Latossolo Amarelo Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos. * e **; significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.

A máxima produtividade de MS total ($17,7 \text{ t ha}^{-1}$), foi obtida com aplicação de 462 kg ha^{-1} de P_2O_5 (15,5% da CMAP), (Figura 5A).

Avaliando o efeito de doses de fosfato de rocha em diferentes gramíneas, Foloni et al. (2008) também observaram ajuste dos dados ao modelo quadrático de regressão para o capim *Brachiaria brizantha*. Em diferentes classes de solos a aplicação de fósforo aumentou a produção de MS, confirmando a importância deste nutriente (DEVI et al., 2012; SANTOS et al., 2016). Visto que sua baixa disponibilidade limita o crescimento das plantas forrageiras e, em consequência disso, uma produtividade reduzida, pois segundo Foloni et al. (2008) o fósforo é o nutriente que, depois do nitrogênio, mais limita a produção de forragem quando em baixa disponibilidade.

Analisando a produtividade de MS no Latossolo Amarelo Distrófico (Figura 5B), observa-se que no primeiro corte, a dose $539,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (19% da CMAP) proporcionou a maior produção de MS (7 t ha^{-1}) (Figura 5B).

No segundo e terceiro corte não houve influência dos tratamentos na variável MS, no entanto, o total foi influenciado pelas doses de P aplicadas

(Tabela 5), onde a aplicação de fósforo proporcionou incremento até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (17,6% CMAP) (Figura 5B).

A ausência de resposta para aplicação do P no segundo e terceiro corte no LAd (região cerrado), pode ser devido a característica desse solo em reter o P mais rapidamente. Nos Latossolos argilosos do Cerrado, o solo pode adsorver mais de 2 mg cm⁻³ de P, o que equivale a 9.200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, incorporado a 0–20 cm de profundidade, onde metade deste valor pode ser fixado (P não-lábil) em até um mês de contato com o solo (NOVAIS & SMYTH, 1999). Como o segundo corte foi realizado aos 90 dias após a semeadura, possivelmente uma grande parte do P aplicado foi adsorvido e, dessa forma a forrageira não respondeu conforme o primeiro corte.

Estudando a influência de doses de fósforo no capim marandú, Melo (2005) observou maior absorção de P pela planta, que também resultou em maior produção de MS. Doses de P aplicadas em capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu apresentaram efeito significativo na produção de MS com resposta quadrática (PAULINO et al., 1994).

Em ambos os solos, nota-se que aumentando a dose de P, também há aumento na produção de MS. Isso ocorre pelo fato de ser um dos nutrientes mais importantes no estabelecimento das forrageiras, pois é responsável pelo desenvolvimento radicular por causa da intensa atividade meristemática, e por ser essencial para a divisão celular, pela sua função na estrutura dos ácidos nucléicos (CANTARUTTI et al., 2002).

Os dois solos com maiores CMAP (LVAd e LVd), precisaram da aplicação de fósforo até 15,5 e 17,6% da CMAP, respectivamente. Ou seja, precisaram de doses mais elevadas (com relação ao PVAd), para atingir suas máximas produções. Isso se deve ao fato de que, solo com CMAP maiores, necessitam de maior quantidade de P, devido uma grande parte ser adsorvida. Estes solos apresentam características de dreno de P, tendo assim, competição pelo P aplicado, entre solo e planta (NOVAIS & SMYTH, 1999) e, conseqüentemente, exigindo elevadas doses de P para obter a máxima produção. Avaliando doses de P em solos com diferentes CMAP, Farias et al. (2009) observaram que quanto maior a CMAP do solo, maior deve ser a dose aplicada para atingir a máxima produção.

Como os Latossolos estudados apresentam maiores CMAP, é necessário elevadas quantidades deste nutriente para conseguir alterações no P da solução do solo (NOVAIS & SMYTH, 1999; COSTA et al., 2006). Avaliando capim Piatã sob casa de vegetação, Benício (2012) encontrou valores de massa seca na dose máxima 310 mg dm^{-3} de P_2O_5 , dose esta que assemelha com as doses de P encontradas no presente trabalho, em LAVd e LAd.

Assim, os menores ganhos em matéria seca do capim Piatã em função das doses de P, são devidos à maior adsorção deste elemento pela fração ativa do solo, o que proporciona menor disponibilidade para as plantas.

De acordo com os dados apresentados neste estudo, é evidente que para alcançar maiores produtividades é necessário realizar adubação fosfatada, reforçando que a baixa disponibilidade do nutriente é um dos fatores que mais restringem a produção das pastagens, uma vez que as plantas forrageiras são exigentes em P, visto que tem uma grande produção de biomassa e, conseqüentemente, maior extração desse nutriente.

4.2 Acúmulo de fósforo pelas plantas

Para todos os solos estudados, o fósforo acumulado pela parte aérea do capim Piatã mostrou significância para as doses testadas em todos os cortes (Tabela 6 e 7).

Tabela 6. Acúmulo de fósforo (kg ha^{-1} de P) pelo capim Piatã, em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico (PVAd) e Argissolo Acinzentado Distrófico (PACd).

