

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**SILVANO HARKATIN**

**APLICAÇÃO DE FOSFATOS EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA: APROVEITAMENTO PELA SOJA E ATRIBUTOS QUALI-  
QUANTITATIVOS DO AZEVÉM ANUAL**

**PONTA GROSSA  
2014**

SILVANO HARKATIN

**APLICAÇÃO DE FOSFATOS EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA: APROVEITAMENTO PELA SOJA E ATRIBUTOS QUALI-  
QUANTITATIVOS DO AZEVÉM ANUAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Agricultura. Linha de pesquisa: Uso e Manejo do Solo.  
Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

PONTA GROSSA  
2014

**Ficha Catalográfica**  
**Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG**

H282 Harkatin, Silvano  
Aplicação de fosfatos em sistema integrado de produção agropecuária: aproveitamento pela soja e atributos quali-quantitativos do azevém anual/ Silvano Harkatin. Ponta Grossa, 2014. 89f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca.

1.Glycine max (L.) Merr.. 2.Lolium multiflorum Lam. 3.Fosfatos solúveis e insolúveis em água. 4.Adubação de sistema. 5.Atributos bromatológicos. I.Fonseca, Adriel Ferreira da. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 631.5



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Aplicação de Fosfatos em Sistema Integrado de Produção Agropecuária: Aproveitamento pela Soja e Atributos Quali-Quantitativos do Azevém Anual”**.

Nome: Silvano Harkatin

Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Profa. Dra. Laise da Silveira Pontes

Prof. Dr. Igor Quirrenbach de Carvalho

Data da Realização: 25 de novembro de 2014.

Ao Deus Pai Criador por mais esta conquista

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela graça da vida e todas as oportunidades e conquistas alcançadas.

Aos meus pais, Pedro Harkatin e Maria Floriza Mainardes Harkatin, pelo apoio a mais essa conquista.

Ao orientador, Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca, pela oportunidade creditada desde a graduação e a confiança concedida no Mestrado.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), pela realização do curso de Mestrado.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela contribuição científica para realização deste trabalho e formação profissional.

À Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos e recursos financeiros.

Às instituições Fundação ABC, Mineração Curimbaba e International Plant Nutrition Institute (IPNI), pelo apoio financeiro para execução do trabalho experimental em campo.

Aos funcionários e técnicos da UEPG, em especial à Verônica Dias Carneiro, Danilo Bachinski, Elias Luiz Meira do Laboratório de Nutrição de Plantas, Dirce Aparecida Vaz do Laboratório de Fertilidade do Solo.

Aos colegas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho: Shively Los Galletto, Fabrício Siqueira Hennipman, Eduardo Daniel Guntzel, Joaquim José Honorio de Lima, André Carlos Auler, Jéssica Alves dos Santos, Flávia Biassio, Thays Schneider, Julienne De Geus Moro, Elton Rech, Gabriel Gregório Soares, Felipe Vriesman, Sara Ponte Carrera, Moisés Marcondes de Oliveira, André Vinícios Vam Beek, Adriano Xavier Maukoski, Jasmine Jurich Pillati, Bruna Simone Siqueira, Angelo Rafael Bini, Reinaldo Joris Netto (*in memoriam*) e em especial, a minha namorada Liliane Heuert pelo apoio, paciência e incentivo.

Agradeço ainda a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

HARKATIN, Silvano. **Aplicação de fosfatos em sistema integrado de produção agropecuária: aproveitamento pela soja e atributos quali-quantitativos do azevém anual.** 2014. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Sistemas integrados de produção agropecuário (SIPAs), quando bem manejados, podem resultar em benefícios para o ambiente, inclusive, otimização de uso do fósforo (P) para produção de alimentos. Os solos brasileiros apresentam-se naturalmente pobre em P, e as práticas que visam eficiência de uso deste nutriente podem resultar em benefícios econômicos e ambientais para a sociedade. Os objetivos deste trabalho foram: (i) mensurar o rendimento quantitativo do azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) e da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill); (ii) avaliar o acúmulo de P (azevém anual e soja); (iii) averiguar as alterações nos atributos de fertilidade do solo (pH e P-disponível); (iv) avaliar o rendimento de massa seca disponível por pastejo (MSP); (v) rendimento de proteína bruta (RPB); e as (vi) concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) e P no azevém anual, em SIPA submetido a fontes (superfosfato triplo – SFT, fosfato natural reativo – FNR Arad e termofosfato magnésiano – TFM) e doses de P (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total). O experimento foi instalado em abril/2009 na Fazenda Capão do Cipó, no município de Castro (PR). O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos casualizados em esquema fatorial incompleto (3x3+1). Aos 48 meses de estudo, foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, para determinação das concentrações de P disponível por dois métodos (Mehlich-1 – M-1 e resina trocadora de íons – RTI) para avaliação da disponibilidade de P para a cultura da soja (2012/13). Foram verificados rendimentos similares entre as fontes avaliadas (SFT, FNR e TFM) aos 48 meses de avaliação experimental; todavia, maiores acúmulos de P foram verificados para as fontes mais solúveis. A determinação de P pelos extratores (M-1 e RTI) superestimou as concentrações de P no solo em condição de aplicação de FNR. Porém, melhores correlações entre o P solo e os atributos das culturas foram maiores para a extração por RTI na camada 0-20 cm. Foram verificadas menores concentrações de FDN na pastagem de azevém anual mediante a aplicação de TFM, sem, no entanto, apresentar as maiores concentrações de P.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Glycine max* (L.) Merr., *Lolium multiflorum* Lam., fosfatos solúveis e insolúveis em água, adubação de sistema, atributos bromatológicos, agricultura conservacionista.

## ABSTRACT

HARKATIN, Silvano. **Phosphorus application in Integrated Crop-Livestock System: availability for soybean, and quality and quantity attributes of annual ryegrass.** 2014. Master Science in Agronomy Dissertation – State University of Ponta Grossa.

Integrated systems of agricultural production (ISAP), when well managed, can result in environmental benefits, including the optimization of the use of phosphorus (P) for food production. Brazilian soils are presented naturally low in P, and practices aimed at efficient use of this nutrient can result in economic and environmental benefits to society. The objectives of this study were: (i) measure the quantitative yield of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill); (ii) to evaluate the accumulation of P (annual ryegrass and soybean); (iii) investigate the changes in the attributes of soil fertility (pH and available-P); (iv) to assess the yield of dry matter available for grazing (DMA); (v) yield of crude protein (YCP); and (vi) concentrations of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude protein (CP) and P in ryegrass in ISAP undergo sources (triple superphosphate - TSP, reactive phosphate - RP Arad and magnesium thermophosphate - MTP) and P levels (0, 60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total). The experiment was installed in April / 2009 at farm Capon do Cipo, in the municipality of Castro (PR). The experimental design was a randomized complete block in incomplete factorial (3x3 + 1). After 48 months of study, soil samples from the 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm were collected to determine the concentrations of available P by two methods (Mehlich-1 – M-1 and ion exchange resin - IER) to assess the availability of P for the soybean crop (2012/13). Similar yields were observed among the evaluated sources (TSP, RP and MTP) at 48 months of experimental evaluation; However, higher accumulation of P were observed for the most soluble sources. The determination of P by the extractors (M-1 and IER) overestimated the concentrations of P in the soil in condition of application of RP. But best fixes between soil P and crop attributes were higher for extraction by IER in 0-20 cm layer. Lower concentrations of NDF in annual ryegrass were verified by applying MTP, without, however, presenting the highest concentrations of P.

**KEYWORDS:** *Glycine max* (L.) Merr., *Lolium multiflorum* Lam., water-soluble and insoluble phosphates, system fertilization, bromatological attributes, conservationist agriculture.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Massa seca desaparecida, massa seca residual e massa seca total de azevém anual devido aplicação de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). Δ: termofosfato magnésiano (TFM).. .....34
- Figura 2:** Acúmulo de fósforo pelo azevém anual em função de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). Δ: termofosfato magnésiano (TFM).. .....37
- Figura 3:** Rendimento de grãos, peso de mil sementes e massa seca da parte aérea de soja após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). Δ: termofosfato magnésiano (TFM).. .....39
- Figura 4:** Acúmulo de P pela soja (kg<sup>-1</sup>) e concentração de P nos grãos de soja (g/kg<sup>-1</sup>) e peso de mil sementes (g<sup>-1</sup>) após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). Δ: termofosfato magnésiano (TFM).. .....42
- Figura 5:** Eficiência de uso de fósforo de soja e fósforo na massa seca residual da soja (ha<sup>-1</sup>) após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). Δ: termofosfato magnésiano (TFM).. .....43
- Figura 6:** Fósforo disponível extraído pelo método de Mehlich-1 (P-M), em função de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnésiano (Δ)] de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sistema integrado de produção agropecuário.....45
- Figura 7:** Fósforo disponível extraído pelo método de Resina Trocadora de íons (P-RTI), em função de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnésiano (Δ)] de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sistema integrado de produção agropecuário.. .....47
- Figura 8:** pH do solo (CaCl 0,01 Mol L<sup>-1</sup>) após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofosfato magnésiano (TFM).. .....51
- Figura 9:** Precipitação e temperatura média do ar no ano de 2012 e o histórico ocorrido nos últimos 40 anos para precipitação e 8 anos para temperatura, medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada a 550 m do experimento. ....58

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Precipitação e temperatura média do ar, nos anos de 2012 e 2013, na Estação Experimental de Castro. Fonte: Sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada a 550 m do experimento e os valores históricos do local. ....	27
<b>Tabela 2:</b> Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo da cobertura (forragens) ou colheita (grãos). ....	29
<b>Tabela 3:</b> Coeficientes de correlação (r) entre os atributos de plantas (azevém anual e soja) e as concentrações de fósforo (P) disponível por solução de Mehlich-1 (P-M) e resina de troca iônica (P-RTI), em camadas distintas de solo, após 48 meses de experimentação com fontes e doses de P em sistema de integrado de produção agropecuário. ....	49
<b>Tabela 4:</b> Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido descrição geral das atividades e manejo de cobertura (forragens) ou colheita (grãos). ....	60
<b>Tabela 5:</b> Equações de regressão e nível de significância dos atributos avaliados para o azevém anual submetidos a doses de fósforo (0, 60, 120, 180 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total), aplicadas na superfície do solo, em sistema integrado de produção agropecuário. ....	66
<b>Tabela 6:</b> Massa seca em pastejo (MSP, concentração de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), fósforo (P), proteína bruta (PB) e rendimento de proteína bruta (RPB) no azevém anual, após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ....	68
<b>Tabela 7:</b> Valores de F referentes aos atributos do azevém anual, soja e solo.....	88
<b>Tabela 8:</b> Valores de DMS referentes aos atributos do azevém anual, soja e solo. ....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
APA	Acúmulo de fósforo no azevém anual
APS	Acúmulo de fósforo na soja
C	Carbono
Ca	Cálcio
CNA	Citrato neutro de amônio
COT	Carbono orgânico total
CPGS	Concentração de fósforo nos grãos de soja
EUP	Eficiência de uso de fósforo
FDA	Fibra insolúvel em detergente ácido
FDN	Fibra insolúvel em detergente neutro
Fe	Ferro
FNR	Fosfato natural reativo
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
M-1	Mehlich-1
Mg	Magnésio
MSD	Massa seca desaparecida
MS	Massa seca
MSP	Massa seca disponível por pastejo
MSPA	Massa seca da parte aérea da soja
MSR	Massa seca residual
MST	Massa seca total
MSTP	Massa seca total produzida
N	Nitrogênio
NT	Nitrogênio total
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
PD	Plantio direto
pH	Potencial hidrogênio iônico
P-M	Fósforo determinado por solução extratora de Mehlich-1
PMR	Fósforo na massa seca residual da soja
PMS	Peso de mil sementes
P-RTI	Fósforo determinado por resina trocadora de íons
PV	Peso vivo
r	Coefficiente de correlação
RG	Rendimento de grãos
RPB	Rendimento de proteína bruta
RTI	Resina trocadora de íons
S	Enxofre
SIPA	Sistema integrado de produção agropecuária
SFT	Superfosfato triplo
TFM	Termofosfato magnésiano
TFSE	Terra fina seca em estufa
U.A	Unidade animal
V%	Saturação por bases

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	12
2.1. Sistemas de produção de grãos e de forragens no Brasil.....	12
2.2. Importância das culturas de aveia preta, milho, azevém anual e soja nos sistemas integrados de produção agropecuária no Sul do Brasil .....	16
2.3. Manejo da fertilidade do solo em sistemas integrados de produção: contextualização do fósforo.....	18
3. DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA AZEVÉM ANUAL E SOJA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO .....	22
3.1 RESUMO .....	22
3.2 ABSTRACT .....	23
3.3 INTRODUÇÃO.....	24
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
3.5.1 Rendimentos e acúmulo de fósforo nas culturas de azevém anual e soja .....	32
3.5.2 Atributos da fertilidade do solo nos sistemas integrados de produção agropecuária .....	44
3.6 CONCLUSÕES .....	52
4. RENDIMENTO E QUALIDADE BROMATOLÓGICA DO AZEVÉM ANUAL EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO ADUBADO COM FOSFATOS .....	53
4.1 RESUMO .....	53
4.2 ABSTRACT .....	54
4.3 INTRODUÇÃO.....	55
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
4.6 CONCLUSÕES .....	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	71
6. REFERENCIAS .....	72
Anexos.....	88

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil passou, nas últimas décadas, por profundos avanços tecnológicos, entre os quais pode se citar o aumento dos rendimentos das culturas e melhor conservação do solo. Dentre esses avanços, a adoção de sistemas integrados de produção agropecuário (SIPA) representou significativa parcela do aumento dos rendimentos registrados.

Os SIPAs são um dos poucos sistemas de produção considerados como sustentáveis<sup>1</sup>. Um dos pré requisitos dos SIPAs tem sido o plantio direto (PD), que mantém e/ou aumenta as concentrações de matéria orgânica do solo. Quando bem manejada, a rotação de pastagens anuais com culturas produtoras de grãos em PD tem proporcionado nos trópicos e subtropicais, aumento da fertilidade de solo e melhor utilização das áreas agrícolas (SANTOS et al., 2003a). A adoção dos SIPAs têm apresentado grande importância em relação aos cultivos isolados, principalmente por apresentarem maior eficiência na utilização dos insumos (MORAES et al., 2012), entre eles o fósforo (P).

Devido à sua complexidade, o P tem sido considerado um dos principais fatores nutricionais limitantes ao desenvolvimento das plantas nos trópicos (NOVAIS & SMYTH, 1999). Diversas fontes de P têm sido empregadas na agricultura no país, as quais apresentam como características solubilidades variáveis em água e/ou ácido cítrico (RAIJ, 2011). Essa solubilidade influencia diretamente os rendimentos das culturas em sucessão, pois apresenta dependência direta da capacidade de suprimento de P das fontes, bem como dos efeitos residuais da aplicação deste nutriente (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Nos SIPAs, o manejo adequado da pastagem (inclusive da adubação) tem sido fator primordial, pois interfere diretamente nos seus atributos quali-quantitativos. Esses atributos interferem de forma significativa nos SIPAs, dado a economicidade obtida na dieta pela

---

<sup>1</sup> O termo sustentável, expresso no Relatório Brundtland, refere-se ao desenvolvimento como o que “satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades” (World Commission, 1987).

qualidade da forrageira utilizada. Dentre as forrageiras que são usadas no Sul do Brasil, o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) tem tido papel importante nos SIPAs, devido ao seu potencial de resposta à adubação e qualidade forrageira. A alimentação animal representa de 50 a 60% dos custos de produção das diferentes espécies de ruminantes criadas com finalidade econômica (GONÇALVES, et al., 2009) e, portanto, a substituição (parcial) de concentrado por forragem se torna alternativa atrativa aos agropecuaristas. Nesse sentido faz-se necessário um melhor entendimento da adubação fosfatada nos SIPA tanto para a forrageira (azevém anual) quanto para a cultura sucessora produtora de grãos – soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e seus efeitos na fertilidade do solo.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Sistemas de produção de grãos e de forragens no Brasil**

Em termos históricos, sabe-se que de 1930 a 1980, houve a transição da quase monocultura para a poliprodução, sujeita à necessidade de suprir a segurança alimentar do país. A agropecuária brasileira recebeu investimentos e subsídios diretos para pesquisa, o que possibilitou grande ampliação do volume produzido ao longo da segunda metade do século passado (FREITAS et al., 2011).

