

NATÁLIA RODRIGUES FERREIRA ELOY

**SOLUBILIDADE E EFICIÊNCIA DE FONTES DE FÓSFORO EM SISTEMAS DE
PASTAGEM COM *UROCLHOA BRIZANTHA* CV MARANDU**

Botucatu

2018

NATÁLIA RODRIGUES FERREIRA ELOY

**SOLUBILIDADE E EFICIÊNCIA DE FONTES DE FÓSFORO EM SISTEMAS DE
PASTAGEM COM *Uroclhoa brizantha* cv Marandu**

Tese de Doutorado do Programa de Pós-
Graduação em Agricultura apresentado à
Faculdade de Ciências Agrônômicas da
Unesp Câmpus de Botucatu

Orientador: Leonardo Theodoro Büll

Botucatu

2018

E48s

Eloy, Natalia Rodrigues Ferreira

Solubilidade e eficiência de fontes de fósforo em sistemas de pastagem com UROCLHOA Brizantha CV Marandu / Natalia Rodrigues Ferreira Eloy. -- Botucatu, 2018

102 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Leonardo Theodoro BÜLL

1. Formas de fósforo. 2. Urochloa brizantha. 3. Fontes alternativas. 4. XANES. 5. Fertilizantes fosfatados. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SOLUBILIDADE E EFICIÊNCIA DE FONTES DE FÓSFORO EM SISTEMA DE PASTAGEM COM *Uroclhoa brizantha* CV. MARANDU"

AUTORA: NATÁLIA RODRIGUES FERREIRA ELOY


ORIENTADOR: LEONARDO THEODORO BÜLL


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LEONARDO THEODORO BÜLL

Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. CARLOS SERGIO TIRITAN
Departamento de Solos / UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA

Botucatu, 22 de junho de 2018.

*Aos meus amados José de Assis Ferreira e Maria Aparecida Siqueira Ferreira.
Aos meus irmãos Pedro Emílio e Amália.
Ao meu amado esposo Daniel.
A minha companheira fiel Vanilla.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bênçãos derramadas em minha vida, por me conceder oportunidades, guiar o meu caminho e colocar pessoas boas em minha vida.

À minha família, pela dedicação e amor incondicional, que me impulsionaram a conquistar esse sonho, com muito esforço para que eu chegasse até aqui. Sempre demonstrando que devemos vencer as batalhas com honra, determinação, transparência, ajudando ao próximo, me dando base para a busca de ser uma pessoa melhor.

Ao meu marido Daniel, pela cumplicidade, amor, zelo, carinho, auxílio na realização deste projeto, pela credibilidade, incentivo e me fornecer forças para seguir em frente e concluir este trabalho.

Ao professor e orientador Dr. Leonardo Theodoro Büll, pela dedicação, apoio, amizade e ensinamentos oferecidos durante a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Ciro Antônio Rosolem, pelos ensinamentos, por fornecer todo suporte e auxílio na realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Dirceu Maximino Fernandes, pelos ensinamentos, palavras de incentivo e auxílio para a realização do projeto.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônomicas pela oportunidade de realização do doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

Ao professor da North Carolina State University e coorientador Dr. Dean Hestenberg, pela dedicação, orientação, ensinamentos e conduta durante minha estadia no doutorado sanduíche em Raleigh, NC. Um ser humano incrível que tive a honra de poder trabalhar e conviver com sua amada família.

À Empresa Agronelli, pela doação das fontes estudadas.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agricultura da FCA/UNESP.

Aos funcionários da Pós-Graduação pelos serviços prestados.

Ao funcionário e grande amigo Pedrinho que caminhou ao meu lado, sempre presente, proativo e solícito, na maioria das vezes ele, eu e Deus no campo desenvolvendo a pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, por toda a ajuda e apoio. Aos funcionários do Departamento de Agricultura, que sempre me acolheram e auxiliaram sempre que solicitados.

Aos colegas e amigos da pós graduação Marco André, Elialdo, Aline, Luciana, Moniki, Tiara, Sílvia, João, Daivid, Itainara, Camila Abraão, Camila Pescatori, Camila Grassman, Lívia, Caio e Igor pela valiosa amizade.

Aos estagiários que me ajudaram condução do experimento, Bianca, Amanda, Luiz, Bruna, Vinícius pelo suporte durante o projeto.

Ao meu querido amigo Ronaldo Tadeu Felitti agradeço pelo tempo dedicado a me ouvir, me dar ombro amigo e me auxiliar a olhar a vida de vários espectros.

As companheiras de república que convivi durante toda a minha morada em Botucatu, Ana Cláudia, Thais, Debora, Jesaelen, Amandine, Joyce por todos ensinamentos, risadas, choros, tombos, brigas e principalmente pelo carinho, cuidado e amor vivido durante esses anos.

Aos membros da banca examinadora, pelas críticas e sugestões que agregarão meu trabalho.

Gostaria de expressar a minha eterna gratidão a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“Quando passares pelas águas eu serei contigo; quando, pelos rios, eles não te submergirão; quando passares pelo fogo, não te queimarás, nem a chama arderá em ti. Porque eu sou o Senhor teu Deus”. Isaías 43:2-3.

RESUMO

Uma das limitações no estabelecimento e na manutenção de pastagens nos solos tropicais consiste em baixos níveis de fósforo (P) disponível aliado ao alto custo dos fertilizantes fosfatados solúveis. Por isso a utilização de fontes alternativas como fosfatos naturais e resíduos tem ganhado espaço na agricultura. Assim, objetivou-se integrar métodos químicos e espectroscópicos para avaliar a dinâmica do P a longo prazo e o produto de reação de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de saturação por bases em um Latossolo Vermelho distrófico. O primeiro experimento foi conduzido a campo, em blocos ao acaso no esquema fatorial 3x5, com 4 repetições, totalizando-se 60 parcelas, com 30 m² cada. Os tratamentos foram compostos por quatro fontes de fertilizantes fosfatados: fosfato precipitado 1 (FP1), fosfato precipitado 2 (FP2), fosfato reativo (FNR) e superfosfato triplo (SFT), além do tratamento sem aplicação de fósforo e o outro fator correspondeu a 3 condições de acidez do solo, V% original, V% intermediário (45) e V% recomendado (60). Foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ correspondendo a uma única dose de cada fonte, de acordo com as recomendações para a cultura. Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O segundo experimento foi conduzido em laboratório simulando as mesmas condições de V% no campo sem a vegetação e foram realizadas análise espectroscopia de raio – X do P na borda K de absorção, pela linha de SXS do Laboratório Nacional de Luz e Síncrotron. No primeiro experimento as fontes alternativas proporcionaram altos índices de eficiência agrônômica (IEA) e alta produção de massa de matéria seca (MMS) da *Urochloa brizantha*. O FP1 promoveu melhores rendimentos de produção de MMS e maior IEA em condições de acidez intermediária sendo em geral superior a todas as outras fontes analisadas. A longo prazo as fontes FP2 e FNR proporcionaram rendimentos tão eficientes quanto as fontes SFT e FP1, demonstrando o potencial efeito residual da fonte FP2 em todas as condições de solo e a maior solubilidade que FP1 apresenta quando comparado a FP2. A diferença da IEA primeiros cortes foi expressa em valores maiores encontrados na FP1 e com o passar do cultivo a fonte FP2 foi a mais expressiva nos últimos cortes. No geral, as fontes testadas proporcionaram teores de fósforo maiores que o nível crítico específico para este solo, satisfazendo, portanto, a necessidade da cultura. No segundo experimento, os resultados de XANES apontaram para a predisposição de fósforo ligado ao Ferro, demonstrado pela

correlação entre as amostras e o padrão de Ferridrita, para ambos os tratamentos, em todas as fontes de P.

Palavras-chave: formas de fósforo; *Urochloa brizantha*; Latossolo Vermelho distrófico; XANES; fontes alternativas; fertilizantes fosfatados.

ABSTRACT

One of the limitations in establishing and maintaining pastures on tropical soils is low levels of available phosphorus coupled with the high cost of soluble phosphate fertilizers. Due to these factors the use of alternative sources such as natural phosphates and residues has gained space in agriculture. The objective of this study was to integrate chemical and spectroscopic methods to evaluate the long-term P dynamics and the reaction product of phosphate fertilizers under different soil saturation conditions in a Dystrophic Red Latosol (Oxisol), simulating different technical conditions in pasture areas. The first experiment was carried out in field, randomized blocks, in a 3x5 factorial scheme, with 4 replicates, totaling 60 plots, with 30 m² each. The treatments were composed of four sources of phosphate fertilizers: precipitated phosphate 1 (FP1), precipitated phosphate 2 (FP2), reactive phosphate and triple superphosphate, besides the treatment without application of phosphorus and the other factor corresponded to 3 acidity conditions, V % of soil, V% intermediate (45) and V% corrected (60). 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ corresponding to a single dose of each source was applied according to the recommendations for the culture. The data were submitted to the Tukey test at the 5% probability level. The second experiment was carried out in the laboratory simulating the same conditions of V% in the field without vegetation and spectroscopy analysis of X-ray of P at the K edge of absorption, by the SXS line of the National Laboratory of Light and Synchrotron. In the first experiment. The first experiment, the alternative sources provided high levels of agronomic efficiency (IEA) and high dry matter mass (DMS) production of *Urochloa brizantha*. The FP1 promoted better yields of production of MMS and higher IEA in conditions of intermediate acidity, being in general superior to all other sources analyzed. In the long term, the FP2 and FNR sources provided yields as efficient as the SFT and FP1 sources, demonstrating the potential residual effect of the FP2 source in all soil conditions and the higher solubility that FP1 presents when compared to FP2. The difference in the IEA in the first cuts was expressed in higher values found in FP1 and with the passage of cultivation, the FP2 source was the most expressive in the last cuts. In general, the tested sources provided phosphorus contents higher than the specific critical level for this soil, satisfying, therefore, the crop's need.

In the second experiment, the results of XANES pointed to the predisposition of phosphorus bound to Iron, demonstrated by the correlation between the samples and the Ferhydrite pattern, for both treatments, in all P sources.

Keywords: phosphorus forms; *Urochloa brizantha*; Dystrophic Red Latosol (Oxisol); XANES; alternative sources; phosphate fertilizers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Temperatura e precipitação média mensal no período entre meses de novembro de 2015 a dezembro de 2017.....	35
Figura 2 - Demonstração da área experimental.....	38
Figura 3 – Preparação das placas de petri para o experimento conduzido.....	39
Figura 4 – pH (CaCl ₂) em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.....	46
Figura 5 – Teor de Presina em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1ºcorte;(B) 2ºcorte;(C)3ºcorte;(D)4ºcorte;(E)5º corte;(F) 6ºcorte.....	50
Figura 6 - Teor de PLÁBIL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 4º corte.....	53
Figura 7 – Teor de PMODERADAMENTE LÁBIL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 4º corte.....	56
Figura 8 – Teor de P NÃO LÁBIL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 4º corte.....	57
Figura 9 – Teor de P GEOQUÍMICO em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 4º corte.....	59
Figura 10 - Teor de PBIOLÓGICO em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 4º corte.....	60
Figura 11 – Teor de PTOTAL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 4º corte.....	62
Figura 12 – Teor de Fósforo em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte.....	64

Figura 13 – Acúmulo de Fósforo em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte; (G) Total.....	66
Figura 14 – Acúmulo de Cálcio em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte.....	71
Figura 15 – Altura em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte.....	73
Figura 16 – Número de perfilhos em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte.....	76
Figura 17 – - Matéria Seca da Parte Aérea em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte; (G) Total.....	79 e 80
Figura 18 – Índice de eficiência agrônômica em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1º corte; (B) 2º corte; (C) 3º corte; (D) 4º corte; (E) 5º corte; (F) 6º corte; (G) Total.....	84
Figura 19 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo dos padrões em que o fósforo.....	87
Figura 20 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte FNR.....	89
Figura 21 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte SFT.....	89
Figura 22 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte FP1.....	90
Figura 23 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte FP2.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas e granulometria dos solos utilizados no experimento, coletados na camada de 0-20 cm de profundidade.....	34
Tabela 2 – Características químicas do solo dos tratamentos utilizados no experimento, antes de fazer a recomendação de calagem.....	35
Tabela 3 – Características físicas dos fertilizantes fosfatados.....	36
Tabela 4 – Composição granulométrica das fontes de fósforo utilizadas (%)	36
Tabela 5 – Análise de metal pesado para as fontes de fósforo utilizadas.....	37
Tabela 6 – Tratamentos utilizados no experimento.	37
Tabela 7 – Análise de Fósforo Total dos solos do experimento de placa de Petri.....	42
Tabela 8 – Distribuição relativa do fósforo estimada por meio do ajuste de combinação linear (LCF).....	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	Dinâmica e formas de fósforo em solos tropicais.....	23
2.2	Solubilidade e eficiência das fontes de fósforo	27
2.3	Adubação fosfatada em <i>Uroclhoa brizantha</i>	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Local de estudo.....	34
3.2	Fontes utilizadas no experimento.....	36
3.3	Delineamento experimental e tratamentos utilizados.....	37
3.4	Condução do experimento de campo.....	38
3.5	Condução do experimento em placa de Petri.....	39
3.6	Parâmetros avaliados no solo.....	40
3.6.1	Fracionamento de Fósforo.....	40
3.6.2	Determinação de espectros Xanes	42
3.7	Parâmetros avaliados na planta	43
3.7.1	Índice de Eficiência Agronômica (IEA).....	43
3.7.2	Análise Estatística	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	pH do solo.....	44
4.2	Teor de Fósforo no solo.....	47
4.3	Fracionamento de Fósforo.....	51
4.3.1	P lábil.....	51
4.3.2	P moderadamente lábil.....	54
4.3.3	P não lábil.....	56
4.3.4	P geoquímico.....	58
4.3.5	P biológico.....	59
4.3.6	P Total.....	61
4.4	Teor e Acúmulo de P na planta.....	62
4.5	Acúmulo de Ca na planta.....	68
4.6	Altura de planta.....	72
4.7	Número de perfilhos.....	74
4.8	Massa de matéria seca.....	77

4.9	Índice de eficiência agronômica.....	82
4.10	Determinação de espectros Xanes e P total	86
5	CONCLUSÃO.....	91
	REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

Uma das limitações no estabelecimento e na manutenção de pastagens nos solos tropicais consiste em baixos teores de fósforo (P) disponível no solo aliado a alto custo dos fertilizantes fosfatados. Pela dinâmica complexa do P no solo, principalmente por ser o macronutriente mais imóvel no solo, o manejo da adubação fosfatada é fundamental para favorecer a sua eficiência agrônômica. Devido a estes fatores a utilização de fontes alternativas como fosfatos naturais e resíduos tem ganhado espaço na agricultura.

Solos tropicais, devido ao elevado grau de intemperismo, são caracterizados por apresentar óxidos de ferro/alumínio e argilas do grupo da caulinita como principais constituintes da fração argila, e pela presença de cargas de superfície variáveis segundo a reação da solução do solo (VOLKSWEISS e RAIJ, 1977). Essas cargas variáveis retêm em sua superfície vários tipos de ânions, predominando íons fosfatos o que justifica o baixo teor de fósforo biodisponível. O fosfato é fixado nos óxidos e na caulinita pela adsorção específica nos sítios ácidos de Lewis (KAMPRATH, 1977; VOLKSWEISS e RAIJ, 1977; HEDLEY et al., 1990; NOVAIS et al., 1991).

As principais fontes de P utilizadas na agricultura são obtidas industrialmente pelo tratamento de rochas fosfáticas (RF) com ácidos que possuem elevada solubilidade em água, como os superfosfatos e os fosfatos de amônio. Nos solos tropicais agricultáveis, essas fontes têm rápida dissolução, favorecendo a interação do elemento com o solo e reduzindo a disponibilidade de P às plantas. Nos últimos anos, a utilização de fontes alternativas, como as RF em estado natural (fosfato natural), aumentou acentuadamente, embora esses produtos tenham baixa solubilidade em água quando comparados aos fosfatos solúveis (HOROWITZ; MEURER, 2003).

A produção de fertilizantes fosfatados gera resíduos, dentre os quais resultam materiais relativamente ricos em P, cujo aproveitamento não é possível pelos atuais métodos industriais, representando, portanto, um bem mineral não utilizado e um problema ambiental preocupante, devido aos grandes volumes envolvidos (SANDIM, 2016). Como a solubilidade é um dos fatores mais importantes relacionados à eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados, há a necessidade de criteriosa avaliação neste aspecto.

Novas fontes de fertilizantes fosfatadas necessitam de estudos agrônômicos, pois a reação destas com o solo precisam ser compreendidas, principalmente em

relação ao impacto da diminuição da solubilidade sobre a difusão e à disponibilidade do P em condições distintas de solo como a variação da saturação de bases.

Solos de regiões tropicais e subtropicais apresentam baixos índices de bases trocáveis e altas quantidades de alumínio e manganês (MALAVOLTA, 2006), o que eleva a acidez, caracterizando por solos com menores valores de pH. Quando o pH do solo é baixo, a disponibilidade de alguns nutrientes, principalmente o P é reduzida (ERNANI et al., 1996). A utilização de corretivos agrícolas melhora das propriedades químicas do solo, reduz as perdas por lixiviação (ROSSETTO et al. 2005), eleva o pH e favorece a atividade microbiana no solo, favorecendo a disponibilidade de P no solo.

A espectroscopia avançada tem sido uma ótima ferramenta para avaliação, identificação e quantificação de espécies e fases minerais dos nutrientes no solo (LOMBI, SUSINI, 2009; LOMBI, HETTIARACHCHI, SCHECKEL, 2011). Em solos ácidos, a identificação de minerais antes considerados pouco prováveis como P-Ca, se tornou possível com avaliação via Sincrotron por P K-edge XANES (BEAUCHEMIN et al., 2003).

Assim, tendo conhecimento dos processos e as reações entre as novas fontes fosfatadas e o solo é possível prever o desempenho agrônomo destas (McLAUGHLIN et al., 2011). São poucos os trabalhos desta natureza em solos de regiões tropicais, que integrem os mecanismos envolvidos na dissolução dos fertilizantes e difusão do P com o desempenho agrônomo.

Objetivou-se integrar métodos químicos e de espectrometria para avaliar a dinâmica do P a longo prazo e o produto de reação de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de saturação de bases em um Latossolo Vermelho distrófico, em diferentes condições de saturação por bases áreas de pastagem extensiva.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Dinâmica e formas de fósforo em solos tropicais

O fósforo (P) é um nutriente disponível em quantidade limitante para a produtividade das culturas, mesmo sendo requerido em pequenas quantidades pelas plantas, devido as interações deste com os constituintes do solo. Sua dinâmica atrelada às propriedades físico-químicas, mineralógicas do solo e a fatores climáticos que controlam a atividade dos microrganismos, causadores da imobilização ou disponibilidade dos íons fosfato (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Em solos altamente intemperizados, devido a condição de elevada eletropositividade e adsorção aniônica, menor capacidade de troca de cátions e redução da saturação de bases há dominância das formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente, e as formas inorgânicas de P ligadas aos minerais 1:1 e aos oxihidróxidos de Fe e Al com alta energia (MALAVOLTA, 1976; PARFITT, 1978; RAIJ, 1991; RICHTER; BABBAR, 1991), o que favorece o comportamento de dreno do solo que compete com a planta pelo P adicionado via fertilizante (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O P do solo pode ser dividido em duas grandes frações, sendo eles: fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) (DELGADO; TORRENT, 2000), dependendo da natureza do composto a que está ligado.

A fração do Pi é dividida em P dos minerais primários e o P adsorvido, compondo grupos de fosfatos inorgânicos formando diferentes compostos e com variável estabilidade química, podendo estar ligado na superfície dos oxihidróxidos de Fe e Al, formando-se complexos de esfera interna, onde não há interposição de moléculas de água entre os grupos funcionais de superfície e o íon fosfato (SPOSITO, 2008; TIECHER et al., 2012). Esta adsorção ocorre nos sítios ácidos de Lewis, onde os grupos OH e OH₂⁺ ligados mono e tricoordenadamente ao metal (Fe ou Al) são trocados pelo fosfato (NOVAIS; SMYTH, 1999). Também podem estar ligados aos grupos funcionais silanol e aluminol das arestas das argilas silicatadas e nos R-OH dos óxidos de Fe e Al, ou adsorvido à matéria orgânica do solo através de pontes de cátions (ANDRADE et al., 2003).

O P adicionado aos solos via adubação fosfatada gera acúmulo de P em frações inorgânicas e orgânicas, porém o acúmulo mais efetivo é o das frações inorgânicas (DAROUB et al., 2000). O P tende a sofrer reações químicas instantâneas

originando formas menos solúveis, A adsorção do P ocorre primeiramente nos sítios de menor labilidade e o P remanescente é redistribuído em formas retidas com menor energia e de maior disponibilidade para as plantas (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

A fração de Po constitui uma porção significativa do P total, variando de 15 a 80 % na maioria dos solos (MCGILL; COLE, 1981; STEVENSON 1994; CHEPKWONY et al., 2001; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003). Essa fração é de extrema importância para solos tropicais pois pode contribuir para a disponibilidade de P após a sua mineralização. As diferentes formas de Po no solo apresentam graus distintos de estabilidade, refletindo na sua disponibilidade, dando assim, a necessidade de caracterizar essas frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de P para as plantas (Machado et al., 1993).

A decomposição dos resíduos vegetais e da microbiota do solo contribuem para disponibilização desta forma de P (BROOKES; POWLSON; JENKINSON, 1984; CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2002; MARTINAZZO et al., 2007; GATIBONI et al., 2008). As principais formas são os fosfatos de inositol (10 a 80% do fósforo orgânico total), ácidos nucléicos (3%), os fosfolipídios (0,5 a 7%) e ésteres fosfato (>5%). Compostos como os ácidos nucléicos e fosfolipídios com ligação diéster, são facilmente mineralizáveis, enquanto os fosfatos monoésteres, como o fosfato de inositol, exibem ligações de alta energia, o que lhes atribui facilidade de interação com a fração inorgânica do solo, dificultando a mineralização (CELI et al., 1999; GIAVENO et al., 2010).

O P pode ser classificado quanto ao grau de estabilidade química e o abastecimento da solução do solo por formas o lábeis, moderadamente lábeis ou não-lábeis (RUSSELL, RUSSELL; MARAIS, 1957; LARSEN, 1967; GATIBONI et al., 2005; GATIBONI et al., 2007; PAVINATO, DAO; ROSOLEM, 2010). Sendo o nível de labilidade associado a mineralogia e textura do solo, devido ao grau de intemperização, o conteúdo de material orgânica do solo e pela atividade da microbiota do solo (WALKER; SYERS, 1976; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; GATIBONI et al., 2007).

A fração lábil é formada por compostos fosfatados capazes de retornar rapidamente à solução do solo, enquanto a não-lábil é caracterizada como a fração de íon fosfato que é retida com alta energia às partículas do solo, ocorrendo formação de complexos de esfera interna dos minerais de argila, impedindo o seu equilíbrio com

a solução do solo, fazendo com que esta fração deixe de ser disponível para as plantas (NOVAIS, 2007).

Quando o fertilizante fosfatado é adicionado ao solo, este solubilizando disponibilizará P para a solução do solo, em seguida inicia o processo de fixação, que na fase inicial é rápido e nada mais é que a remoção de P da solução do solo. Com o passar do tempo, o processo de fixação vai se tornando mais lento e envolve a adsorção, retenção de íons fosfato à superfície dos minerais 1:1, e aos óxidos Fe e Al da fração argila (CESSA et al., 2009), precipitação inorgânica e reações de imobilização orgânica deste (IGWE; ZAREI; STAHR, 2010).

As reações de troca de ligantes de grupamentos OH^- e OH^{2+} da superfície reativa dos óxidos, por HPO_4^{2-} da solução, formam ligações predominantemente covalentes exotérmicas (GOLDBERG; SPOSITO, 1985; PARFITT, 1978), sendo consideradas muito importantes na disponibilidade de fertilizantes fosfatados para as plantas ao longo do ciclo de crescimento (CARNEIRO et al., 2011).

Nos minerais de argila 1:1, tais como a caulinita, a adsorção de P está em função da superfície específica (SCHWERTMANN; HERBILLON, 1992), a presença de hematita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) nos solos determina menor adsorção de P do que solos com alta quantidade de goethita (αFeOOH), devido a baixa acessibilidade aos sítios de adsorção da hematita (COLOMBO; TORRENT, 1991).

Para compreender a dinâmica do P e devido a complexidade do seu comportamento no solo (Silva & Raij, 1999), dividi-lo em frações por meio do uso de soluções extratoras que estimam desde as formas lábeis até as recalcitrantes, sendo que uma mesma amostra sofre extrações sequenciais numa mesma amostra, e são usadas substâncias com capacidade crescente de extração do fósforo.

A primeira tentativa de fracionamento foi proposta em 1937 (Dean, 1937), pelo uso de extrações sequenciais álcali e ácido. Posteriormente, Chang & Jackson (1957) aperfeiçoaram o método, introduzindo outros extratores, com objetivo de separar as formas por eles identificadas como Pi-Al, Pi-Fe, Pi-Ca e Pi-Fe redutor. No entanto, esse procedimento pode apresentar problemas de interpretação dos resultados, pois ocorrem readsorção durante a extração e hidrólise do P orgânico (Rheinheimer et al., 2000).

O método mais utilizado atualmente tem sido o fracionamento proposto por Hedley et al. (1982), o qual demonstra que as frações orgânicas e inorgânicas de P no solo podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, dependendo das

suas características mineralógicas, das condições ambientais, da fertilização e do manejo do solo (Rotta, 2012).

O método de Hedley et al. (1982) é uma extração sequencial, em que, são adicionados extratores de menor à maior força de extração, os quais removem Pi e Po, das formas mais disponíveis às mais estáveis. Os extratores utilizados sequencialmente são: resina trocadora de aniônica (RTA), NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5; NaOH 0,1 mol L⁻¹; NaOH 0,1 mol L⁻¹ + ultrasonificação; HCl 1,0 mol L⁻¹ e; digestão com H_2SO_4 + H_2O_2 . Esta técnica vem sofrendo modificações para simplificar e facilitar seu uso, sendo uma delas realizada por Condrón et al., (1985) onde têm-se a substituição da extração com NaOH 0,1 mol L⁻¹ + ultrasonificação pela extração com NaOH 0,5 mol L⁻¹.

Frações de P extraídas no fracionamento de Hedley foram agrupadas por Cross & Schlesinger (1995) em grupos separados por força de ligações, os quais foram chamados de fósforo geoquímico (soma das frações inorgânicas com o P residual) e fósforo biológico (soma de todas as frações orgânicas). BROOKES e POWLSON (1982) sugerem à digestão com solução de MgCl_2 saturado, H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado e H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) concentrado após as extrações realizadas pelo método de Hedley modificado por Condrón et al. (1985).

Os extratos alcalinos, obtidos com as extrações por NaHCO_3 e NaOH 0,1 e 0,5 mol L⁻¹, são separados em duas alíquotas em que, em uma dessas alíquotas foi determinado o fósforo inorgânico (Pi) analisado pelo método de Dick & Tabatabai (1977) e o fósforo total por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971). O fósforo orgânico (Po) é obtido pela diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico. O fósforo dos extratos ácidos é determinado segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Gatiboni et al. (2013) sugere após cada extração centrifugar o solo com solução de NaCl 0,5 mol L⁻¹ após a retirada de cada extrato para evitar que o resíduo do extrator anterior esteja presente nas extrações seguintes.