% CMAP	----- PVAd -----			----- PACd -----			
	1ºCorte	2ºCorte	Total	1ºCorte	2ºCorte	3ºCorte	Total
0	0,98	0,52	1,51	0,794	0,93	1,64	3,36
3	5,55	2,18	7,73	2,974	1,32	3,10	7,40
6	6,97	2,31	9,28	4,169	2,24	6,01	12,42
12	9,6	2,34	11,94	7,843	1,88	6,85	16,59
24	6,6	4,30	10,9	13,509	2,15	8,60	24,27
F	5,89** ⁽¹⁾	8,7**	6,86*	19,57**	3,65*	15,18**	25,40**
CV(%) ²	49,2	38,7	39,7	38,4	34,5	27,7	25,1

⁽¹⁾ ** e *: significativo a ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$) respectivamente, pelo teste F.

⁽²⁾ CV= Coeficiente de variação.

No Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico e Argissolo Acinzentado Distrófico, percebe-se que no primeiro e segundo corte, bem como no total, os dados de acúmulo de fósforo (AcP) (Figura 6A e B) e MS (Figura 4A e B) tiveram o mesmo comportamento, demonstrando assim, que de acordo com a absorção da planta, houve aumento na produção de MS. Fato este devido ao P aumentar o armazenamento de energia, visto sua importância para a síntese do ATP e de vários outros compostos (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

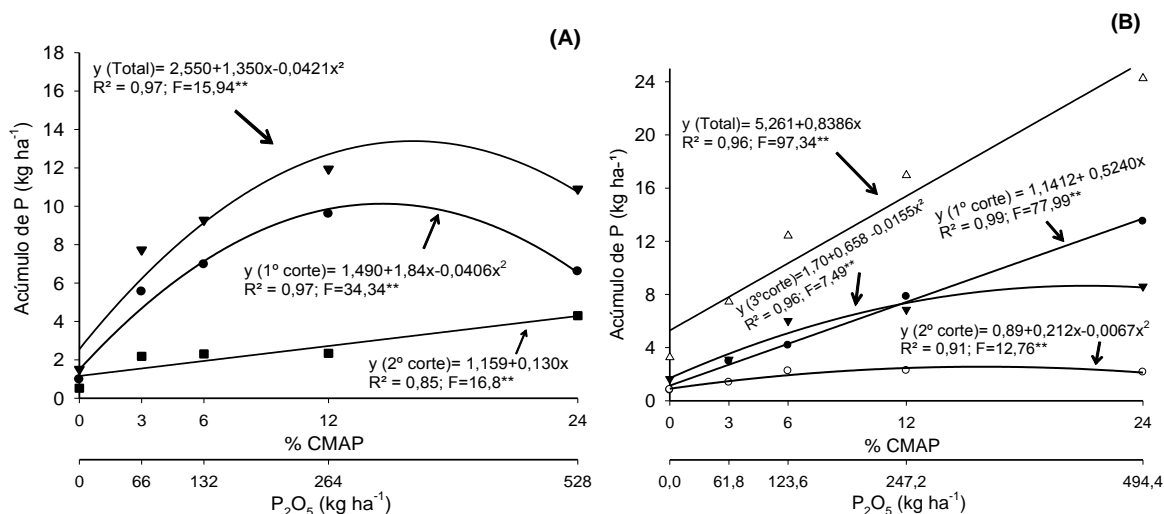


Figura 6. Acúmulo de P pelo capim Piatã, cultivado em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico (A) e Argissolo Acinzentado Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos.* e **, significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.

No Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico, avaliando o primeiro corte, o máximo acúmulo de P (11 kg ha⁻¹) foi alcançado com a dose estimada em 286 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (13% CMAP) (Figura 6A). Dados estes que seguiram o comportamento da produção de MS. Em trabalho avaliando doses de adubo fosfatado, o acúmulo de P pelo capim *Brachiaria brizantha* cv. MG-4, também acompanhou a variação na produção de massa seca (SANTOS, 1999). Comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho, reforçando a importância da realização da adubação fosfatada.

Sabendo da importância do P, quando a planta é cultivada em solos com maiores teores disponíveis, esta terá maior absorção e conseqüentemente aumento na produção de massa seca. Assim, as forrageiras aumentam a produtividade significativamente com o incremento de doses de fósforo (LIMA et al., 2007).

Já no segundo corte, o AcP teve um aumento linear (Figura 6A), aumentando o P acumulado em 264% na maior dose, quando comparado com o tratamento que não recebeu fósforo. Resultados semelhantes também foram

verificados, quando cultivado capim marandu em doses de adubação fosfatada (FERREIRA et al., 2008).

O total de P acumulado pelo capim Piatã, teve seu ponto máximo (14 kg ha⁻¹), na dose estimada de 308 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (14% da CMAP) (Figura 6A).