O agronegócio representou em 2013, aproximadamente 23% do PIB (Produto Interno Bruto) no País (CEPEA, 2014) e também é responsável por 32% dos empregos (MAPA, 2014). Nesse contexto, as culturas de soja e milho (*Zea mays*) têm desempenhado importante papel na geração de riquezas, alimentação humana e animal, ou através de seus inúmeros derivados para fins alimentícios, cosméticos e farmacêuticos.

A cultura da soja tem sido considerada uma das espécies cultivadas mais antigas do mundo. Há relatos da literatura chinesa informando que 2.500 anos a.C. já se cultivava soja (CHUNG & SINGH, 2008). No Brasil a expansão do cultivo da cultura da soja iniciou-se na

década de 60 e se expandiu para as mais diversas regiões do país, para diferentes situações edafoclimáticas. A soja tem sido responsável pela introdução do conceito de agronegócio no país (BRUM et al., 2005) e, na atualidade, é uma das culturas que tem tido maior participação no desempenho econômico brasileiro (CEPEA, 2014)

O rendimento da soja tem sido variável a cada ano e região, devido, principalmente, a fatores como doenças (YORINORI, 1996), pragas (DIEZ-RODRÍGUEZ & OMOTO, 2001), déficit hídrico, condições de manejo (CHRISTOFFOLETI & PASSINI, 1999) e fertilidade do solo (MERCANTE, 2003). Contudo, foram estimados para a safra 2013/14, produção de 86.120,8 mil toneladas de grãos de soja, representando aumento de 5,6% em relação à safra anterior (2012/13), que obteve rendimento médio de 2.938 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2014).

Outra cultura de grande importância ao país é o milho, devido à sua diversidade de utilização, desde alimentação animal e humana até a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis. Contudo, a maior parte da produção de milho no país tem sido destinada para avicultura, bovinocultura e a suinocultura, devido à sua importância econômica nacional e internacional (MAPA, 2014). A produção de grãos de milho na safra 2013/14 foi estimada em 79.905,5 toneladas, representando decréscimo de 1,9% em relação à safra anterior (2012/13) com rendimento médio nacional estimado em aproximadamente 5.057 kg ha<sup>-1</sup> nesta safra (2013/14) (CONAB, 2014).

Dentre os fatores que mais contribuíram para o maior rendimento de grãos de milho e soja no Brasil, destaca-se o PD. Essa tecnologia permite conciliar agricultura de alta tecnologia (uso de insumos, genótipos e maquinários modernos) e preservação ambiental (BRANCALIANO, 2008). O PD caracteriza-se por ser um sistema de produção de grãos onde há o mínimo de revolvimento do solo (apenas na linha de semeadura e adubação), promove a melhor conservação do solo e redução de erosão hídrica, eólica, melhoria dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo, aumento da concentração de carbono (C) orgânico, e

principalmente na manutenção de produtividades (fitomassa e/ ou grãos) em longo prazo (MELLO et al., 2002).

Com relação aos sistemas de produção pecuária brasileiro, tem sido predominantemente realizados em pastagens naturais ou cultivadas, manejadas sob lotação contínua (FAO, 2009). A produção de bovinos, ovinos e caprinos a pasto tem sido vantajosa, pois as forrageiras cultivadas são fonte de nutrientes com menor custo para a produção (CARVALHO et al., 1999). Todavia, essas forrageiras devem apresentar, pelo menos, os seguintes quesitos: (i) capacidade de recuperação após o corte/pastejo (GOMIDE, 2001); (ii) perfilhamento da pastagem (HUME, 1991); (iii) alto valor nutritivo (GOMIDE, 1988); (iv) rendimento em massa seca (MS) (HORST et al., 1978).

Dentre as forrageiras anuais amplamente cultivadas no Sul do Brasil, a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e o azevém anual tem sido as mais importantes. Essas espécies são cultivadas para fins de cobertura vegetal (para manutenção do PD) e produção animal (através do corte ou pastejo). As principais vantagens quanto ao uso de aveia-preta e azevém anual como culturas de cobertura de solo incluem: (i) adição e manutenção de altas quantidades de palhada (DEBARBA & AMADO, 1997); (ii) redução da erosão e escoamento superficial (BAYER & MIELNICZUK, 1997); (iii) aumento da infiltração de água e conteúdo de carbono orgânico (FRANCHINI et al., 1999); (iv) melhoria da ciclagem de nutrientes e baixo custo de implantação e benefícios agronômicos às culturas sucessoras (AMADO et al., 2000).

Todavia, as culturas forrageiras de aveia preta e azevém anual têm características distintas para o sistema de produção animal. Dentre essas características, o azevém anual possui: (i) crescimento inicial mais lento e ciclo mais longo (NABINGER, 1999); (ii) potencial produtivo superior (LOPES et al., 2006); (iii) maiores concentrações de nutrientes minerais (DERPSCH & CALEGARI, 1992) e elevado teor de proteína bruta (PB) (FREITAS et al., 2005).

Apesar de importante economicamente, a produção pecuária a pasto tem sido, *a priori*, negligenciada no Brasil. São elevados os percentuais de solos e pastagens degradadas e baixos índices zootécnicos. A produção extensiva de bovinos nas pastagens, sem o adequado suprimento de nutrientes para manutenção e produção, tem desencadeado a degradação das mesmas, e posteriormente do solo (MACEDO & ZIMMER, 1993).

Uma das alternativas para reduzir a degradação das pastagens e aproveitar melhor as áreas agrícolas cultivadas com grãos, tem sido a adoção de sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Este sistema se caracteriza por maximizar o uso da terra, integrando a produção agrícola e animal na mesma área (MELLO et al., 2004). Os pré-requisitos para a implantação do SIPA incluem correção da acidez do solo, PD, sucessão/rotação de culturas, uso de genótipos melhorados e manejo correto da pastagem (BALBINOT Jr. et al., 2009). Quando adequadamente empregados, os SIPAs proporcionam: (i) maior conservação do solo (ALVARENGA, 2004); (ii) aumento da ciclagem de nutrientes (POWELL & WILLIAMS, 1993); (iii) aumento do rendimento agrícola (FONTANELI et al., 2000); e (iv) maior giro de capital (MELLO et al., 2004).

Os SIPAs mais empregados no Sul do Brasil incluem os cultivos de aveia preta (inverno), milho (verão), azevém anual (inverno) e soja (verão). As forrageiras anuais de inverno (aveia preta e azevém anual) são cultivadas para fins de pastejo animal, produção de silagem ou cobertura do solo (ROSO et al. 1999) e as culturas de milho (*Zea mays* L.) e soja para produção de grãos (FONTANELI et al., 2000).

Os SIPAs têm sido empregados há anos, de forma plena ou eventual, em muitos países. A utilização de resíduos de culturas na alimentação dos animais ou o pastejo têm sido práticas frequentes em uso em várias regiões do Brasil com grande potencial de crescimento (MACEDO, 2009). Dentro desse contexto, as áreas de lavouras dão suporte à pecuária por meio da produção de alimentos para os animais (pastagem, grãos, silagem ou feno), e permite

ainda a venda de animais na entressafra favorecendo melhor distribuição de receita durante o ano (MELLO et al., 2004). Dessa forma, a utilização dos SIPAs exerce um importante papel no sistema de produção agropecuário do País.

## **2.2. Importância das culturas de aveia preta, milho, azevém anual e soja nos sistemas integrados de produção agropecuária no Sul do Brasil**

Os SIPAs incluem a utilização de várias culturas em âmbito nacional. No Sul do Brasil, as culturas da aveia preta, milho, azevém anual e soja são amplamente cultivadas, e dentro das particularidades que envolvem o cultivo, pode-se citar a questão econômica e a sustentabilidade do sistema.

Dentre os benefícios econômicos, as culturas da soja (para grãos) e o azevém anual (para forragem) são mais importantes que as demais (milho e aveia) (MAPA, 2014; PEDROSO et al., 2004). A soja apresenta volume físico e financeiro de destaque no país, pois envolve o setor de insumos, processadores de matéria prima e negociantes. Para a agricultura, a soja constitui uma cultura de capitalização para o produtor, além de fornecer nitrogênio (N) e outros nutrientes para as culturas em sucessão (HARGROVE, 1986; ROSSI et al., 2013).

O milho é outra cultura que apresenta grande importância no cenário agrícola brasileiro. Uma das principais características da cultura do milho é o seu potencial de alta produção de alimento (grãos e volumoso) por área. Dentro do sistema de produção, particularmente nos SIPAs, o milho também desempenha importante papel como planta repositora de C do solo (SANTOS et al., 2003b).

Durante o inverno na região Sul do Brasil, culturas como a aveia preta e o azevém anual são amplamente cultivadas. A aveia preta pode ser cultivada para uso como cobertura do solo (AITA, 1997), visando à produção de fitomassa para manutenção do PD e/ou para alimentação animal (ROSSO, 1998) nas formas de pastejo, capineira ou silagem. Outra cultura

que tem sido cultivada com propósito similar à aveia preta tem sido o azevém anual (ROSO, 1998). Essa última cultura tem se diferenciado da aveia preta por apresentar ciclo de produção mais tardio e longo, maior custo de implantação (RESTLE et al., 1993) e resposta à adubação (PEDROSO et al., 2004).

As forrageiras anuais de inverno (aveia preta e azevém anual) apresentam características singulares que as tornam excelentes para utilização para nutrição animal no período do inverno (GERDES, 2005). Entre as razões para adoção pode-se citar: (i) rendimento de fitomassa produzida no período de déficit forrageiro (FURLAN et. al., 2005) e (ii) composição bromatológica da forragem (FLOSS, 1988). Todavia, a qualidade da pastagem depende dentre outros fatores, do manejo ao qual são submetidas, como a irrigação, fertilização, altura, intervalo entre cortes e condições de pastejo (CECATO et al. 1998; GOMES & REIS, 2000; ALVIM & CÓSER, 2000; RESTLE, et al. 2000).

As culturas produtoras de grãos, tais como soja e milho, e as produtoras de volumoso para o animal e fitomassa para manutenção do PD como aveia preta e azevém anual são essenciais nos SIPAs do Sul do Brasil. Quando cultivadas intercaladas aveia preta após soja e azevém anual após milho promovem benefícios de uma cultura para outra e melhor cobertura vegetal do solo ao longo do ano (AITA, 1997). A importância da sucessão aveia preta após soja e azevém anual após milho está relacionado ao ciclo de cada cultura, particularmente as culturas de inverno (aveia preta e azevém anual). A cultura da aveia preta apresenta ciclo (do plantio a dessecação) em torno de 120 dias, enquanto a cultura do azevém anual apresenta um ciclo superior, algo ao redor de 160 dias. Essa diferença entre o ciclo promove ao mesmo tempo maior utilização da cultura do azevém anual como fonte de forragem para os animais, porém pode atrasar o plantio da cultura de verão. Nesse sentido a cultura da soja por apresentar característica de poder ser cultivada mais tardiamente que o milho sem prejuízos ao rendimento de grãos, apresenta-se como excelente opção de cultivo após a cultura do azevém

anual. Portanto, a diversificação da produção de grãos no verão (soja e milho em áreas diferentes) proporciona cultivo de aveia preta e azevém anual. Essa diversificação além de favorecer o PD, promove de forma estratégica o suprimento de forragem para os animais devido ao fato da aveia preta ser mais precoce na produção de forragem e de o azevém anual ser mais tardio.

### **2.3. Manejo da fertilidade do solo em sistemas integrados de produção: contextualização do fósforo**

O Brasil, devido à sua grande extensão e diversidade climática, proporcionou condições para a existência de diversos grupos de solos. Todavia, há predomínio de solos ácidos e pobres em P. Depois de corrigida a acidez do solo, o principal fator limitante aos agrossistemas brasileiros tem sido a baixa disponibilidade de P [devido à elevada adsorção aos óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al)], implicando no fornecimento de altas doses deste nutriente para satisfazer a necessidade das culturas em rotação/sucessão (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Apesar das quantidades de P requeridas pelas plantas serem relativamente pequenas, quando comparadas aos demais macronutrientes (ROSSI et al., 1997), a eficiência de uso de P (EUP) é baixa (NOVAIS e SMYTH, 1999). Para o aumento da EUP, torna-se importante a melhor compreensão dos fatores que governam a solubilidade e a disponibilidade de P no sistema, bem como o cultivo de plantas que favorecem a ciclagem deste nutriente. Além do mais, as características dos fertilizantes fosfatados empregados no sistema influenciam diretamente a EUP pelas plantas.

No mercado brasileiro é possível encontrar fontes de P com características bem distintas. Essas características incluem teor de P, a solubilidade em água e/ou ácido cítrico, granulometria, presença de outros elementos associados e o custo de aquisição. No caso dos

fosfatos acidulados (por exemplo, superfosfato triplo – SFT) – que apresenta alta solubilidade em água + citrato neutro de amônio (CNA), tem sido observado maior resposta da cultura nos primeiros anos de aplicação (WERNER et al., 1968). Situação contrária tem sido observada para os fosfatos naturais reativos – FNR (por exemplo, fosfato de Arad). Estes são insolúveis em água + CNA, e normalmente a resposta da cultura tem sido verificada a partir do segundo ano de aplicação (WERNER et al., 1968), particularmente, em condições de acentuada acidez (GOEDERT & LOBATO, 1980). Alternativamente, também tem sido empregado na agropecuária brasileira o termofosfato magnésiano (TFM) – insumo insolúvel em água + CNA, mas de alta solubilidade em ácido cítrico. A resposta das plantas ao TFM, em termos de rendimento, pode ser em algumas situações, superior ao SFT, devido à liberação mais lenta do P e a presença dos silicatos que competem com os fosfatos pelos sítios de adsorção de P no solo (BÜLL et al., 1997).

A utilização de fontes alternativas de P tem adquirido grande importância, basicamente em decorrência do custo elevado dos fertilizantes fosfatados solúveis em água e do aumento da oferta de fosfatos insolúveis de melhor eficiência agronômica (RESENDE et al., 2004). Entre as fontes, algumas das mais utilizadas no meio da agropecuária são o SFT, FNR e o TFM. A EUP dessas fontes relaciona-se diretamente com vários fatores, entre eles as culturas, pois apresentam diferentes respostas à aplicação de P.

Uma das estratégias que vem ganhando espaço na agricultura é a antecipação da adubação. A antecipação da adubação fosfatada no inverno é uma prática recente que possibilita maximizar a eficiência da semeadura das culturas de verão (MATOS, et al., 2005a). Além do mais, tem sido observado incremento no rendimento de grãos de soja decorrente da antecipação da adubação fosfatada em plantas de cobertura (BOHAC et al., 2007). Todavia, são poucos os estudos existentes sobre antecipação da adubação fosfata em PD e SIPA, explicitando a importância de mais estudos.