As formas de P são agrupadas em: P lábil (Pi-RTA + Pi-BIC + PBIC), moderadamente lábil P (Pi-HID 0.1 + Po-HID 0.1 + Pi-HID 0.5 + Po-HID 0.5), P não-lábil (Pi-HCl + P-RES), geoquímicos (soma de todas as formas PI), biológicos (soma de todas as formas Po) e o total de compartimentos P (soma de todas as formas Pi e Po).

Para solos tropicais utilizando esse método de fracionamento as maiores proporções de P têm sido encontradas nas extrações com NaOH, provavelmente devido à forte relação desta fração com a presença de óxidos de ferro e alumínio, caulinita e matéria orgânica (ARAÚJO & SALCEDO, 1997; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001; CONTE et al., 2003).

2.2 Solubilidade e eficiência das fontes de fósforo

Os fertilizantes fosfatados minerais são oriundos de depósitos de rochas ígneas (15%) e de rochas sedimentares (85%) (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004), e são extraídos via mineração, pelo tratamento das rochas com o ácido sulfúrico. As duas principais fontes de adubação fosfatada variam de acordo com sua solubilidade: fosfatos naturais reativos e fosfatos acidulados (considerados totalmente solúveis).

As fontes industrializadas de maior solubilidade são o superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônio (MAP) e fosfato diamônio (DAP) (BOLAN; WHITE; HEDLEY, 1990; NOVAIS et al., 2007; CHIEN et al., 2011), e são as mais utilizadas na agricultura brasileira ocasionada pela rápida liberação de quantidades de P as plantas em um curto espaço de tempo (ALVAREZ; ARRUDA; WUTKE, 1965; LOPES; SILVA; BASTOS, 2004).

As fontes solúveis têm sua solubilidade afetada em solos tropicais, que são ácidos com elevada CTC e ricos em oxidroxidos de Fe e Al, determinando elevados sítios de adsorção do P e este tendendo a reações químicas instantâneas originando formas menos solúveis.

Para que a eficiência agrônômica das fontes seja melhorada é necessário fazer um manejo eficiente por meio da aplicação de calagem adequada para o solo, aplicação destas em forma de grânulo e localizada (em sulcos) o que diminui a superfície de contato com o solo (LOPES & GUILHERME, 2000). A calagem realizada antes da aplicação de fontes solúveis de P implica na elevação do valor do pH e conseqüentemente os sítios de adsorção do fosfato é ligado ao Ca adicionado, funcionando como dreno favorecendo a redução da adsorção de $H_2PO_4^-$, diminuindo o fator capacidade P do solo (NOVAIS et al., 2007; LOPES, 1998; LOPES & GUILHERME, 2000; RAIJ et al., 1982; MALAVOLTA, & ROMERO, 1975). E a relação tempo/superfície de contato do fertilizante com o solo Novais et al. (2007) relatam que quanto maior tempo e superfície de contato solo-fonte solúvel gera uma menor

disponibilidade de P-lábil, a imediata presença do P na solução segue preferencialmente a rota não lábil.

A forma de aplicação também é um fator que implica no uso eficiente de fósforo Goedert et al. (1986) sugerem que as fontes solúveis quando adicionadas em solos intemperizados devem ser aplicadas de forma localizada, usando material granulado, sendo mais adequada de obtenção de respostas rápidas (cultivos anuais, produtividades anuais de cultivos perenes), porém a manutenção das respostas ao longo dos anos depende de fontes pouco solúveis. Alguns autores como Corrêa et al. (2005) sugerem que uma boa solução prática para contornar a cinética c (dreno-P pelo solo) seria utilizar solos com menor FCP que são, arenosos, com alta CTC, alta MO e pouco intemperizados, ou aplicar o fertilizante fosfatado de forma localizada em solos com alta FCP. Lopes et al. (1982) generalizam para pastagens e eucalipto que a correta compatibilização das fontes de fósforo é a utilização de fontes solúveis como arranque e fontes naturais (FNs) como manutenção, pois a planta necessita de P no início do arranque de crescimento.

Em solos ácidos há suprimento de prótons que é imprescindível para os FNs menos reativos, insolúveis em água, para desencadear o processo de dissolução (NOVAIS et al., 2007; GORDERT & LOBATO, 1980). O manejo adequado dos FN visa aumentar o dreno de P em favor da planta e o de Ca em favor do solo mantendo uma continuidade no processo de solubilização bem como a formação de formas disponíveis de P as plantas. Novais (2007) reforça que a intensificação do dreno Ca-solo (maior CTC) significa diminuição do dreno P-solo (adsorção de P) ou do fator capacidade P do solo (FCP). Porém tanto o dreno para a planta ou para o solo de ambos os nutrientes aceleram os processos de solubilização (CORRÊA, 2005).

A acidez necessária à dissolução do FN pode, também, ser suprida pela planta e pelos microrganismos rizosféricos. Uma planta pode ser fonte de prótons, ao acidificar sua rizosfera, bem mais que outra, como também pode ser dreno de P e de Ca, com grandezas variáveis entre genótipos (NOVAIS et al. 2007). Plantas com suprimento de N de fontes amoniacais ou fixação biológica apresentam valores de pH na rizosfera de até duas unidades inferiores ao pH do solo não rizosférico (solo entre as raízes), o que aliado a grande absorção de P e Ca pela soja produziram excelentes resultados encontrados por Goedert et al. (1976), citados por Raij et al. (2004), para fosfatos de baixa reatividade, como o de Araxá. Novais et al. (2007), completam que há grande diferença entre ser a fonte de acidez o solo ou a planta visto que a

acidificação da rizosfera pela planta deverá ter como consequência a dissolução do FN e favorecimento da própria planta, ao passo que a acidificação do solo, principalmente na ausência de raízes, teria o próprio solo como dreno.

O maior tempo de contato solo-fosfato causa uma maior solubilidade de FN, porém acarreta em menor disponibilidade de P às plantas (Novais et al., 1980; Rajan et al., 1996 citados por Novais et al. 2007). Novais et al. (1980), incubaram diferentes solos com doses de fosfato de Araxá 0,5, 1,0 e 2,0 vezes a capacidade máxima de adsorção de P do solo- CMAP, em diferentes épocas (0, 73, 133, 253 dias antes do plantio).

Segundo Novais (2007) o FN é estável e pouco reativo então se a demanda de absorção for maior que a dissolução do FN esse fosfato não irá suprir a planta no tempo necessário, para diminuir este fator pode-se aumentar o ciclo da planta pelo uso de culturas perenes ou semi perenes de modo que o P requerido seja absorvido em um período maior. Outra opção seria aumentar a solubilização (oferta) tanto pelo aumento da acidez (solo ou rizosfera) quanto pelo aumento do dreno- P e dreno- Ca (alta CTC). O aumento da acidez implicaria em utilização de espécies tolerantes a acidez e pouco exigentes em cálcio (manter o solo como alto dreno de Ca). O aumento do dreno P teria que ser a utilização de solos com alto FCP (intemperizados, argilosos com grande capacidade máxima de adsorção de P). A utilização de solos com alto FCP prejudicaria o dreno P da planta, pois a cinética de P para o solo (adsorção) é superior a cinética de P para a planta (absorção). Portanto o que resta é a utilização de solos com baixo FCP (pouca ocorrência no Brasil) ou aplicação de fertilizantes fosfatados de forma localizada contornando assim a cinética de dreno de P para o solo.

2.3 Adubação fosfatada em *Uroclhoa brizantha*

As espécies forrageiras do gênero *Uroclhoa* ocupam cerca de 70 a 80% da área de pastagem cultivada no Brasil (VALLE et al, 2001), a *Uroclhoa brizantha* é amplamente utilizadas em áreas de cerrado destinadas à atividade pecuária.

A *Uroclhoa brizantha* cv. Marandu é recomendado para regiões com solos de média a alta fertilidade (OLIVEIRA et al., 2000), devido a suas características de adaptação a solos de baixa fertilidade, resistência à cigarrinha das pastagens, elevada produtividade quando devidamente adubada e manejada (ANDRADE, 2003). Vilela et

al. (2004) relatam boas respostas a adubação fosfatada com produção média de 25 tonMS/ha/ano, extraíndo cerca de 13,5 kg/ha/ano de fósforo.

A principal causa da baixa produtividade em solos tropicais é devido ao manejo inadequado de implantação da cultura e de manutenção, principalmente em relação a correção do solo e disponibilidade de P, sendo este considerado o nutriente mais importante na formação de pastagens em solos da região do Cerrado (VILELA et al., 2002).

O P é um importante nutriente na nutrição das gramíneas forrageiras (VELOSO et al., 2005), O fósforo desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas, se tornando um fator fundamental no aumento da produtividade das forrageiras (SANTOS et al., 2002). A baixa disponibilidade de nutrientes na exploração da pastagem é um dos fatores que mais interferem tanto no nível de produtividade e qualidade da forragem (SANTOS et al., 2006).

A diminuição do P disponível está associada com um decréscimo na produção de biomassa da gramínea forrageira, normalmente, levando à degradação da pastagem devido ao aumento do percentual de invasoras ocasionado pelo solo escasso e sem cobertura (DIAS FILHO, 1998).

A deficiência de P nos solos de cerrado é generalizada, o que dificulta acentuadamente o estabelecimento e a produção das pastagens cultivadas (Gomide 1986, Corrêa et al. 1996). Para a correção dessa deficiência é imprescindível o manejo correto da calagem e a adição de fontes de fósforo de acordo com recomendações para a região.

As fontes solúveis que são mais eficientes, mas têm custo elevado devido ao processo de industrialização, além de que parte do P nestas fontes está sujeita à fixação no solo, reduzindo a sua disponibilidade às plantas. Outras fontes alternativas estão sendo utilizada com os fosfatos naturais, que possuem efeito residual e os fosfatos parcialmente acidulados, que podem fornecer inicialmente uma fonte solúvel de P e, ao mesmo tempo, conservar características desejáveis, custo menor e efeito residual maior (Fenster & Leon 1982).

Lima et al (2007) relatam que a aplicação do fósforo pelas três fontes como superfosfato triplo (ST), hiperfosfato natural de Gafsa (HG) e fosfato natural reativo (FP) em Latossolo Vermelho Amarelo com saturação de base a 45 e dose de fósforo recomendada de 90 kg ha^{-1} P₂O₅ promoveu incremento significativo da produção

média de matéria seca, em relação à testemunha, sem aplicação de fósforo, resultou em 131,3 kg ha⁻¹, obtiveram-se produções de 4.840 kg ha⁻¹ para a fonte ST, 2.193 kg ha⁻¹ para a HG, e 2.908 kg ha⁻¹ para a FP. Destacando-se, assim, a importância da adubação fosfatada para o estabelecimento de pastagens de *B.brizantha* cv. Marandu em cerrado.

No mesmo estudo Lima et al. (2007) constata que o capim Marandu apresenta resposta crescente ao aumento na dose de P₂O₅, aplicada na forma de superfosfato triplo, sendo que as doses de 120 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ propiciam maiores produções de massa de matéria seca.

A adubação fosfatada é fundamental para o bom estabelecimento do capim Marandu, o que ficou demonstrado pela produção de massa de matéria seca significativamente superior dos tratamentos adubados em relação à testemunha (sem P) e teve maior produção no tratamento que se utilizou fontes solúveis de P (LIMA et al., 2017).

As braquiárias são consideradas eficientes na utilização do P disponível do solo, não requerendo mais do que 45 kg de P₂O₅/ha (Barcellos et al. 2011) conseguem vegetar em solos com baixos teores de P disponível, o nível crítico de P para *U. brizantha* chega a 20 kg de P₂O₅/ha (BARCELLOS et al., 2007).

Mesmo o gênero *Urochloa* considerada espécies pouco exigentes em P, elas necessitam do P para que a pastagem seja estabelecida. Corrêa (1991) estudou níveis críticos de P para o estabelecimento de *B. decumbens* e *B. brizantha* e do capim-colonião a campo, e destacou-se como menos exigente em P para o seu estabelecimento a *B. decumbens*, seguido pelo capim-colonião e a *B. brizantha*, que dentre as gramíneas estudadas foi a mais exigente em P.

Estudo dos efeitos das fontes de P, calcário e gesso sobre a produção de matéria seca e o perfilhamento da *B. brizantha* cv. Marandu, em um Latossolo na região de Campo das Vertentes, MG, relatam que na ausência de P a produção total de MS da parte aérea e do sistema radicular foi muito baixa, demonstrando semelhanças a outros estudos utilizando a mesma espécie forrageira e solo, onde a omissão de P reduziu em 98% a produção total de MS da parte aérea (BARCELLOS et al., 2007). Por meio desses resultados, pode-se observar a limitação severa de P nesse solo e que a adubação com este nutriente é condição necessária para o estabelecimento e a produção de *U. brizantha*. O que gerou ausência no perfilhamento no primeiro corte.

Barcellos et al. (2007) relatam que a omissão dos elementos minerais, que mais limitava o perfilhamento de *B. brizantha*, foram, em ordem decrescente, P, N e S, comprovando que um adequado suprimento de P no solo é essencial para o rápido e eficiente estabelecimento das pastagens, diante do importante papel que este nutriente desempenha no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas.

As *Urochloa* são importantes cicladoras de nutrientes e podem ser capazes de aumentar a eficiência de utilização de P a partir de algumas estratégias, como maior crescimento de raízes (JANEGITZ et al., 2017); manutenção do P na forma solúvel por mais tempo, via liberação de ácidos orgânicos (citrato, malato e oxalato) que competem com os ortofosfatos pelos sítios de adsorção e minimizam a fixação (PAVINATO et al., 2009); presença de carreadores específicos e de alta afinidade pelos íons fosfato (NANAMORI et al., 2004) e aumento da atividade da fosfatase ácida; mobilização de formas menos disponíveis de P (CALONEGO; ROSOLEM, 2013; JANEGITZ et al., 2013; ROSOLEM et al., 2014; JANEGITZ et al., 2017).

Outro mecanismo para o aumento na produtividade seria a dissolução de formas de P ligado ao Fe e Ca do solo, com posterior liberação em formas mais lábeis (ROSOLEM et al., 2015).

JANEGITZ et al., 2017 em estudos comparativos entre espécies de *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *U. humidicola* avaliando a habilidade dessas espécies em absorver P, bem como sua capacidade em atuar sobre a disponibilidade deste no solo observou que aumenta a disponibilidade de P extraído com resina e altera o pH do solo cultivado. Das espécies estudadas, *U. ruziziensis* é a que apresentou maior habilidade de ciclagem e potencial de disponibilização futura de P no solo, devido à maior absorção do nutriente.

Experimento conduzido a campo por Sandim (2016) utilizando a *Urochloa brizantha*, testando fontes de fósforo como fosfato precipitado 1 (FP1), fosfato precipitado 2 (FP2), fosfato reativo e superfosfato triplo, em 3 condições de acidez, original do solo, intermediário e corrigido, verificou boa resposta a IEA que as fontes alternativas proporcionaram e alta produção de massa de matéria seca do capim marandu. As fontes testadas proporcionaram teores de fósforo maiores que o nível crítico específico para o Latossolo vermelho distrófico, satisfazendo a necessidade *U. brizantha*.

A maioria dos estudos que demonstram que as *Urochloas* disponibilizam e ciclam o P são utilizados a *U.ruziziensis* e a *U. decumbens* poucos empregam a *U. brizantha*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O experimento vem sendo conduzido em campo desde abril de 2013, na área pertencente à Fazenda Experimental Lageado, junto à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, situada no município de Botucatu/SP, latitude 22°51'S, longitude 48°26'W e altitude de 740m. Segundo critérios utilizados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006), o solo do local é caracterizado como LATOSSOLO Vermelho distrófico, textura argilosa, cujas características químicas e físicas são representadas na Tabela 1.

O clima de Botucatu é classificado como Cfa, segundo o método de Köppen, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com deficiência hídrica nos meses de abril, julho e agosto, e período chuvoso nos meses de primavera-verão, apresentando precipitação pluvial média anual de 1.428 mm. A temperatura média anual é de 20,5°C, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

A cultura estudada é a *Urochloa brizantha* cv Marandu, e anteriormente no trabalho de Sandim (2016) foram efetuados quatro cortes e 4 coletas de solo, para continuação do estudo, foi coletado solo de cada parcela experimental e realizada a análise químicas antes de efetuar a aplicação das doses de calcário estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 – Características químicas e física do solo utilizados no experimento, coletados na camada de 0-20 cm de profundidade.

	pH	MO	P ^b	H+	K	C	M	S	CT	V	Are	Argil	Silt
	CaCl ₂	g	mgdm ⁻³	Al		a	g	B	C	%	ia	a	e
Solo		dm ⁻³		-----mmol _c dm ⁻³ -----							----- (g kg ⁻¹)-----		
Argilo so	4,0	33	5	76	2, 1	7	3	12	89	14	360	510	130

^apH em CaCl₂; Matéria orgânica (MO); ^bFósforo extraído pela resina trocadora de íons

A Figura 1 apresenta os dados de temperatura e precipitação referentes ao período de avaliação deste estudo, que foram coletados na estação meteorológica da

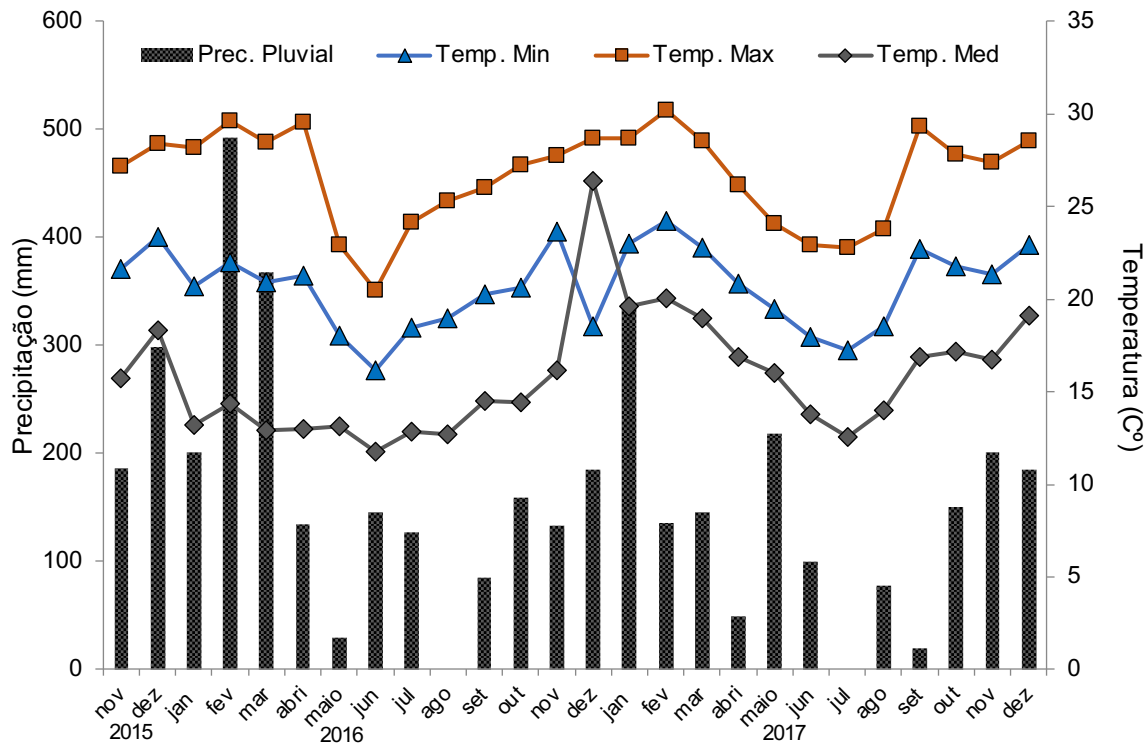
Faculdade de Ciências Agrônômicas se encontram relacionados ao período de condução do ensaio, referente aos meses de novembro de 2015 a dezembro de 2017.

Tabela 2 – Características químicas do solo dos tratamentos utilizados no experimento, antes de fazer a recomendação de calagem.

		pH	M.O.	P _{res}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	C	V%	S
		CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	----- mmol _c /dm ³ -----								mg/dm ³
Original	Control	3,9	30	3	16	126	0,5	6	3	10	136	7	60
Intermed*	Control	4,8	27	3	2	51	0,8	19	17	37	88	41	56
Corrigido	Control	4,7	30	3	3	59	0,6	21	16	38	97	39	53
Original	FP2 ⁽¹⁾	3,9	27	8	15	134	0,8	10	5	15	149	11	65
Intermed*	FP2 ⁽¹⁾	4,5	29	8	3	72	0,6	19	14	34	106	32	47
Corrigido	FP2 ⁽¹⁾	4,6	31	6	2	61	0,6	17	12	30	90	32	40
Original	FP1 ⁽¹⁾	4,0	29	4	12	115	0,6	12	6	18	134	15	59
Intermed*	FP1 ⁽¹⁾	4,4	27	5	7	86	0,7	19	10	30	117	28	64
Corrigido	FP1 ⁽¹⁾	4,7	26	6	3	57	0,5	22	15	37	95	40	56
Original	FNR ⁽¹⁾	4,0	29	3	13	110	0,8	10	5	16	126	13	47
Intermed*	FNR ⁽¹⁾	4,3	25	3	5	77	0,5	17	11	28	105	27	48
Corrigido	FNR ⁽¹⁾	4,6	27	4	4	68	1,3	22	16	39	107	37	53
Original	STF ⁽¹⁾	3,8	26	4	20	130	0,5	5	2	8	138	6	68
Intermed*	STF ⁽¹⁾	4,4	27	8	5	74	0,5	18	15	34	108	32	59
Corrigido	STF ⁽¹⁾	4,6	26	3	3	69	0,4	20	15	35	104	34	56

⁽¹⁾FP1: Fosfato Precipitado 1; FP2: Fosfato Precipitado 2; FNR: Fosfato Reativo e SFT: Super Fosfato Triplo. *Intermediário.

Figura 1 – Temperatura e precipitação média mensal no período entre meses de novembro de 2015 a dezembro de 2017.



3.2 Fontes utilizadas no experimento

As fontes de fertilizantes fosfatados utilizadas no experimento foram dois rejeitos da produção de fertilizantes fosfatados, fosfato precipitado 1 (FP1) e fosfato precipitado 2 (FP2), comparados ao superfosfato triplo (STF), além de um fosfato natural reativo (FNR) de origem sedimentar e orgânico, formado pela deposição e posterior decomposição de restos de animais marinhos.

Tabela 3 – Características dos fertilizantes fosfatados.

	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Ag	K ₂ O	S-SO ₄	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Fontes	-T	-AC	CNA	-									
	----- % -----												
FP1	9	2,6	3,5	0,00	0,00	3,60	24,76	0,23	0,00	1,05	0,03	0,05	0,08
FP2	14	6	11,7	0,00	0,00	2,50	15,00	0,34	0,01	3,29	0,08	0,08	0,07
FNR	29	7	5,8	0,00	0,04	2,36	32,60	0,33	0,02	0,39	0,00	0,06	0,09
SFT	48	17	45,1	37,34		4,40	13,10	0,26	0,02	1,79	0,07	0,08	0,02
						0,00							

T – Total; AC – Ácido Cítrico a 2% Rel-1:100; CNA – Citrato neutro de amônio+água; Ag – água

A amostragem e determinação das características dos materiais fosfatados seguiram metodologia descrita em Laboratório Nacional de Referência Vegetal - LANARV (BRASIL, 1983), e foram realizadas no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP de Botucatu, SP (Tabelas 3 e 4). Os teores dos metais pesados como o Ni, Cd, Cr, Pb e Hg (tabela 5), foram determinados, sendo a extração realizada com DTPA, seguindo a mesma metodologia para micronutrientes catiônicos, proposta por Raij et al. (2001). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de emissão em plasma induzida em argônio (ICP/AES) e em espectrofotômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente.

Tabela 4 – Composição granulométrica das fontes de fósforo utilizadas (%).

Fontes ⁽¹⁾	Material passante peneira de 4mm ⁽²⁾	Material passante peneira de 1mm ⁽³⁾
FP1	100	99,26
FP2	88,43	58,17
FNR	100	99
SFT	74,63	6,35

⁽¹⁾FP1: Fosfato Precipitado 1; FP2: Fosfato Precipitado 2; FNR: Fosfato Reativo e SFT: Super Fosfato Triplo. ⁽²⁾ABNT 5; ⁽³⁾ABNT 18.

Tabela 5 – Análise de metal pesado para as fontes de fósforo utilizadas.

Fertilizante	As	Ba	Cd	Pb	Co	Cr	Hg	Mo	Ni	Se
FP1	24,55	98,6	0,65	2,15	<0.32	7,9	<3	<0,4	4,1	<4.7
FP2	12,3	71,6	1,55	1,4	<0.32	17,55	<3	<0,4	14,5	<4.7
FNR	4,7	62,25	27,05	2,6	<0.32	129,05	<3	4,63	9,7	<4.7
STF	42,5	299,57	0,53	4,57	<0.32	6,1	<3	1,07	14,17	<4.7

3.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 5, com 4 repetições, totalizando-se 60 parcelas, com 30 m² cada. Os tratamentos foram compostos por quatro fontes de fertilizantes fosfatados: fosfato precipitado 1 (FP1), fosfato precipitado 2 (FP2), fosfato natural reativo (FNR) e superfosfato triplo (SFT), além do tratamento sem aplicação de fósforo. O outro fator correspondeu a 3 condições de acidez, V% original do solo, V% intermediário (45) e V% corrigido (60) (Tabela 6). A recomendação de adubação fosfatada utilizada foi de 100 kg ha⁻¹ de

P₂O₅ correspondendo a uma única dose de cada fonte, de acordo com as recomendações para a cultura, (RAIJ et al., 1997).

Tabela 6 – Tratamentos utilizados no experimento.

Fontes		V (%)
Fosfato Precipitado 1 (FP1)	x	original, intermediário e corrigido
Fosfato Precipitado 2 (FP2)	x	original, intermediário e corrigido
Fosfato Natural Reativo	x	original, intermediário e corrigido
Superfosfato Triplo	x	original, intermediário e corrigido
Controle	x	original, intermediário e corrigido

3.4 Condução do experimento de campo

Inicialmente a *Urochloa brizantha* cv Marandu enquadrada no grupo II (WERNER,1996), presente no experimento foi dessecada, após o dessecamento foi realizado o preparo convencional na área (aração/gradagem) das unidades experimentais (60 parcelas) de 30m² cada. Após o preparo da área foi realizada a calagem, respeitando as doses de calcário para cada condição específica de V% (original, 45 e 60 V%), correspondentes a 0, 2,8 e 4,3 t ha⁻¹, respectivamente, com calcário dolomítico, incorporados à camada de 20 cm, esse procedimento se iniciou em 01 de novembro de 2015.

A aplicação dos fertilizantes foi realizada a lanço 45 dias após a aplicação do calcário de acordo com as recomendações para a cultura, descritas no Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997) e, após uma semana da aplicação das fontes e chuva posterior, a área foi semeada. As plântulas emergiram dia 16 de dezembro de 2015.

A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após a emergência das plantas com sulfato de amônio na dose de 40 kg ha⁻¹ de N, de acordo com as recomendações para a cultura, (RAIJ et al., 1997). Após a quarta colheita, as fontes de fósforo foram reaplicadas a lanço na mesma dosagem aplicada no início do experimento.

A colheita foi efetuada 60 dias após rebrota de cada ciclo na época das águas e no período da seca 120 dias após rebrota, devido à escassez de água e menores temperaturas.

Figura 2 – Demonstração da área experimental.