Para o Argissolo Acinzentado Distrófico, no primeiro corte o maior acúmulo de P (2,3 kg ha⁻¹) foi obtido com a estimativa de 378,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (17,2% da CMAP) (Figura 6B). Embora o AcP respondeu de forma quadrática no segundo e terceiro corte, no total se comportou de forma linear, tendo assim o mesmo comportamento apresentado para MS total, demonstrando que a maior absorção de P resulta em uma maior produtividade como já constatado por outros pesquisadores (SANTOS, 1999; CORRÊA, 1991).

Avaliando doses de P variando de 0 a 200 mg dm⁻³ em capim MG-4, Santos (1999) também observou que o acúmulo de P na parte área no primeiro corte se comportou de forma quadrática, acompanhando assim a variação da massa seca, dados estes que estão de acordo com os encontrados neste trabalho.

Em relação ao AcP pelo capim Piatã cultivado em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico e Latossolo Amarelo Distrófico, observa-se na Tabela 7 que todos os cortes foram significativos.

Tabela 7. Acúmulo de fósforo (kg ha⁻¹ de P) pelo capim Piatã, em função de doses de fósforo aplicadas com base na CMAP dos solos, em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (LVAd) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd).

% CMAP	----- LVAd -----			----- LAd -----			
	1ºCorte	2ºCorte	Total	1ºCorte	2ºCorte	3ºCorte	Total
0	0,74	0,877	1,23	0,877	1,62	0,629	3,13
3	3,35	3,070	6,85	3,07	2,87	1,363	7,30
6	6,66	3,255	10,72	3,255	2,52	1,820	7,60
12	6,05	5,585	11,93	5,585	3,67	2,550	11,81
24	8,19	8,695	15,88	8,695	3,26	1,885	13,84
F	23,25**	6,25*	14,99**	5,48*	3,05*	5,37**	6,96**
CV(%) ²	24,5	55,3	30,7	53,3	31,9	37,2	36,3

(1) ** e *: significativo a (p<0,01) e (p<0,05) respectivamente, pelo teste F.

(2) CV= Coeficiente de variação.

O AcP no LVAd para o primeiro corte teve o máxima acúmulo na maior dose testada, sendo necessária maiores doses para atingir o máximo (Figura 7A).

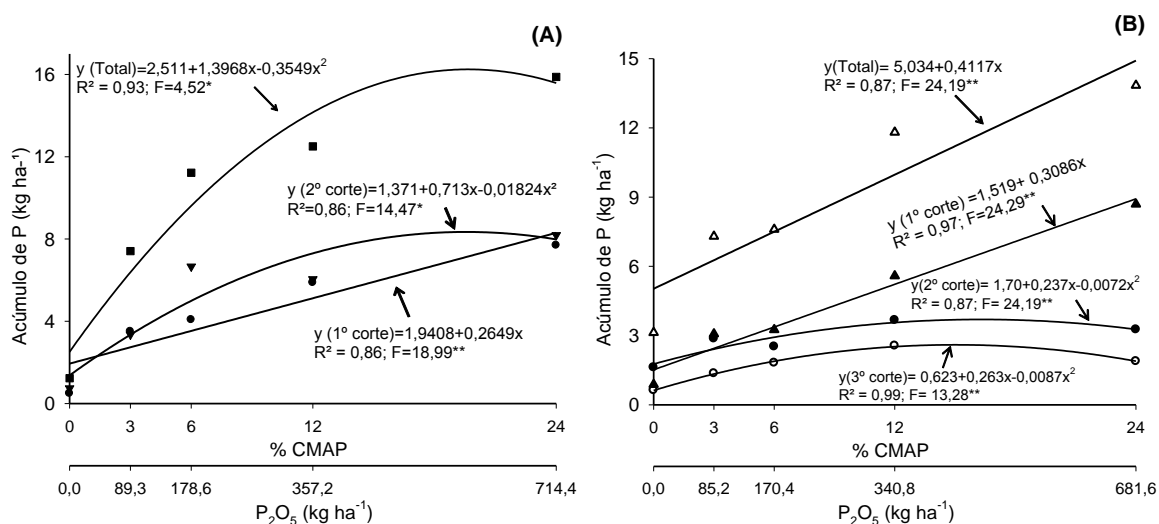


Figura 7. Acúmulo de P pelo capim Piatã, cultivado em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (A) e Latossolo Amarelo Distrófico (B), em função das doses de P aplicadas com base na CMAP dos solos. * e **, significativo ao nível de probabilidade de 0,01 e 0,05, respectivamente.

Já no segundo corte se ajustou equação quadrática com máximo ($8,35 \text{ kg ha}^{-1}$) com elevação de até 19,5% da CMAP (Figura 7A).

No total, o máximo acúmulo de P ($16,3 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtido com 19,6% da CMAP (Figura 7A). Como o acúmulo de P é o produto da concentração do P na planta e a produtividade, é possível observar que houve aumento no teor do nutriente conforme elevou as doses. Politi & Prado (2009) avaliando doses de P em capim tânzania, observaram que o acúmulo de P pelo capim aumenta conforme eleva a dose aplicada. Estes dados concordam com o encontrado neste trabalho, demonstrando que a produção de MS e absorção de P foi semelhante, não havendo efeito expressivo de diluição.