A antecipação da adubação fosfatada em SIPAs pode se tornar uma prática interessante devido a: (i) maior ciclagem de nutrientes que esse sistema proporciona (CARVALHO et al., 2010); (ii) a liberação de ácidos orgânicos devido às excretas dos animais, o que pode favorecer a disponibilização de P de fontes menos solúveis em água, entre elas de FNR (RUSSELE & FRANZLEUBBERS, 2007); (iii) a maior disponibilização de P devido a redução da adsorção aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al devido a competição dos ácidos orgânicos com os sítios de adsorção (PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

A adoção da adubação antecipada nos SIPAs pode proporcionar benefícios econômicos potencializados pelo componente animal, através da ciclagem de nutrientes. Considerando apenas o N, do total que é ingerido pelos animais, até 95% é retornado ao solo via fezes e urina (WHITEHEAD, 1990). Desta forma, uma das grandes vantagens dos SIPAs é o aproveitamento de um mesmo nutriente para produção animal e vegetal, reduzindo desta forma as perdas de nutrientes para o ambiente e favorecendo a ciclagem de nutrientes dentro dos componentes, solo, planta e animal (ASSMANN et al., 2002).

## **OBJETIVOS**

Objetivou-se, neste trabalho: (i) mensurar o rendimento de forragem de azevém anual, grãos de soja e massa seca disponível por pastejo (MSP) submetidos a doses e fontes de P (SFT, TFM e FNR); (ii) avaliar a disponibilidade de P para essas culturas, fornecidas pelos extratores Mehlich-1 (M-1) e Resina Trocadora de Íons (RTI), levando-se em consideração diferentes camadas amostradas de um Cambissolo Háplico argiloso; (iii) as concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) e P e (iv) o rendimento de proteína bruta (RPB) no azevém anual, em SIPA submetido a fontes e doses de P.

### 3. DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO PARA AZEVÉM ANUAL E SOJA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO

#### 3.1 RESUMO

O sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) em sistema plantio direto (PD) é uma prática recente que, além de intensificar o uso da terra, contribui para melhoria dos atributos químicos do solo, mediante o aumento da ciclagem de nutrientes. Nesse sistema, o aproveitamento de nutrientes, inclusive do fósforo (P) pode ser aumentado e ainda, a antecipação da fertilização fosfatada para a cultura (de verão) produtora de grãos pode ser plausível. Os objetivos deste trabalho foram: (i) mensurar o rendimento quantitativo do azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) e da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill); (ii) avaliar o acúmulo de P (avevém anual e soja); (iii) averiguar as alterações nos atributos de fertilidade do solo (pH e P-disponível) submetido a doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total) e fontes de P (superfosfato triplo – SFT, fosfato natural reativo – FNR e termofosfato magnésiano – TFM). O experimento foi instalado em abril/2009 na Fazenda Capão do Cipó, no município de Castro (PR). O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos casualizados em esquema fatorial incompleto (3x3+1). Não foram observadas interações entre fontes e doses de P para massa seca desaparecida (MSD), massa seca residual (MSR), massa seca total (MST) e acúmulo de P no azevém anual (APA). Os rendimentos de MSD, MSR, MST e APA do azevém anual aumentaram linearmente devido a aplicação de P. As fontes empregadas influenciaram somente o APA (maior acúmulo verificado para o SFT). Para a cultura da soja, não foram verificadas interações entre fontes e doses de P para os atributos rendimento de grãos (RG), massa seca da parte aérea (MSPA), peso de mil sementes (PMS), acúmulo de P na soja (APS), concentração de P nos grãos de soja (CPGS), eficiência de uso de P (EUP) e P nos resíduos da soja (PRS). Foram observados aumentos lineares de RG, MSPA, PMS, CPGS e PRS e quadráticos no APS e EUP. As fontes de P empregadas neste estudo não alteraram RG, MSPA, PMS, APS, CPGS, EUP e PRS. Houve interação entre fontes e doses de P para os atributos, P extraído por Mehlich-1 (P-M) e P extraído por resina de troca iônica (P-RTI), nas camadas avaliadas (0-5, 0-10 e 0-20 cm) (aumentou linearmente as concentrações de P-M, sobretudo na camada de 0-5 cm). Verificou-se aumento linear das concentrações de P-RTI para as fontes FNR (somente camada 0-20 cm), SFT e TFM (0-5, 0-10 e 0-20 cm) e quadraticamente para o FNR nas camadas 0-5 e 0-10. Para o pH não foi verificada interações (para doses o pH não foi influenciado devido a aplicação de P nas camadas 0-5, 0-10 e 0-20 cm) e para as fontes, maior pH foi verificado para a fonte TFM e o menor para o SFT). Foi verificado que tanto o P-M quanto a P-RTI resultaram em teores superestimados de P nos tratamentos que receberam FNR. Todavia, o P-RTI apresentou melhores correlações para os atributos rendimento MST, RG, MSPA e massa seca total produzida (MSPT).

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lolium multiflorum* Lam., *Glycine max* (L.) Merr., antecipação da adubação fosfatada, plantio direto.

### 3.2 ABSTRACT

The integrated system of agricultural production (ISAP) under no-tillage (NT) is a recent practice that, in addition to intensifying land use contributes to improved soil chemical properties, by increasing nutrient cycling. In this system, the utilization of nutrients, including phosphorus (P) can be increased and also the anticipation of phosphate fertilizer to the crop (summer) producer of grains may be plausible. The objectives of this study were: (i) measure the quantitative yield of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill); (ii) to evaluate the accumulation of P (annual ryegrass and soybean); (iii) investigate the changes in the attributes of soil fertility (pH and available-P) subjected to doses (0, 60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total) and sources of P (triple super phosphate - TSP, phosphate rock reactive - PR and magnesium thermophosphate - MTP). The experiment was installed in April / 2009 at farm Capon of Cipo, in the municipality of Castro (PR). The experimental design was a randomized complete block in incomplete factorial (3x3+1). No were observed interactions between sources and levels of P in the missing dry matter (MDM), residual dry matter (RDM), total dry matter (TDM) and P accumulation in ryegrass (PAA). The MDM of income, RDM, and TDM PAA annual ryegrass increased linearly due to the application of P. The sources used only influenced the PAA (greater accumulation checked for TSP). For the soybean, have not been verified interactions between sources and doses of P to the attributes grain yield (GY), dry weight of shoot (DWS), thousand seed weight (TSW), P accumulation in soybean (PAS), P content in soybeans (PCS), P-use efficiency (PUE) and P in soybean residues (PSR). Linear increases of GY, DWS, TSW, PCS and PSR and quadratic in the PAS and PUE. The sources employed in this study did not change GY, DWS, TSW, PAS, PCS, PUE and PSR. There was interaction between sources and levels of P for attributes, P extracted by Mehlich-1 (P-M) and phosphorus by ionic exchange resin (P-IER), evaluated in layers (0-5, 0-10 and 0-20 cm) (linearly increased concentrations of P-M, especially in the 0-5 cm layer). There was a linear increase in the concentrations of P-IER for PR (only 0-20 cm), TSP and MTP (0-5, 0-10 and 0-20 cm) and quadratic sources for PR layers 0- 5 and 0-10. For the pH was not observed interactions (for doses pH increased linearly by applying the MPT 0-5 and 0-10 cm) and the sources, the higher the pH was checked to MPT source and the lowest for the TSP). It was found that both the P-M as the P-IER resulted in overestimated P concentrations in treatments with PR. However, the P-IER showed better correlations for yield attributes TDM, GY, DWS and total dry matter produced (TDMP).

**KEYWORDS:** *Lolium multiflorum* Lam., *Glycine max* (L.) Merr., anticipation of phosphate fertilizer, tillage.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O crescimento anual da população mundial, estimado em 80 milhões de pessoas, tem implicado em maior demanda por alimentos (FAO, 2013). Nesse contexto, o Brasil se destaca pelo elevado potencial de produção de grãos e forragens (para produção animal), visando atender a demanda local e global por alimentos.

No Sul do Brasil, o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam), são amplamente utilizados para a produção animal e como cobertura vegetal. Para a produção animal, a cultura do azevém anual destaca-se pelos atributos quali-quantitativos (qualidade bromatológica e considerável rendimento forrageiro, o que permite a utilização do excedente como cobertura vegetal). Essas características do azevém anual o tornam importante, pois sua produção ocorre no inverno quando as forrageiras perenes tropicais reduzem seu crescimento devido ao fenômeno da estacionalidade ocasionada pelo clima no Sul do Brasil.

Com relação à soja (*Glycine max* (L.) Merrill), a produção brasileira tem sido a segunda maior do mundo e implicado positivamente na geração de riquezas no país (CEPEA, 2014). Os grãos de soja são utilizados principalmente para produção de óleo vegetal, rações para alimentação animal, matéria prima para a indústria química e de alimentos (VALADARES et al., 2006) e como fonte alternativa de biocombustível (QUESSADA et al., 2010).

Para atender a crescente demanda por alimentos, há necessidade de melhor conservação do ambiente, intensificar e integrar os sistemas de produção. Nesse contexto, destaca-se o sistema integrado de produção agropecuário (SIPA), que proporciona: (i) melhoria da qualidade do solo (RAO et al., 2003); (ii) aumento da ciclagem de nutrientes (BALBINOT Jr. et al., 2009); (iii) redução do uso de insumos (AMBROSI et al., 2001); (iv) maior giro de capital (FLORES et al., 2007); (v) aumento da produção de alimentos

(BALBINOT Jr. et al., 2009) e (vi) intensificação da utilização de uso da terra (RAO et al., 2003).

Os benefícios dos SIPAs somente ocorrem quando há equilíbrio entre manejo adequado dos fatores solo, planta e animal. Esse equilíbrio ocorre quando são respeitados fatores como: (i) utilização de genótipos melhorados (BALBINOT Jr. et al., 2009); (ii) adequada carga animal sobre as áreas pastejadas (PIVA et al., 2013); (iii) manutenção de fitomassa compatível com as exigidas para manutenção do plantio direto (PD) após o termino dos pastejos (NICOLOSO et al., 2008).

Nos solos brasileiros, depois de corrigidos sua acidez, o principal fator limitante ao rendimento das culturas tem sido os baixos teores de fósforo (P) disponível (NOVAIS e SMYTH, 1999). Além do mais, a eficiência de uso de P (EUP) pelas culturas – que corresponde à massa seca (MS) produzida em função do número de unidades de nutriente aplicada – é distinta (FAGERIA, 2010) e depende dos fatores: (i) fonte e dose de P; (ii) tipo de solo e tipo de cultura (YAN et al., 2004); (iv) associação com fungos micorrízicos (SHANE, 2005); (v) sistema de produção empregado (RAIJ, 1991).

Outro fator importante no manejo da fertilidade do solo tem sido o método laboratorial empregado para prever a disponibilidade de P às plantas (SANTOS et al., 2005). A maioria dos laboratórios de análise química de solo no Brasil, inclusive no Estado do Paraná (PAVAN et al., 1992), utiliza o extrator Mehlich-1 (M-1) para a determinação do P disponível. Entretanto, esse método, devido ao fato de proporcionar redução drástica do pH do meio (2-3) e a baixa capacidade de extrair P ligado aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), tem sido questionado para solos argilosos e naqueles que receberam fosfatos insolúveis em água (RAIJ, 2011). Alternativamente, tem sido utilizado como método promissor para prever a disponibilidade de P as plantas a resina de troca iônica (RTI) – método oficial do Estado de São Paulo. Esse método tem sido mais eficiente na determinação da disponibilidade de P do

solo em comparação com outros métodos comumente utilizados no Brasil (SANTOS et al., 2005). O procedimento que emprega a RTI ocorre em situação de pH da suspensão resina-solo semelhante ao do solo, imitando absorção de P pela planta (RAIJ, 2011). Todavia, uma das limitações da RTI tem sido a pouca praticidade, dificultando seu uso em larga escala (MOREIRA & MALAVOLTA, 2001). No Estado do Paraná, o método da RTI tem sido paulatinamente empregado, inclusive na região dos Campos Gerais, porém não há curva de calibração para este método, evidenciando a importância de estudos com relação ao mesmo. Nesse sentido faz-se necessário o completo entendimento da melhor dose e fonte de P para a produção em sistema SIPA na região dos Campos Gerais.

Os objetivos deste trabalho foram: (i) mensurar o rendimento de forragem de azevém anual e de grãos de soja submetidos a doses e fontes (SFT, FNR e TFM) de P em SIPA; (ii) avaliar a disponibilidade de P para essas culturas, fornecidas pelos extratores M-1 e RTI, levando-se em consideração diferentes camadas amostradas de um Cambissolo Háplico argiloso sob SIPA.

### **3.4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em abril/2009 na Estação Experimental da Fundação ABC – Fazenda Capão do Cipó (latitude: 24°51'49"S, longitude: 49°56'61"W e altitude média de 1.020 m), no município de Castro (PR), em um Cambissolo Háplico argiloso. A área experimental encontrava-se há oito anos sob sistema de PD com as culturas em sucessão de soja e milho (*Zea mays*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), azevém anual e trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno.

A área experimental se encontra no Primeiro Planalto Paranaense, cujas condições climáticas são classificadas como do tipo Cfb (segundo Köppen) – verões frescos com a ocorrência de geadas frequentes, sem a presença de estação seca definida (CAVIGLONE et

al., 2000). As temperaturas do ar e precipitações médias no decorrer deste estudo e o histórico local são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Precipitação e temperatura média do ar, nos anos de 2012 e 2013, na Estação Experimental de Castro. Fonte: Sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada a 550 m do experimento e os valores históricos do local.

Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
<i>Precipitação, mm</i>													
2012	191	149	93	176	76	179	65	9	194	146	109	207	133
2013	60	237	96	91	100	395	125	23	138	85	62	50	122
Histórico <sup>(1)</sup>	198	162	150	92	112	113	91	79	134	156	126	152	130
<i>Temperatura média do ar, °C</i>													
2012	18	20	18	17	14	13	12	15	16	18	18	21	17
2013	19	20	18	17	15	13	12	13	15	17	18	20	16
Histórico <sup>(2)</sup>	19	19	19	18	15	14	12	14	13	17	17	19	16

<sup>(1)</sup> Média histórica para precipitação, ocorrida na área experimental nos últimos 40 anos

<sup>(2)</sup> Média histórica para a temperatura do ar, referente à área experimental nos últimos 8 anos

Por ocasião da implantação do experimento o solo possuía os seguintes atributos na camada de 0-20 cm: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,8; concentrações trocáveis de Al<sup>+3</sup>, cálcio (Ca<sup>+2</sup>), magnésio (Mg<sup>+2</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) de 0,4; 31,2; 23,5 e 3,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente; acidez total (H+Al<sup>+3</sup>) de 92,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; saturação por bases (V%) de 38%; concentrações de P (M-1), enxofre (S), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) de 4,2 e 12,8 mg dm<sup>-3</sup>, 29,6 e 2,0 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente; e teores de argila, silte e areia de 605, 225 e 170 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A análise mineralógica do solo mostrou mineralogia simples, predominantemente de quartzo, caulinita e gibbsita e, subordinadamente, hematita e goethita. Na fração argila, a caulinita e minerais gibbsita foram predominantes, e óxidos de ferro (principalmente hematita e goethita) foram menos abundantes.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em esquema fatorial incompleto (3x3+1), com quatro repetições. Os tratamentos foram: T1 – sem

aplicação de P (controle absoluto); *T2*, *T3* e *T4* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, respectivamente na forma de superfosfato triplo [SFT (granulado): 460, 380 e 130 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água e CaO, respectivamente]; *T5*, *T6* e *T7* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, respectivamente na forma de fosfato natural reativo [FNR (pó) – Arad: 330, 100 e 370 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 20 g L<sup>-1</sup> e CaO, respectivamente]; *T8*, *T9* e *T10* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, respectivamente na forma de termofosfato magnésiano [TFM (pó): 180, 165, 180, 70 e 100 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 20 g L<sup>-1</sup>, CaO, MgO e SiO<sub>2</sub>, respectivamente]. Essas doses de fertilizantes fosfatados foram aplicadas anualmente, em área total na superfície do solo, antes da semeadura da cultura forrageira anual de inverno (mês de abril).