3.5 Condução do experimento em placa de Petri

Um experimento de incubação foi conduzido em placas de petri, com procedimentos semelhantes aos adotados por Lombi et al. (2004), Lombi et al. (2006), Hettiarachchi et al. (2008) e Silva (2012), com o objetivo de simular as condições do experimento conduzido no campo, para avaliar o comportamento do P no solo.

Para se obter a densidade desejada na placa de petri, $1,2 \text{ mg m}^{-3}$, a amostra de solo foi colocada em vasilhame de plástico e com homogeneização constante, adicionou-se água deionizada com auxílio de um borrifador para atingir 8,5% de umidade (m/m). Sendo assim, 85 g do solo úmido foi acondicionado em cada placa de petri de 86 mm de diâmetro, em seguida adicionado água necessário para atingir 60% da CMRA (Capacidade máxima de retenção de água).

As placas de Petri foram etiquetadas, tampadas, vedadas com filme plástico e recobertas com papel alumínio evitando variações na umidade e o contato com a luz. As placas ficaram incubadas em uma BOD, com temperatura de $24 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas assegurando a distribuição uniforme da água por meio do solo contido na placa de petri. Após esse procedimento os recipientes foram abertos e os fertilizantes utilizados no experimento de campo foram adicionados no centro das placas (tabela 3). Em cada placa de petri foi adicionado 8,8 mg de P (FIGURA 3).

Após a adição dos fertilizantes as placas foram tampadas, vedadas e recobertas e na sequência ficaram incubadas por cinco semanas, período adotado devido a absorção de uma quantidade suficiente de P ocorrer nesse período para a maioria das culturas de interesse econômico, sendo este um fator crítico para a cultura expressar seu máximo potencial produtivo (WILLIAMS, 1984). Nesse período o sistema radicular da maioria das culturas é pequeno e relativamente ineficiente,

ocasionando que a disponibilidade de P seja um fator bem crítico, além de permitir a comparação com o resultado de outras pesquisas que adotaram o mesmo período de incubação.

Ao final da incubação as placas de petri foram abertas para a amostragem do solo, na forma de anéis concêntricos com sessões circulares de diâmetro igual a 27 mm iniciando pela região central da placa, onde os fertilizantes foram adicionados, em seguida as amostras foram passadas em moinho de bola para determinação dos espectros de XANES e análise de P total (BROOKES & POWLSON, 1982).

Figura 3 – Preparação das placas de petri para o experimento conduzido.



3.6 Parâmetros avaliados no solo

Foram realizadas amostragens de solo na profundidade de 0-20 cm em cada parcela experimental, sendo as coletas realizadas ao final de cada ciclo de crescimento das plantas, no momento da colheita. As amostras foram secas ao ar, seguindo-se do peneiramento das mesmas em malha de 2 mm, sendo em seguida acondicionadas para posterior análise no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP de Botucatu. Foram determinados os seguintes parâmetros: pH em CaCl_2 , matéria orgânica, Presina, K, Ca, Mg e S trocáveis e, calculada a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%), além dos teores de micronutrientes, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.6.1 Fracionamento de fósforo

Nos solos coletados na primeira e na quarta amostragem foram realizadas a análise do fracionamento de P para avaliar como as fontes de P reagiram no início da aplicação destas e na quarta coleta de solo antes da reaplicação das fontes, de acordo com as modificações propostas por Condon e Goh (1989), Gatiboni (2003) e Souza (2017) sobre o método descrito por Hedley et al. (1982).

No fracionamento do fósforo são usados extratores que estimam desde as formas lábeis até as recalcitrantes, sendo que uma mesma amostra sofre extrações sequenciais, usando substâncias com capacidade crescente de extração do fósforo.

Cross & Schlesinger (1995) agruparam as frações de P extraídas no fracionamento de Hedley em grupos separados por força de ligações, especificamente dois grupos, os quais foram chamados de fósforo geoquímico (soma das frações inorgânicas com o P residual) e fósforo biológico (soma de todas as frações orgânicas). Os dados do fracionamento apresentados neste trabalho foram agrupados nos dois grupos citados e de acordo com as forças de ligação: P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil.

Amostras em triplicata de 0,5g de solo de cada tratamento foram acondicionados em tubos falcon e submetidos à seguinte sequência de extração: resina de troca aniônica, RTA; bicarbonato de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (NaHCO_3) com pH corrigido para 8,5; hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ($\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$); ácido clorídrico 1 mol L^{-1} (HCl); hidróxido de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$). Após as extrações, o solo foi seco em estufa a 50°C , moído em cápsula de porcelana onde 0,1 g desse solo foi submetido à digestão com solução de MgCl_2 saturado, H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado e H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) concentrado utilizando a técnica descrita por BROOKES e POWLSON (1982).

Os extratos alcalinos, obtidos com as extrações por NaHCO_3 e $\text{NaOH } 0,1$ e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, foram separados em duas alíquotas em que, em uma dessas alíquotas foi determinado o fósforo inorgânico (Pi) analisado pelo método de Dick & Tabatabai (1977) e o fósforo total por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971). O fósforo orgânico (Po) é obtido pela diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico. O fósforo dos extratos ácidos foi determinado segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Para evitar o resíduo do extrator anterior nas extrações seguintes, o solo foi centrifugado com solução de $\text{NaCl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ após a retirada de cada extrato, conforme foi descrito por Gatiboni et al. (2013). As determinações dos teores de P foram realizadas com espectrofotômetro e a soma de todas as frações extraídas na análise de fracionamento foi identificada por P TOTAL.

As formas de P foram agrupadas em: P lábil ($\text{Pi-RTA} + \text{Pi-BIC} + \text{PBIC}$), moderadamente lábil P ($\text{Pi-HID } 0.1 + \text{Po-HID } 0.1 + \text{Pi-HID } 0.5 + \text{Po-HID } 0.5$), P não-lábil ($\text{Pi-HCl} + \text{P-RES}$), geoquímicos (soma de todas as formas PI), biológicos (soma

de todas as formas P_o) e o total de compartimentos P (soma de todas as formas P_i e P_o).

3.6.2 Determinação de espectros Xanes

Solos oriundos do experimento de placa de petri foram analisados por espectros por espectroscopia de absorção de raios-x próxima à borda (XANES).

Os espectros XANES foram obtidos na linha de luz SXS do Laboratório Nacional de Luz Sincrotron (LNLS) em Campinas-SP.

A linha de luz foi calibrada na energia do pico de absorção de referência (E_0) da borda K do P em 2151 eV. A detecção foi em módulo de fluorescência, com energia variando de 2120 a 2220 eV. Os dados XANES foram coletados com diferentes tamanhos de passo: 1,0 eV entre 2120-2148 eV; de 0,1 eV entre 2149-2160 eV; 0,5 eV entre 2161eV-2175 eV; e 1,0 eV entre 2176-2220 eV.

Apesar do solo apresentar elevado teor de P, comparado aos de ambientes naturais, o teor de P total na amostra (Tabela 7) são considerados baixos para o melhor desempenho dessa técnica, o que resultou em alguns espectros com a relação sinal/ruído baixa. Portanto, cada espectro XANES foi o resultado da fusão de 12 varreduras. A linha de luz é equipada com um monocromador consistindo em um cristal de Si (111) duplo e o anel de armazenamento de elétrons foi operado a 1,37 GeV, com uma faixa de corrente de cerca de 110-300 mA.

Tabela 7 – Análise de fósforo total dos solos do experimento de placa de Petri.

	Fonte	Diâmetro	P mg.dm ⁻³
Original	STF	27 mm	999
Intermediário	STF	27 mm	985
Corrigido	STF	27 mm	1004
Original	FNR	27 mm	897
Intermediário	FNR	27 mm	761
Corrigido	FNR	27 mm	779
Original	FP1	27 mm	767
Intermediário	FP1	27 mm	771
Corrigido	FP1	27 mm	913
Original	FP2	27 mm	771
Intermediário	FP2	27 mm	778
Corrigido	FP2	27 mm	758

Os dados obtidos foram trabalhados no software ATHENA (Ravel e Newville, 2005). Para determinar a proporção de cada espécie de P nas amostras de solo,

utilizou-se a ferramenta Linear Combination Fit (LCF), tomando o intervalo de -7 a 25 eV do valor de E_0 para análise. O critério para escolher o melhor ajuste foi o menor valor do Fator-R, sendo que apenas os padrões que melhor se ajustaram são aqueles mais prováveis de existirem nas amostras de solo.

3.7 Parâmetros avaliados na planta

Consideramos seis ciclos de crescimento para a cultura, sendo cada ciclo de aproximadamente 60 dias de crescimento após a emergência e/ou rebroto, no período das águas e no período crítico de seca. Em cada corte foi avaliado os parâmetros de produção: altura do dossel de plantas, número de folhas e número de perfilhos. Para a amostragem da disponibilidade total da pastagem, foram lançados 2 quadrados (0,5m × 0,5m casualmente), por parcela e todo material contido foi cortado rente ao solo, aproximadamente a 5 cm do solo, conforme descrito por McMeniman (1997).

Para determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes foram coletadas a parte aérea das plantas, em cada parcela, totalizando 4 amostragens (ao final de cada ciclo e momento da colheita). As folhas submetidas à lavagem rápida com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 – 70 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Considerando os resultados de cada corte foi determinado o acúmulo de P, obtido por meio do produto entre o teor de P e a produção de massa seca nos respectivos componentes da planta.

3.7.1 Índice de Eficiência Agrônômica (IEA)

O IEA foi calculado com base no diferencial de produção obtido entre os fosfatos em teste e o superfosfato triplo, considerando-se tanto a produção média de matéria seca da parte aérea como a quantidade de fósforo acumulado pela parte aérea (Büll et al., 1997).

$$\text{IEA} = \frac{(\text{Produção com fosfato testado} - \text{produção sem P}) \times 100}{(\text{Produção com super triplo} - \text{produção sem P})}$$

3.7.2 Análise estatística

Os dados foram analisados pelo PROC UNIVARIATE para avaliar a normalidade e as variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (teste F), através PROC

MIXED do SAS, versão 9.0 (SAS, 2002), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificadas diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade para solos em relação ao valor de pH, teor de P e fracionamento de P e para as variáveis estudadas na planta como altura, número de perfilho, teor e acúmulo de P, acúmulo de Ca e massa de matéria seca da parte aérea.

4.1 pH do solo

Ao comparar os tratamentos, verifica-se que para a variável pH do solo, ocorreu interação significativa entre os níveis de V% e fontes de P adicionadas ao solo no primeiro corte. E ao analisar isoladamente os fatores nota-se diferença entre as fontes de fósforo e nos demais cortes as doses de calcário aplicadas promoveram diferença significativa (Figura 4), mesmo fato não foi relatado e demonstrado por Sandim (2016) em fase de implantação do experimento.

Nota-se aumento do pH inicial do solo conforme há o aumento da saturação de bases, devido à maior dose de corretivo utilizada, o que era esperado já que, sabe-se que existe correlação positiva entre o aumento do V% e o pH do solo, corroborando com Sandim (2016).

Verificou-se logo após a colheita das plantas o pH do solo diminuiu, sendo determinados, logo após o primeiro corte, pH em CaCl_2 3,8, no tratamento onde a condição de V% era a original do solo ou aproximadamente 7%, tratamento este em que não foi realizada a correção da acidez e conseqüentemente sem adição de calcário antes da aplicação das fontes de P e da semeadura da *Urochloa*.

Ainda no primeiro corte verificamos que no tratamento com o V% de 45, condição intermediária, a fonte solúvel SFT apresentou maior valor de pH 4,31 e diferiu das fontes FP1 e FP2 que apresentaram valores 4,09 e 4,04, na condição de V% corrigido ou 60%, recomendado para cultura, tanto a fonte solúvel quanto o FP2 foram as fontes que obtiveram maiores valores pH 5,22 e 5,31 seguidas da FP1 que obteve valor de 4,68, do FNR com 4,51 e do controle com valor de pH 4,03 o mais baixo encontrado nesse corte.

A partir do segundo corte até o último avaliado, as doses de calcário aplicadas promoveram diferença significativa sendo que foram encontrados pH mais elevados nos tratamentos que receberam maior dose de calcário. Após o segundo, quarto e

quinto corte das plantas, verifica que os tratamentos onde houve correção da acidez na dose recomendada para a cultura e na dose intermediária os valores não diferiram entre si, se diferenciando apenas do controle. Sendo que no solo corrigido e intermediários para os valores de pH para o segundo, quarto e quinto corte são 4,93 e 4,8, 4,98 e 4,85, 5,05 e 4,86, na sequência, e os valores do controle para o segundo, quarto e quinto corte são 4,12, 4,25 e 4,11.

No terceiro e no sexto corte o solo corrigido apresentou maior valor do pH 4,99 e 5,09, respectivamente, diferindo das doses intermediárias no terceiro e sexto corte, com valores de pH de 4,65 e 4,6, nessa ordem, que diferem do tratamento onde não recebeu adição de calcário apresentando valores de pH de 3,96 e 3,8, respectivamente.

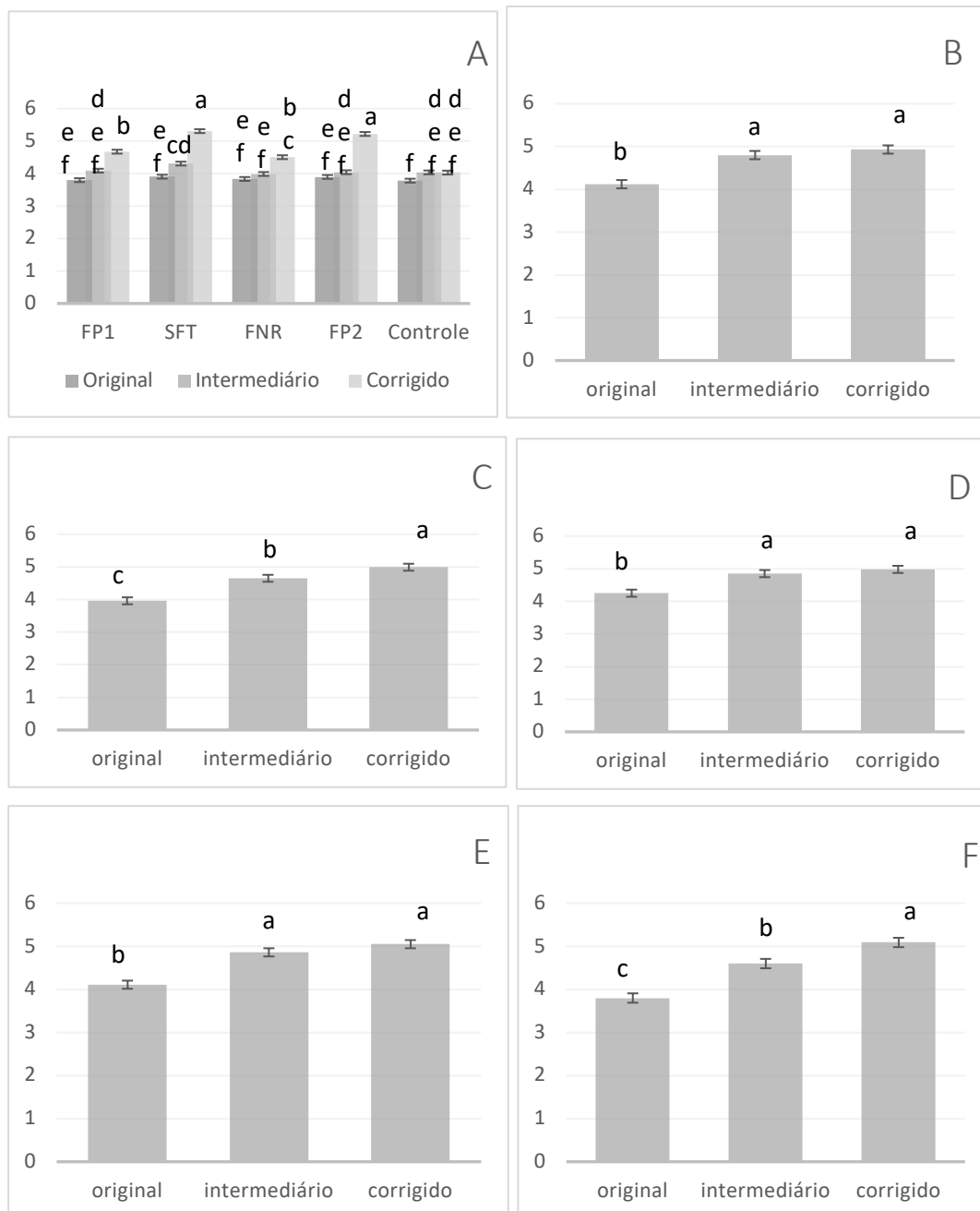
Observou-se que o pH do solo não variou desde o primeiro corte, como ocorreu na implantação da cultura por Sandim (2016) que verificou uma condição de solo ácido conforme foi efetuando os cortes. Essa pouca variação se deve ao equilíbrio do experimento que já estava implantado e o sistema solo-planta já estar em um certo equilíbrio. Os valores de pH não se elevaram tanto mesmo onde houve correção da acidez devido ao a aplicação do sulfato de amônio, utilizados em cobertura a cada corte e possivelmente devido à atividade da fosfatase ácida presente na rizosfera da *Urochloa* (CALONEGO; ROSOLEM, 2013; JANEGITZ et al., 2013; ROSOLEM et al., 2014) que contribuíram para a diminuição do pH do solo.

Janegitz et al., 2018 em estudos comparativos entre espécies de *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *U. humidicola* avaliando a habilidade dessas espécies em absorver P, bem como sua capacidade em atuar sobre a disponibilidade deste no solo observou que aumenta a disponibilidade de P extraído com resina e altera o pH do solo cultivado sendo que as *U. brizantha* e e a *U. humidicola* apresentaram menores valores de pH, que se assemelham aos encontrados nos resultados, quando comparadas a *U. decumbens* e *U. ruziziensis*.

O pH do solo é um fator importante a ser considerado para a produtividade agrícola pois exerce influência direta no desenvolvimento das plantas, sendo que a acidez dos solos está entre os fatores que mais limitam o crescimento das plantas em solos tropicais (Reddy & Dunn, 1987; Sandim 2016). Em condições de acidez elevada como foi o caso de alguns tratamentos onde não houve adição de calcário, em pH caracterizado ácido, há predominância de fosfatos de ferro e alumínio (LINDSAY et

al., 1989; JAYACHANDRAN et al., 1989), como consequência, a adsorção de P é maior com baixos valores de pH.

Figura 4 – pH (CaCl₂) em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.



As espécies *Urochloas* são muito utilizadas como espécies de cobertura por produzir uma quantidade interessante de matéria seca e têm proporcionado aumentos

da concentração de ácidos orgânicos na camada superficial do solo, fator que pode beneficiar a ação da calagem pela liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, durante a decomposição dos resíduos vegetais (Franchini et al, 2001; Janegitz et al, 2017). Esses compostos são capazes de complexar o Al tóxico e aumentar a mobilidade dos produtos originados da dissolução do calcário no perfil do solo além da dissolução de formas de P ligado ao Fe e Ca do solo, com posterior liberação em formas mais lábeis (ROSOLEM et al., 2015) que ocasiona aumento na produtividade.

Alguns trabalhos verificam que a redução da saturação por bases e do pH parece não afeta a produção de biomassa da *Urochloa* (GOMES et al., 1997; PRADO 1999; ROSOLEM et al., 2015; JANEGITZ et al., 2018), possivelmente devido ao ambiente onde ocorre grande retorno de material orgânico na superfície do solo, pode haver neutralização do alumínio trocável por complexação com moléculas orgânicas (MIYASAWA et al., 1993; PEIXOTO et al., 1997).

Contudo as espécies do gênero *Urochloa* tem sido indicada como forrageira de grande potencialidade para o cultivo pois possui características interessantes como capacidade de vegetar satisfatoriamente em solos ácidos e de baixa fertilidade característicos de região do cerrado (Ruiz et al., 1995; Souza Filho et al., 1992; Simão Neto et al., 1995).

4.2 Teor de P no solo

Ao estudar isoladamente a variável teor de P no solo, observa-se interação entre as doses no primeiro corte e entre as fontes de fósforo do segundo ao quinto corte realizado, verifica-se que no sexto corte não ocorreu interação significativa entre os níveis de V% e fontes de P adicionadas ao solo (Figura 5).

Observa-se que o P disponível no solo foi elevado de maneira expressiva com a aplicação das fontes de fósforo quando comparado ao tratamento controle com maior disponibilidade do elemento onde houve correção da acidez em todas as épocas de determinação. Em geral tanto a fonte solúvel como as fontes alternativas de fosfato, com exceção do fosfato natural reativo (FNR), puderam satisfazer a exigência mínima de P, acima do considerado teor crítico de P ($9,44 \text{ mg dm}^{-3}$) para este tipo de solo onde foi conduzido o experimento no primeiro, segundo, quarto e quinto corte. No terceiro e quinto corte observa-se uma acidez do solo mais acentuada que nos demais, por isso a FNR disponibilizou em todos os tipos de correção do solo valores de P superiores ao teor crítico corroborando Foloni et al., 2008 que observou

aumento expressivo do P disponível no solo com a aplicação do fosfato natural, apresentando ajustes lineares de acordo com o aumento das doses de fosforita.

Após o quarto corte, as fontes de fósforo foram reaplicadas e seguiram a mesma tendência verificada nos primeiros cortes, onde a fonte menos solúvel disponibilizou menor teor de P resina no quinto corte, sendo similar ao primeiro, melhorando a disponibilidade a partir do sexto corte como foi verificado no segundo corte.

No primeiro corte a dose de calcário aplicada interferiu significativamente no teor de P resina observado, no tratamento em que o solo recebeu a maior dose aplicada, $10,56 \text{ mg dm}^{-3}$, seguido do intermediário, com $8,38 \text{ mg dm}^{-3}$ e do solo com acidez original, $4,88 \text{ mg dm}^{-3}$. Esse fato é esperado pois é o efeito da calagem realizada antes da aplicação de fontes solúveis de P que ao que implica na elevação do pH e consequentemente os sítios de adsorção do fosfato é ligado ao Ca adicionado, funcionando como dreno favorecendo a redução da adsorção de H_2PO_4^- , diminuindo o fator capacidade P do solo (Novais et al., 2007; Lopes, 1998; Lopes & Guilherme, 2000; Raji et al., 1982; Malavolta, & Romero, 1975) ocasionando maior disponibilidade de fósforo, e sendo no primeiro corte o efeito da aplicação do calcário ainda estava bem expressiva.

Do segundo corte até o quinto as fontes de fósforo aplicadas se diferiram significativamente. Sendo que no segundo corte as fontes que obtiveram maiores valores de P resina foi a fonte alternativa FP1 com 12 mg dm^{-3} , seguido da fonte solúvel o SFT com $9,7 \text{ mg dm}^{-3}$ e a outra fonte alternativa o FP2 se assemelhando da fonte solúvel testada com valor de P resina de $9,18 \text{ mg dm}^{-3}$, demonstrando que as fontes alternativas apresentam P resina superior ou semelhante a fonte solúvel testada. O FNR disponibilizou o menor valor de P resina 7 mg dm^{-3} dentre as fontes testadas seguida do controle com $4,7 \text{ mg dm}^{-3}$.

No terceiro corte as fontes mais expressivas foram a FP1 com 18, FP2 com 17,93 e STF com 15,96 mg dm^{-3} elas tiveram comportamento similar não diferindo estatisticamente entre elas. Já o FNR obteve 11 mg dm^{-3} sendo menor que as fontes acima e maior que o controle 6,53 mg dm^{-3} .

No quarto corte as fontes FP1 e FP2 foram as que obtiveram valores superiores de P quando comparado as demais fontes, 11 e 14,63 mg dm^{-3} respectivamente, não se diferenciando estatisticamente. Seguidas das fontes SFT e FNR que tiveram valores de P resina semelhantes, sendo 9,54 e 9,26 mg dm^{-3} respectivamente, todas

se diferenciando do controle que obteve valor de $4,08 \text{ mg dm}^{-3}$. O fato dos teores de P resina ter tido uma diminuída quando comparado com o terceiro corte se deve pela diminuição do pH como pode ser observado na figura 4.

No quinto corte as fontes tanto as fontes alternativas quanto a fonte solúvel não diferiram, e apresentaram maiores valores, a FP2 com 12,01, a SFT com 11,29 e a FP1 com 11 mg dm^{-3} , seguidos pelo FNR com 5,43 e controle com $4,63 \text{ mg dm}^{-3}$. Esse resultado pode ser pelo fato de reaplicarmos as fontes logo após o quarto corte e pelo fato do pH ter diminuído em relação ao primeiro corte, fator que favorece a adsorção de P.

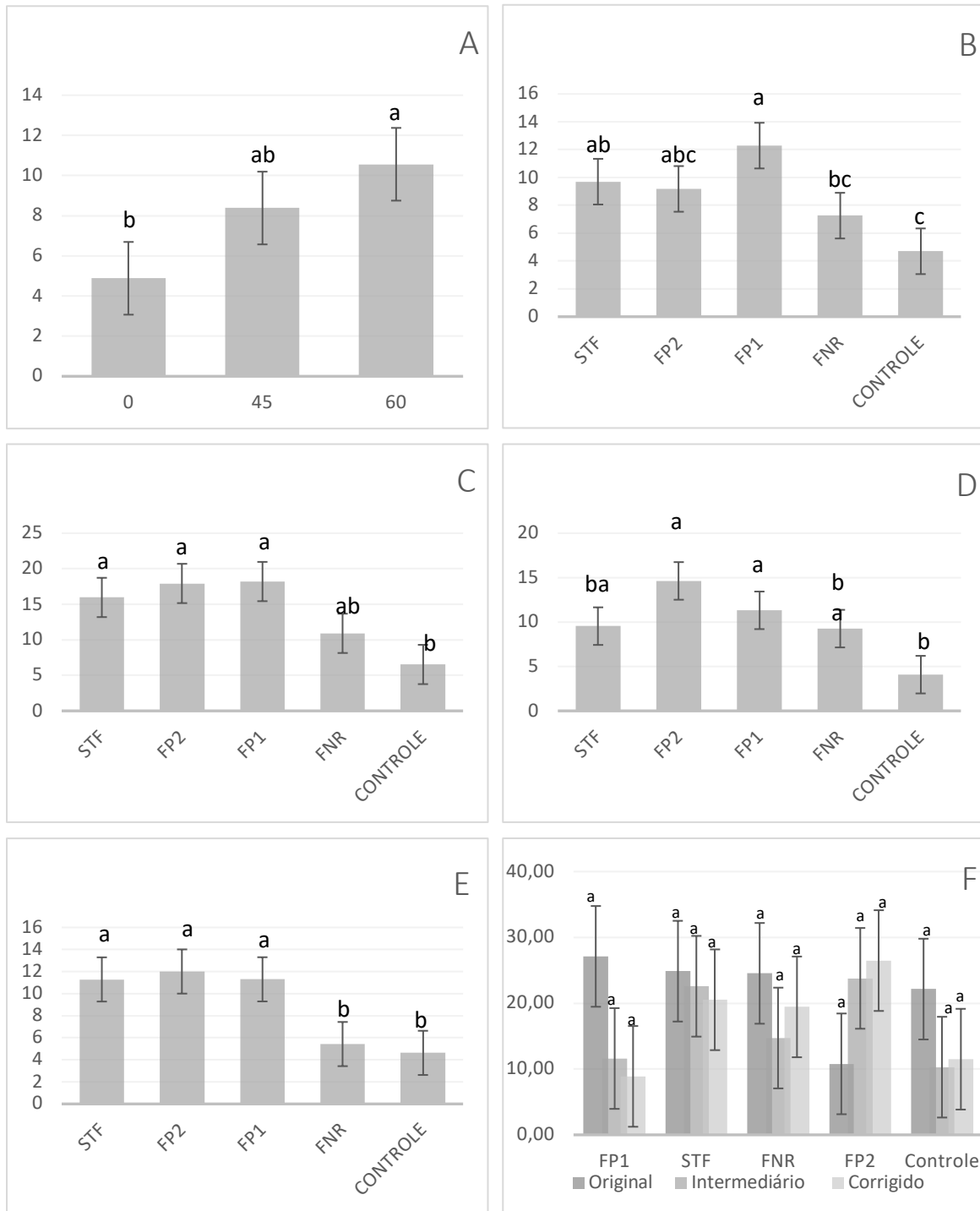
No sexto e último corte avaliado as fontes e doses não diferiram entre si estatisticamente apresentando valores de P resina no solo corrigido de FP2 com 26,48, o SFT 20,52, o FNR 19,44, controle 11,5 e FP1 $8,88 \text{ mg dm}^{-3}$. No solo onde a correção foi intermediária as fontes expressam valores de FP2 com 23,78, SFT com 22,58, FNR com 14,71, FP1 com 11,6 e controle com $10,29 \text{ mg dm}^{-3}$. E em condição de acidez original o FP1 apresentou 27,11 seguido de SFT com 24,87, FNR com 24,54, controle com 22,14 e por fim o FP2 com $10,79 \text{ mg dm}^{-3}$.