Para o Latossolo Amarelo Distrófico, o AcP no primeiro corte e o total se comportaram de forma linear aumentado $0,30$ e $0,41 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, para cada 1% da CMAP aumentada (Figura 7B). Já no segundo e terceiro corte

o AcP se ajustou ao modelo quadrático, onde ambos os cortes atingiram as máximas com elevação de fósforo até 16% da CMAP.

4.3 Correlação do acúmulo de fósforo na planta e produção de massa seca

A fim de avaliar a influência do acúmulo de P pela planta na sua produtividade, realizou-se a correlação entre o P acumulado na planta e a produtividade para cada solo estudado (Tabela 8).

Observa-se que para ambos os solos, houve correlação forte, demonstrando que a produção de MS é fortemente influenciada pela capacidade da planta em absorver o P. Ou seja, se a quantidade de P disponível no solo está em teores adequados, logo a planta vai aumentar a produção de MS.

Tabela 8. Coeficiente de correlação entre o fósforo acumulado na planta com a produção de massa seca.

	Solos			
	PVAd	PACd	LVAd	LAd
	-----P acumulado pela planta-----			
Produção de MS	0,83**	0,91**	0,83**	0,83**

**; Significativo a 5% pelo teste t de Student.

4.4 Classes de disponibilidade de fósforo no solo

Visando delimitar as classes de disponibilidade de P, tomou-se como referência a produção relativa (PR%). Onde, foram encontrados os teores disponíveis de P no solo que correspondessem a 26, 54 e 80% da PR. Os valores de PR e o ajuste da curva de resposta, seguiram a metodologia descrita por Sousa et al. (2007). As classes de disponibilidades de P determinadas pelo extrator Mehlich-1 são apresentadas na (Figura 8).

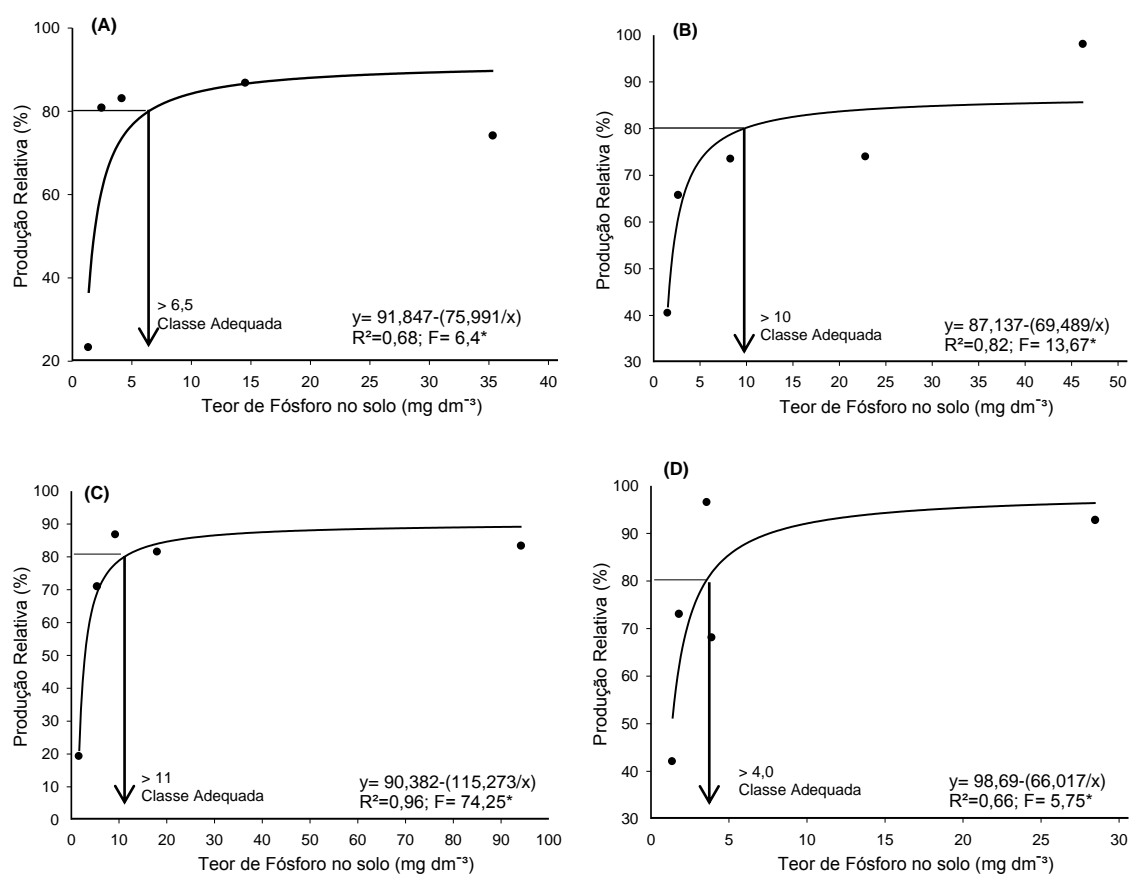


Figura 8. Produção relativa de capim Piatã em função do P extraído por Mehlich-1, em Argissolo Vermelho - Amarelo Distrófico - (A), Argissolo Acinzentado Distrófico - (B), Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico - (C) e Latossolo Amarelo Distrófico - (D). Média de quatro repetições. *Significativo ao nível de probabilidade de 0,05.