A área total e área útil de cada parcela foram de 425 m<sup>2</sup> e 273 m<sup>2</sup> (desprezando-se dois metros de bordadura), respectivamente. Neste trabalho foi estudado a forrageira azevém anual durante o inverno de 2012 e a soja no verão de 2012/13, cujas informações agronômicas estão resumidas na Tabela 2. Foram realizados cinco pastejos no azevém anual, considerando um período de pastejo de 4-5 dias nos meses de julho a outubro de 2012. Os animais utilizados para o experimento corresponderam a 21 novilhas da raça holandesa com peso médio 250 kg, equivalente a 5,2 unidades animal (U.A) ha<sup>-1</sup>. Na tabela 2 são apresentados de forma resumida os eventos na área experimental do início do estudo (abril/2009) até a colheita da cultura da soja (2012/13).

**Tabela 2:** Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo da cobertura (forragens) ou colheita (grãos).

<b>Cultura</b>	<b>Data de semeadura</b>	<b>Espaçamento entre linhas e densidade de semeadura</b>	<b>Cultivar ou híbrido</b>	<b>Outras atividades</b>	<b>Manejo da cobertura (forragens) e ou colheita (grãos)</b>
Aveia preta (2009)	28/04/2009	0,17 m e 250 sementes m <sup>-2</sup>	IAPAR-61	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 21 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2009/10)	27/09/2009	0,80 m e 5 sementes m <sup>-1</sup>	30F53	-	14/04/2010
Azevém anual (2010)	17/04/2010	0,17 m e 450 sementes m <sup>-2</sup>	FABC-1 e Barjumbo	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação 28 dias após a retirada dos animais da área
Soja (2010/11)	05/11/2010	0,40 m e 16 sementes m <sup>-1</sup>	BMX-Apolo	-	30/03/2011
Aveia preta (2011)	04/04/2011	0,17 m e 250 sementes m <sup>-2</sup>	IAPAR-61	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 21 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2011/12)	02/09/2011	0,80 m e 5 sementes m <sup>-1</sup>	30F53		16/04/2012
Azevém anual (2012)	25/04/2012	0,17 m e 450 sementes m <sup>-2</sup>	FABC-1 e Barjumbo	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 04 dias após a retirada dos animais da área
Soja (2012/13)	15/11/2012	0,40 m e 16 sementes m <sup>-1</sup>	BMX-Apolo		05/04/2013

Ainda, a semeadura do azevém anual (2012) foi realizada logo após a aplicação (superficial) dos fertilizantes fosfatados, empregando-se densidade de 400-500 sementes viáveis m<sup>-2</sup> (30 kg ha<sup>-1</sup> Azevém FABC1 + 15 kg ha<sup>-1</sup> Azevém Barjumbo) e 200 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 25-00-25 aplicado em superfície. Esse consórcio de cultivares de azevém anual foi utilizado visando maximização da oferta de forragem.

Os pastejos foram iniciados e finalizados quando a cultura se encontrava com 30 e 15 cm de altura, respectivamente. O sistema adotado foi o de pastejo rotacionado em que durante os pastejos os blocos foram divididos como piquetes (correspondendo a 5525 m<sup>2</sup> cada um),

onde os animais permaneceram na área cerca de 4 -5 dias respeitando-se as alturas de entrada e saída dos animais.

A avaliação do rendimento do azevém anual foi feita mediante a utilização de duas gaiolas de exclusão por parcela, fabricadas com ferro  $\frac{1}{2}$  polegada de diâmetro, fechadas com tela de arame de malha 5,0 cm e medindo 0,25 m<sup>2</sup>, para avaliação da fitomassa nas ocasiões de pré e pós pastejos, conforme método adaptado de Cano et al. (2004). Essas gaiolas foram dispostas aleatoriamente nas parcelas com intuito de quantificar a massa seca total (MST) e a desaparecida pelos animais (MSD). Para a avaliação da massa seca residual (MSR) foram amostrados aleatoriamente 0,5 m<sup>2</sup> por parcela. Para a quantificação da MST foram somados a MSD de cada pastejos com a MSR. Todos os cortes das plantas foram realizados manualmente a 3,0 cm do solo, mediante uso de foice.

Ao término do último pastejo (azevém anual), foi deixado um período para recuperação da pastagem e produção de fitomassa para manutenção dos estoques de C do solo. O manejo da fitomassa foi feito com o herbicida *glyphosate* na dose de 980 g i.a. ha<sup>-1</sup>.

Com relação à cultura sucessora da soja (2012/13), foi feita por ocasião da semeadura a inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (aproximadamente 105 bactérias g<sup>-1</sup> de solo) e aplicados 97 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (K<sub>2</sub>O) na forma de cloreto de potássio (KCl). Foram avaliados os acúmulos de nutrientes na cultura da soja, retirando-se 1,0 m linear de plantas de soja no estágio R6. As amostras de plantas de soja foram separadas em folhas, haste e vagem. Após o estágio de maturação, a soja foi colhida e trilhada no campo, determinando-se, então, o rendimento de grãos (RG) expresso em 130 g kg<sup>-1</sup> de umidade. Para cada parcela, foram colhidas seis linhas centrais por 5,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 13,2 m<sup>2</sup>.

Todas as amostras de tecido vegetal foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório para procedimentos de lavagem, secagem, moagem e

determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997). Depois de lavadas em água deionizada, as amostras foram secas em estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingir massa constante, moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em recipientes plásticos tampados até a realização das análises químicas. Após a determinação das análises químicas para obter a concentração de nutrientes na fitomassa, procedeu-se a quantificação do acúmulo de P por hectare para a cultura do azevém anual (APA) e pela cultura da soja (APS), concentração de P nos grãos de soja (CPGS), acúmulo de P na massa seca residual da soja (PMR), peso de mil sementes de soja (PMS), foi calculada a eficiência de uso de P (EUP) conforme Fageria (2010), mediante o rendimento de fitomassa e dos grãos de soja, massa seca da parte aérea da soja (MSPA) e massa seca total produzida (MSPT) (somatório da MS do azevém anual com a MSPA).

A soja (2012/13) foi considerada como planta indicadora da disponibilidade de P no solo. Portanto, aos 48 meses após a instalação do experimento (abril/2013), procedeu-se a amostragem do solo após a colheita dos grãos. Foram retiradas 12 amostras simples para formar uma amostra composta por parcela (OLIVEIRA et al., 2007), para cada camada avaliada (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm), mediante uso de trado calador. Também foram estimadas as concentrações de P disponível nas camadas de 0-10 cm (através da média ponderada entre as camadas de 0-5 e 5-10 cm) e de 0-20 cm (média ponderada entre as camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm).

As amostras de solo, depois de secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C, durante 48 horas, foram destorroadas, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm, sendo então chamadas de terra fina seca em estufa (TFSE). As amostras de TFSE foram destinadas às determinações de P disponível pelos seguintes métodos: (i) P disponível por meio de extração com a solução de Mehlich-1 (P-M) – ácido clorídrico (HCl) 0,05 mol L<sup>-1</sup> +

ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ , conforme Pavan et al. (1992); (ii) P disponível pelo método da resina trocadora de íons (P-RTI) – Amberlite IRA-410 e Amberlite IRA-120, conforme Raij et al. (1986).

Todos os resultados foram submetidos à análise estatística em blocos casualizados em esquema fatorial incompleto ( $3 \times 3 + 1$ ). Quando os valores de F foram significativos ( $P < 0,05$ ), foi aplicado o teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para comparar os efeitos de fonte de P. O efeito das variáveis preditivas (doses de P) foi ajustado para as variáveis de resposta (atributos de plantas e solo), utilizando os modelos de regressão por polinômios ortogonais linear ou quadrática. Na ausência de interação, foram consideradas como repetições: (i) para as doses – os blocos (quatro) e a média das fontes (SFT, FNR e TFM); (ii) para as fontes – os blocos (quatro) e a média das doses ( $0, 60, 120, 180 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total).

Coefficientes de correlação ( $r$ ) de Pearson entre atributos do solo (concentrações de P fornecida por cada um dos extratores, nas diferentes camadas do solo), foram utilizados para averiguar a eficiência dos extratores, para cada fonte empregada (SFT, FNR e TFM). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do programa de computador SAS versão 9.2 (SAS System, 2010).

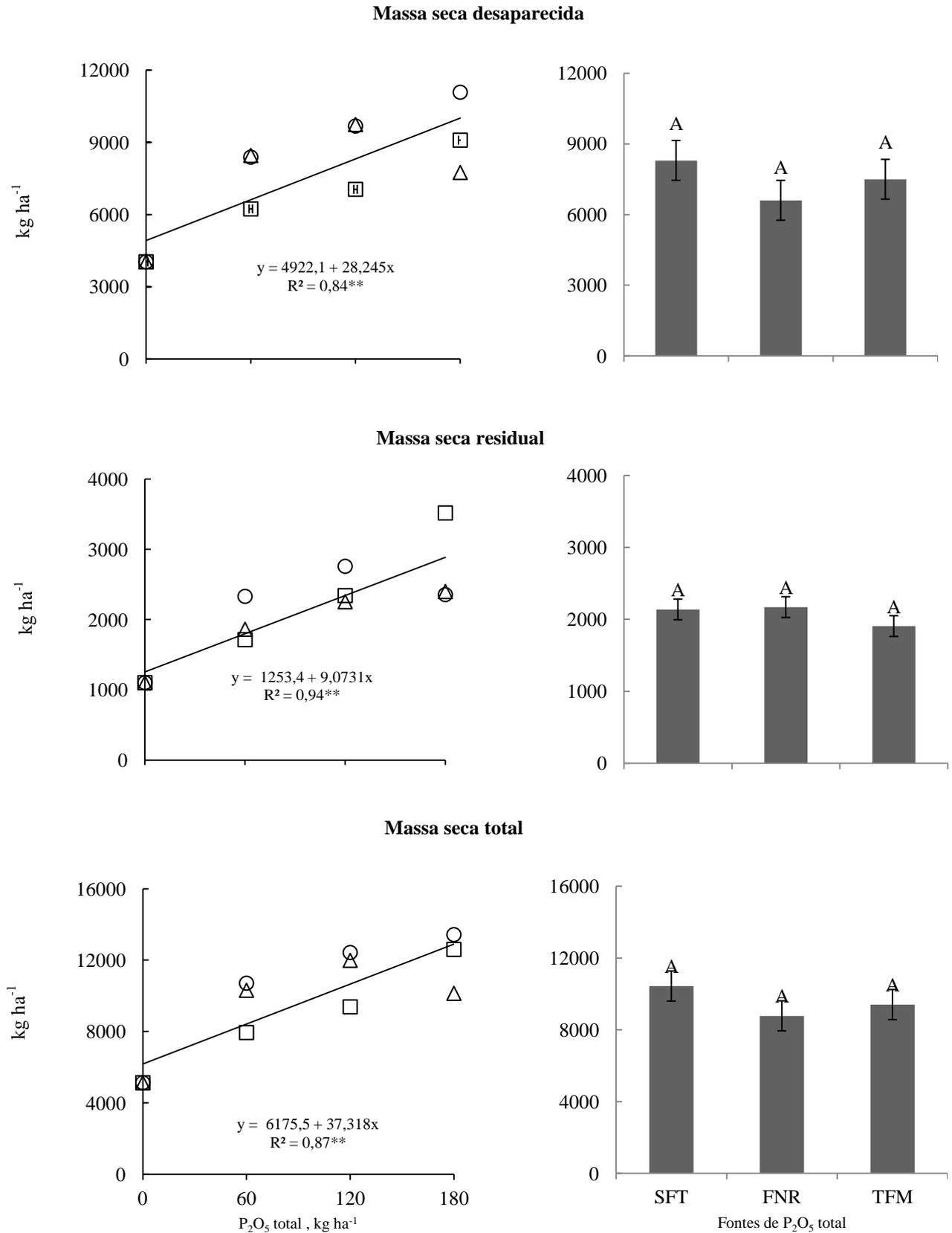
### **3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.5.1 Rendimentos e acúmulo de fósforo nas culturas de azevém anual e soja**

Não foram observadas interações entre fontes e doses de P para MSD, MSR, MST e APA. Os rendimentos de MSD, MSR e MST do azevém anual aumentaram linearmente mediante a aplicação de doses de P (Figura 1). Esse nutriente tem proporcionado maior desenvolvimento do sistema radicular e perfilhamento, maior rendimento e persistência das forrageiras (SANTOS et. al., 2007). Portanto, isso pode explicar, inclusive, o aumento na

fitomassa de azevém anual para manutenção do PD (Figura 1), mesmo após cinco ciclos de pastejos no período compreendido entre julho a novembro (108 dias).

As fontes empregadas não ocasionaram diferenças de MSD, MSR e MST do azevém anual (Figura 1). Em estudo de curto prazo, têm sido observados maiores rendimentos de azevém anual fertilizado com fosfato solúvel em água (SFT) quando comparado ao FNR (KAMINSKI & PERUZZO, 1997). No presente estudo, a aplicação de fosfatos tem sido realizada anualmente de 2009 até 2012, permitindo que fosfatos insolúveis em água tivessem condições para aumento de sua eficiência ao longo do tempo e, portanto, proporcionar condições para o adequado suprimento de P para MSD, MSR e MST. A aplicação de FNR em solos ácidos, com o passar do tempo, pode proporcionar rendimentos acumulados similares aos observados em situação de uso de fosfato de alta solubilidade em água (CAMARGO & SILVEIRA, 1998). Fato similar também pode acontecer com o TFM (KORNDÖRFER et al., 1999).



**Figura 1:** Massa seca desaparecida, massa seca residual e massa seca total de azevém anual devido aplicação de doses (0, 60, 120 e 180  $\text{kg ha}^{-1}$ ) e fontes ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). △: termofosfato magnesiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. \*\*:  $P < 0,01$ . \*:  $P < 0,05$ . Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Além do mais, o pastejo animal pode ter proporcionado condições para favorecer a solubilização dos fosfatos insolúveis em água. Isso pode ter ocorrido devido à maior concentração de ácidos orgânicos presentes no meio, oriundos de fezes (RUSSELE & FRANZLEUBBERS, 2007), sistema radicular das plantas pastejadas (CARVALHO et al., 2010) e coprodutos resultante de maior atividade microbiana em solo sob pastejo (REZENDE et al., 2004).