É notório que plantas de cobertura do gênero *Uroclhoa* são consideradas plantas mais eficientes na recuperação do P disponível do solo pois tem a capacidade de vegetar em solos com baixos teores de P disponível. Porém, para a implantação da cultura é necessário a disponibilidade de fósforo na fase inicial e quando em condições de média a alta concentração de P na solução do solo, há aumento da produção de massa de matéria seca como afirmam Oliveira et al. (2007) que concluíram que a baixa disponibilidade do P é um dos fatores mais restritivos para a pecuária, uma vez que as plantas forrageiras podem ser muito exigentes em P, em virtude de uma maior produção de biomassa, conseqüente à maior extração e exportação desse nutriente.

Os fosfatos naturais são fertilizantes que liberam o P para a solução do solo de uma forma lenta diferindo das fontes solúveis que disponibilizam o P prontamente para a solução do solo. Fosfatos naturais apresentam efeito residual de fósforo o que faz com que sejam mais eficientes para cultivos de plantas perenes, como as forrageiras que não necessitam de elevados teores de P disponível num curto espaço de tempo. Entretanto na fase de estabelecimento da pastagem os fosfatos são menos eficientes devido a liberação lenta sendo indicado principalmente para manutenção das

pastagens e na fase de formação da pastagem é interessante utilizar fontes que solubilizam P para disponibilizar mais esse nutriente as gramíneas.

Figura 5 – Teor de Presina em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.



Observa-se que para as condições do experimento as fontes alternativas FP1 e FP2 proporcionaram em média os maiores teores de P disponível no solo quando comparada às demais e inclusive se assemelhando à fonte de referência superfosfato triplo (SFT).

Observa-se também que a fonte alternativa FP1 proporcionou inicialmente, ou seja, logo após o primeiro corte, os maiores teores de P disponível, 42,68 mg dm⁻³ no solo em condições em que não houve correção da acidez. Posteriormente nos demais cortes, essa mesma fonte foi a que proporcionou os maiores teores de P disponível, com maiores concentrações em condições de acidez elevada ou intermediária. Em condições de acidez corrigida esta mesma fonte foi superior às demais apenas no segundo corte e posteriormente se manteve semelhante ao SFT e à fonte FP2. Este comportamento é explicado pela maior solubilidade desta fonte em condições em que o pH é ácido além de apresentar efeito residual maior que as demais, já que houve maior liberação de P pela mesma após todos os cortes realizados, o que sugere ser uma fonte com características adequadas para utilização em pastagens, cultura perene que geralmente são cultivadas em condições de baixa fertilidade e altos níveis de acidez.

4.3 Fracionamento de fósforo

4.3.1 P - lábil

O P lábil obtido neste trabalho é composto pelo fósforo inorgânico disponível que é estimado pelos extratores RTA e bicarbonato - NaHCO₃ - (Pi-RTA e Pi-Bic), este último extrator também estima o fósforo orgânico (PoBic). Esses extratores extraem formas de P lábeis que contribuem ativamente no suprimento de P para as plantas (Gatiboni et al., 2007).

Há relatos de que os fosfatos extraídos pela RTA e pelo bicarbonato de sódio correspondem à mesma forma de P no solo, o P lábil em equilíbrio com o P da solução do solo (GONÇALVES; MEURER, 2009; BLAKE et al., 2003; REDEL et al., 2007; PAVINATO et al., 2009, SANDIM, 2016), e por isso essas frações extraídas no método de fracionamento foram analisadas juntamente.

Observa-se que houve interação fatores fonte de fósforo e condições de V% do solo após o primeiro corte das plantas e no quarto houve apenas interação entre as fontes. Nota-se que, houve maior concentração de fósforo lábil no primeiro corte, logo

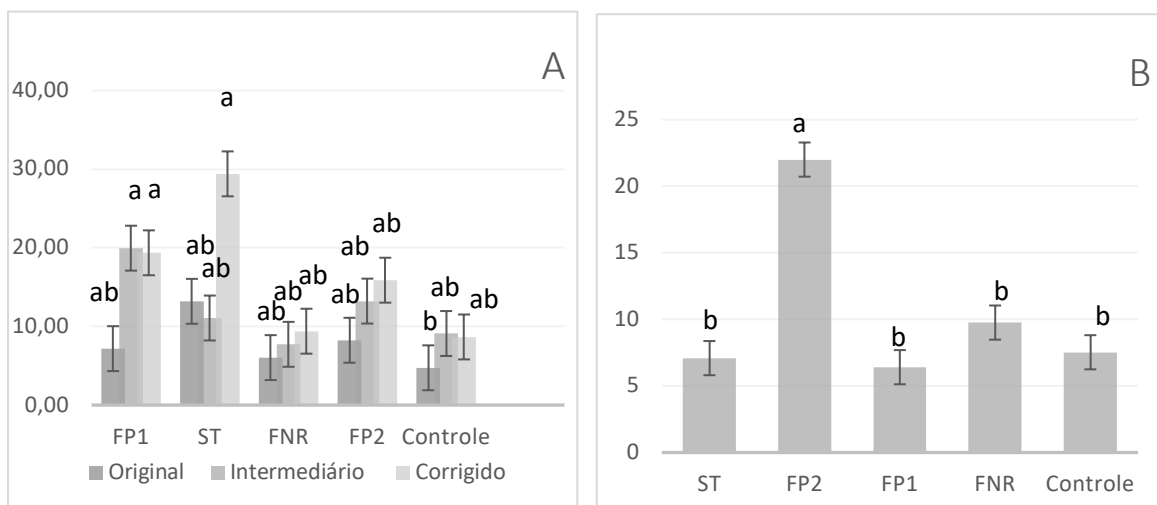
após a aplicação das fontes (adubação de implantação) na fase inicial do que na última fase antes de reaplicar as fontes, quarto corte (Figura 6).

Observa-se que na condição de solo da primeira coleta, mesmo em condições de solo corrigido e intermediário as fontes que mais disponibilizam P lábil foram a SFT (29,42mg dm⁻³) a FP1 (19,37 mg dm⁻³), está também disponibilizando doses elevadas no solo onde a correção foi intermediária (19,96 mg dm⁻³). As demais fontes, independente do tipo de correção efetuada no solo não se diferiram entre si, todas se diferiram do controle que na condição de solo ácido foi o menor teor de P encontrado (4,47 mg dm⁻³).

Em condição de solo corrigido, condição ideal para o desenvolvimento da *Uroclhoa brizantha* a fonte STF obteve maior valor de P lábil 29,42 mg dm⁻³, seguido por FP2, FP1 e FNR, este não se diferenciando do controle, com valores de 19,37, 15,89, 9,4 e 8,67mg dm³ respectivamente.

Já na quarta coleta do solo houve interação entre as fontes sendo que a fonte FP2 obteve maior o maior valor de P lábil 22 mg dm⁻³ diferenciando das demais fontes aplicadas e do controle com valor de 7,53mg dm⁻³, FNR, SFT e FP1 com respectivos valores 9,76, 7,09, e 6,41 mg dm⁻³.

Figura 6 – Teor de PLÁBIL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 4o corte.



Em relação ao solo cuja textura é argilosa, observa-se em condições de pH ácido maior disponibilidade do P-lábil advinda da fonte de referência SFT e da fonte alternativa FP1 e é explicado devido a solubilidade das fontes em função do pH, sendo que a fonte FP1 se assemelha aos resultados da fonte solúvel. No quarto corte, devido

ao efeito de acidificação do pH as fontes ST e FP1 obtiveram menores valores quanto comparada com a fonte alternativa FP2. Novais & Smyth (1999) afirmam que em solos mais argilosos ocorre uma maior quantidade de sítios ácidos de Lewis, favorecendo assim a adsorção de P que, inicialmente, aumenta os teores de P lábil. No entanto, com o tempo de contato, o P passa para formas de menor labilidade.

Sandim (2016) em experimento testando o mesmo solo estudado em experimento de placa de Petri, relata o mesmo comportamento das fontes em relação ao pH, sendo que em condições de pH corrigido a fonte de referência também proporcionou os maiores teores de P no solo (733 mg dm⁻³), seguida também pela fonte alternativa FP1 que proporcionou (341 mg dm⁻³). A autora relata ter obtido maiores teores de P-lábil neste solo pode ser explicado porque este apresenta maior teor de matéria orgânica suficiente para a mineralização e conseqüente aumento do P-org. O P orgânico pode se constituir em uma importante fonte desse nutriente às plantas através de sua mineralização. Essa mineralização é mediada pelas fosfatases, enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel, que são produzidas pelas plantas e microrganismos do solo, e suas atividades podem ser influenciadas pelos diferentes atributos dos solos (NAHAS et al., 1994).

Com a elevação do pH nas condições de correção intermediária e corrigida para a cultura melhorou as condições químicas do solo, contribuindo para o aumento da mineralização da matéria orgânica (MOS) favorecendo o aumento do P orgânico (P-org) extraído pelo extrator NaHCO₃.

Pela função na disponibilidade para as plantas das frações inorgânicas e orgânicas extraídas por bicarbonato, alguns autores sugerem que essas formas fossem incluídas como parâmetros de disponibilidade de fósforo em sistemas com baixa disponibilidade e baixa adição de fertilizantes (Adepetu & Corey (1979), Sharpley et al. (1987), Tiessen et al. (1993), Guerra et al. (1996) e Maroko et al. (1999)) devido a contribuição do P orgânico no sistema solo-planta.

Trabalhos com sistemas de manejo que visam a manutenção e aumento do teor de matéria orgânica no solo, que contribuem significativamente na disponibilidade de P e determinação da produtividade das culturas (SIMPSON, 2012) relatam a maior participação do P orgânico no P total do solo (Condrón et al., 2005). Com a adição de fertilizantes fosfatados, quando este entra em contato com o solo e suas esferas há o acúmulo de fósforo em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, sendo que o acúmulo das formas inorgânicas seja mais relevante.

4.3.2 P moderadamente lábil

Na sequência do fracionamento de Hedley, o terceiro extrator, o NaOH 0,1 mol L⁻¹ extrai formas inorgânicas e orgânicas de fósforo que não foram acessadas pela RTA e pelo bicarbonato. Nessa parte uma porção do nutriente ligado ao ferro e alumínio nos colóides é hidrolisado (FIXEN; GROVE, 1990), assim o fósforo inorgânico é extraído pelos ânions OH⁻ da solução extratora. Assim como a extração do Pi a extração do Po pelo NaOH também ocorre por ação dos ânions OH⁻, que provocam a hidrólise parcial dos compostos orgânicos (Dalal, 1977).

Na extração anterior as formas inorgânicas lábeis já foram retiradas pelos extratores, o fósforo extraído por NaOH é de labilidade intermediária e provavelmente é aquele que está associado aos colóides inorgânicos, principalmente os óxidos e caulinita, em ligações do tipo monodentado e bidentado (Sandim, 2016), e o fósforo orgânico extraído por NaOH pode ser das formas monoéster, diéster, fosfonatos e polifosfatos (Tate & Newman, 1982). A fração que corresponde ao P moderadamente lábil é representada pela soma do P obtido pelos extratores hidróxido de sódio a 0.1 mol L⁻¹ e a 0,5 mol L⁻¹ para o fósforo orgânico e inorgânico.

Os teores de P moderadamente lábil foram influenciados pelas condições de pH e fontes de fósforo aplicadas no solo tanto no primeiro corte quanto no quarto corte avaliado (Figura 7).

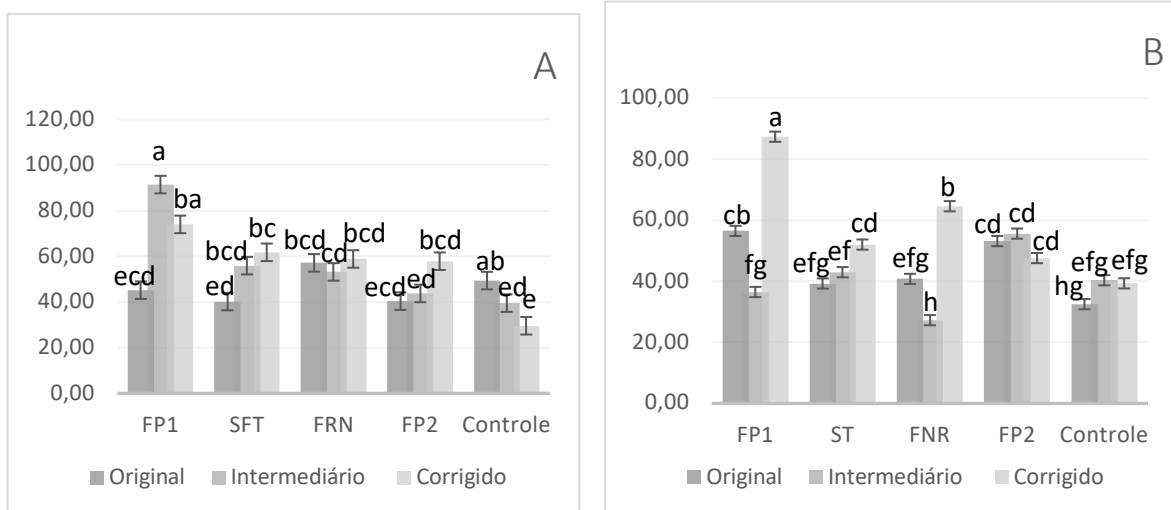
Observa-se que no primeiro corte, em condição em que não recebeu aplicação de calcário o FNR foi a fonte que apresentou maior teor 57,17 mg dm⁻³ seguido pelo controle, FP1, FP2 e SFT respectivamente com valores 49,41, 45,2, 40,4, 40,23 mg dm⁻³. No tratamento intermediário o FP1 obteve o maior teor de P moderadamente lábil quando comparadas as outras fontes apresentando valor de 91,44 mg dm⁻³ seguido pelo SFT, FNR, FP2 e controle com valores 55,95, 53,2, 43,78 e 39,53 mg dm⁻³.

Onde houve correção da acidez adequada a fonte FP1 apresentou maior teor de P moderadamente lábil com 74,01 mg dm⁻³ seguido das fontes em ordem decrescente do SFT, FRN e FP2 que não se diferenciam entre si, e o controle, sendo 61,78, 58,87 e 57,89, e 29,61 respectivamente. Olibone e Rosolem (2010) relatam resultados semelhantes, mesmo tendo um diferente método de fracionamento de P,

notaram que fração de P ligado ao Fe foi maior com a aplicação de SFT do que fosfato natural. Importante salientar que o pH ácido confere maior solubilidade a esta fonte, já que é conhecido a maior eficiência agrônômica de fosfatos naturais em condições de pH ácido.

No quarto corte avaliado no tratamento com o pH original observa-se FP1 obteve maior valor, 56,49 mg dm⁻³, seguido FP2, FNR e ST, que não se diferenciam, e controle que demonstra o menor valor encontrado, com valores de 53,15, 40,77 e 39,27, e 32,51 mg dm⁻³ respectivamente. No tratamento intermediário os maiores valores de P moderadamente lábil em ordem do maior para o menor é pelas fontes FP2, STF, controle, FP1 e FNR com valores de 55,59, 42,97, 40,33, 36,48 e 27,27 mg dm⁻³. No solo corrigido observa-se que a fonte alternativa FP1 obteve maior valor seguida do FNR, do SFT, do FP2 e controle com 87,32, 52,02, 64,57, 47,59, 39,32 mg dm⁻³.

Figura 7 – Teor de P MODERADAMENTE LÁBIL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 4o corte.



Em ambos os cortes avaliados no geral observa que em condições de pH ácido a variação entre as seções foi pequena, entretanto observa-se diferença entre as fontes em ambos os períodos de colheita avaliado as fontes alternativas foram semelhantes a fonte referência SFT. Possivelmente esse fato ocorreu devido à adição de carbonato de cálcio com o objetivo de elevar o pH, isso pode ter proporcionado a diminuição da interação do fósforo com os colóides do solo pela competição dos sítios com os íons OH⁻, facilitando sua extração. Também, o aumento na atividade microbiana do solo proporcionado pela calagem (Selbach, 1989) e diminuição da interação do fósforo orgânico com os colóides inorgânicos pode ter aumentado sua

mineralização, como observado por Beck & Sanches (1994). Esta característica, das fontes alternativas proporcionarem maiores teores de P moderadamente lábil, sugerem que estas possuam maior poder residual, já que, podem com o tempo fornecer P para solução quando comparada ao SFT, o que do ponto de vista de cultivos de culturas de ciclo perene torna-se benéfico.

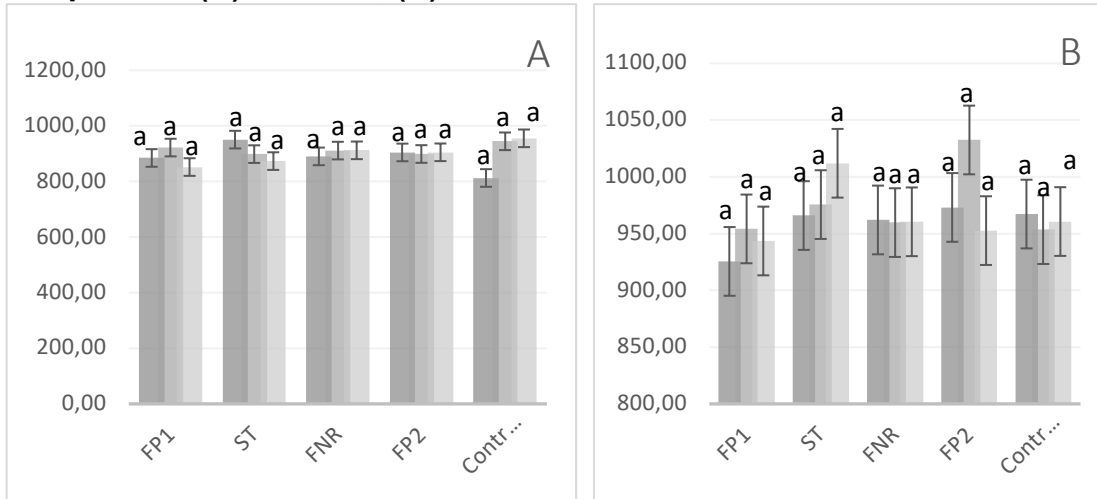
É interessante manter o teor elevado dessa fração pois de uma certa forma mesmo que o P extraído por NaOH 0,1M representar o P ligado ao Fe e Al, esta energia ainda não é tão forte o que faz com que seja considerado moderadamente lábil fato que torna essa fração importante para o fornecimento de P as culturas (GUO; YOST, 1998; OLIBONE; ROSOLEM, 2010).

As frações inorgânicas e orgânicas extraídas por RTA, NaHCO_3 e NaOH 0,1 mol l^{-1} são sensíveis ao manejo do solo e suas modificações ocorrem ao mesmo tempo, onde tanto as formas lábeis quanto as de labilidade intermediária são tamponantes da solução do solo. A fração de P extraída com NaOH 0,1M deve ser considerada responsável por suprir o P da solução do solo à medida que este seja absorvido pelas plantas (GAHOONIA et al., 2000; PAVINATO et al., 2008) pois quando ocorre depleção em uma forma, outras podem ser desorvidas para tamponá-la, mas o fósforo proveniente destas pode ser readsorvido e/ou imobilizado pela biomassa microbiana. Assim, os colóides do solo e os microrganismos agem como competidores das plantas pelo fósforo da solução (Gatiboni, 2003).

4.3.3 P não lábil

Para o P não lábil foram avaliados os teores de P determinados após o uso dos extratores HCl e da digestão sulfúrica em bloco digestor, o P residual. Observa-se que não houve interação entre os fatores, demonstrando que as fontes de fósforo e os valores de saturação de bases foram significativas para o P não lábil em ambos os cortes (Figura 8).

Figura 8 – Teor de PNÃO LÁBIL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 4o corte.



Na figura 8 verifica-se que não houve grande influência da adição dos fertilizantes, obtendo todas as fontes, comportamentos semelhantes ao tratamento controle, o que indica neste caso que o P não lábil extraído é o P nativo do solo, já presente antes da aplicação dos tratamentos, indicando que o fósforo adicionado é acumulado preferencialmente nas frações de maior labilidade, resultado também observado por Gatiboni (2003), principalmente pelo solo estudado ser argiloso com alta capacidade máxima de adsorção de fosfatos (Sandim, 2016). Assim as formas de P oclusas ou intrínsecas ao mineral, além da própria fração orgânica húmus constituir sua composição, concentrações de P não acessíveis pela planta são extraídas principalmente pela digestão com H_2SO_4 , denominada de P residual.

O fósforo residual é a maior fração estudada sendo composto pelas formas inorgânicas muito insolúveis, consideradas muito resistentes à decomposição (Daroub et al., 2000) e pela fração húmus mais estável (Stewart et al., 1980). E é constituída do fósforo remanescente que não foi extraído pelos extratores seletivos do fracionamento de Hedley. Nesta fração estão incluídas formas inorgânicas e orgânicas de alta recalcitrância que geralmente não participam ativamente na disponibilidade de fósforo às plantas (Stewart & Sharpley, 1987), embora alguns autores mostrem que em sistemas com alta carência essa fração pode ser fonte de fósforo às plantas (Guo & Yost, 1998; Guo et al., 2000).

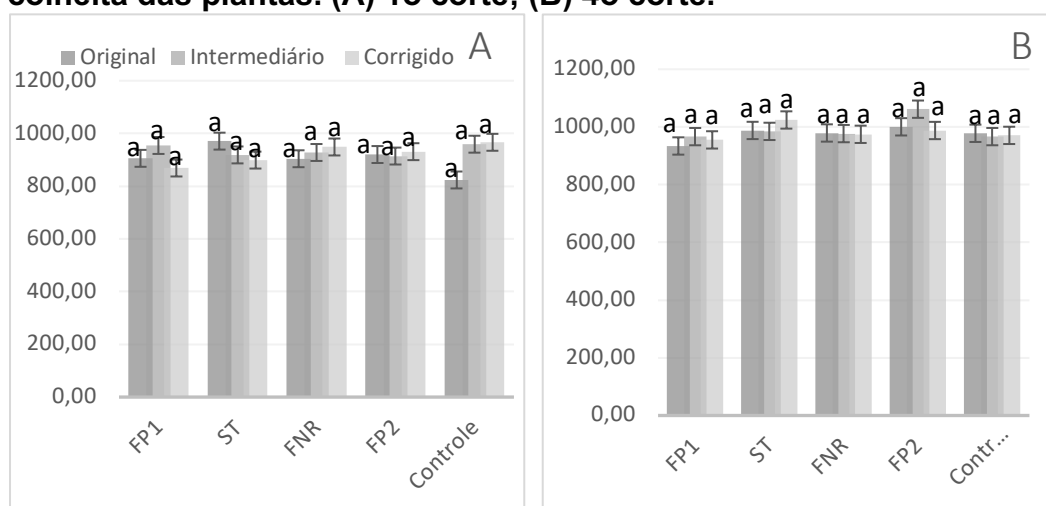
4.3.4 P geoquímico

Foi observado que o fósforo geoquímico não foi influenciado pelos tratamentos, não havendo interação entre os fatores fontes de fósforo, distância do fertilizante e condição de pH em ambos os cortes (Figura 9).

Constatou-se que no primeiro corte os valores das médias não se diferiram e são de SFT, FP2, FP1, FNR e controle resultando nos valores a seguir 970,79, 920,01, 905,53, 904,02 e 823,48 respectivamente mg dm^{-3} . No tratamento intermediário observa-se que o controle, FP1, FNR, STF e FP2 com valores de 959,18, 954,33, 927,76, 918,47 e 914,22 mg dm^{-3} respectivamente. Observa-se no corrigido que controle com 966,36, FNR com 948,57, FP2 930,83, STF 989,9, FP1 868,83 mg dm^{-3} .

No quarto corte o mesmo fato foi observado não ocorrendo interação entre as doses e fontes aplicadas, onde não houve correção da acidez FP2 1000,42, STF 987,86, FNR 979,07, controle 977,95 e FP1 934,03 mg dm^{-3} . Onde a acidez é intermediária nota-se que FP2 com 1061,54, STF com 984,63, FNR com 976,94 controle com 966,48 e FP1 com 966,45 mg dm^{-3} . No solo corrigido verifica-se STF apresenta valor de 1024,15, FP2 de 987,64, FNR de 974,47, controle de 970,75 e FP1 com 955,12 mg dm^{-3} .

Figura 9 – Teor de P GEOQUÍMICO em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 4o corte.



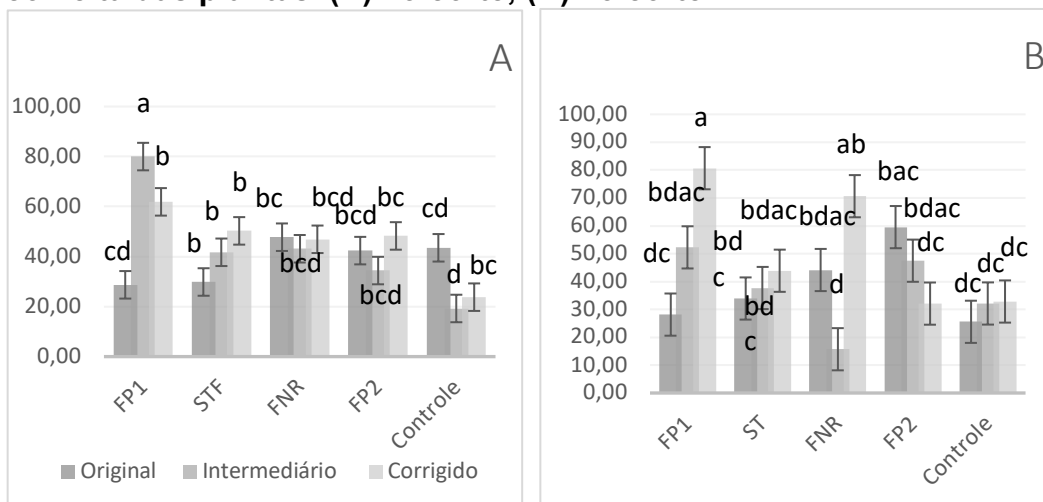
Observa-se que o P geoquímico se manteve com valores semelhantes nas duas condições de pH, na primeira e na segunda seção, com variação dos teores quando foi utilizada as diferentes fontes fosfatadas tanto no tratamento controle, onde não houve adição de fertilizante, como consequência da estabilidade no P residual, pois a maior parte do P geoquímico é composto de P residual, não houve diferença entre os tratamentos.