Observa-se que o Latossolo Amarelo Distrófico (Figura 8D), teve o teor de P para 80% da PR ($>4,0 \text{ mg dm}^{-3}$), menor que o teor do LVAd $>11,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 8C) e do PVAd $>6,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 8A), mesmo o LAd apresentando teor de argila inferior ao LVAd e o PVAd. Esse fato ocorreu possivelmente por ser uma área com características diferente das demais, pois está inserida no domínio do cerrado (solos característicos por apresentarem elevada afinidade pelo P aplicado).

O teor de argila em geral vem sendo utilizado como o atributo de solo no critério de recomendação da adubação fosfatada. Como rotineiramente tem sido adotado esta forma, segundo Pinto et al. (2013) tem se cometido

suscetível erro nas recomendações, necessitando assim, da utilização de outros atributos para uma recomendação mais acurada. Isto se faz necessário, em função da complexidade das interações que envolvem a dinâmica do P no solo.

No presente estudo o teor de argila não foi o único determinante da adsorção do P, demonstrando assim, a importância do atributo CMAP na avaliação de disponibilidade de fósforo. Assim, não somente a quantidade de argila vai prever a retenção do P aplicado, mais outros fatores como a qualidade desta argila, também interferem na adsorção do P por esses solos (EBERHARDT et al., 2008; RIBEIRO et al., 2011).

A CMAP do solo é um atributo que fornece uma indicação da quantidade de minerais presentes no solo, que adsorve o P e, também, da afinidade desses minerais pelo elemento (SIMÕES NETO et al., 2015). Assim, é evidente que a CMAP constitui uma informação valiosa para a interpretação da disponibilidade de P no solo. Porém, a determinação da CMAP é mais onerosa do que determinar o fósforo remanescente (P-rem), no entanto, pode ser substituída pelo P-rem, que é a CMAP em um único ponto (60 mg L^{-1} de P). Alves e Lavorenti (2004) também afirmam que o P-rem apresenta bom desempenho em estratificar solos quanto ao seu potencial em adsorver fósforo.

Avaliando a disponibilidade de fósforo nos experimentos conduzidos em argissolos (áreas mais próximas entre si) é possível observar que a classe alta, foi maior no solo com teor de argila mais elevado (Figura 8B). Esse comportamento foi observado, pelo fato de estarem próximos, e possivelmente não apresentaram grande variação na qualidade mineralógica, sendo a variação ocorrida principalmente pelo teor de argila (FALCÃO & SILVA, 2004).

A partir dos valores disponíveis de P, de acordo com os extratores Mehlich-1 e RTA, e com os resultados de MS obtidos conforme a dose aplicada foi possível estabelecer uma tabela de interpretação de disponibilidade de P para os diferentes solos avaliados (Tabela 9 e 10).

É possível observar que os teores de P na solução do solo, na tabela de interpretação sugerida neste trabalho (Tabela 9), são próximos dos teores sugeridos por Sousa et al. (2007) e do boletim do cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004). Assim, fica evidente que os solos do Norte de Mato Grosso,

como os solos do cerrado onde foram realizadas pesquisas por Sousa & Lobato (2004) também apresentam grande afinidade pelo P, necessitando assim, de maior dose deste nutriente.

Tabela 9. Limite de interpretação de teores de fósforo no solo para capim Piatã quando o extrator de P disponível for o Mehlich-1 e a argila a característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo.

Característica		Classificação			
		Muito Baixo*	Baixo	Médio	Adequado
Argila	P-rem	Fósforo disponível (P)			
%	mg L ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----			
20	37	< 1,5	1,5 - 2,5	2,6 - 10	> 10
23	41	< 1,0	1,0 - 1,5	1,6 - 4,0	> 4,0
36	20	< 1,2	1,2 - 2,0	2,1 - 6,5	> 6,5
60	25	< 1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 11	> 11

* Para criar as classes de P no solo foram tomadas como referência a produção relativa, em que: < 26% da produção: muito baixo; 26-54% da produção: baixo; 55-80% da produção: médio e; >80% da produção: adequado.

No cerrado, as classes de interpretação para teores obtidos com Mehlich-1 são estabelecidas de acordo com o teor de argila ou com o P-rem (SOUSA et al., 2007). Para a classe muito baixa, os teores de P variam entre <1,0 e <4,0 mg dm⁻³, para teores de argila >600 e ≤150 g kg⁻¹, respectivamente. No presente trabalho, sugerem-se teores de P que variam entre <1,0 e <1,5 mg dm⁻³ (Tabela 9), nesta classe de interpretação com teores de argila variando entre 20 e 60%. Na classe alta os valores do presente trabalho variaram de 4,0 a 11,0 mg dm⁻³, e os observados por Sousa et al. (2007) variaram de 5,0 à 11,0 mg dm⁻³ para teores de argila variando de 15 a 60%, para as gramíneas do grupo exigente.