Os valores de MSD, MSR e, principalmente, de MST (que se refere ao somatório de MSD e MSR), observados neste estudo, foram superiores àqueles relatados (8472, 9287 e 10000 kg ha<sup>-1</sup> de MST para os cultivares FABC-1, Barjumbo e azevém comum, respectivamente) em outros estudos na região (FUNDAÇÃO ABC, 2008; MATOS et al., 2005b). Salienta-se que os resultados desses autores foram obtidos mediante corte da forragem, sem utilização de animais e consórcio de cultivares de azevém anual. A utilização de animais, de modo similar ao realizado no presente estudo, pode ter influenciado os rendimentos de MS do azevém anual, devido ao fato de: (i) favorecer o perfilhamento e aportar nutrientes minerais (pelas fezes e urina dos animais) (MIRANDA, 2000); (ii) possibilitar maior penetração de luz, alterando a proporção de folhas novas (KEPHART et al., 1995); (iii) aumentar a ciclagem de nutrientes (WILLIAMS e HAYNES, 1990).

Outro fator importante a ser considerado nos estudos de SIPA é a quantidade de MSR, que deve ser, no mínimo, 2000 kg ha<sup>-1</sup> para a manutenção do PD (ASSMANN et al., 2008). Considerando os ajustes matemáticos observados neste estudo (Figura 1), seriam necessários, pelo menos, 82 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, independentemente da fonte, para proporcionar adequados rendimentos de pastagem de azevém anual durante o inverno e MSR para o sistema. Salienta-se que a MSR é fundamental para manter os estoques de C no sistema (DALAL & MAYER, 1986). Quando esse quesito não é levado em consideração, há decréscimo dos teores de C no solo (AQUINO, 2004), que afeta negativamente diversos

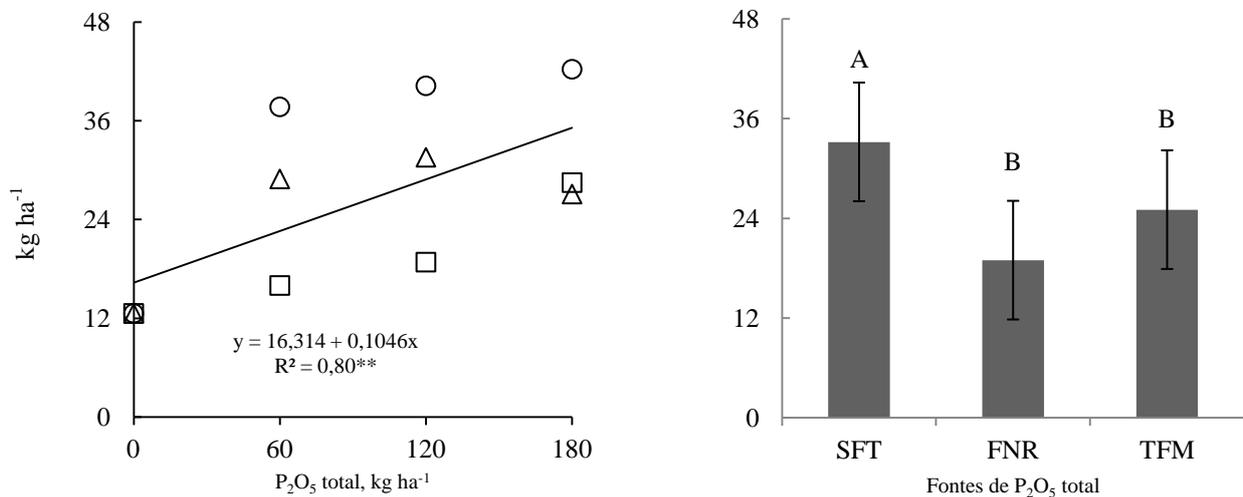
atributos do solo (ALBUQUERQUE et al., 2005), inclusive, aumento da adsorção e diminuição da disponibilidade de P (HUE, 1991).

A aplicação de P ocasionou aumento linear no acúmulo deste nutriente na parte aérea do azevém anual (Figura 2). Neste experimento, a aplicação de fosfatos ocasionou, nos dois primeiros anos iniciais, ausência de efeito ou pouca influência na quantidade de P acumulado na parte aérea (GALLETO et al., 2014a). Porém, neste estudo (terceiro ano de experimentação com aplicação de fosfatos), o aumento linear no acúmulo de P no azevém anual evidenciou que as condições do sistema favoreceram, ao longo do tempo, a absorção e o aproveitamento deste nutriente.

Salienta-se que, no presente estudo, foi observada absorção (e acúmulo) de luxo de P (Figura 2), porém, sem ocasionar depressão no rendimento de MS (Figura 1). Deve se ressaltar que a cultura do azevém anual apresenta menores exigências de P em relação às culturas de grãos (IAPAR, 2003). O consumo de luxo de P verificado no presente estudo pelo azevém anual, como verificado no presente trabalho (Figura 2), é importante para a ciclagem deste e dos demais nutrientes no SIPA. O APA dessa forma pode, evidentemente após a dessecação da forragem, disponibilizar paulatinamente P para a cultura subsequente (soja ou milho), viabilizando a antecipação da adubação fosfatada para as plantas produtoras de grãos em SIPA nos subtrópicos.

Maior acúmulo de P ocorreu mediante aplicação de SFT, quando comparado ao FNR e TFM, que não diferiram entre si (Figura 2). Apesar de o SFT não ter proporcionado maior rendimento de MS, proporcionou maior disponibilização de P e acúmulo deste nutriente pelo azevém anual. Os fertilizantes fosfatados de alta solubilidade em água, como no caso do SFT, tem maior capacidade de fornecimento imediato de P às plantas quando comparado aos fertilizantes fosfatados insolúveis em água como exemplos, FNR e TFM (CHIEN, 2001).

Ainda, os acúmulos de P observados neste estudo estão coerentes com a literatura (até 40 kg ha<sup>-1</sup> de P), conforme reportado em Matos et al. (2005b).



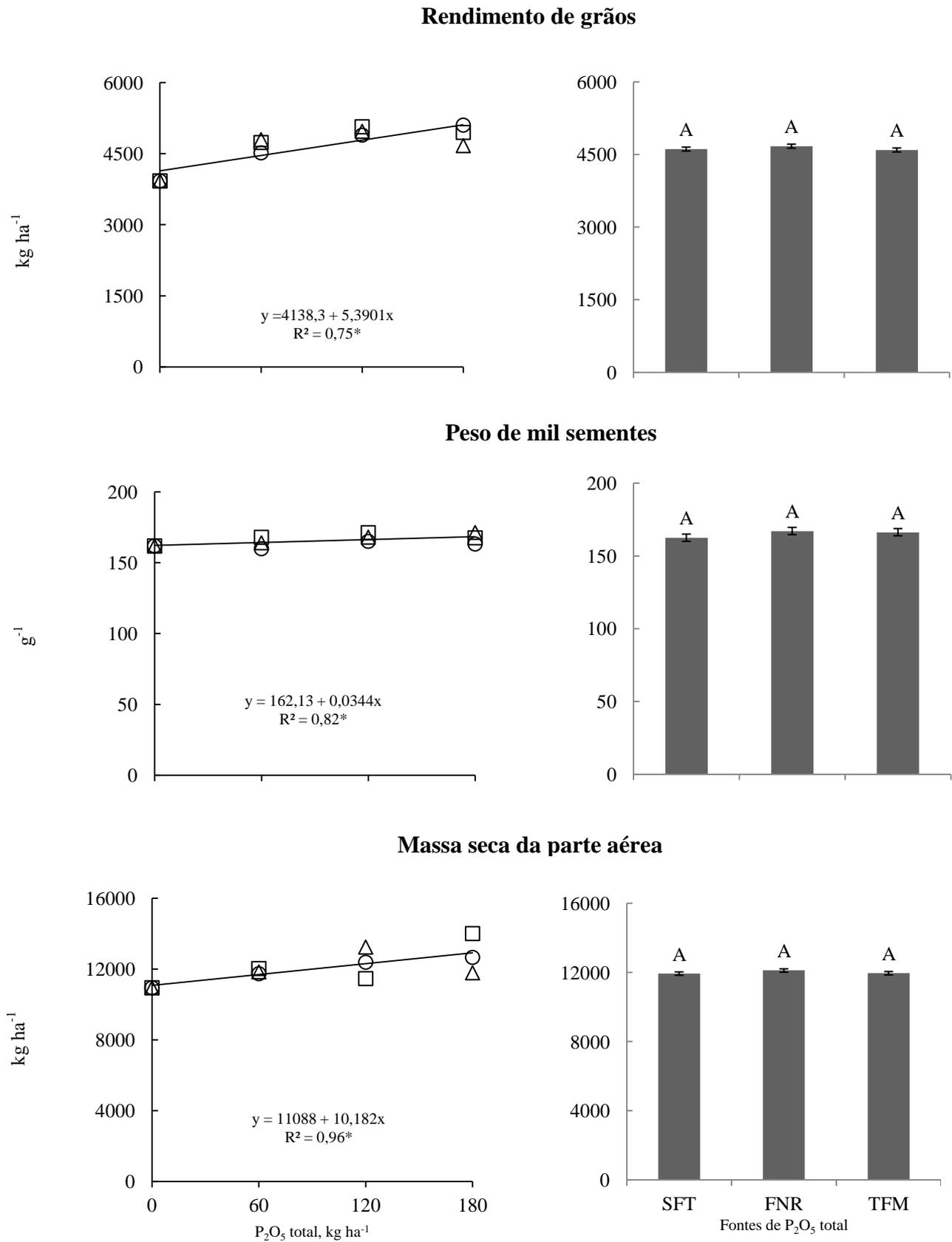
**Figura 2:** Acúmulo de fósforo pelo azevém anual em função de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). △: termofosfato magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. \*\*: P<0,01. \*: P<0,05. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Com relação à cultura da soja, não foram verificadas interações entre fontes e doses de P para os atributos RG, MSPA, PMS, APS, CPGS, EUP e PRS. Foram observados aumentos lineares de RG, MSPA, PMS (Figura 3) e CPGS (Figura 4) mediante a aplicação de doses de P.

Tem sido verificado que a utilização de fontes de P como SFT, FNR e TFM, em estudo de curto prazo (dois anos), pode aumentar o rendimento da soja em até 100% quando comparado ao controle (COUTINHO et al., 1991). No presente estudo, houve aumento de até 25% no RG (Figura 3), sendo que para cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado foi observado aumento de 5,39 kg por ha<sup>-1</sup> de RG. O pequeno acréscimo no RG devido às dose de P pode estar relacionado aos seguintes fatores: (i) características da área experimental, pois trata-se de um local com PD estabilizado a mais de 12 anos (SIDIRAS E PAVAN, 1985); (ii) alta concentração de C no solo, favorecendo a utilização de uso de P pelas plantas (ALLEONI &

BEAUCLAIR, 1995); (iii) presença de animais na área, que aumenta a ciclagem de nutrientes no sistema (LUNARDI et al., 2008).

O aumento do RG de soja devido à aplicação de P foi decorrente do aumento do PMS e MSPA. O PMS representa apenas um dos componentes de produção da cultura da soja que pode influenciar o RG. A alteração do PMS observada neste trabalho, devido à aplicação de P, foi fato relevante e que não tem sido relatado com frequência (PESK, 1997). A aplicação de P proporcionado pelos tratamentos pode ter favorecido o acúmulo de ácido fítico nos grãos (ZHOU & ERDMAN, 1995) e influenciado a sua massa. Ainda, tem sido relatado efeito positivo do adequado pastejo da forragem anual de inverno (aveia preta e azevém anual) no PMS da cultura sucessora de soja (LUNARDI et al., 2008).



**Figura 3:** Rendimento de grãos, peso de mil sementes e massa seca da parte aérea de soja após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). △: termofosfato magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. \*\*:  $P < 0,01$ . \*:  $P < 0,05$ . Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Também foi observado aumento linear da MSPA da cultura da soja devido às doses de P. Esse aumento da MSPA foi resultado, inclusive, do aumento no RG (que representou de 35,9 a 40,2 da % da MSPA). Portanto, o fornecimento de P pode ter favorecido o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, a transferência de energia e o enchimento de grãos (HAWKESFORD et al., 2012).

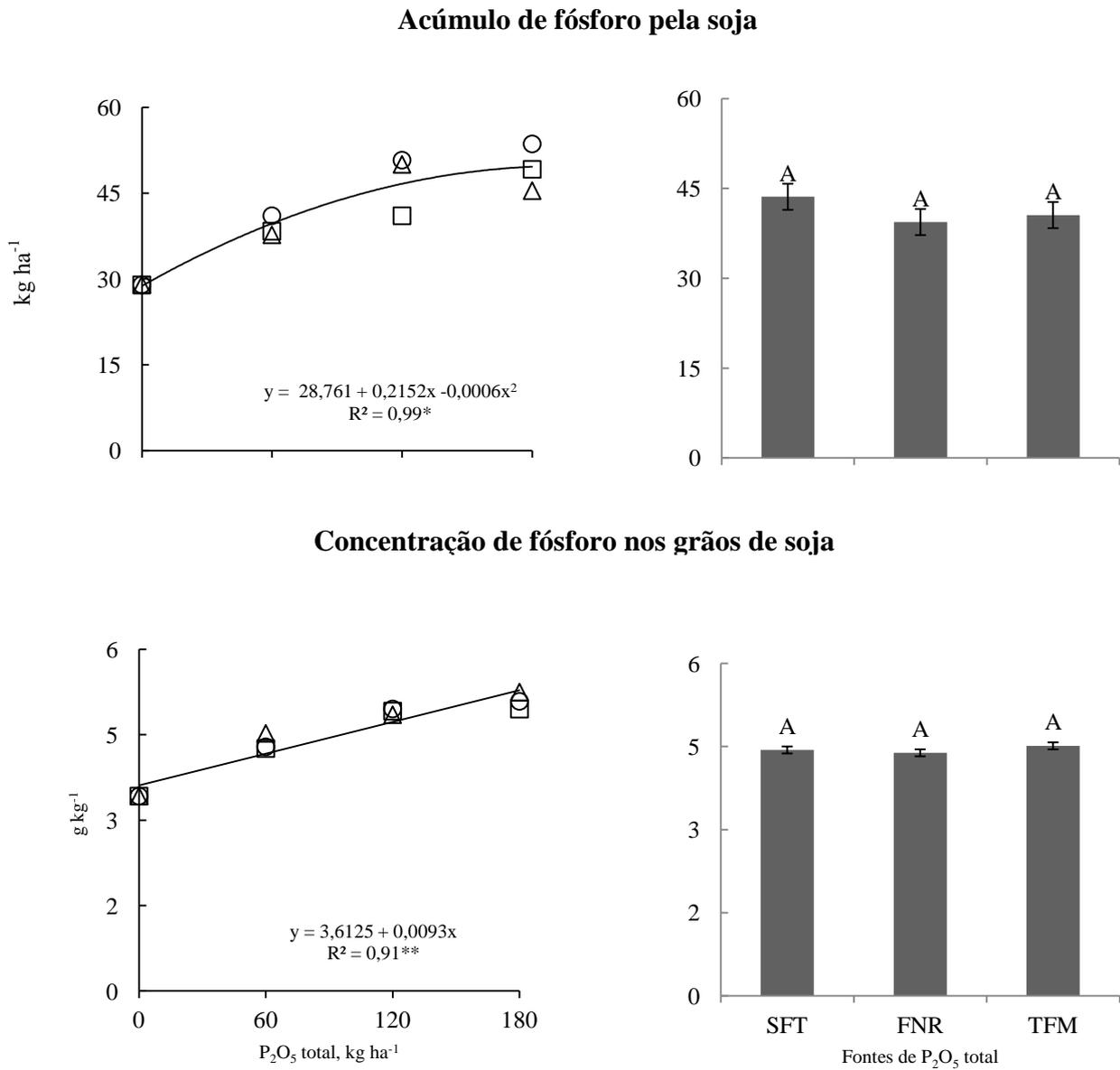
Não foram observadas alterações no RG, PMS e MSPA devido às fontes de P empregadas (Figura 2). O tempo de experimentação a campo pode ter sido um dos principais fatores a proporcionar maior aproveitamento de P oriundo de fosfatos insolúveis em água (FNR e TFM) pelas plantas. Nesse mesmo experimento, nos anos iniciais (segundo ano de estudo), o acúmulo e a exportação de P pelos grãos de soja foram inferiores nos tratamentos que receberam FNR. Todavia, com o passar do tempo, o FNR pode ter aumentado a sua capacidade de suprimento de P, tanto para a cultura antecessora forrageira como a produtora de grãos (GALLETO, et al., 2014a). Portanto, FNR e TFM aplicados nos anos anteriores podem ter disponibilizando P para a cultura da soja, no quarto ano de experimentação, favorecendo o RG, PMS e MSPA.