4.3.5 P biológico

Pelo fracionamento de Hedley tem-se a forma orgânica originando o fósforo biológico. O fósforo orgânico pode constituir de 20 a 80% do fósforo total do solo e é extremamente relevante nos solos tropicais, pois atua ativamente na disponibilidade de fósforo às plantas (SANDIM, 2016) sendo importante estimar o quanto esta forma de P, foi influenciada com a aplicação dos tratamentos. Esta fração de fósforo é originária de resíduos vegetais e animais presentes no solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição.

Houve interação entre os fatores fontes de fósforo e condição de acidez do solo, demonstrando que os tratamentos influenciaram os teores de P orgânico no solo (Figura 10).

Figura 10 – Teor de PBIOLÓGICO em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 4o corte.



Avaliando o primeiro corte que houve um maior teor de P orgânico no solo onde não ocorreu a correção da acidez verificou-se FNR apresenta maior valor 47,75 mg dm⁻³ em relação as demais fontes seguida do controle com 43,51 mg dm⁻³, da FP2 apresentando 42,39 mg dm⁻³, do SFT com 29,84 e FP1 28,71 mg dm⁻³. No solo onde houve correção intermediária a fonte que mais disponibilizou P orgânico foi O FP1 com 79,99 mg dm⁻³, seguida na ordem decrescente do FNR com 43,13 mg dm⁻³, do STF com 41,72 mg dm⁻³, de FP2 com 34,42 mg dm⁻³ e controle 19,25 mg dm⁻³. Onde foi realizada a correção recomendada pela cultura a fonte que apresenta maior teor de P orgânico é FP1 com 61,88 mg dm⁻³, SFT 50,28 mg dm⁻³, FNR 46,91 mg dm⁻³, FP2 48,26 mg dm⁻³ e controle com 23,77 mg dm⁻³.

No quarto corte verifica-se no solo sem correção dos valores de saturação de bases a fonte que proporcionou maior teor de P orgânico foi FP2 com 59,53 mg dm⁻³ seguida de FP1 com 52,27 mg dm⁻³, do FNR com 44,14 mg dm⁻³, de SFT com 33,92 mg dm⁻³ e controle com 25,56 mg dm⁻³. Onde a correção da acidez foi intermediária nota-se que FP1 apresentou maior valor com 52,27 mg dm⁻³, FP2 com valor de 47,49 mg dm⁻³, de SFT com 37,69 mg dm⁻³, controle com 32,13 mg dm⁻³, de FP1 com 28,14 mg dm⁻³ e do FNR apresentando 15,71 mg dm⁻³. No tratamento onde houve correção da acidez nota-se que FP1 apresentou o maior teor de P orgânico com 80,68 mg dm⁻³, seguido de FNR com 70,64 mg dm⁻³, de SFT com 43,88 mg dm⁻³, controle com 32,84 mg dm⁻³ e FP2 com 32,09 mg dm⁻³ de P orgânico.

Nota-se que tanto no primeiro quanto no quarto corte o FP1 foi a fonte que apresentou maior teor de P orgânico em condições de acidez corrigida e intermediária devido o P orgânico pode ser mais dissolvido quimicamente se o pH do meio for alto, possivelmente pela maior atividade microbiana (Troeh e Thompson 2005).

NOVAIS e SMYTH (1999) afirmam que durante a decomposição biológica, ocorre a mineralização bioquímica, onde os microrganismos liberam as enzimas fosfatases, que hidrolisam o fósforo dos compostos orgânicos, esse processo ocorre principalmente em resposta a deficiência de fósforo.

Rheinheimer (2000) avaliando as formas de fósforo em sistemas de cultivo convencional e em sistema de plantio direto cultivados em solos com diferentes teores de argila, observou que em todos os solos que no sistema de plantio direto houve aumento de fósforo nas camadas superficiais, ou ainda, próximas da aplicação do fertilizante, principalmente nas formas inorgânicas disponíveis (PiRTA e Pibic) e

moderadamente disponíveis (P_{hid} e P_{HCl}), favorecendo a manutenção de teores de fósforo na solução do solo mais elevados do que no convencional.

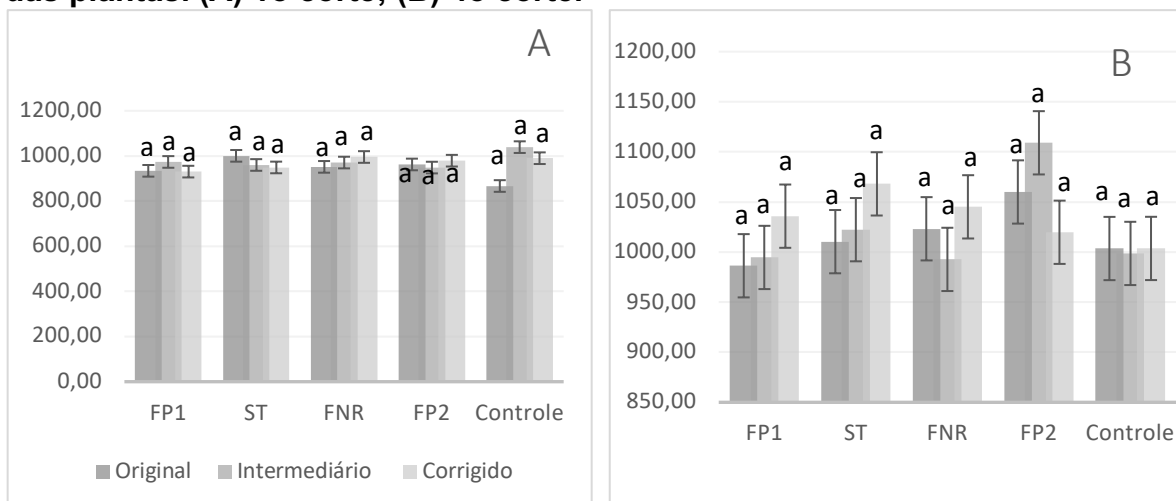
Em solo com maiores teores de argila e de Fe, como é o caso do solo utilizado no experimento Rheinheimer (2000) observou não ocorrer aumento dos teores de P orgânico sob SSD, discordando com os dados do presente trabalho.

21.7 P total

O P total constitui a soma de todas as frações somado ao P residual e revelou que as fontes fosfatadas, as condições de pH e as fontes de fertilizante não influenciaram os teores de fósforo total (Figura 11).

No primeiro corte foi observado nos tratamentos sem correção da acidez que a fonte STF apresenta valor de P total de 1000,63 mg dm⁻³, do FP2 com 962,39 mg dm⁻³, do FNR com 951,77 mg dm⁻³, do FP1 934,24 mg dm⁻³ e controle 866,99 mg dm⁻³. Nos tratamentos onde a correção do solo foi intermediária verifica que o controle apresentou maior valor de total com 1039,17 mg dm⁻³ seguido das fontes FP1 com 973,58 mg dm⁻³, FNR com 970,89 mg dm⁻³, SFT com 960,19 mg dm⁻³ e FP2 com 948,63 mg dm⁻³. Onde foi realizada a correção da acidez do solo observa que a fonte que obteve maior valor foi FNR apresentando 995,49 mg dm⁻³, seguido pelo controle com 990 mg dm⁻³, FP2 com 979,09 mg dm⁻³, SFT com 949,18 mg dm⁻³ e FP1 apresentando 930,72 mg dm⁻³. Em nenhuma das condições de solo houve diferença significativa.

Figura 11 – Teor de PTOTAL em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 4o corte.



Verificou-se no quarto corte que em solos onde não houve correção da acidez os valores de P total apresentados são de FP2 com 1059,95 mg dm⁻³, FNR com 1023,21 mg dm⁻³, SFT com 1010,36 mg dm⁻³, controle com 1003,51 mg dm⁻³ e FP1 com 986,3 mg dm⁻³. Onde a correção foi intermediária observa-se FP2 com 1109,03 mg dm⁻³, SFT com 1022,32 mg dm⁻³, controle com 998,61 mg dm⁻³, FP1 com 994,59 mg dm⁻³ e FNR com 992,65 mg dm⁻³. Nos tratamentos onde o solo foi corrigido nota-se que STF apresenta valores 1068,03 mg dm⁻³, o FNR com valores de 1045,11 mg dm⁻³, FP1 com teor de 1035,80 mg dm⁻³, FP2 com 1019,73 mg dm⁻³ e controle apresentando valores de 1003,59 mg dm⁻³.

De um modo geral a fonte alternativa FP1 superou todas as outras nos dois períodos de amostragem de solos, demonstrando ser um fertilizante com grande potencial para ser utilizado, sendo que grande parte do fósforo disponibilizado por esta fonte foi proporcionado de maneira lábil e também moderadamente lábil, acarretando no suprimento inicial da necessidade de uma cultura disponibilizando o fósforo inicial, permite que o elemento continue sendo liberado com o passar do tempo, devido ao efeito residual no solo. Apenas 10 a 20% do P adicionado é utilizado pelas plantas na mesma safra da aplicação, o restante do P utilizado é fornecido pelo solo (CHIEN et al., 2011).

Quando o fosfato é adicionado ao solo, via fertilizante, o destino dos íons está relacionado com as reações destes com os componentes do solo, sendo mais dependente desse fator do que da eficiência de absorção das plantas cultivadas (FARDEAU, 1996) e o aumento da absorção de P só irá resultar em grandes avanços se estiver correlacionado à mecanismos que alterem a disponibilidade de P no solo (GAHOONIA et al.,2000).

4.4 Teor e acúmulo de P na planta

Para teor de P na planta houve interação entre os fatores fontes de fósforo e condições de V% apenas no terceiro e quinto corte, não ocorrendo diferença significativa apenas no sexto corte. Entretanto ao analisar separadamente os fatores nota-se diferença entre as fontes de fósforo para o primeiro, segundo e quarto corte (Figura 12) diferindo de Sandim (2016) que encontrou essas variações no segundo, terceiro e quarto corte do capim marandú.

Observa-se que no primeiro corte a fonte que proporcionou maior teor de P na planta foi o SFT, sendo a fonte de maior solubilidade adicionada, seguida das demais fontes. Porém, no segundo corte tanto a FP1, quanto o FNR obtiveram o teor de P na planta semelhante ao valor do SFT. Já no quarto corte as fontes aplicadas não diferiram estatisticamente entre si destacando apenas do controle.

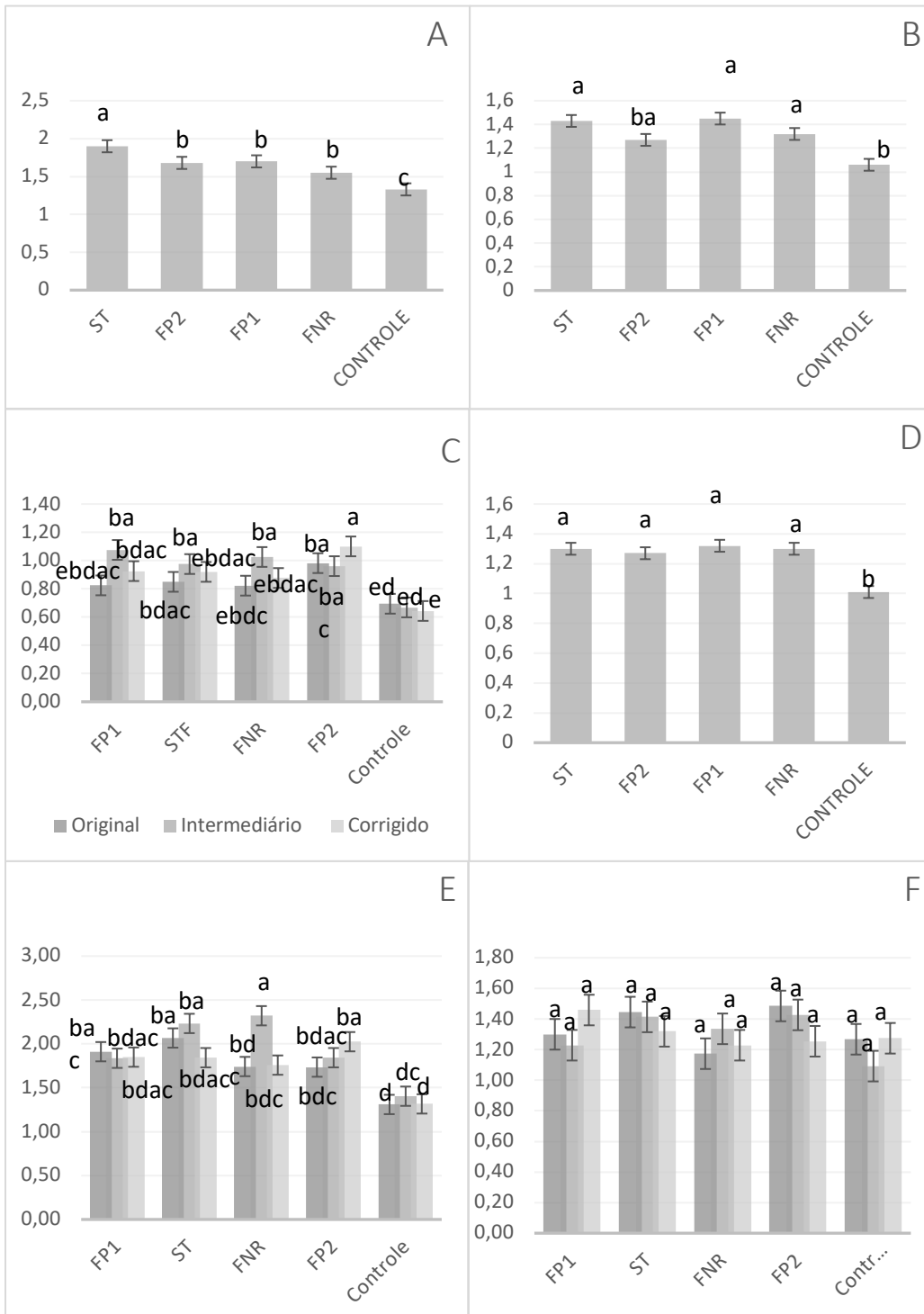
No terceiro corte em condições de acidez corrigida a fonte FP2 propiciou maior teor de P na planta, enquanto em condições de acidez corrigida às fontes FP2 e o SFT enquanto em condições de acidez intermediária as fontes FP1, SFT e FNR proporcionam maiores teor de P na planta. Na condição de acidez original a FP2 proporcionou um maior teor de P na planta quando comparada as demais.

Avaliando o quinto corte observa-se que o FNR foi a fonte que obteve maior teor de P encontrado nas plantas em condição de correção da acidez intermediária, seguido SFT obteve maior valor que as fontes alternativas nesta condição. Em condição de acidez original do solo nota-se que o FP1 tem o maior teor de P encontrado na planta quando comparado as demais. Onde houve correção da acidez recomendada para a cultura, a fonte FP2 disponibilizou maior valor que as demais.

Nota-se ao longo dos cortes o FNR vem aumentando o teor de P na planta, fato esperado devido a sua solubilidade ser baixa e este ir disponibilizando P gradualmente com o passar do tempo. O inverso acontece com o SFT que é a fonte referência de rápida solubilidade do, o que implicou na maior interação com os argilominerais do solo, que já possui capacidade alta de adsorção de fósforo, reduzindo a eficiência de absorção do P.

Quando uma fonte solúvel de fósforo é adicionada em solos intemperizados é sabido que mais de 90% do total aplicado são adsorvidos na primeira hora de contato com o solo (OURIVES et al. ,2010) e quanto maior o tempo de contato desta com o solo favorece maior solubilidade tendo como consequência menor disponibilidade de P para a plantas (NOVAIS et al. 1980) Como a capacidade de solubilização das fontes alternativas é menor que a de um fosfato solúvel, sugere-se que para uma cultura perene como é o caso das pastagens, torna-se vantajosa sua utilização, já que a proporção de fósforo adsorvido ao solo será menor e conseqüentemente o fósforo solubilizado ao longo do tempo pode estar mais disponível à gramínea.

Figura 12 – Teor de fósforo em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.

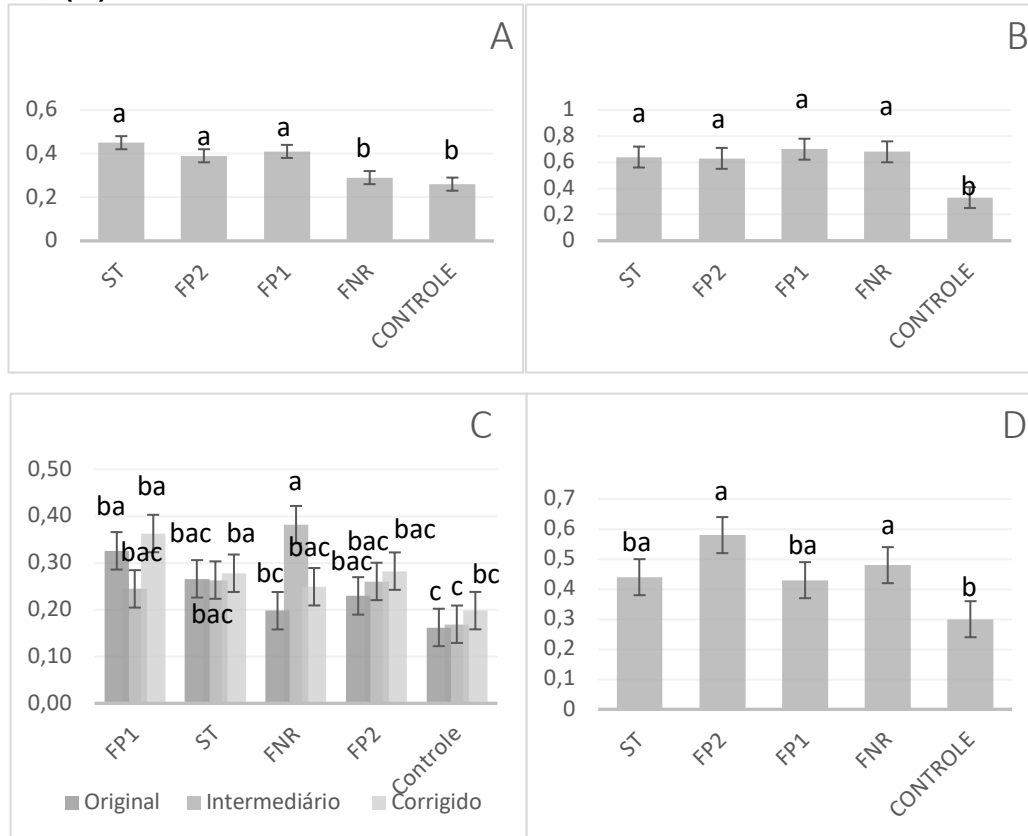


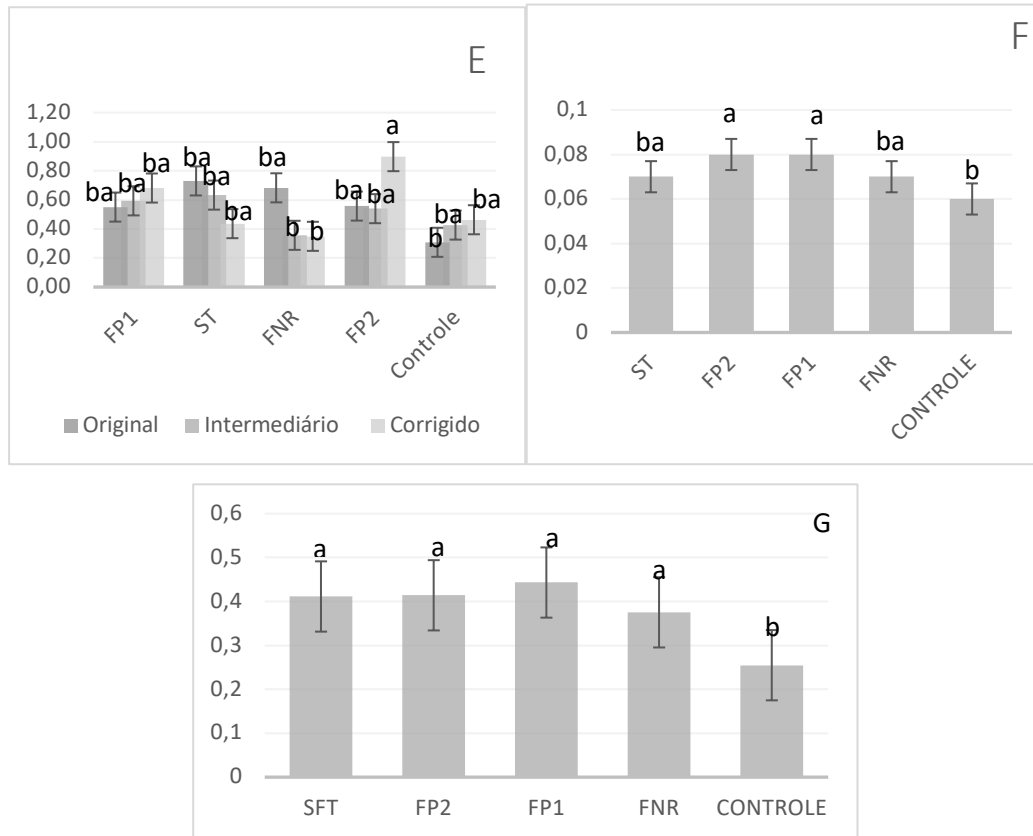
Nota-se que o fosfato natural reativo proporcionou os maiores teores de fósforo na planta em condições de acidez não corrigida maior até que a fonte solúvel SFT, no primeiro corte avaliativo, demonstrando novamente que a solubilidade desta fonte é maior em condições de acidez. Em condições de pH próximo a neutralidade a solubilidade desta fonte diminui, como foi o caso do tratamento onde houve aplicação de calcário para elevação do V% a 60. Fator que contribuiu para a menor solubilização dessas fontes de P, fato observado por Goedert & Lobato (1984), Hammond et al. (1986) e Sanzonowicz & Goedert (1986). Esses autores afirmam terem os fosfatos naturais sua eficiência melhorada quando aplicados a lanço e incorporados a solos ácidos, argilosos, com baixos níveis de Ca trocável e P solúvel, em culturas de ciclo longo ou perenes, tolerantes à acidez e eficientes na utilização do fósforo. Portanto os resultados corroboram os estudos acima, já que a gramínea obteve os maiores teores de fósforo advindo desta fonte em condições de pH ácido.

Observa-se também que o teor de fósforo na planta diminuiu ao longo do tempo de cultivo, do 1º ao 6º corte, independente da fonte utilizada e um dos fatores que pode estar relacionado é a extração excessiva do P no solo com os cortes, e de outro, pela tendência de maior produção de massa de matéria seca no mesmo sentido, promovendo o chamado efeito diluição. O mesmo comportamento foi relatado por Sandim (2016). Estes resultados corroboram Leite et al., 1986, que ao avaliar os efeitos de fontes de P em capim-colonião, também detectaram diminuição nos teores de P do 1º para o 2º ano, atribuindo este fato ao aumento da produção de massa de matéria seca, com conseqüente diluição do elemento dentro da planta. Ao final do quarto corte todas as fontes de fosforo foram reaplicadas o que gerou um aumento do teor de P no quinto corte avaliado.

Para o acúmulo de fósforo na planta, ou seja, o fósforo absorvido em função da produção de matéria seca observa-se que houve interação entre os fatores estudados apenas no terceiro e no quinto corte avaliativo. Nos demais cortes não houve interação entre os fatores, entretanto, observa-se que, analisando-os isoladamente, nota-se diferença entre os diferentes níveis de acidez do solo e das fontes de fósforo na época de avaliação (Figura 13).

Figura 13 – Acúmulo de Fósforo em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte; (G) Total dos 6 cortes.





Nota-se que no 1º corte, as fontes alternativas FP1 e FP2 obtiveram valores semelhantes da fonte de referência SFT diferindo apenas do FNR que obteve menor acúmulo de P semelhante ao tratamento controle. Já no segundo corte todas as fontes não diferenciaram entre si diferenciando apenas do controle. No quarto corte as fontes que proporcionaram maior acúmulo de P foram o FP2 e o FNR seguidos das fontes SFT e FP1. No quinto corte as fontes alternativas se destacam como as fontes que obtiveram maiores valores no acúmulo do teor de P, seguida dos SFT e FNR.

No terceiro corte quando o V% encontrava-se a 45%, obtendo-se acúmulo de P de 381,83 mg, acúmulo este maior que o de 263,43 mg obtido com o uso do SFT, no respectivo nível de V%. O FP2, também obteve altos acúmulos de fósforo assemelhando-se ao SFT. Nota-se que o FNR obteve os maiores acúmulos no solo com correção intermediária se destacando dos demais o que difere de Sandim (2016) que obteve resultados de maiores valores para esta fonte apenas onde não houve correção do pH, ou seja, no nível de V% original. Em condição de acidez observa-se que a fonte FP1 obteve maior acúmulo quando compara as demais com 325,95 mg.

Avaliando o quinto corte a fonte que obteve maior acúmulo de P na planta foi a FP2, em condições de saturação de bases elevada a 60%. Nota-se que o FNR nas condições em que houve correção da acidez tanto na dose intermediária quanto na dose indicada para a cultura obteve os menores valores quando comparado as demais fontes se assemelhando ao tratamento controle onde não foi realizada a calagem. As demais fontes em todas as condições de acidez não diferiram entre si.

No sexto e último corte avaliado não houve interação entre as fontes e as doses de saturação de solo. Ao analisar o acúmulo de fósforo total, ou seja, a soma de todos os cortes é possível observar que não houve diferença entre as fontes testadas que foram superior ao controle.

Sandim (2016) relata que ao observar o comportamento da FNR, nota-se que em determinadas situações, como por exemplo no 1º e 2º corte, onde houve correção do pH e elevação do V% obteve valores acumulados de P, menores até que o tratamento sem utilização de P, indicando que o uso de fontes menos solúveis não é recomendado nessa fase vegetativa (FREIRE et al., 2005). Resultados similares foram verificados por Costa et al. (2008), quando os autores observaram menores acúmulos de fósforo no tecido de capim marandu, para fosfatos de baixa solubilidade, na presença de calcário. Nessa fase, as fontes solúveis de P, como o SFT e as fontes alternativas testadas, com destaque para o FP1, são mais indicadas, pois conseguem suprir a demanda pelo nutriente nesse curto período após o plantio do capim braquiária (MACIEL et al., 2003). O fato dos meus resultados ser diferente de Sandim (2016) com o FNR é ocasionado pela aplicação dessas fontes na implantação do experimento pela autora, seguida das minhas aplicações e avaliações que demonstra o efeito residual desta fonte.

Sandim (2016) relata que a fonte FP1 proporcionou o maior acúmulo de fósforo proporcionalmente ao acúmulo de matéria seca do capim marandú em condições de solo com V% intermediário em todos os cortes avaliativos. A fonte FP2 obteve comportamento muito semelhante à fonte de referência SFT, demonstrando que em condições de acidez corrigida, o acúmulo de fósforo por esta fonte é maior. Revelam que em casos específicos de pastagem, com uso de *Urochloa brizantha*, cultivar marandu, o uso de fontes como o FP1, consideradas até então como rejeitos, podem substituir com eficiência, a adubação fosfatada com fontes convencionais. Fato que reafirmo avaliando as mesmas fontes nas mesmas condições, porém em fase de

manutenção da pastagem, enfocando que para a manutenção a FP2 seja recomendada e a FP1 para implantação de pastejo.