Em trabalho realizado em Latossolo Amarelo e Gleissolo Háplico no Estado do Amazonas, criando classes de disponibilidade de P em capim *Brachiaria humidicola* cv. Comum, Nunes (2016) encontraram valores semelhantes aos encontrados no presente trabalho, onde verificaram que no

Latossolo Amarelo, quando o extrator foi o Mehlich-1 os teores foram $<1,92 \text{ mg dm}^{-3}$ na classe muito baixa e $>5,48 \text{ mg dm}^{-3}$ para classe muito alta, já no Gleissolo Háplico, os valores foram $<2,52$ e $>8,5 \text{ mg dm}^{-3}$ para as mesmas classes (NUNES, 2016).

Quando a interpretação da disponibilidade de P é determinada pelo extrator RTA, não é necessário levar em consideração o teor de argila do solo. Deste modo, as classes de disponibilidades foram determinadas a partir do conjunto de dados de todos os experimentos (Figura 9), gerando assim, uma tabela simplificada de classes de teores de P no solo (Tabela 10).

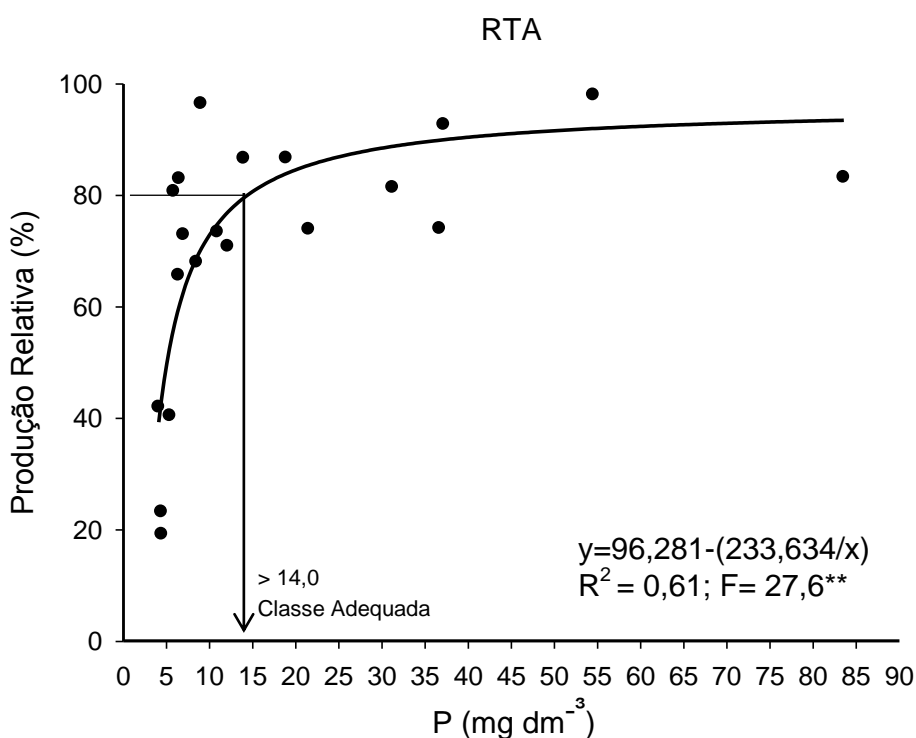


Figura 9. Produção relativa de capim Piatã em função do P extraído por RTA. Média das quatro repetições de cada experimento. **Significativo ao nível de probabilidade de 0,05.

Nota-se que quando se utiliza a RTA, os teores de P são maiores para as classes de disponibilidade, comportamento este, devido a sua capacidade de acessar todo o P lábil (GATIBONI et al., 2005; FREITAS et al., 2013). Isto demonstra que, apesar da simplicidade e rapidez em rotinas de análises de solo, o Mehlich-1 apresenta baixa capacidade de extração de P, como ocorreu nos solos deste estudo, evidenciando, que são solos com

elevados teores de Al e Fe, já que o Mehlich-1 tem mais afinidade com o P-Ca. Resultado semelhante foi encontrado em pesquisa realizada em Latossolo de textura argilosa e com teores elevados de óxidos de Fe e Al (SILVEIRA, 2000). No entanto essa maior quantidade não significa que seja um método mais apropriado, pois segundo Alvarez et al., (2000) o extrator mais eficiente é aquele que extrai quantidades de P que se correlacionem com o P absorvido pelas plantas, e como os dois apresentaram correlações semelhantes e também tiveram classes de disponibilidade bem definidas (Tabela 9 e 10), ambos podem ser utilizados. Podendo ser escolhido um, de acordo com a rotina do laboratório.

No presente trabalho as classes de disponibilidade de P (Tabela 10), variaram de <3,0 para classe muito baixo, até >14,0 mg dm⁻³ para classe adequada. Dados semelhantes ao encontrado por Sousa et al. (2007), <3,0 para classe muito baixa e >9,0 mg dm⁻³ para classe adequada.