Foram observados efeitos quadráticos no APS (Figura 4) e EUP (Figura 5), devido à aplicação de doses de P. Os mais elevados valores de APS e EUP ocorreriam mediante aplicação de 179 e 96 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse efeito foi diferente ao verificado na cultura do azevém anual, onde o APA aumentou linearmente mediante a aplicação de P. Isso pode ser devido à exportação de P pelo pastejo animal – aproximadamente 9 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por tonelada de MS pastejada de azevém anual (GALETO et al., 2014a) e à maior capacidade de extração deste nutriente pela soja.

A EUP máxima (65 kg de grãos de soja por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ocorreria mediante o uso de 96 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 5). A EUP pela planta está relacionada a vários mecanismos internos e externos, sendo eles: aspectos da morfologia radicular, alterações químicas na

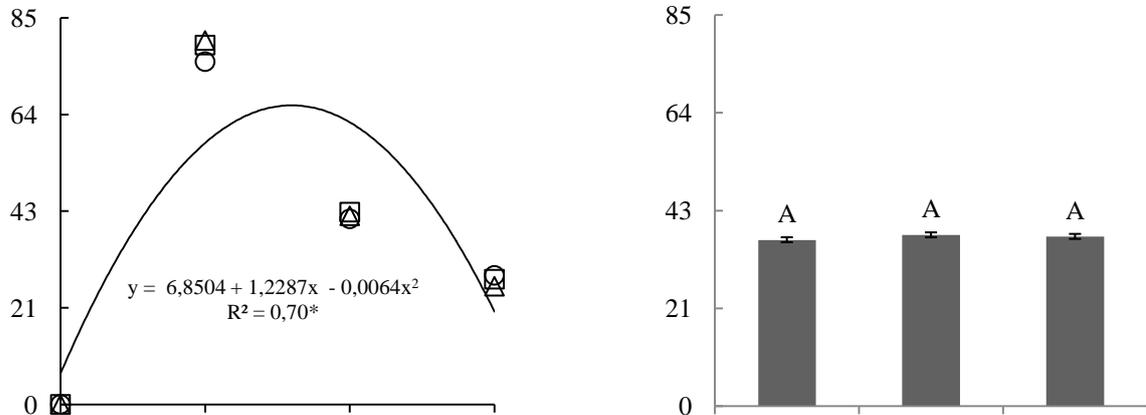
rizosfera, alterações de características fisiológicas de cinética de absorção, variabilidade genética, interações com microrganismos que habitam o solo e ao uso de fontes de P (LYNCH, 2007). Portanto, doses superiores a  $96 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  resultaria em decréscimo na EUP, devido ao consumo de luxo deste nutriente (FURLANI et al., 2010), pois o RG não foi afetado negativamente pela adubação fosfatada excedente (Figura 3). As plantas superiores, de modo geral, tendem a absorver e armazenar 80 a 95% do P (total) na forma inorgânica dentro dos seus vacúolos celulares. Isso permite que a planta absorva e acumule quantidades de P bem superiores (consumo de luxo) aquelas necessárias para o seu metabolismo, como estratégia de suprimento de energia ao longo do seu ciclo (FURLANI, 2010).

Os incrementos lineares na CPGS (Figura 4) e PRS (Figura 5) foram efeitos positivos diretos da fertilização fosfatada, concordando com as observações de Trevizam et al. (2013). Os valores de CPGS foram adequados para a cultura ( $2,6$  a  $5,0 \text{ g kg}^{-1}$  – Malavolta, 2004) não apresentando efeitos negativos no RG. As quantidades de PRS observadas representam importante fator no fornecimento deste nutriente ao sistema, pois proporcionou adicional de  $15,4$  a  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de P para a cultura subsequente – valor coerente ( $24 \text{ kg ha}^{-1}$ ) com a citada na literatura (VITTI & LUZ, 1998). Devido ao fato de o P ter função estrutural nas plantas, há estreita relação entre decomposição dos resíduos vegetais e liberação deste nutriente no solo (BARBER et al., 1984). Isso pode ocorrer com maior velocidade quando se trata de resíduos culturais oriundo de plantas com baixa relação C/N, como é o caso da soja (BERG, 1986; TORRES et al., 2007). A mineralização do P contido na palhada da soja (P orgânico) pode ser considerada como um dos principais fatores no controle da disponibilidade deste nutriente para as culturas em sucessão (HARRISON, 1982), podendo beneficiar as forrageiras anuais de inverno (aveia preta e o azevém anual) nos SIPAs.

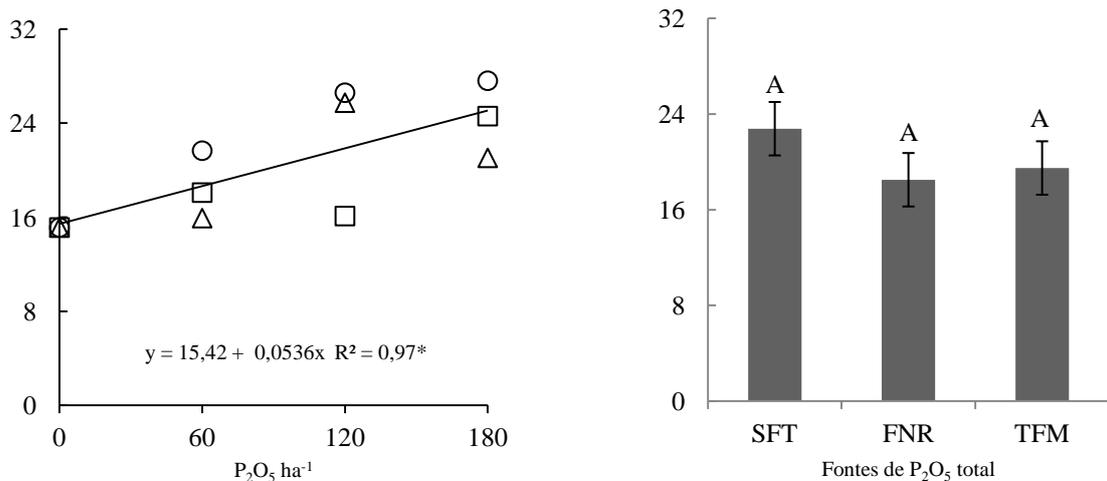


**Figura 4:** Acúmulo de P pela soja (kg<sup>-1</sup>) e concentração de P nos grãos de soja (g/kg<sup>-1</sup>) e peso de mil sementes (g<sup>-1</sup>) após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). △: termofosfato magnesiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. \*\*: P<0,01. \*: P<0,05. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ )

### Eficiência de uso de fósforo pela soja



### Fósforo na massa seca residual



**Figura 5:** Eficiência de uso de fósforo de soja e fósforo na massa seca residual da soja (ha<sup>-1</sup>) após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○: Superfosfato triplo (SFT). □: fosfato natural reativo (FNR). △: termofosfato magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. \*\*:  $P < 0,01$ . \*:  $P < 0,05$ . Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

As fontes de P empregadas neste estudo não alteraram APS, CPGS (Figura 4), EUP e PRS (Figura 5). Esse fato pode ser devido ao tempo de experimentação em campo (quatro anos), que favoreceu a solubilização de fosfatos insolúveis em água e o aproveitamento de P aplicados em anos anteriores. Pois fontes solúveis em água (SFT) apresentam melhores resultados nos atributos de RG de soja nos primeiros anos de aplicação em relação às fontes

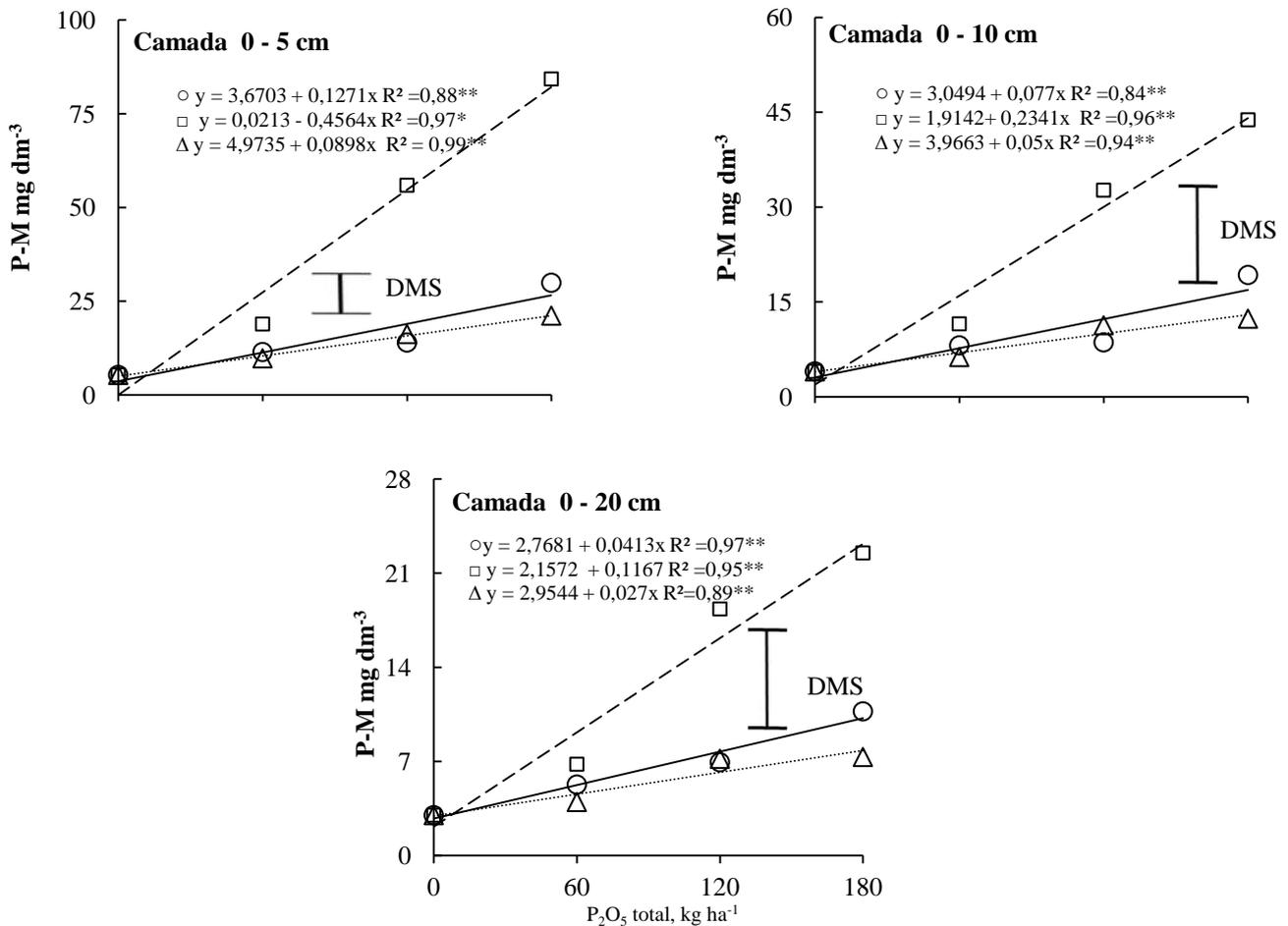
insolúveis em água (FNR), porém, esse efeito tende a diminuir/e ou desaparecer com o tempo de aplicação (HANSEL, et al., 2014). Todavia, esse efeito pode ser minimizado com a mistura desses fertilizantes (SFT e FNR) em proporções que supram as necessidades das culturas reduzindo a aplicação de fontes mais solúveis, como o SFT (FRANZINI, et al., 2009).

### **3.5.2 Atributos da fertilidade do solo nos sistemas integrados de produção agropecuária**

Houve interação entre fontes e doses de P (aplicado em área total e na superfície do solo) para os atributos P-M (Figura 6) e P-RTI (Figura 7), em todas as camadas avaliadas (0-5, 0-10 e 0-20 cm). Todavia, não foram observadas interações entre fontes e doses de P para o pH (Figura 8).

A aplicação superficial de P aumentou linearmente as concentrações de P-M nas camadas estudadas, sobretudo, de 0-5 cm (Figura 6). Esse efeito ocorre devido à aplicação superficial de P e, ainda, devido à baixa mobilidade do P no perfil do solo (RHEINHEIMER et al., 2003). Após quatro anos de experimentação, foi possível detectar efeito das doses de P no aumento da concentração disponível deste elemento na camada de 0-20 cm. Apesar de a mobilidade do P no perfil do solo seja baixa (RHEINHEIMER et al., 2003), o efeito das raízes e da ciclagem promovida pelo pastejo (ANGHINONI et al., 2011) podem ter favorecido o aumento de P no perfil do solo.

Os aumentos nos teores P-M foram similares para o solo tratado com SFT e TFM, mas bem superiores (superestimados) na presença de FNR (Figura 6). A solubilização e, conseqüentemente a superestimação de P em solo tratado com FNR (SILVA e RAIJ, 1999) ocorreu devido à composição do extrator M-1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol  $\text{L}^{-1}$  e HCl 0,05 mol  $\text{L}^{-1}$ ). Em contato com o solo (no laboratório), o extrator M-1 ocasiona dissolução ácida dos compostos fosfatados de baixa energia, pela alta concentração de  $\text{H}^+$  (GATIBONI, 2003).