O uso de fontes que proporcionam altas concentrações de fósforo na matéria seca da forrageira justifica-se também, pelo fato de que o P é considerado elemento mineral mais eleva o custo dos suplementos minerais para bovinos. Como consequência de eficiência alimentar, quanto maior o teor de P na matéria seca das forrageiras, menor será o consumo pelos bovinos via suplementação mineral, justificando a importância da maior capacidade de assimilação e concentração de P na parte aérea pela planta forrageira.

O fósforo condiciona as raízes e as plântulas a se desenvolverem mais rapidamente, aumenta a resistência aos rigores do inverno, além de melhorar a eficiência na utilização de água e deficiência limita o crescimento das plantas forrageiras.

4.5 Acúmulo de Ca na planta

Para o acúmulo de Ca na planta, observa-se interação entre as fontes de fósforo e as diferentes condições de acidez do solo em todos os cortes estudados apenas para o primeiro e quarto corte. tanto as fontes, quanto a aplicação de doses de calcário influenciaram a quantidade de cálcio acumulada na planta (Figura 14).

No segundo, terceiro, quinto e sexto corte não foi observada interação entre os fatores, contudo, analisando-os isoladamente nota-se que as fontes de fósforo proporcionaram diferenças no acúmulo de Ca no capim-marandú,

Em condição original do solo no primeiro corte a interação fonte e dose as fontes alternativas e a solúvel apresentaram valores semelhantes se diferindo apenas do FNR e do controle. Nas condições intermediárias de acidez a fonte FP1 proporcionou maior acúmulo de Ca na planta, e em todas as condições de saturação de bases essa foi a fonte que sobressaiu em acúmulo de P, seguido pelo SFT em condição de solo corrigido.

Ao observar o segundo corte verifica-se que as fontes de fósforo proporcionaram diferenças no acúmulo de Ca sendo que as fontes não se diferiram entre si, FP1 com 24,4 kg ha⁻¹, SFT com 21,5 kg ha⁻¹, FP2 com 21,2 kg ha⁻¹, FNR com 21,1 kg ha⁻¹ do controle 13,4 kg ha⁻¹. Já no terceiro corte as fontes de fósforo proporcionaram diferenças no acúmulo de Ca na planta sendo as fontes SFT (17,7 kg ha⁻¹) e FP2 (17,1 kg ha⁻¹) apresentaram valores um pouco maiores que as FP1(16,7 kg ha⁻¹) e FNR (15,9 kg ha⁻¹), todas sendo superior que o controle (13,4 kg ha⁻¹).

Ao avaliar o quarto corte em foi verificada interação entre as fontes adicionadas e o valor de saturação de bases do solo, visto que a FNR foi a fonte que apresentou maior acúmulo de Ca na planta, $25,7 \text{ kg ha}^{-1}$ se diferenciando das demais fontes, sendo que o controle $8,9 \text{ kg ha}^{-1}$ apresentou menor acúmulo de Ca no solo onde se manteve original a saturação de bases.

Ao final do quinto corte as fontes de fósforo proporcionaram diferenças no acúmulo de Ca no capim-marandú foram a FP2 e FNR, ambas com $22,1 \text{ kg ha}^{-1}$, seguidas do FP1 com $17,6$, SFT com $16,6$ que se diferenciaram do controle com 13 . No sexto corte as fontes de fósforo proporcionaram diferenças no acúmulo de Ca sendo que as fontes FP1 (25 kg ha^{-1}) e FP2 (24 kg ha^{-1}) se destacam das fontes SFT (20 kg ha^{-1}) e FNR (22 kg ha^{-1}), todas sendo superiores ao controle (17 kg ha^{-1}).

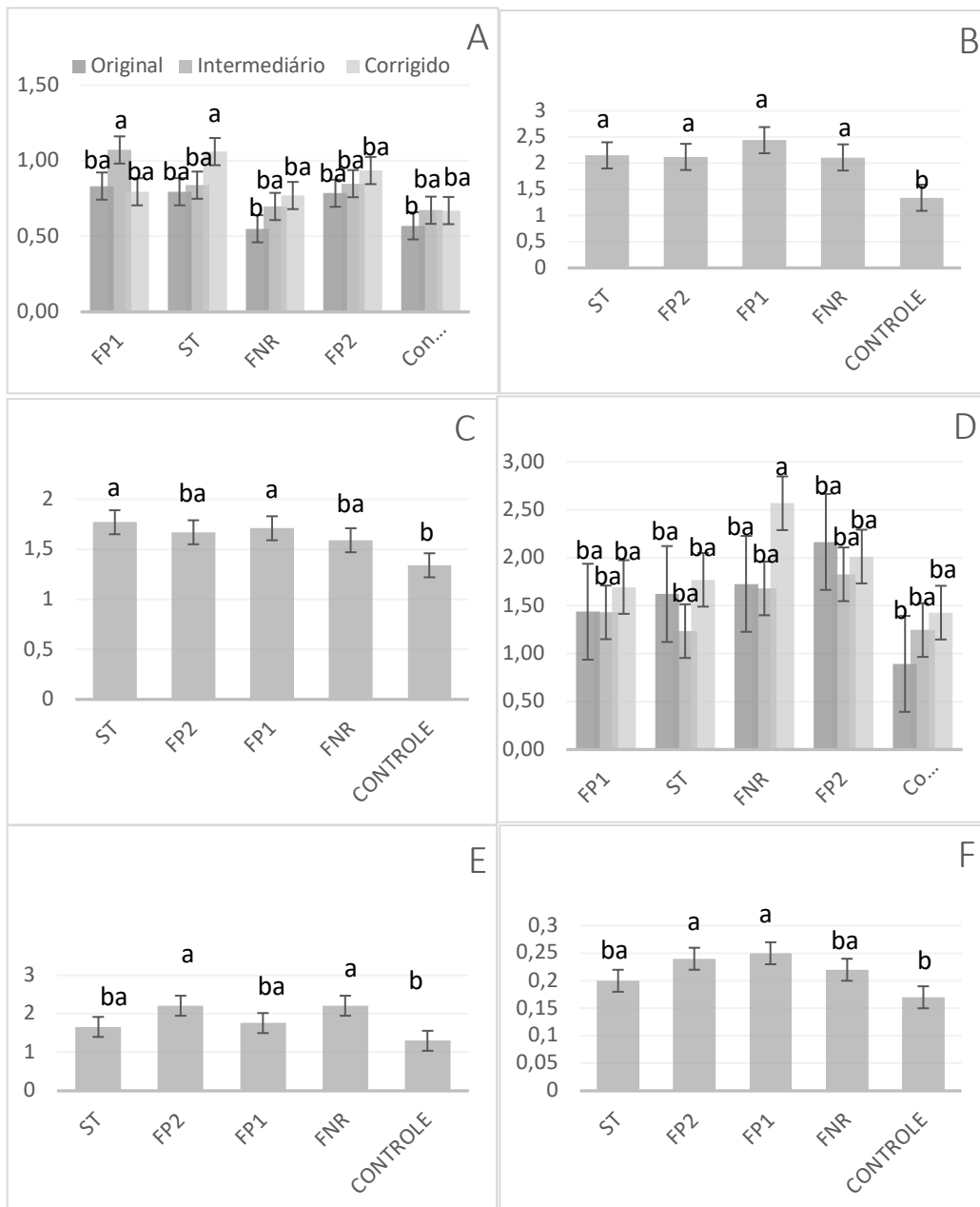
Em média, ao observar todos os cortes realizados e em relação ao acúmulo total de Ca na planta, observa-se que a fonte FP1 foi a que proporcionou maior acúmulo em condições de acidez intermediária, sendo superior a todas as outras fontes estudadas, demonstrando ser essa fonte, além de potencial fertilizante fosfatado, ser também considerada adequada fonte de cálcio para a pastagem. De maneira geral, observou-se que o aumento dos níveis de fósforo foi acompanhado pelo aumento nos teores de Ca na planta. Este comportamento pode ser atribuído ao teor de cálcio existente na composição das fontes que foi fornecido juntamente com os níveis de P, elevando a disponibilidade de Ca às plantas.

O fato de haver diferença na absorção de cálcio pela planta pode ser justificado já que houve tratamentos com e sem aplicação de calcário, além de que, todas as fontes utilizadas no estudo possuem cálcio em sua composição, sendo o fosfato natural reativo com maior concentração do elemento em questão. Contudo, observa-se que nos tratamentos com FNR, o acúmulo de Ca na planta foi menor que nas demais fontes, alcançando maiores valores ($25,7 \text{ kg ha}^{-1}$) no quarto corte, fato que também foi relatado por Sandim (2016) que estudando apenas 4 cortes de planta encontrou esse maior valor no último corte apresentando ($25,4 \text{ kg ha}^{-1}$) apenas no último e quarto corte, em condições de solo ácido, o que já era esperado, afinal sabe-se que esta fonte tem sua solubilidade aumentada ao longo do tempo e em condições ácidas.

Para Ernani e Barber (1991) e Coutinho et al. (1991) os fertilizantes fosfatados diferem, principalmente quanto à composição química, solubilidade e cátion acompanhante, o que foi observado na fase de implantação da pastagem por Sandim (2016) e no atual estudo, onde as fontes utilizadas, FP1, FP2, FNR e SFT

apresentavam em sua composição de 24,8, 15,0, 32,6 e 13,1 % de Ca^{2+} , respectivamente. Essas diferenças podem influir na taxa de solubilização dos fosfatos e nas reações de precipitação e adsorção química de P nas regiões adjacentes as partículas de fosfatos, onde a intensidade é alta, com reflexos na concentração de P na solução do solo. Esses reflexos na concentração de P foram observados neste estudo pelo aumento no teor de fósforo no solo proporcionado pelas fontes, como já discutido.

Figura 14 – Acúmulo de Cálcio em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.



4.6 Altura de planta

Os valores médios de altura de planta foram diretamente influenciados pela aplicação das fontes de fósforo e das diferentes condições de acidez no primeiro corte. Na segunda, terceira e quinta época de colheita, não foi observada interação entre as fontes de fósforo e os diferentes níveis de V%, no quarto e no sexto corte as fontes ocasionaram diferença significativa na altura (Figura 15).

Observa-se no primeiro corte no solo de condição de correção da acidez intermediária o SFT proporcionou maior altura de planta, 25,74 cm, seguidas do FNR e da FP2, com 28,89 e 25,39 cm respectivamente, sendo a fonte alternativa FP1 apresentou a menor altura quando comparadas as demais fontes e em condição de acidez original do solo a foi a fonte mais expressiva em relação ao tamanho de plantas com 35,71 cm diferenciando do FNR com 28,89 cm. A fonte solúvel SFT pelo fato de que esta fonte por ser um fertilizante fosfatado acidulado, tem maior eficiência de liberação de P em condições de pH moderadamente ácido ou próximos da neutralidade.

Em condição de solo corrigido ao FP1 apresentou maior altura quando comparada as demais 32,68 seguidas do SFT com 26,33 cm, sequenciando o FNR e o controle com alturas semelhantes diferenciando da fonte FP2 que apresentou menor tamanho 13,11 cm das fontes testadas para essa condição de solo.

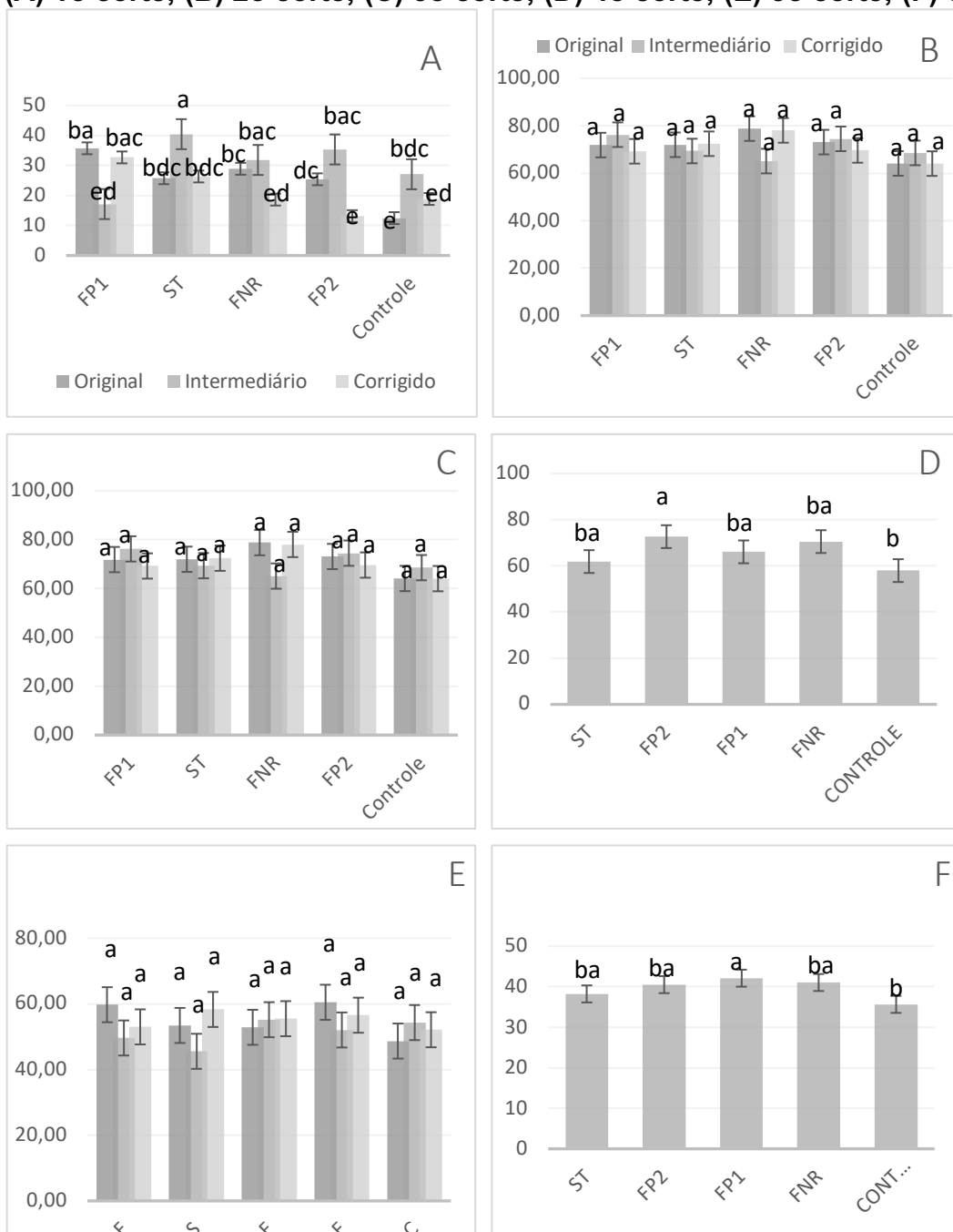
Avaliando o quarto corte das plantas as fontes que diferiram estatisticamente entre si sendo a o FP2 que apresentou maior valores de média de altura com 72,65, seguida pelas FNR com 70,5, FP1 com 66,06 e STF com 61,85 que não diferiram entre si, e o controle apresentando 57,94 cm. No sexto corte das plantas as fontes apresentaram diferença de médias na altura entre si, sendo o FP1 a de maior altura com 41,05 cm, seguido do SFT 38,23 cm do FP2 40,52 cm e do FNR 42,12 cm que não se diferiram, e o controle que foi a menor altura encontrada com 35,65cm.

Entretanto, Sandim (2016) ao comparar os tratamentos em fase de implantação de pastagem, relata que a fonte alternativa FP1 nos dois primeiros cortes e em condições de V% intermediário proporcionou maiores valores de altura de plantas (40 cm) que o SFT (32,7cm) em condições de V% corrigido.

No primeiro corte a fonte solúvel SFT proporcionou maior altura de planta quando comparada as demais fontes em condições de acidez corrigida, pelo fato de

que esta fonte por ser um fertilizante fosfatado acidulado, tem maior eficiência de liberação de P em condições de pH moderadamente ácido ou próximos da neutralidade. Com a implantação e manutenção da pastagem nota-se que as fontes FP1 e FP2 se assemelham as fontes solúveis testadas. Inferindo que para altura de planta a fonte em condição intermediária FP2 eficiente se assemelhando a fonte de referência, já que é possível se obter altura semelhante da pastagem com o uso de doses menores de corretivos.

Figura 15 – Altura em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.



Nos demais cortes não é possível notar diferença significativa em relação à altura das plantas. Todas as fontes de fósforo utilizadas obtiveram comportamento semelhante nos diferentes níveis de acidez do solo. Todas as fontes promoveram maior altura de plantas em relação à testemunha, sendo a adubação é um fator responsável pela elevação precoce dos meristemas apicais das gramíneas (FONSECA et al., 1998).

A presença de fósforo na solução do solo, em quantidades adequadas, favorece o crescimento das plantas, visto que este elemento atua na síntese e degradação de macromoléculas, além de ser fonte de energia para o metabolismo da planta, por meio do ATP (FAQUIN, 2005). A nutrição adequada de P favorece o aporte de raízes e conseqüentemente favorece o crescimento vegetal. Desse modo, a altura de plantas pode ser considerada uma excelente estimativa para a predição do crescimento inicial de plantas forrageiras.

4.7 Número de Perfilhos

Observa-se que para o perfilhamento da *Urochloa brizantha* houve interação significativa entre as fontes de fósforo utilizadas e os níveis de V% apenas no primeiro e no quinto corte realizados, tratamento que receberam reaplicação das fontes de fósforo (Figura 16).

Nota-se que em condições de solo ácido, sem correção, na primeira época de colheita, as fontes alternativas FP1 e FP2 proporcionaram o número de perfilhos por m² de 236 e 225 respectivamente semelhante à fonte de referência SFT que foi de 229 comportando semelhante aos dados encontrados por Sandim (2016). Porém o controle obteve maior número de perfilhos com 446 e a FNR o que apresentou menor valor com 183 perfilhos m². Esse fator pode estar atrelado a densidade populacional de perfilhos (DDP) desencadeada por um processo de compensação tamanho/densidade, em que as pastagens têm ou um grande número de perfilhos de menor tamanho, ou um pequeno número de perfilhos maiores e mais pesados, tal compensação sendo regulada por fatores abióticos (luz, temperatura, disponibilidade hídrica, status nutricional do solo) e de manejo, principalmente quanto à intensidade de pastejo.

As fontes FP1 e FP2 proporcionaram incremento significativo no número de perfilhos no solo onde recebeu correção intermediária com 268,00 e 245 perfilhos m²,

respectivamente, assemelhando-se ao SFT com 225 e ao controle 212, sendo a FNR a fonte que apresentou a contagem mais baixa de perfilhos por m² com 174. No solo onde a saturação de bases foi corrigida o SFT, FP2, FP1 e FNR não se diferenciaram entre si com valores respectivos de 265, 234, 210 e 207 se diferindo do controle com 193 perfilhos por m².

Ao avaliar o número de perfilhos do quinto corte verifica-se que o SFT na condição de acidez do solo foi a fonte que apresentou maior número de perfilhos contabilizados 641 perfilhos por m², seguida dos FNR e do controle, nessa condição de solo as fontes alternativas apresentaram o menor valor 336 para FP1 e 338 para FP2. Em condição de acidez intermediária as fontes STF, FP1, FNR e controle apresentaram quantidades semelhantes diferindo apenas da fonte FP2. Nos tratamentos onde houve correção da acidez a fonte que apresentou menor valor foi a FP2 diferindo-se das demais.

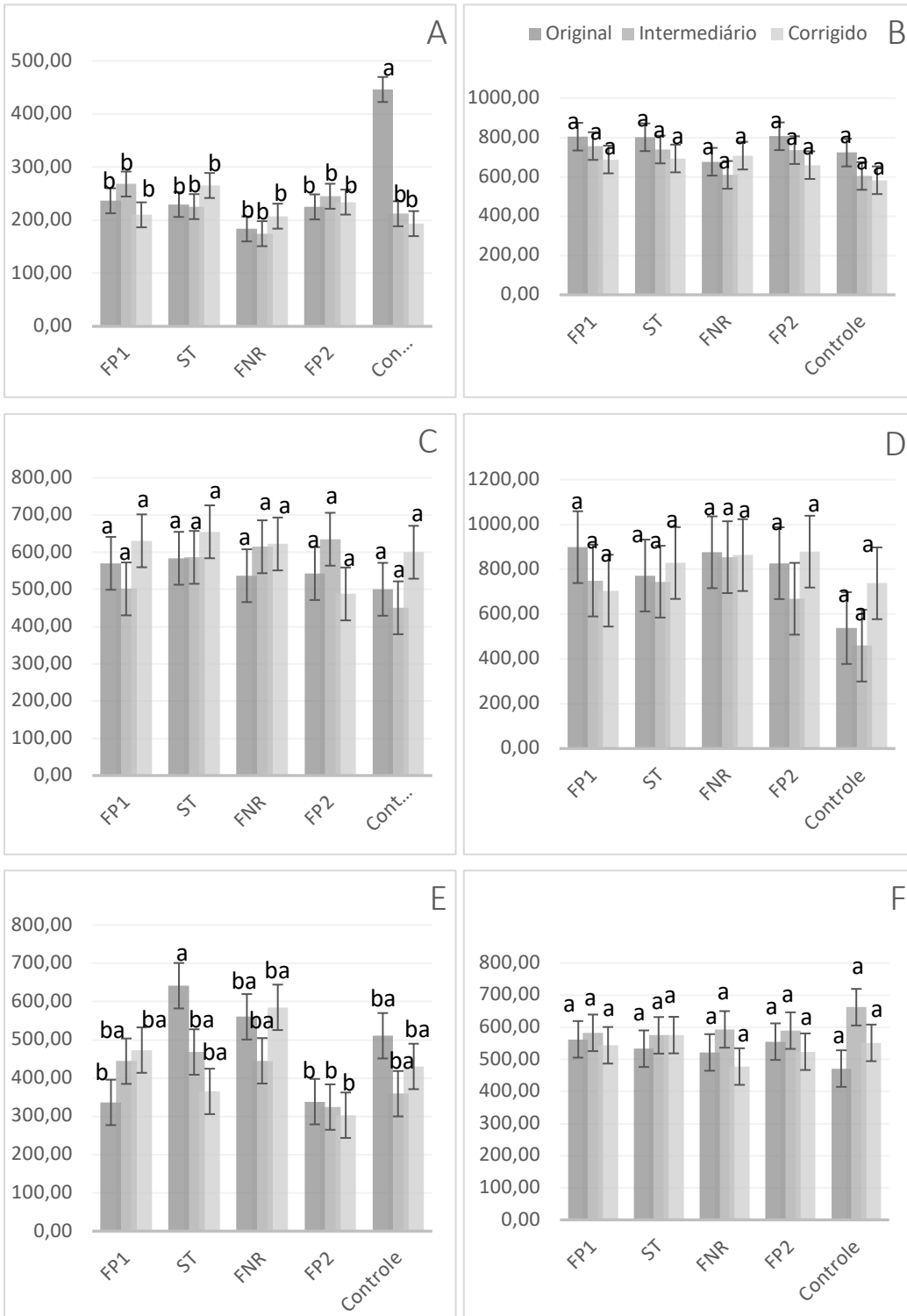
Observa-se também de uma maneira geral que o número de perfilhos foi aumentando com o passar dos cortes em todas as fontes e doses aplicadas.

Nos dois últimos cortes e em condições de solo mais ácido a fonte FNR proporcionou número de perfilhos semelhantemente à fonte FP1, 632 e 712 respectivamente, entretanto para tais condições em que não houve correção da acidez, a fonte FP2 foi a que apresentou maiores índices em relação à produção de número de perfilhos por m², 877. Contudo quando, observa-se o tratamento com V% intermediário, nota-se que ao longo do tempo a fonte FP1 obteve maior número de perfilho por m² quando comparadas às demais fontes, demonstrando, contudo, que para esse tipo de característica de produção da gramínea, essa fonte possui efeito residual maior, pois ainda libera fósforo para solução ao longo do tempo. Nota-se maior eficiência das mesmas em condições de solo ácido, o que pode ser um aspecto positivo, já que tais fontes podem ser usadas em condições de baixa fertilidade natural e baixa acidez como foi o caso do solo estudado no experimento. Em condições de acidez corrigida, ou seja, no V% de 60 houve redução no número de perfilhos, o que pode ter ocorrido pelo maior crescimento da planta em altura, causando assim maior competição e redução no número de perfilhos.

O número de perfilhos é alterado por fatores como tais como temperatura, luminosidade, umidade e disponibilidade de minerais (Langer, 1979) em especial o nitrogênio, que disponibilizado logo após o corte ou pastejo, favorece a rápida expansão das folhas, repondo rapidamente os tecidos fotossintéticos, promovendo,

assim, a recuperação da planta forrageira e, conseqüentemente, o vigor de rebrota (CECATO et al., 2000) fato que foi controlado neste experimento o fornecimento de N após cada corte.

Figura 16 – Número de perfilhos em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte.



Também o uso de adubação fosfatada, em geral, tem mostrado resultados favoráveis na melhoria do perfilhamento das plantas forrageiras e no volume de matéria seca do sistema radicular em trabalhos realizados em vasos (Werner e Haag, 1986).

Trabalhos realizados com capim-decumbens, onde o nitrogênio só promoveu aumentos significativos na presença da adubação fosfatada (Lira et al., 1994). Esses resultados evidenciam a importância da adubação com fósforo para essa cultivar, pois o perfilhamento é importante para as gramíneas, o que assegura a perenidade das pastagens, além de contribuir com o incremento de forragem.

O aumento crescente do número de perfilhos encontrados nesse estudo a cada corte pode ser explicado pelo estresse sofrido pela forrageira após o corte o que promove a indução das gemas basais originando assim novos perfilhos (GUEDES et al., 2009). Outro fator importante é o aumento da intensidade luminosa que alcança as gemas basais promovendo a quebra de dominância apical (LANGER, 1974; BATISTA; MONTEIRO, 2006).

Werner (1986), ressalta que o fósforo afeta o desenvolvimento inicial das plantas recém-germinadas, favorecendo o crescimento das raízes, estimulando o perfilhamento (Lira et al., 1994), a sua deficiência reduz a taxa de crescimento inicial e o estabelecimento das forrageiras, além de limitar sua capacidade produtiva das pastagens.

4.8 Massa de matéria seca

As fontes de P e sua interação com os níveis de V% influenciaram a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da *Urochloa brizantha*, com exceção apenas para último corte onde não houve interação entre os fatores. Contudo analisando-os isoladamente, nota-se diferença para as fontes e para as condições de V% no primeiro, segundo, quarto e quinto corte (Figura 17). Observa-se que houve comportamento semelhante quando se comparado com o acúmulo de P, mostrando novamente que para esta variável, as fontes alternativas utilizadas proporcionaram produções de MSPA semelhantes e até superiores que à fonte de referência SFT.

Observa-se que no primeiro corte avaliativo, a fonte FP1 (2400 kg ha⁻¹) e FP2 (2300 kg ha⁻¹) proporcionaram as maiores produções de MSPA, semelhantemente à

fonte de referência SFT (2400 kg ha^{-1}). Não foi observado incremento na produção de massa de matéria seca proporcionada pela fonte FNR. Nota-se produção um pouco maior (1900 kg ha^{-1}) que o tratamento controle (2000 kg ha^{-1}) sendo a produção desta inferior que das demais fontes testadas, esses resultados corroboram Sandim (2016) que em fase de estabelecimento de *Uroclhoa brizantha* que obteve comportamento semelhantes no primeiro corte porém com valores mais baixos de produção para FNR (kg ha^{-1}) que o tratamento controle (kg ha^{-1}) justificado pela baixa solubilidade destas em fase e e o maior valor encontrado neste caso esta associado ao efeito residual desta fonte.