Tabela 10. Limite de interpretação de teores de fósforo no solo para capim Piatã quando o extrator de P disponível for a RTA.

Muito Baixo*	Baixo	Médio	Adequado
Fósforo disponível (P)			
----- mg dm ⁻³ -----			
< 3,0	3,0 - 5,5	5,6 – 14	>14

* Para a criar as classes de P no solo foram tomadas como referência a produção relativa, em que: (< 26% da produção muito baixo, 26-54% baixo, 55-80% médio e >80% adequado).

5. CONCLUSÕES

- A adubação fosfatada aumentou a produção de massa seca e acúmulo de P em todos os solos estudados.
- Os valores de P em cada classe de disponibilidade foram maiores quando extraídos por RTA em relação ao Mehlich-1;
- Solos com maiores CMAP necessitam de maiores doses de P para alcançarem as máximas produtividades do capim Piatã.
- Os níveis críticos de P para proporcionar produção relativa (PR) de 80% quando o extrator foi Mehlich-1 foram: 10,0 mg dm⁻³ no PACd; 6,5 mg dm⁻³ no PVAd; 4,0 mg dm⁻³ no LAd e 11 mg dm⁻³ no LVAd. Quando o extrator foi a RTA o nível crítico para 80% da PR foi 14,0 mg dm⁻³.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.25 n.1, p. 27-33, 2000 (Boletim Informativo).

ALVAREZ, V. V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 49-55, 1990.

ALVES; M. E.; LAVORENTI, A. Remaining phosphorus and sodium fluoride pH in soils with different clay contents and clay mineralogies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.241-246, 2004.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA - ANUALPEC. **Estatísticas da Pecuária de corte no Brasil e no mundo**. São Paulo: Instituto FNP, 2013.

BASTOS, A. L.; COSTA, J.P.V.; SILVA, I.F.; RAPOSO, R. W. C. OLIVEIRA, F. A. ALBUQUERQUE, A. W. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.5, p.485–491, 2010.

BENÍCIO, L. P. F. **Rejeitos de rochas fosfáticas no desenvolvimento e no teor de nutrientes em *Brachiaria brizantha***. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) - Universidade Federal do Tocantins, 2012, 69p.

BENÍCIO, L. P. F.; LIMA, S. O.; SANTOS, V. M.; Avaliação da aplicação de diferentes doses de rejeito de rocha fosfática no desenvolvimento do Capim Piatã na ausência e presença de calagem. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 25, n. 3, p.221-234, 2013.

BERTONI, J.; LOMBARD NETO, F. L. **Conservação do solo**. São Paulo. Ed. Ícone, 2005. 5ª ed. p. 355.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C. de; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G. dos S.; NASCIMENTO, C.W.A. do. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.1, p.77-83, 2011.

CANTARUTTI, R.B.; TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.; CADISCH, G.; RESENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; BRAGA, J.M.; GOMEDE, J.A.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 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, 2002.

CECATO, U.; PEREIRA, L. A. F.; JOBIM, C. C. MARTINS, E. M. Influência das adubações nitrogenada e fosfatada sobre a composição químicobromatológica do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf cv. Marandu). **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.26, n.3, p.409-416, 2004.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.828-835, 2006.

COSTA, N. L.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; MAGALHÃES, J. A. Acúmulo de forragem e morfogênese de *Trachypogon plumosus* sob níveis de fósforo. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.10, n.5, p.388-393, 2016.

DEVI, T. C.; BHARATHALAKSHMI, M.; KUMARI, M. B. G. S.; NAIDU, N. V. Effect of sources and levels of phosphorus with zinc on yield and quality of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, n. 2, p. 195- 198, 2012.

DIAS, D. G.; PEGAROSO, R. F.; ALVES, D. D.; PORTO, E. M. V. SANTOS NETO, J. A.; ASPIAZÚ, I. Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.330–335, 2015.

EBERHARDT, D. N. VENDRAME, P. R. S. BECQUER, T. GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagem de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília, **Informação Tecnológica**, 2009. 628p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 337-342, 2004.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricídia* (*Gliricídia sepium* (Jacq) Kunth ex Stued) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 1499- 1505, 2009.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FERRAZ, J. V. Uma visão do futuro: a pecuária brasileira daqui a 10 anos. In: **Anuário da Pecuária Brasileira – Anualpec**, 2008. p. 22-32. 2009.

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

FERREIRA, E. M.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, L. C.; CUNHA, O. F. R. Características agrônômicas do *Panicum ma-ximum* cv. “Mombaça” submetido a níveis crescentes de fósforo. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2 p. 484-491, 2008.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1147-1155, 2008.

FREITAS, I.F. de; NOVAIS, R.F.; VILLANI, E.M. de A.; NOVAIS, S.V. Phosphorus extracted by ion exchange resins and Mehlich-1 from Oxisols (Latosols) treated with different phosphorus rates and sources for varied soil-source contact periods. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.667-677, 2013.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Santa Maria, (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 231p.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R. dos. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e

resina trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.363-371, 2005.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. BENEDETTI, V.A.G.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L. & BENEDETTI, V (Ed). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. P. 3-57.