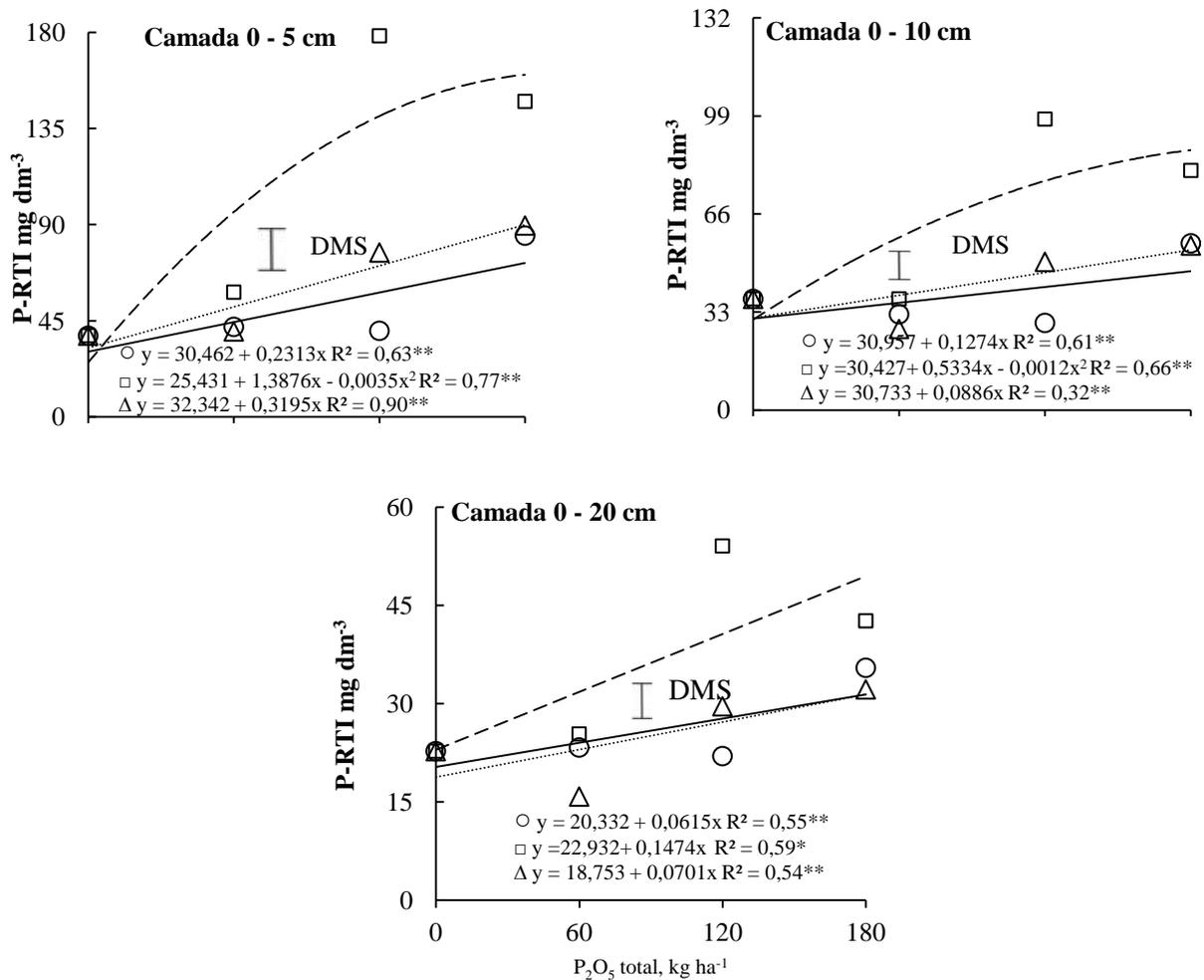
**Figura 6:** Fósforo disponível extraído pelo método de Mehlich-1 (P-M), em função de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnesiano (△)] de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sistema integrado de produção agropecuário. Pontos são médias de quatro repetições. \*P<0,05 \*\*P<0,01 DMS Diferença mínima significativa.

A aplicação superficial de P aumentou linearmente as concentrações de P-RTI para as fontes FNR (somente camada 0-20 cm), SFT e TFM (camadas 0-5, 0-10 e 0-20 cm) e quadraticamente para o FNR nas camadas avaliadas (0-5 e 0-10) (Figura 7). Portanto, a RTI foi eficiente para extrair P oriundo de fosfatos de alta solubilidade em água + citrato neutro de amônio (caso dos tratamentos com SFT) ou em ácido cítrico (caso dos tratamentos com TFM). Tem sido observado que há similaridade na interpretação de P extraído por solução M-1 e por RTI em solo tratado com SFT e TFM (MOREIRA & MALAVOLTA, 2001).

A RTI superestimou os teores de P no solo tratado com FNR, sobretudo, na camada de 0-5 cm. Têm sido comuns observações concernentes aos teores superestimados de P mediante o

uso de extrator M-1 e não de RTI, que visa corrigir ou minimizar esses problemas (NOVAIS et al., 2007). Todavia, no presente estudo foi verificado que tanto o extrator M-1 quanto a RTI resultaram em teores superestimados de P nos tratamentos que receberam FNR. Essa superestimativa do P extraído pela RTI (resina mista) pode ser devido ao fato deste procedimento implicar em maior extração de Ca (do meio), diminuindo a atividade de  $\text{Ca}^{2+}$  em solução e favorecendo a dissolução do P ligado ao Ca do FNR (ROBINSON & SYERS, 1990). Esse efeito (superestimativa) poderia ser menos expressivo se fosse utilizada apenas resina de troca aniônica; no entanto, isso inviabilizaria sua utilização no laboratório pelo tempo gasto, custo analítico e perda de caráter de extrator multielementar conferido à RTI (SILVA & RAIJ, 1999).

Outro fator que também pode ter implicado na superestimativa de P pelo RTI pode estar relacionado ao tempo de experimentação. As condições do solo estudado (pH de 5,43) enquadra-se em uma faixa que favorece, com o passar dos anos, a solubilização de P (CHIEN, 2001). Nessa mesma área experimental, não foi observado, nos 36 meses iniciais de estudo, superestimativa de P mediante emprego de RTI (GALLETO, et al., 2014b).



**Figura 7:** Fósforo disponível extraído pelo método de Resina Trocadora de Íons (P-RTI), em função de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnesiano (Δ)] de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sistema integrado de produção agropecuário. Pontos são médias de quatro repetições. \*P<0,05 \*\*P<0,01 DMS Diferença mínima significativa.

Não foram observadas correlações entre os atributos MST, RG, MSPA e MSPT e as concentrações de P-M, de diferentes camadas (0-5, 0-10 e 0-20 cm) de solo, independentemente da fonte de P empregada (Tabela 3). No entanto, foram observadas correlações positivas moderadas ( $0,40 < r < 0,69$  – segundo Gujarati, 2006) e fortes ( $0,70 < r < 0,89$  – segundo Gujarati, 2006) entre os atributos MST, RG, MSPA e MSPT e as concentrações de P-RTI. Das oito correlações observadas entre atributos de plantas (MST, RG, MSPA e MSPT) e P-RTI, sete foram moderadas e uma forte. Todavia, metade dessas correlações ocorreu com P-RTI da camada de 0-5 cm e a outra metade com P-RTI da camada

de 0-20 cm; ainda, o P-RTI da camada de 0-10 cm não se correlacionou com os atributos de plantas.

Portanto, o extrator RTI foi mais eficiente que a solução de M-1 para prever a disponibilidade de P às culturas de azevém anual e soja. Todavia, os valores de  $r$  observados são não muito fortes ( $0,90 < r < 1,00$  – segundo Gujarati, 2006), evidenciando a dificuldade na seleção de procedimentos de extração de P para sistemas de produção. Salienta-se que têm sido observados poucos trabalhos de campo em PD que busca correlacionar procedimento de extração e camada amostrada com disponibilidade de P às plantas (GALETTO et al., 2014b). Em sistema convencional de cultivo, a disponibilidade de P às plantas tem sido mais estudada; no entanto, as correlações observadas também tem tido variáveis e normalmente possuem valores da ordem de 0,40 a 0,89, conforme observado por Silva & van Raij (1999).

Outro aspecto importante a ser observado nos estudos de extratores se refere à camada amostrada (ANGHINONI et al., 2002), pois não tem tido consenso no país. Neste trabalho, os maiores valores de  $r$  foram observados na camada de 0-20, seguido da camada de 0-5 cm e não houve correlação com a camada de 0-10 cm. Portanto, a camada de 0-10 cm, preconizada pela Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC, (1995) parece não ser adequada para prever a disponibilidade de P ao azevém anual e a soja, em sistema integrado de produção sob PD. Ainda, esse trabalho sugere que a amostragem da camada de 0-20 é a mais promissora para prever a disponibilidade de P às culturas estudadas. Em outro trabalho (GALETTO et al., 2014b), a camada de 0-20 cm também foi a mais indicada para prever a disponibilidade de P à cultura de milho. Contudo, a carência de valores de  $r$  maiores que 0,90 indicam a necessidade de estudos mais aprimorados para ajustes e/ou desenvolvimento de novos extratores para melhor prever a disponibilidade de P às plantas em PD, particularmente, nos SIPA.

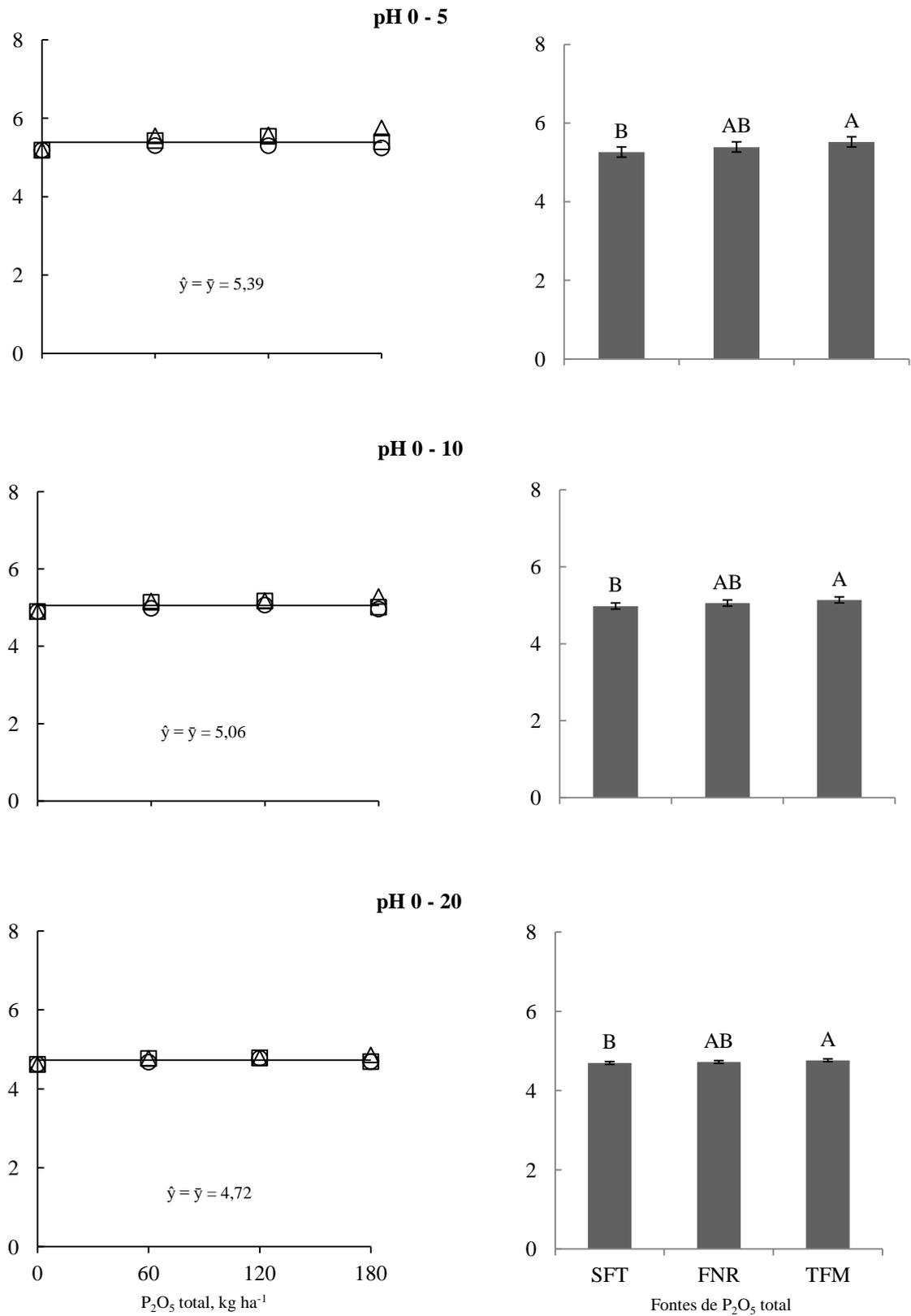
**Tabela 3:** Coeficientes de correlação (r) entre os atributos de plantas (azevém anual e soja) e as concentrações de fósforo (P) disponível por solução de Mehlich-1 (P-M) e resina de troca iônica (P-RTI), em camadas distintas de solo, após 48 meses de experimentação com fontes<sup>(1)</sup> e doses<sup>(2)</sup> de P em sistema de integrado de produção agropecuário.

Procedimento	Fonte	MST <sup>(3)</sup>		RG <sup>(4)</sup>		MSPA <sup>(5)</sup>		MSPT <sup>(6)</sup>	
		r	P	r	P	r	P	r	P
<i>Camada de 0-5 cm</i>									
P-M	SFT	0,26	0,3200	0,35	0,1797	0,26	0,3307	0,29	0,2724
P-RTI	SFT	0,23	0,3752	0,35	0,1831	0,30	0,2473	0,28	0,2872
P-M	FNR	0,44	0,0839	0,44	0,0826	0,36	0,1619	0,44	0,0871
P-RTI	FNR	0,55	0,0255	0,60	0,0139	0,27	0,2992	0,49	0,0424
P-M	TFM	0,37	0,1483	0,47	0,0612	0,38	0,1465	0,42	0,1012
P-RTI	TFM	0,38	0,1429	0,42	0,1046	0,49	0,0499	0,47	0,0657
<i>Camada de 0-10 cm</i>									
P-M	SFT	0,39	0,1300	0,27	0,2970	0,28	0,2829	0,40	0,1205
P-RTI	SFT	-0,25	0,3495	-0,12	0,6351	0,06	0,8248	-0,18	0,4948
P-M	FNR	0,10	0,7064	0,41	0,1068	-0,13	0,6114	0,03	0,9100
P-RTI	FNR	-0,31	0,2280	-0,36	0,1698	-0,20	0,4475	-0,29	0,2627
P-M	TFM	0,37	0,1566	0,40	0,1229	0,35	0,1803	0,40	0,1164
P-RTI	TFM	-0,41	0,1130	-0,22	0,3996	0,02	0,9306	-0,30	0,2538
<i>Camada de 0-20 cm</i>									
P-M	SFT	0,31	0,2324	0,20	0,4493	0,13	0,6196	0,29	0,2664
P-RTI	SFT	0,58	0,0174	0,81	0,0001	0,60	0,0135	0,65	0,0062
P-M	FNR	-0,01	0,9582	0,26	0,3260	-0,28	0,2908	-0,09	0,7128
P-RTI	FNR	0,02	0,9310	0,31	0,2421	-0,11	0,6691	-0,01	0,9424
P-M	TFM	0,17	0,5067	0,38	0,1381	0,22	0,4007	0,21	0,4181
P-RTI	TFM	-0,09	0,7283	0,07	0,7856	-0,26	0,3162	-0,16	0,5324

<sup>(1)</sup> Fontes: superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo (FNR) e termofosfato magnésiano (TFM) e <sup>(2)</sup> Doses: 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total aplicados na superfície do solo, em área total, por ocasião da semeadura da forrageira anual de inverno. <sup>(3)</sup> MST: massa seca total do azevém anual (kg ha<sup>-1</sup>). <sup>(4)</sup> RG: rendimento de grãos de soja (kg ha<sup>-1</sup>). <sup>(5)</sup> MSPA: massa seca da parte aérea da soja (kg ha<sup>-1</sup>). <sup>(6)</sup> MSPT: massa seca produzida total (kg ha<sup>-1</sup>).