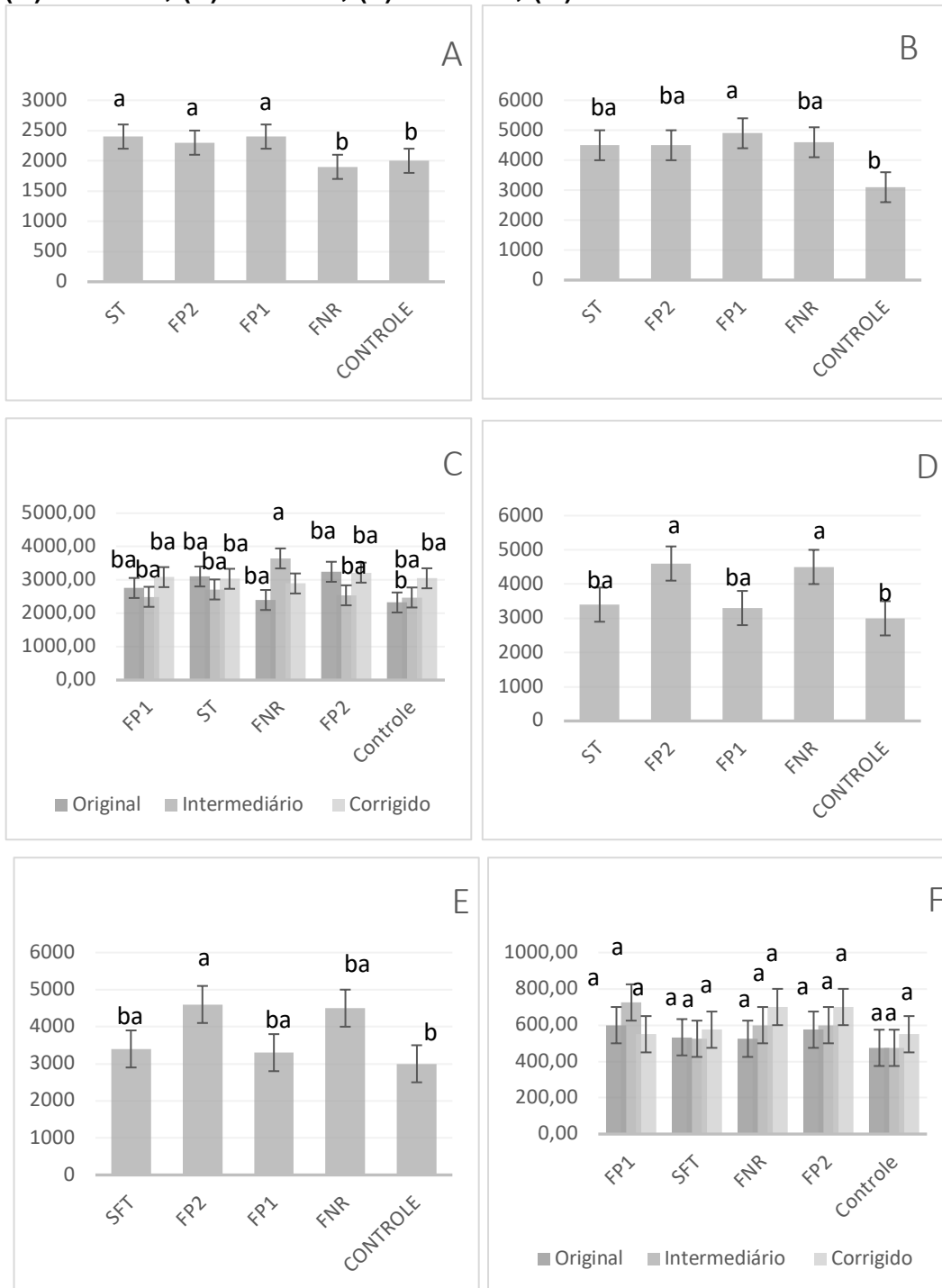
No segundo corte observa-se maior valor de MSPA na fonte FP1 (4900 kg ha^{-1}) seguido das FNR (4600 kg ha^{-1}), FP2 (4500 kg ha^{-1}) e SFT (4500 kg ha^{-1}), diferindo do controle (3100 kg ha^{-1}).

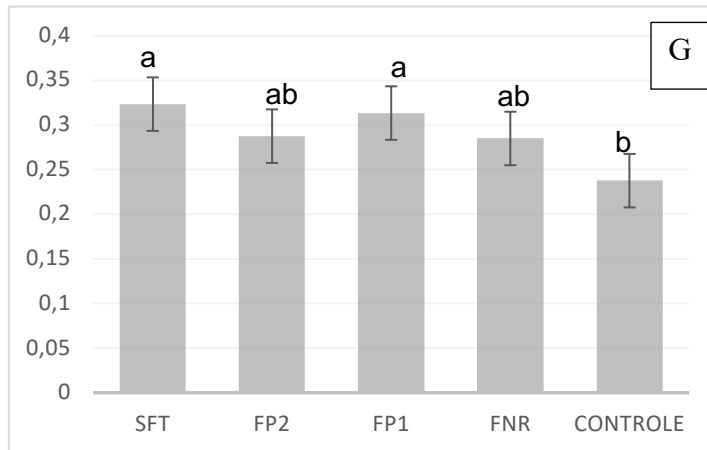
Devido a interação ocorrida no terceiro corte entre fonte e saturação de bases interferindo na quantidade de MSPA a fonte que obteve a maior valor de produção foi o FNR (3645 kg ha^{-1}) na dose intermediária. As demais fontes não variaram entre si independente da dose de saturação, apenas o controle na condição de acidez original foi o que obteve menor produção de MSPA (2325 kg ha^{-1}) no solo corrigido. Esse fator está condicionado com a ciclagem de nutrientes, mesmo no solo onde não recebeu adição de fosfato devido ao aporte de material orgânico que era deixado no solo sob forma de palhada.

Contudo, no último corte avaliativo, 240 dias após a emergência, nota-se que o fosfato natural reativo proporcionou produção de massa de matéria seca (5877 kg ha^{-1}) semelhante às demais fontes, inclusive à fonte de referência SFT (5425 kg ha^{-1}) em condições de solo com pH ácido.

Estes resultados corroboram os encontrados por Soares & Macedo (1988), Oliveira et al. (1984) e Vasconcelos et al. (1986), que afirmam ser superior a resposta inicial na implantação de pastagens, para as fontes solúveis, mas, com o decorrer do tempo, fontes menos solúveis tendem a aumentar a produção pelo aumento de sua reatividade e por apresentarem maior efeito residual. Por isso, considera-se pertinente a estratégia de aplicar no plantio conjuntamente o fosfato natural com uma fonte solúvel de fósforo.

Figura 17 – Matéria Seca da Parte Aérea kg ha⁻¹ em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte; (G) total dos 5 cortes.





Dessa forma, observou-se que os crescimentos, assim como as produções de massa de matéria seca, quanto foram utilizado o FNR foram limitados pela falta de fósforo no estabelecimento da planta, ou seja, de acordo com FREIRE et al. (2005), a utilização das fontes menos solúveis não é recomendada nessa fase vegetativa. Para isso, recomenda-se, para o estabelecimento de pastagens fontes solúveis de fósforo, aplicações localizadas, de modo que favoreçam a alta disponibilidade de fósforo junto às raízes, para que atenda aos maiores requerimentos do nutriente na fase de crescimento da planta.

No quarto corte as a quantidade de MSPA das fontes FP2 (4600 kg ha⁻¹) e FNR (4500 kg ha⁻¹), apresentaram valores maiores que as demais SFT (3400 kg ha⁻¹) e FP1 (3300 kg ha⁻¹) quando comparadas ao controle (3300 kg ha⁻¹). Fato semelhante aconteceu ao quinto corte, porém, a fonte FP2 (4600 kg ha⁻¹) foi a mais expressiva, seguidas das FNR (4500 kg ha⁻¹), SFT (3400 kg ha⁻¹) que diferiam do controle (3000 kg ha⁻¹).

No sexto corte não houve diferença significativa entre as médias de fonte e doses de saturação de bases em relação a quantidade de MSPA. Sendo no solo corrigido FP2 e FNR obtiveram a mesma 700 kg ha⁻¹ cada uma e as demais como FP1, SFT e controle com os valores próximos a 560 kg ha⁻¹. No tratamento com solo intermediário a fonte FP1 apresentou valor de 700 kg ha⁻¹, FNR e FP2 com 600 kg ha⁻¹, seguido STF e controle com 500 kg ha⁻¹. Em condição de solo ácido as fontes FP1 e FP2 apresentaram valores de 600 kg ha⁻¹ e SFT, FNR e controle de 500 kg ha⁻¹. A correção do solo aumentou os teores médios de matéria seca no terceiro corte, porém

não houve diferença estatística entre a produção obtida no V% intermediário quando comparada à produção obtida no V% corrigido.

Ao analisar o acúmulo de produção de massa de matéria seca total, ou seja, a soma de todos os cortes é possível observar que em média a maior produção foi obtida com o uso da fonte SFT (3235 kg há⁻¹) e FP1(3135 kg ha⁻¹) seguidos da FP2 (2876 kg ha⁻¹) e FNR (285 kg ha⁻¹).

Esses resultados concordam com os encontrados por Cruz et al., 1994, que ao estudarem o efeito da calagem sobre a produção de massa de matéria seca do capim marandú, observaram que à medida que houve aumento do índice de saturação por bases, a produção de matéria seca também aumentou. Entretanto, Soares Filho (1991), em experimento com braquiária submetida à incorporação de calcário não encontrou efeito significativo sobre a produção de matéria seca. Nunes et al., (1979), concluíram ao estudar em um Latossolo que pequenas aplicações de calcário são suficientes para que as braquiárias atinjam rendimentos máximos de produção de biomassa.

Esses resultados correspondem ao fato das espécies *Urochloas* que são muito utilizadas como espécies de cobertura por produzir uma quantidade interessante de matéria seca e têm proporcionado aumentos da concentração de ácidos orgânicos na camada superficial do solo, fator que pode beneficiar a ação da calagem, salientando a presença de Ca, e pela liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, durante a decomposição dos resíduos vegetais (Franchini et al, 2001; Janegitz et al, 2018). Esses compostos são capazes de complexar o Al tóxico e aumentar a mobilidade dos produtos originados da dissolução do calcário no perfil do solo além da dissolução de formas de P ligado ao Fe e Ca do solo, com posterior liberação em formas mais lábeis (ROSOLEM et al., 2015) que ocasiona aumento na produtividade.

Costa et al. (2008) ao avaliar a resposta do capim Marandu a diferentes fontes de P em um Latossolo Vermelho distroférico, observaram efeito positivo da adubação fosfatada na produção total de forragem porém não encontraram diferença significativa entre as fontes, superfosfato triplo (ST), fosfato reativo de Arad (FRA) e a mistura ST + FRA, exceção para o fosfato de Araxá (FA) em que a produção foi inferior às demais. , em geral, a aplicação do fósforo pelas três fontes avaliadas promoveu incremento da produção média de massa matéria seca, em relação à testemunha. Destacando-se, assim, a importância da adubação fosfatada para o estabelecimento

de pastagens de U. brizantha cv. Marandu, nas condições edafoclimáticas representadas pelo experimento.

4.9 Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

Os índices de eficiência agronômica variaram entre as fontes para os seis cortes realizados e para o IEA total (Figura 18).

Observa-se que quando o FNR foi aplicado na presença de calcário, houve um decréscimo no IEA. Nota-se que no primeiro corte o FNR obteve índices inferiores quando comparado à fonte de referência SFT nas condições de saturação intermediária e corrigido, corroborando estudo de Sandim (2016). O IEA no tratamento onde não houve aplicação de calcário foi de 30,95%, fato ocasionado pela solubilidade do FRN ser mais eficiente em solos não corrigidos. No segundo e terceiro corte os índices foram inferiores às demais fontes de fósforos no quarto, quinto e sexto corte apenas onde houve correção da acidez. Contudo, ao longo dos cortes o IEA para esta fonte foi crescente, principalmente onde não houve correção da acidez, seguida de onde a correção foi intermediária. Nota-se que no 2º corte, em todas as condições de saturação do solo houve uma IEA expressiva da fonte, sendo maior onde não ocorreu a correção da acidez. No 2º e 6º corte essa fonte supera a IEA de todas as testadas, no solo que apresenta condição de acidez original sendo que atingiu índice de 384 e 380%, respectivamente. No sexto corte essa fonte ainda é expressiva em relação a IEA na condição de acidez original, porém não é superior que as demais. Esse comportamento de evolução ao longo dos cortes foi observado por Bonfim-Silva et al. (2012) que avaliaram a massa do capim marandu sob aplicação de fosfato reativo e por Sandim (2016) na fase de implantação da pastagem na área deste mesmo experimento.

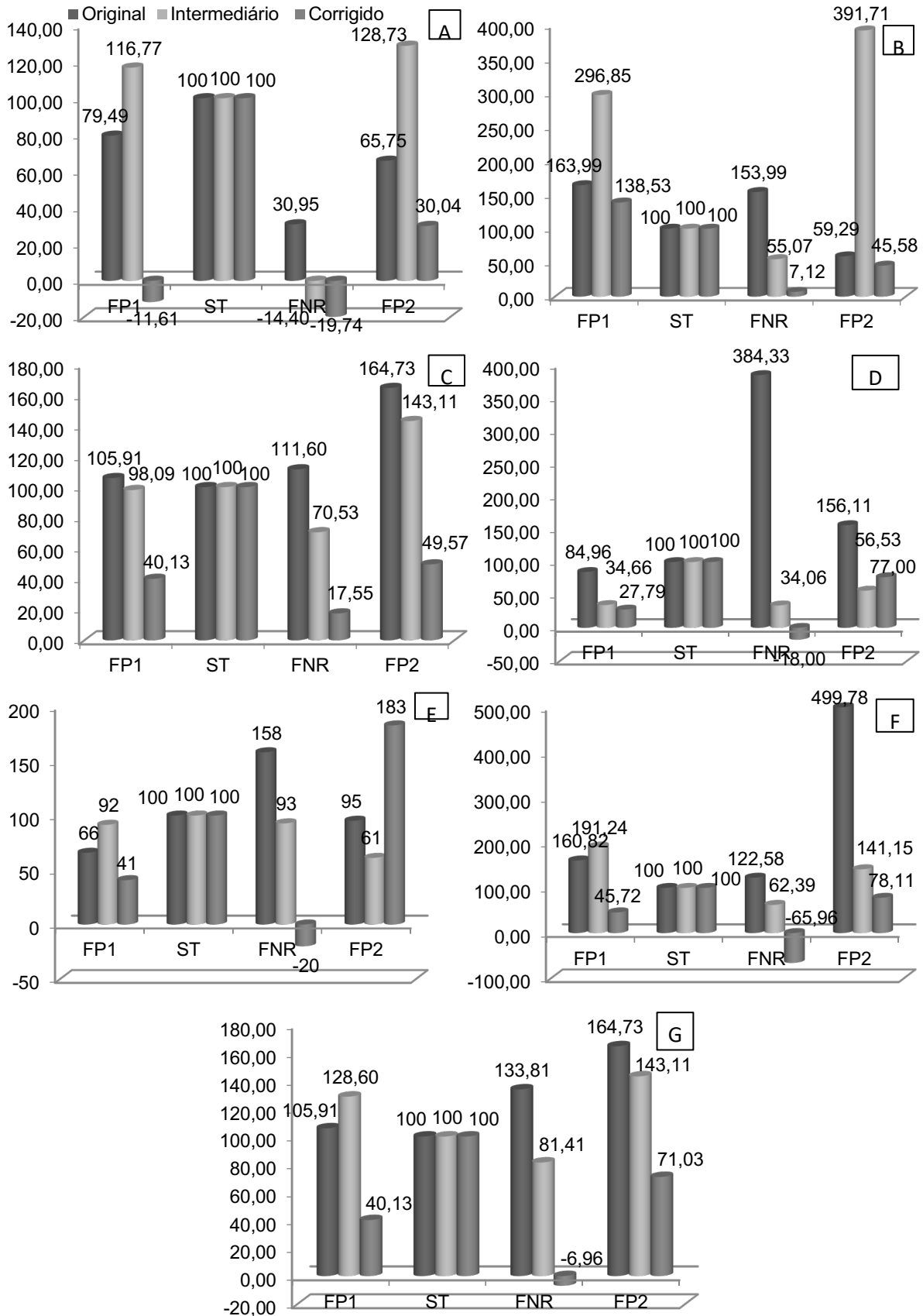
Costa et al. (2008) avaliando fontes de fósforo de baixa solubilidade (fosfato reativo de Arad e fosfato natural de Araxá) em capim-marandu, observaram aumento do IEA ao longo do tempo e estes autores, relatam que o aumento do IEA destas fontes é justificado pelo efeito residual dos fosfatos naturais reativos e menor adsorção de fósforo, no decorrer de seis cortes, uma vez que a liberação de fósforo para a solução do solo é mais lenta (CAIONE et al., 2011) e que este experimento é

continuação de um trabalho anterior não ocorrendo alteração nos tratamentos e delineamento.

Sabe-se que a acidez é um fator muito importante para a solubilização dos fosfatos naturais. Nesse âmbito, espera-se que espécies acidificantes da rizosfera favoreçam a dissolução e a eficiência agronômica desses fosfatos. Em espécies do gênero *Urochloa*, e no presente experimento verificou-se diminuição do pH do solo ao longo dos ciclos e maior produção de MSPA utilizando FNR no 2º, 3º, 4º e 5º corte e na ausência de calcário e na condição intermediária. Tais resultados apontam para perspectivas de uso dos fosfatos naturais apenas para a fase de manutenção das pastagens, quando os requerimentos externos da planta são efetivamente menores, em razão da maior eficiência na aquisição do fósforo.

Em relação às fontes alternativas de fósforo, observa-se que o FP1, proporcionou no 1º, 2º e 6º corte índices superiores à fonte de referência com valores de diferindo de Sandim (2016) que relata esta fonte apresentar IEA superior em todos os 4 cortes estudados. Nota-se que os maiores índices, foram obtidos quando o V% foi elevado a 45, dose intermediária 234, 297 e 423%, corroborando trabalho de Sandim (2016) que obteve maiores valores também no mesmo tratamento sendo possível observar que em nestes cortes, no V% intermediário, o FP1 atingiu o maior IEA quando comparado às demais fontes. No 3º, 4º e 5º corte o FP1 atingiu valores inferiores ao IEA, porém seguido de valores mais elevados no solo onde não recebeu correção da acidez, seguido do intermediário e do solo corrigido.

Figura 18 – Índice de eficiência agronômica em LATOSSOLO Vermelho distrófico em função de diferentes condições de V% e fontes de fósforo, determinado após a colheita das plantas. (A) 1o corte; (B) 2o corte; (C) 3o corte; (D) 4o corte; (E) 5o corte; (F) 6o corte; (G) média de todos os cortes.



As fontes alternativas FP1 e FP2 proporcionaram produções de massa de matéria nos tratamentos onde não houve correção da acidez do solo e no geral proporcionaram os maiores acúmulos de fósforo pelo capim marandu, indicando que seu uso em pastagens com essa gramínea é rentável e positivo. Sandim (2016) relata que tanto aos 60 dias após a emergência da forrageira (1º corte) quanto aos 240 DAE (4º corte), o FP1 foi superior ao SFT em condições de acidez intermediária, mostrando que tanto no estágio inicial quanto ao longo do tempo esta fonte disponibilizou fósforo à gramínea. Entretanto no primeiro corte e do terceiro até o sexto, em condição de solo corrigido a IEA foram inferiores a fonte testada e a fonte FP2 apenas no quarto e quinto corte, isso podendo inferir que esta fonte tem um melhor desempenho em condições de solo ácido a intermediário, sendo que essa fonte alternativa quando comparada a outra tem em sua caracterização menor quantidade de P_2O_5 total inferindo que esta fonte possa ser menos solúvel quando comparada a FP2.

No segundo corte a fonte FP1 obteve IEA superior no solo onde tinha a saturação de base intermediária, porém a eficiência foi inferior a da fonte referência e teve o mesmo comportamento no quarto corte, quando comparada com os solos que receberam correção intermediária e recomendada para *Urochloa*.

O FP2 também atingiu valores expressivos de IEA em todos os cortes analisados, principalmente em condições de acidez e acidez intermediária, discordando de Sandim (2016) que obteve valores mais altos em acidez corrigida em fase de implantação da cultura, o que justifica neste estudo o efeito residual desta fonte. Entretanto, ao observar os índices, nota-se que no geral o FP2, após o primeiro corte os IEA foram maiores quando comparado à outra fonte alternativa FP1, mostrando que sua utilização seria viável apenas na ausência da outra no caso de implantação da cultura, pois o efeito dessa fonte é mais expressivo e com o passar do tempo de exploração pela cultura esta melhora o IEA o que expressa o efeito residual desta ser expressivo ao longo do cultivo.

No total dos 6 cortes o IEA da FP2 apresentou maiores índices tanto na condição original quanto intermediária de todas as fontes testadas o que difere de Sandim (2016) cuja fonte que apresentou maior índice foi a FP1, principalmente na condição de solo intermediária, fato pode estar relacionado com a solubilidade a longo prazo da fonte, sendo que o IEA da FNR do solo original foi o que apresentou índice elevado, não superando o FP2 original. A FP1 no solo de condição intermediária

apresentou maior IEA quando comparada as outras condições de solo, corroborando Sandim (2016). Em solo corrigido tanto a FP1 quanto a FP2 apresentaram menor IEA.

Soares & Macedo (1988), Oliveira et al. (1984) e Vasconcellos et al. (1986), que afirmam que as fontes solúveis obtêm superior a resposta inicial na implantação de pastagens, o que ressalva a o uso das fontes alternativas, neste caso de estudo, indicada para a fase de estabelecimento de pastagem, pois disponibilizou fósforo tanto quanto a fonte solúvel em todos os tratamentos abordados.

Mesmo apresentando baixa solubilidade em água, as fontes alternativas proporcionaram altos índices de eficiência agronômica, tal fato pode ser explicado possivelmente devido a baixa solubilidade em água de formas de P contidas em fertilizantes pode ser oriunda de impurezas ou à própria natureza das fontes, porém não é possível afirmar que o desempenho agronômico seja prejudicado em função disto (SIKORA; GIORDANO, 1995; PROCHNOW et al., 2003, SANDIM, 2016).

A eficiência agronômica da adubação fosfatada é fortemente afetada pela natureza físico-química do fertilizante, por propriedades do solo (acidez, textura, mineralogia, matéria orgânica) práticas de manejo e espécies vegetais cultivadas (CHIEN & MENON, 1995). E a solubilização do fertilizante também é um fator que pode interferir no IEA, e esta é atrelada principalmente das propriedades do solo (acidez e adsorção) e da planta cultivada (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Pelos fatores encontrados nesse estudo e nos resultados encontrados por Sandim (2016) é possível afirmar que tais fontes, em especial o FP1, pode ser utilizado com alta eficiência em pastagens cultivadas com *Urochloa brizantha*, cultivar marandu em condições de solos corrigidos para um índice de saturação de bases aproximado de 45%.

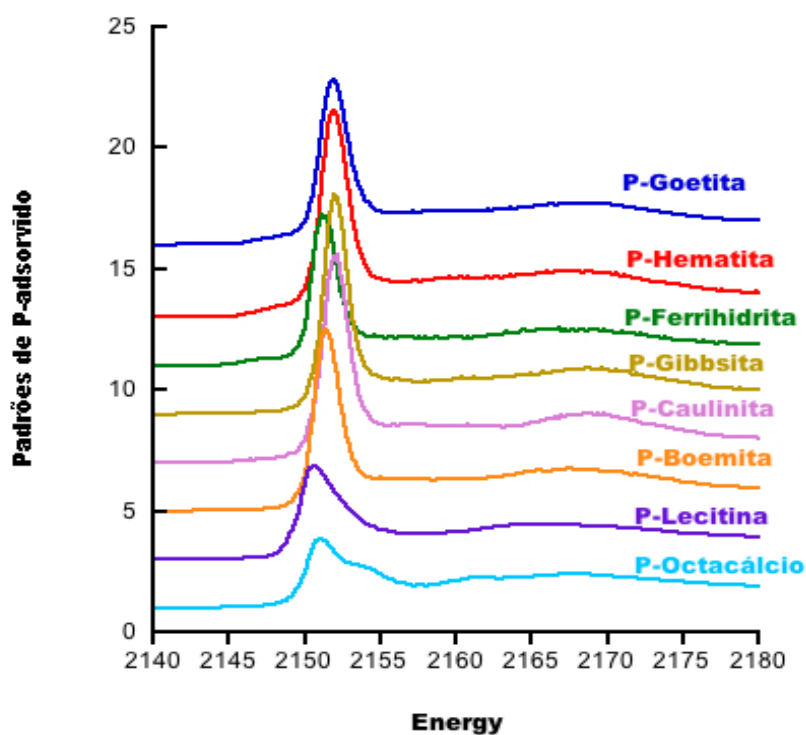
4.10 Determinação de espectros Xanes e P total do solo das placas de Petri

Os doze espectros de cada amostras de solo foram ajustados para diminuir o ruído, assim como até três espectros para a maioria dos padrões, os espectros combinados foram analisados por meio do software de análise de dados Athena (RAVEL; NEWVILLE, 2005).

Padrões de formas adsorvidas, minerais e orgânicas de fosfato (HESTERBERG et al., 1999) foram utilizados para ajustar os espectros XANES do solo via abordagem da análise de ajuste de combinação linear (LCF-Linear

Combination Fitting), uma abordagem de eliminação sequencial de padrões (MANCEAU, MARCUS E GRANGEON,2012); Os ajustes finais foram realizados em uma faixa de energia de -7 a 25 eV (relativo à E0), e ajustes somente no pico (-7 a 5 eV) também foram realizados para verificar a consistência dos resultados, ambos com os espectros XANES normalizados e XANES derivados e os padrões utilizados encontram-se na Figura 19.

Figura 19 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo dos padrões em que o fósforo.



Durante os ajustes iniciais, a escala de energia não foi deslocada. Após selecionar os dois ou três padrões finais que consistentemente produziram ajustes com resíduos baixos (R- factors) (KELLY et al., 2008), para todas as abordagens, um deslocamento de até ± 0.4 eV (dois passos de energia) foi permitido para os ajustes finais apresentados. As incertezas dos ajustes foram calculadas pelo software Athena (KELLY et al., 2008).

Após aos ajustes de combinação linear (LCF) os resultados da distribuição do solo associado ao ferro (P-Fe), ao alumínio (P-Al), ao cálcio e a compostos orgânicos (P-orgânico) são apresentados na tabela 8.

Dos padrões utilizados na análise LCF, a combinação dos padrões com o solo testado indicou ampla prevalência de P-Fe e P-Al em relação ao P-orgânico e P-Ca.