IEIRI, A.Y.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com *Brachiaria*. **Ciência e Agrotecnologia** v. 34, n. 5, p. 1154-1160, 2010.

INOUE, M.H.; SILVA, B.E.; PEREIRA, K.M.; SANTANA, D.C.; CONCIANI, P.A.; SZTOLTZ, C.L. Levantamento fitossociológico em pastagens. **Planta Daninha**, v.30, n.1, p.55-63, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (**IBGE**). Estatísticas da produção pecuária, 2010.

JORDÃO, C. B. **Especiação e grau de saturação de fósforo em latossolo tratado com lodo de esgoto**. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Escola superior de Agricultura Luis de Queiros, 2006. 83p.

LIMA, S. O.; FIDELIS, R. R.; COSTA, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.100- 105, 2007.

LOPES, A. S.; COX, F. R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 82-88, 1979.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para estabelecimento do capim-marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2005. 123 p.

MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D. de; ABREU, J.B.R. de; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P.; NATALE, W..Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, v.52, n.1, p.135-141, 1995.

MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; FREIRE, M.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Ceres**, v. n. 34, p.125- 151, 1987.

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

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p.471-550, 2007.

NUNES, Marcelo Tavares. **Estabelecimento de *Brachiaria humidicola* cv. comum sob adubação fosfatada em solo do Estado Amazonas**. 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.21, p.144-149, 1957.

PAULINO, V.T.; COSTA, N. de L.; LUCENA, M.A.C.; SCHAMMAS, E.A.; FERRARI JÚNIOR, E. Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a calagem e a fertilização fosfatada em um solo ácido. **Pasturas Tropicales**, v.16, n.2, p.34-41, 1994.

PIMENTA, L. Capim novo a caminho. **Revista ABCZ**, v.50, p.18-20, 2009.

PINTO, C. G. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 530-538, 2013.

POLITI, L.S.; PRADO, R.M. Fósforo na nutrição e produção de massa seca do Capim-tânzania. **Revista da FZVA**, v.16, n.1, p. 95-104. 2009.

PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, v. 1, p. 362, 2010.

RAIJ, B. Van. (Ed.). **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFÓS, RAIJ, B. van. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

REBONATTI, M. D.; FABRICE, C. E.; SANTOS, J. M. F.; HEINRICH, R.; SOARES FILHO, C. V.; MOREIRA, A. Chemical Attributes of Soil and Forage Yield of Pasture Recovered with Phosphate Fertilization and Soil Management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 47, n. 18, p. 2069–2076, 2016.

REZENDE, C. G. B.; **Fosfato natural na adubação do capim piatã em Latossolo Vermelho do Cerrado**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso. 2013. 53 p.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M.; CURI, N.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, P. L. T Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2011.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005

RON, M.M.; BUSSETTI, S.G. & LOEWY, T. Uso de un índice de sorción como complemento del fósforo extraíble para la fertilización de trigo. **Ciencia del Suelo**, v.13, p.35-37, 1995.

ROSSI, C.; FAQUIN, V.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Calagem e fontes de fósforo na produção do braquiário e níveis críticos de fósforo em amostra de Latossolo dos Campos das Vertentes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6 p.1083-1089, 1997.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colônia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1101-1110, 1999.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soil. In: KHSAWNEH, F. E.; SANPLE, E. E.; KAMPRATH, E. J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.576-586, 2008.

SANTOS, F.G.; NOVAIS, R. R.; NEVES, J. C. L.; FOLONI, J. M.;ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; KER, J. C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2015-2025, 2008.

SANTOS, H. C.; OLIVEIRA, F. T.; SOUZA, A. P.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. D. M. Phosphorus availability as a function of its time of contact with different soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.11, p.996-1001, 2016.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ, V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, n. 1, p. 173-182, 2002.

SANTOS. P. M.; CORSI, M.; BALSALOBRE, M. A. A.. Efeito da frequência de pastejo e da época do ano sobre a produção e a qualidade do *Panicum Maximum* cvs. tanzânia e mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v, 32, n. 2, p. 224- 249,1999.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Fósforo disponível determinado por lâmina de resina enterrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.77-84, 2009.

SILVA, V. M.; BUZETTI, S.; DUPAS, E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S. Sources and rates of residual phosphorus for Marandu palisadegrass grown in Western São Paulo. **Científica**, v.44, n.4, p.615–622, 2016.

SILVEIRA, M. M. L. **Fracionamento seqüencial de fósforo em solos do semi-árido-nordestino**. Dissertacao (Mestrado em Ciencia do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000. 52p.

SIMÕES NETO, D. E. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.1, p.73-81, jan. 2015.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, A. T.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A. Características agroindustriais da cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 347-354, 2012.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. Adubação fosfatada. In: MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de (Ed.). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. p. 145-177.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; VALERIO, J. R.; MACEDO, M. C. M.; FERNADES, C. D.; DIAS FILHO, M. B. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: Uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, v.11, p.28-30, 2007.