Tabela 8 – Distribuição relativa do fósforo estimada por meio do ajuste de combinação linear (LCF)

Fonte	Solo	Fator R	SPP	F900pH5	P- Hem. %	P- goeth	P- Boem	P- Caul	P- Gibb	Octa- Ca-P	P- Lecit
SFT	Original	0.0005935	0.932		52±1		13±1		28±1		
SFT	Intermed.	0.0004889	0.911		33±1			13	42±1		2±1
SFT	Corrigido	0.0005340	0.924		23±1	33±1		11±1	20±1	6±1	
FNR	Original	0.0013723	1.083	40±1	31						39±1
FNR	Intermed.	0.0020953	0.890		65±1		13±1				11±1
FNR	Corrigido	0.0010272	0.910	10±1	47±1		17±1				16
FP1	Original	0.0036913	0.945		65±1			23±1			6±1
FP1	Intermed.	0.0030794	0.943	25±1	66±1						4±1
FP1	Corrigido	0.0031449	0.971	7±1	66±1		13±1				11±1
FP2	Original	0.0039593	0.951		76±1				12		8±1
FP2	Intermed.	0.0026566	0.918	5±1	59		15±1				13±1
FP2	Corrigido	0.0040329	1.020		69±1			23±1			10±1

Adsorção de fosfato a : (1) Gibbsita, (2) Ferrihidrita, (3) Hematita (4)Goetita(5) Octacalcio (6) Lecitina(7)Bohetita (8) Caulinita.

De maneira geral, os ajustes de combinação linear (LCF) indicaram a ampla predominância P-Fe seguido de P-Al, em relação ao P-Ca e P-orgânico, sobressaindo-se o P-Al com as maiores percentagens. Não foi possível detectar em nenhum dos espectros das dos tratamentos estudados de picos na região da pré-borda de absorção. A não detecção desse pico indicou que nessas áreas ocorre a predominância de P associado ao F.

Figura 20 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte FNR.

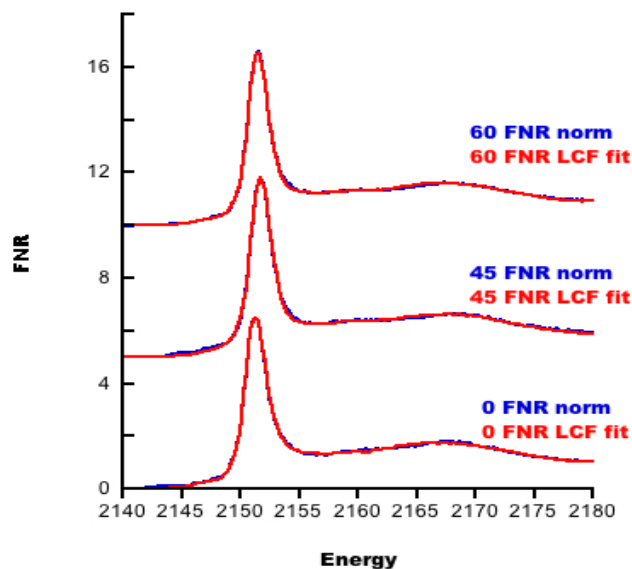


Figura 21 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte SFT.

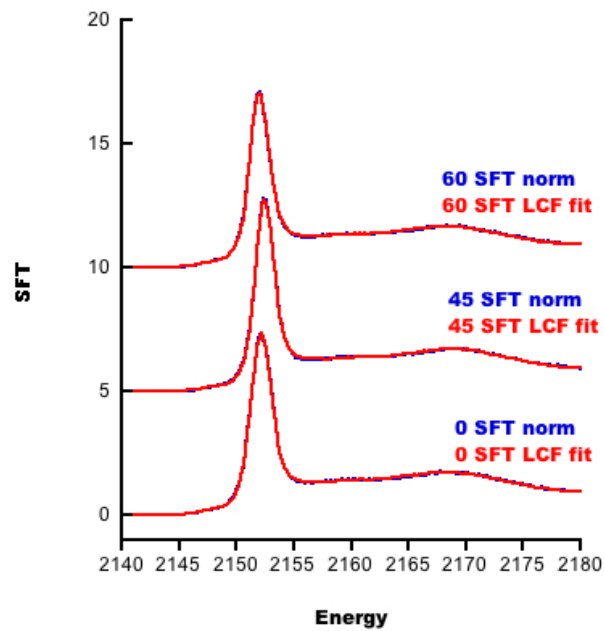


Figura 22 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte FP1.

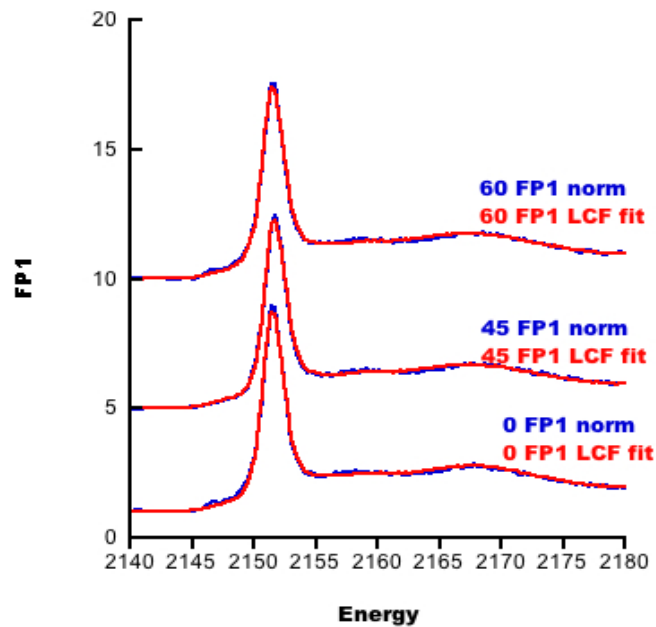
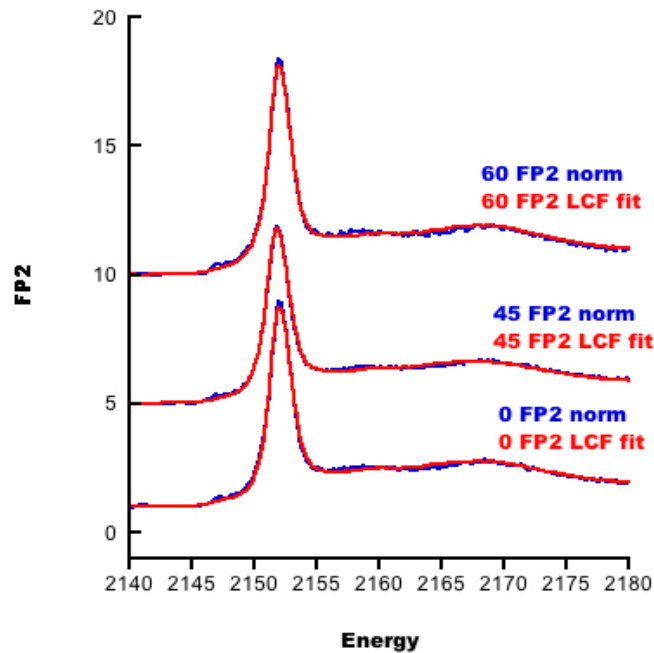


Figura 23 – Espectros normalizados de alta resolução da borda de absorção (XANES - X-ray absorption near edge structure) obtidos na camada K do fósforo da fonte FP2.



Hesterberg et al. (1999) e Beauchemin et al. (2003), avaliando a associação de P com Fe, seja estrutural ou adsorvido, verificaram que os fosfatos de Fe exibiram o pico na região da pré-borda de absorção, sendo que a intensidade do pico aumentou com o aumento da cristalinidade do mineral. Para o padrão em que o P está adsorvido ao mineral de Fe o pico se mostrou tênue. Hesterberg et al. (1999) e Hesterberg (2010), há uma variação entre diferentes fosfatos de Ca em relação a proeminência dessa feição, que diminui à medida que aumenta a solubilidade do mineral

A única fonte que apresentou P-Ca foi a SFT no tratamento corrigido que recebeu aplicação de calcário a 60% de saturação de vase. As fontes FP2 em todas as condições de solo possuem P adsorvido a fração orgânica do solo e em maiores valores nas condições em que houve correção do solo o que justifica seu comportamento de liberação de fósforo ao longo dos cortes.

De modo geral a hematita esta presente nas formas encontradas o que é característico de Latossolos (Santos,2016) e a ferrhidrita estão em maiores proporções em todas os tratamentos.

5 CONCLUSÃO

As fontes alternativas proporcionaram elevados índices de eficiência agronômica e alta produção de massa de matéria seca da *Urochloa brizantha*.

Nos primeiros cortes o O FP2 apresentou melhores rendimentos em condições de acidez corrigida. O FP1 obteve melhores rendimentos de produção de massa de matéria seca e maior IEA em condições de acidez intermediária sendo em geral superior a todas as outras fontes analisadas.

Em solos com fertilidade constituída e cultivados com pastagem, a fonte FP1 é tão eficiente quanto à fonte de referência, superfosfato triplo. Demonstrando apresentar desempenho agronômico satisfatório fato proporcionado pela maior quantidade de formas lábeis de fósforo disponibilizadas por essa fonte.

A fonte FP2 não é indicada para cultivos de cultura de ciclo curto, independente da condição de fertilidade do solo. Entretanto, em condições de solo com acidez corrigida e cultivado com cultura perene como pastagens o uso desse fosfato é recomendado já que apresenta índices de eficiência superior ao fosfato acidulado de referência, justificado pela maior quantidade de formas moderadamente lábeis proporcionadas por este fosfato.

A longo prazo, no cultivo de pastagem, as fontes FP2 e FNR proporcionaram rendimentos tão eficientes quanto semelhantes as fontes SFT e FP1 e em algumas condições sobressaindo a eficiência dessas fontes, demonstrando o potencial efeito residual da fonte FP2 em todas as condições de solo e a maior solubilidade que FP1 apresenta quando comparado a FP2. Sendo notório a diferença da IEA primeiros cortes sendo maiores valores encontrados na FP1 e com o passar do cultivo a fonte FP2 foi a mais expressiva nos últimos cortes.

A fonte FP2 mesmo não sendo tão solúvel quanto a fonte FP1 em fase de implantação de pastagem, ela consegue suprir a demanda da planta, sendo considerada versátil, mesmo tendo sua eficiência melhorada a longo prazo.

De maneira geral, os ajustes de combinação linear (LCF) indicaram a ampla predominância P-Fe seguido de P-Al, em relação ao P-Ca e P-orgânico, sobressaindo-se o P-Al com as maiores percentagens. Não foi possível detectar em nenhum dos espectros das dos tratamentos estudados de picos na região da pré-borda de absorção. A não detecção desse pico indicou que nessas áreas ocorre a predominância de P associado ao F. Sendo que a hematita esta presente nas formas

encontradas o que é característico de Latossolos o que favorece a adsorção de fósforo.

Desta forma, o uso de resíduos oriundos do processo de produção de fertilizantes fosfatados é uma boa alternativa para aquelas reservas fosfáticas que contenham certo grau de impurezas ou para materiais que atualmente são considerados rejeitos e que ainda possuem fósforo em sua composição.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; OMETTO, J. C.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V.; FREIRE, E. S. Adubação da cana-de-açúcar. XI — Experiências com diversos fosfatos. *Bragantia*, v. 24, Campinas, 1965
- ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1003-1011, 2003.
- ARAÚJO, M.S.B. & SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.643-650, 1997.
- BARCELLOS, J.O.J. e MALAFAIA, G. da C.. 2007. Pecuária: Reavaliar a competitividade. *Agroanalysis*, v. 27, p. 21-22.
- BARCELLOS, A.O., MEDRADO, M.J.S., GRISE, M.M. et al. Base conceitual, sistemas e benefícios da iLPF. In. BALBINO, L.C., BARCELLOS, A.O., STONE, L.F. (Ed). *Marco referencial Integração Lavoura-Pecuária-Floresta*. Brasília/DF, Embrapa, p. 23-40, 2011.
- BEAUCHEMIN, S.; HESTERBERG, D.; CHOU, J.; BEAUCHEMIN, M.; SIMARD, R.R. and SAYERS, D.E. Speciation of phosphorus in phosphorus-enriched agricultural soils using X-ray absorption near-edge structure spectroscopy and chemical fractionation. *Journal of Environmental Quality*, 32:1809–1819, 2003.
- Bolan, N.S. White, R.E. and Hedley, M.J. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. *Aust. J. Exp. Agric.* 30: 297-313. (1990).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Análises de Corretivos, Fertilizantes e Inoculantes – Métodos Oficiais*. Brasília, Laboratório Nacional de Referência Vegetal (LANARV) / Secretaria de Defesa Agropecuária. 104 p., 1983.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 16:169-175, 1984.
- BÜLL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônômica. *Bragantia*, Campinas, v. 56, p. 169-179, 1997.
- CALONEGO, J.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus and potassium balance in a corn-soybean rotation under no-till and chiseling. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, v.96, n.1, p.123-31, 2013.

CARNEIRO, L.F.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, J.Z.L.; CURI, N.; REIS, T.H.P.; VALLE, L.A.R.; Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, p. 483-491, 2011.

CELI, L.; LAMACCHIA, S.; MARSAN, F.A.; BARBERIS, E. Interaction of inositolHexaphosphate on clays: Adsorption and charging phenomena. *Soil Science*, 164 (8), p. 574–585, 1999.

CESSA, R.M.A.C.; CELI, L.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O. & BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1153-1162, 2009.

CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, [s.l.], v. 84, p.133-144, 1957.

CHEPKWONY, C.K.; HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S.; HARRISON, R. Mineralization of soil organic P induced by drying and rewetting as a source of plant-available P in limed and unlimed samples of an acid soil. *Plant and Soil*, v.234, p.83-90, 2001.

CHIEN S. H.; Comparing of the difference and balance methods to calculate percent recovery of fertilizer phosphorus applied to soils: a critical discussion. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 92, p. 1-8, Janeiro, 2012.

COLOMBO, C.; BARRÓN V.; TORRENT J. Phosphate adsorption and desorption in relation to morphology and crystal properties of synthetic hematites. *Geochimica et Cosmochimica acta.*, 58 (4): 1261-1269, 1994

CONDRON, L.M.; GOH, K.M. & NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by P31 nuclear magnetic resonance analysis. *J. Soil Sci.*, 36:199-207, 1985.

CONDRON, L. M.; GOH, K. M. Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zealand. *The Journal of Soil Science*, Oxford, v.40, p.383-395, 1989.

CONTE, E. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

CONTE, E. et al. Frações de fósforo acumulada em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003.

CORRÊA, R.L. "Corporação e Espaço. Uma Nota." *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, 53 (1): 137-145, 1991.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, S. K. S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 159-164, 2005.

CORRÊA, I.C.S.; VILLWOCK, J.A.; ISLA, F.I.; LÓPEZ-LABORDE, J.; JACKSON, J.M.; FURTADO, V.V.; CALLIARI, L.J. 1996. ATLAS Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina). In: Martins, L.R.S. & Corrêa, I.C.S. (Eds.), ATLAS Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina). CECO/IG/UFRGS, 20 mapas

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H.A. literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, Amsterdam, v. 64, n. 2/4, p.197-214, 1995.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga*, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DAROUB, S. H.; PIERCE, F. J.; ELLIS, B. G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus³³ in soils under plowing and no-tillage. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 64, n. 1, p. 170-176, Jan./Feb. 2000.

DEAN, L.A. Distribution of the forms of soil phosphorus. *Soil Science Society of American Journal*, v.2, p.223-227, 1937.

DELGADO A.; TORRENT J. Phosphorus Forms and Desorption Patterns in Heavily Fertilized Calcareous and Limed Acid Soils. *Soil Science Society of America*, 64 (6): 2031-2037 Janeiro, 2000.

DIAS FILHO, M.B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: Dias, L.E. & Mello, J.W.V. (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas*. UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Viçosa. p. 135-147, 1998.

DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *J. Environ. Qual.*, 6:82-85, 1977.

FENSTER, W. E.; LEÓN, L. A. Consideração sobre a fertilização fosfatada no estabelecimento e persistência de pastagens em solos ácidos e de baixa fertilidade na América Latina tropical. In: SÁNCHEZ, P. A.; TERGAS, L. E.; SERRÃO, E. A. S. (Ed.). *Produção de pastagens em solos ácidos tropicais*. Brasília: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982. p. 127-141.

GATIBONI, L.C; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. *Rev. Bras. Cienc. Solo*. 2008a; 32:1753-61.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. *Pesq. Agropec. Bras.* 2008b; 43:1085-91.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v.8, p.141-187, 2013.

- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.31, p.691-699, 2007.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina trocadora de ânions. *R. Brasileira Ciência do Solo*, [s.l.], v. 29, p.363-371, 2005.
- GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 245 p. (Tese de Doutorado).
- GIAVENO, C.; RICHARDSON, A.; SIMPSON, R.; BARBERIS, E. Interaction of phytases with minerals and availability of substrate affect the hydrolysis of inositol phosphates. *Soil Biology and fertility of soils*, v. 49, n. 3, p. 491-498, 2010
- GOEDERT, W.J; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.15, n.3, p.311-318, 1980.
- GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. & REIN, T.A. Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1986. 22p. (Documentos, 22)
- GOLDBERG, S. and SPOSITO, G. On the Mechanism of Specific Phosphate Adsorption by Hydroxylated Mineral Surfaces: A Review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 16, 801-821, 1985.
- GOMIDE, J.A. Exploração de pastagens em solos de baixa fertilidade. In: CONGRESSO DE PASTAGENS; SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM., Anais... Piracicaba, FEALQ, p.481-497, 1986
- HEDLEY, M.J.; HUSSIN, A.; BOLAN, M.S. New approaches to phosphorus fertilization. In: SYMPOSIUM OF PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 1, 1990, Los Banos. *Proceedings...* Manila: IRRI, p.125-142, 1990.
- HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.46, p. 970-976, 1982.
- HESTERBERG, D. Macroscale chemical properties and x-ray absorption spectroscopy of soil phosphorus. In: SINGH, B.; GRAFE, M. (Ed.). *Synchrotron-based techniques in soils and sediments*. Amsterdam: Elsevier B.V., 2010. p. 313-356.
- HESTERBERG, D.; ZHOU, W.; HUTCHISON, K.J.; BEAUCHEMIN, S.; SAYERS, D.E. XAFS study of adsorbed and mineral forms of phosphate. *Journal of Synchrotron Radiation*, Copenhagen, v. 6, p. 636-638, 1999.
- HETTIARACHCHI, G.M.; McLAUGHLIN, M.J.; SCHECKEL, K.G.; CHITTLEBOROUGH, D.J.; NEWVILLE, M.; SUTTON, S.; LOMBI, E. Evidence for

Different Reaction Pathways for Liquid and Granular Micronutrients in a Calcareous Soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.72, n.1, p. 98-110, 2008.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed). *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba: POTAFOS, 2003. p. 665-687.

IGWE, C.A.; ZAREI, M. and STAHR, K. Fe and Al oxides distribution in some ultisols and inceptisols of southeastern Nigeria in relation to soil total phosphorus. *Environmental Earth Science* 60, 1103-1111, 2010.

JANEGITZ, M. C.; INOUE, B. S.; ROSOLEM, C. A. Formas de fósforo no solo após o cultivo de braquiária e tremoço branco. *Ciência Rural*, v. 43, p.1381-6, 2013.

JANEGITZ, M.; ROSOLEM, C.; FERREIRA-ELOY, N. Espécies de *Urochloa* afetam diferencialmente a disponibilidade de fósforo no solo. *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215, América do Norte, 1319 12 2017.

KAMPRATH, E. J. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soil. In: FERRI, M. G. (Coord.). *SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA*, 4., Belo Horizonte. Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p.333-347, 1977.

LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, New York, v.19, p.151-210, 1967.

LIMA, J. G. C.; SCHULZE, S. M. B. B.; RIBEIRO, M. R.; BARRETO, S. B. Mineralogia de um Argissolo vermelho-amarelo da zona úmida costeira do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.:881-892, 2007.

LOMBI, E.; HETTIARACHCHI, G.M.; SCHECKEL, K.G. Advanced in situ spectroscopic techniques and their applications in environmental biogeochemistry. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 40, n. 5, p. 659-666, 2011.

LOMBI, E.; McLAUGHLIN, M.J.; JOHNSTON, C.; ARMSTRONG, R.D.; HOLLOWAY, R.E. Mobility and lability of phosphorus from granular and fluid monoammonium phosphate differs in a calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 68, n. 4, p. 682-689, 2004.

LOMBI, E.; SCHECKEL, K.G.; ARMSTRONG, R.D.; FORRESTER, S.; CUTLER, J.N.; PATERSON, D. Speciation and distribution of phosphorus in a fertilized soil: A synchrotron- based investigation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 70, n. 7, p. 2038- 2048, 2006.

LOMBI, E.; SUSINI, J. Synchrotron-based techniques for plant and soil science: opportunities, challenges and future perspectives. *Plant and Soil*. 2009;320:1–35.

LOPES, A.S. (Tradução e Adaptação). *Manual internacional de fertilidade do solo*, 2a edição revisada e ampliada. Piracicaba: POTAFOS, 1998, 177p.

LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1982, Londrina. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.51-65.

LOPES, A.S., GUILHERME, L.R.G. Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: Aspectos agronômicos. 3a edição revisada e atualizada. São Paulo, ANDA, 2000.

LOPES, S. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T.; ADDALLA, S. R. S. SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba. Anais...Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 13-34.

MANCEAU, A.; MARCUS, M.A.; GRANGEON, S. Determination of Mn valence states in mixed-valent manganates by XANES spectroscopy. *American Mineralogist*, Washington, v. 97, n. 5/6, p. 816–827, 2012.

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Agronômica Ceres, p.528, 1976.

MALAVOLTA, E., ROMERO, J.P. (Coord) 1975. Manual de adubação. ANDA. São Paulo, 2.ed. 345pp.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v.31, n.3, p.563- 568, 2007.

McGILL, W.B. & COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma*, 26:267-286, 1981.

MCLAUGHLIN, M.J.; McBEATH, T.M.; SMERNIK, R.; STACEY, S.P.; AJIBOYE, B.; GUPPY, C. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils—implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant and Soil*, v. 349, n. 1-2, p. 69-87, 2011.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 27, p. 31-36, 1962.

NANAMORI, M.; SHINAMO, T.; WASAKI, J.; YAMAMURA, T.; RAO, I. M.; OSAKI, M. Low phosphorus tolerance mechanisms: phosphorus recycling and photosynthate partitioning in the tropical forage grass, *brachiaria* hybrid cultivar mulato compared with rice. *Plant & Cell Physiology*, v.45, n.4, p.460-9, 2004.
<https://doi.org/10.1093/pcp/pch056>

NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M.; MARTINS FILHO, C. A. Efeito do tempo de incubação do fosfato de Araxá em solos sobre o fósforo disponível. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 153-155, 1980.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. 1991. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D.; Lourenço, S. (Eds.). Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, Brasília, Df. p. 189-255.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p

NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B. NEVES, J. C. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 1017p, 2007.

OLIVEIRA, P. I.; CASTRO, F. G. F.; CUSTÓDIO, D. P.; MOREIRA, F. P.; PAIXÃO, V. V.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação da calagem sobre os parâmetros quantitativos, qualitativos e nutricionais da forrageira Tanzânia -11. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.30, n.1, p.71 -75, jan./jun. 2000.

PAVINATO, P.S; DAO, T.H; ROSOLEM, C.A. Tillage and Phosphorus management effects on enzyme-labile bioactive phosphorus availability in Cerrado Oxisols. Geoderma, Amsterdam, v.156, p. 207-215, 2010.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. Soil and Tillage Research, v. 105, n.1, p.149-55, 2009.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. Adv. Agron., 30:1-50, 1978.

PARFITT, R. L. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. Journal of Soil Science, [s.l.], v. 40, p.359-369, 1989.

RAIJ, B.V. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004. p.563-588.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 343p. 1991.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. DE e SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 6:33-37, 1982.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. Advances in Agronomy, v.57, p.77-159, 1996.

RAVEL, B., NEWVILLE, M. Athena, Artemis, Hephaestus: data analysis for X-ray absorption spectroscopy using IFEFFIT. Journal of Synchrotron Radiation, v.12, n.4,p. 537-541, 2005.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesq. Agropec. Bras.* 2001; 36:151-60.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100019>

RHEINHEIMER, D. S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, n.15/16, p.2339-2354, 2002.

RHEINHEIMER, D. S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, [s.l.], v. 34, n. 15/16, p. 2339-2354, 2003.

RICHTER, D. D.; BABBAR, L. I. Soil diversity in the tropics. *Advances in Ecological Research*, London, v. 21, p. 316-389, 1991.

ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A.; BULL, J. C. L. Soil phosphorus dynamics as affected by congo grass and P fertilizer. *Scientia Agricola*, v. 71, p.309-15, 2014.

RUSSELL R. SCOTT, RUSSELL E.W.; MARAIS P.G. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. *J.Sci*: 247-267. 1957.

ROTTA L. R.; Fracionamento e disponibilidade de fósforo em uma cronosequência de cultivo sobre plantio direto. Tese (Mestrado em produção vegetal, linha de pesquisa solos e nutrição de plantas. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, GO, 2012.

SANDIM, A. S. Solubilidade, efeito residual e eficiência agronômica de fontes alternativas de fosfatos. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas. Área de concentração: Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP, 159p. 2016.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT software version 9.2. Cary, 2002.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F. & CUNHA, T.J.F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

SANTOS, I. P. A.; PINTO J. C.; SIQUEIRA, J. O.; MORAIS A. R.; SANTOS, C. L. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 2, p. 605-616, 2002

SCHWERTMANN, U.; HERBILLON, A.J. Some aspects of fertility associated with the mineralogy of highly weathered tropical soils. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. Myths and science of soils of the tropics. Madison, Soil Science Society America, 1992. p.47-59

SILVA, R. C. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados com solubilidade variada. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2012.

SILVA, F. C. da; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.

SOUZA, E. A. Aplicação de Fertilizante Amoniacal como estratégia para melhorar a eficiência de uso de fósforo em milho. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP, 149p. 2017.

SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford, 330p. 2008.

STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: Genesis, composition and reactions*. 2.ed. New York, Willey & Sons, 1994. 496p.

TIECHER T.; SANTOS, D.R. dos; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.271-281, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Methods of chemical analysis for water and wastes*. Cincinnati, 1971.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: *Simpósio sobre Manejo de Pastagem*, 17., 2001. Anais... FEALQ. Piracicaba. 458 p, 2001.

VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; SOUZA, F. R. S. de; PEREIRA, W. L. M. Resposta de cultivares de milho à adubação fosfatada em Latossolo Vermelho do sul do Pará. *Revista de Ciências Agrárias*, n. 44, p. 145-156, 2005.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M. Calagem e adubação para pastagens. *Embrapa Cerrados*, Planaltina, DF, p. 367-382, 2004

VILELA, D.; ALVIM, M. J.; MATOS, L. L. de; MATIOLLI, J. B. Use of rumen bypass fat for early-lactating dairy cows grazing on coast-cross pasture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (10): 1503-1509, 2002.

VOLKWEISS, S.J.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: *SIMPÓSIO SOBRE CERRADO*, 4., 1976, Brasília. Bases para utilização agropecuária. Anais... São Paulo: EDUSP, 1977. p.317-332.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, [s.l.], v. 15, p. 1-19, 1976.

WERNER, J.C; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.; FURLANI, A.M.C (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. P.263-273. (IAC. Boletim técnico, 100).

WILLIAMS, R. F. The effects of phosphorus supply on the rates of intake of phosphorus and nitrogen and upon certain aspects of phosphorus metabolism in gramineous plants. *Aust. J. Sci. Res.*, [s.l.], v. 1, p. 333–341, 1984.