A aplicação de doses de P não influenciou o pH nas camadas de solo avaliadas, sendo verificado efeito apenas para as fontes de P (Figura 8). A aplicação de FNR não resultou, nas três camadas estudadas, diferenças quanto ao valor de pH; todavia, foram observados maiores valores de pH mediante o uso de TFM quando comparado ao SFT (Figura 8). O SFT pode apresentar resíduo ácido (CEKINSKI et al., 1990), além de que, quando aplicado no solo sofre hidrólise, forma ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) e diminui o pH do meio (BRAGA & AMARAL 1971; MOREIRA et al., 2002). Por outro lado, o TFM não tem reação ácida e tem sido comuns aumentos de pH de solos tratados com este produto (GOEDERT & LOBATO, 1984). Quanto ao FNR, apesar deste produto depender da acidez do meio para sua

solubilização, quando ocorre sua hidrólise consome ( $H^+$ ) para formar diidrogenofosfato ( $H_2PO_4^-$ ), enquadrando-se como um fertilizante que não acidifica o meio.



**Figura 8:** pH do solo (CaCl 0,01 Mol L<sup>-1</sup>) após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofosfato magnesiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

### 3.6 CONCLUSÕES

Os rendimentos do azevém anual (massa seca desaparecida, massa seca residual e massa seca total) e de grãos de soja aumentaram linearmente mediante a aplicação de doses de P; porém, estes rendimentos foram semelhantes de acordo com as fontes estudadas. Maior acúmulo de P no azevém anual foi observado mediante aplicação de superfosfato triplo em relação ao fosfato natural reativo e termofosfato magnésiano. O acúmulo de P na soja aumentou de acordo com as doses, mas não diferiu entre fontes.

Fonte de fósforo de baixa solubilidade em ácido cítrico (fosfato natural reativo – Arad) em sistema integrado de produção agropecuário proporciona rendimentos similares de forragem de azevém anual e de grãos de soja quando comparado aos fosfatos solúveis em água + citrato neutro de amônio (superfosfato triplo) e ácido cítrico (termofosfato magnésiano) nas condições do presente estudo. Todavia, os acúmulos de P nas plantas são superiores quando se utilizam fosfatos de alta solubilidade.

Os extratores Mehlich-1 e resina de troca iônica são capazes de discriminar os teores de P de solo tratado com fosfatos solúveis em água + citrato neutro de amônio ou em ácido cítrico, mas superestimam as concentrações deste nutriente em solo tratado com fosfato natural reativo. Os coeficientes de correlação entre as concentrações de fósforo disponível no solo e os atributos de plantas (rendimentos e acúmulo de fósforo) são maiores com este nutriente extraído por resina de troca iônica na camada de 0-20 cm.

## 4. RENDIMENTO E QUALIDADE BROMATOLÓGICA DO AZEVÉM ANUAL EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO ADUBADO COM FOSFATOS

### 4.1 RESUMO

O sistema de produção animal no Brasil ocorre predominantemente a pasto, caracterizado por apresentar baixo custo de produção e maior tempo de terminação dos animais. Sistemas integrado de produção agropecuário (SIPA) em plantio direto (PD) apresentam características que contribuem para a melhoria dos atributos químicos do solo, pois proporcionam maior ciclagem de nutrientes devido aos componentes solo-planta-animal estarem agrupados. Nesse sistema, forrageiras como o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) podem permitir a conciliação de elevados rendimentos forrageiros e qualidade bromatológica. Os efeitos benéficos da adubação com fósforo (P) nas forrageiras em SIPA podem ser maximizados dados a maior ciclagem de nutrientes e promoção para aumento da qualidade forrageira. Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar o rendimento de massa seca disponível por pastejo (MSP); (ii) rendimento de proteína bruta (RPB); e as (iii) concentrações de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) e P no azevém anual, em SIPA submetido a fontes (superfosfato triplo – SFT, fosfato natural reativo – FNR e termofosfato magnésiano – TFM) e doses de P (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total). O experimento foi instalado em abril/2009 na Fazenda Capão do Cipó, no município de Castro (PR). O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos casualizados em esquema fatorial incompleto (3x3+1). As avaliações do azevém anual foram feitas mediante o corte da forrageira antes da entrada dos animais nos respectivos piquetes (foram avaliados cinco ciclos de pastejos). Foram observadas interações entre fontes e pastejos apenas para as concentrações de PB. A adição de doses de P proporcionou incremento para os rendimentos de massa seca pastejo, concentrações de P e RPB. A aplicação de diferentes fontes de P não ocasionou diferenças para rendimento de MSP, concentrações de FDA e RPB. Foram verificados maiores e menores concentrações de FDN mediante aplicação de SFT e TFM respectivamente. Maiores e menores concentrações de P foram proporcionadas pela aplicação de SFT e FNR respectivamente. Em relação às concentrações de PB a fonte de FNR proporcionou as maiores concentrações.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lolium multiflorum* Lam, fibra em detergente neutro, integração lavoura-pecuária, fosfatos insolúveis em água.

## 4.2 ABSTRACT

The livestock production system in Brazil is predominantly pasture, characterized by its low production cost and longer termination of animals. Integrated systems of agricultural production (ISAP) in tillage (NT) have characteristics that contribute to the improvement of soil chemical properties, they provide greater nutrient cycling due to components soil-plant-animal are grouped. In this system, annual forages such as ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) may allow for the reconciliation of high forage yield and chemical quality. The beneficial effects of fertilization with phosphorus (P) in forage ISAP data in most nutrient cycling and promotion to increase in forage quality can be maximized. The objectives of this study were: (i) evaluate the performance of dry matter available for grazing (DMA); (ii) yield of crude protein (YCP); and (iii) concentrations of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude protein (CP) and P in ryegrass in ISAP undergo sources (triple superphosphate - TSP, reactive phosphate - RP and magnesium thermophosphate - MTP) and P levels (0, 60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total). The experiment was installed in April / 2009 at farm Capon do Cipo, in the municipality of Castro (PR). The experimental design was a randomized complete block in incomplete factorial (3x3 + 1). The annual ryegrass assessments were made by cutting the forage before the entry of animals in their paddocks (five grazing periods were evaluated). Interactions between sources and grazing were observed only for concentrations of CP. The addition of P gave rise to income from grazing dry weight, concentrations of P and YCP. The application of different sources of P did not cause differences in yield DMA, concentrations of ADF and YCP. Higher and lower concentrations of NDF by applying TSP and MTP were checked respectively. Highest and lowest concentrations of P were provided by the application of TSP and RP, respectively. Regarding CP concentrations the source of RP led to higher concentrations.

**KEYWORDS:** *Lolium multiflorum* Lam, neutral detergent fiber, crop-livestock integration, water-insoluble phosphates.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A principal forma de produção de ruminantes no Brasil é constituída de produção animal a pasto (BENEDETTI, 2002). Esse sistema se caracteriza por apresentar baixo custo de produção e maior tempo de terminação dos animais, quando comparado aos sistemas confinados (BENEDETTI, 2002), todavia, em algumas condições de produção mais intensiva a pasto o custo pode se tornar mais elevado. Dentre os ruminantes, o rebanho comercial brasileiro de bovinos é o maior do mundo, aproximadamente 209 milhões de cabeças (IBGE, 2014). Desse montante de animais (bovinos), 35 e 13% encontra-se nas regiões Centro-Oeste e no Sul, respectivamente (IBGE, 2014).

As pastagens utilizadas para produção bovina, em geral, não apresentam rendimento e qualidade bromatológica compatível com as necessidades dos animais e com a obtenção de altos índices zootécnicos, em função dos manejos inadequados de solo e da pastagem. Uma das alternativas para a produção de forragem de qualidade tem sido a implantação de sistemas integrados de produção agropecuário (SIPAs) que, se adequadamente manejado resultam em: (i) melhoria da fertilidade do solo (FERREIRA et al., 2011); (ii) aumento da ciclagem de nutrientes (FERREIRA et al., 2011); (iii) melhoria dos atributos quantitativos e qualitativos da forragem (DE CONTO et al., 2011); (iv) maior giro de capital na propriedade, proporcionando condições de ampliação da atividade pecuária (LOPES et al., 2009).

Dentre as forrageiras anuais cultivadas na região Sul do Brasil, o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) concilia as características de elevado rendimento forrageiro e qualidade bromatológica (BREMM, 2007). Como cultura anual de inverno, o azevém anual apresenta duplo propósito nos SIPAs. Além de suprir às necessidades de forragem para os animais, o azevém anual também produz fitomassa suficiente para a manutenção do plantio direto (PD) (ASSMANN, et al., 2008). Todavia, a maximização de uso do azevém anual nos

SIPAs depende, dentre diversos fatores, do adequado manejo animal e de adubação, particularmente de fósforo (P) (GALLETO et al., 2014a).

Na pastagem o P influencia o rebrote da forrageira, pois atua estimulando o perfilhamento, na persistência, e em atributos da qualidade da pastagem (SANTOS, 2000). Entre os atributos bromatológicos que o fornecimento de P pode influenciar, cita-se: (i) o aumento das concentrações de P no tecido vegetal (GATIBONI et al., 2008) e a (ii) maior velocidade de rebrote proporcionando forragem com qualidade e maior quantidade (WERNER, 1986).

As forrageiras no geral apresentam resposta diferenciada as diferentes fontes de P (IEIRI et al., 2010). Entre as fontes, os fosfatos solúveis como superfosfato triplo (SFT) e os termofosfatos magnesiano (TFM) apresentam eficiência semelhante (OLIVEIRA et al., 2007). Considerando os fosfatos naturais reativos (FNR) de origem sedimentar, como o de Arad, estes têm apresentado eficiência agrônômica da ordem de 75% a 85% em relação às fontes solúveis na implantação das pastagens, e a partir do segundo ano de 100% (LIMA et al., 2007). No entanto a maioria dos estudos não busca relacionar os rendimentos com fatores relacionados à qualidade da forrageira devido à aplicação de fontes de P.

A avaliação da qualidade das forrageiras devido à aplicação de P pode representar melhorias nos atributos de qualidade. Entre os atributos de qualidade da pastagem, concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e proteína bruta (PB) têm influência direta sobre o desempenho dos animais quando em pastejo. O FDN tem importância direta na ingestão de massa seca (MS), pois apresenta efeitos sobre a limitação de consumo (os animais ingerem no máximo 16,8 g kg peso vivo (PV) dia<sup>-1</sup> FDN, conforme Sousa, 2006). Todavia, a composição do FDN é variável, ou seja, dos três constituintes do FDN (celulose, hemicelulose e lignina), somente a lignina não é aproveitada pelo animal (HATFIELD, 2001). Nesse sentido, a avaliação da

concentração de FDA (constituída somente de celulose e lignina) se mostra importante, pois quanto maior a concentração de FDA, maior será a proporção de lignina no FDN e a ocorrência da formação do complexo lignocelulose que reduz a degradação e o aproveitamento da fibra no rúmen (SANTOS et al., 2007).

Para as concentrações de PB, seus efeitos são relacionados ao desenvolvimento da microbiota ruminal e, por conseguinte, na produção animal. Esse atributo (PB) além de apresentar relação com o manejo da pastagem (PIAZETTA et al., 2009) apresenta ainda influência devido ao ciclo da pastagem, pois com o avançar do estágio da pastagem, suas concentrações apresentam tendência de diminuição. A concentração de PB está entre os fatores que mais influenciam o consumo animal (VALADARES FILHO & VALADARES, 2001). Tem sido verificado que concentrações de PB inferiores a  $70 \text{ g kg}^{-1}$  de MS reduzem a ingestão de MS, porém sem ocasionar aumento em níveis acima de  $70 \text{ g kg}^{-1}$  MS (VAN SOEST, 1994). A relação da concentração de PB com a ingestão de MS se deve ao fato dos microrganismos ruminais apresentarem exigência de no mínimo  $70 \text{ g kg}^{-1}$  MS para adequada atividade ruminal (EGAN & DOYLE, 1985).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o rendimento de massa seca disponível por pastejo (MSP), as concentrações de FDN, FDA, PB e P e o rendimento de proteína bruta (RPB) no azevém anual, em SIPA submetido a fontes (solúveis e insolúveis em água) e doses de P.

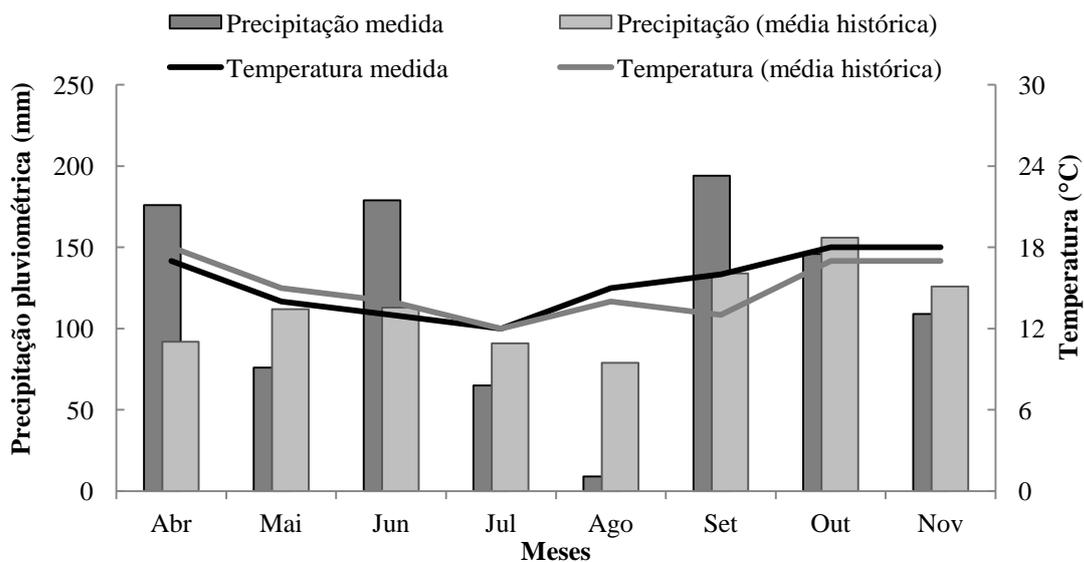
#### **4.4 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em abril/2009 na Estação Experimental da Fundação ABC – Fazenda Capão do Cipó (latitude:  $24^{\circ}51'49''\text{S}$ , longitude:  $49^{\circ}56'61''\text{W}$  e altitude média de 1.020 m), no município de Castro (PR), em um Cambissolo Háplico argiloso. A área experimental encontrava-se, há oito anos sob PD com as culturas em sucessão de soja e milho

(*Zea mays*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), azevém anual e trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno.

A área experimental se encontra no Primeiro Planalto Paranaense, cujas condições climáticas são classificadas como do tipo Cfb (segundo Köppen) – verões frescos com a ocorrência de geadas frequentes, sem a presença de estação seca definida (IAPAR, 2014). As temperaturas do ar e precipitações médias no decorrer deste estudo e o histórico local são apresentadas na Figura 9.

Por ocasião da implantação do experimento o solo possuía os seguintes atributos na camada de 0-20 cm: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,8; concentrações trocáveis de alumínio (Al<sup>+3</sup>), cálcio (Ca<sup>+2</sup>), magnésio (Mg<sup>+2</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) de 0,4; 31,2; 23,5 e 3,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente; acidez total (H+Al<sup>3+</sup>) de 92,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; saturação por bases (V%) de 38%; concentrações de P (Mehlich-1), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) de 4,2 mg dm<sup>-3</sup>; 29,6 e 2,0 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente; e teores de argila, silte e areia de 605, 225 e 170 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 9:** Precipitação e temperatura média do ar no ano de 2012 e o histórico ocorrido nos últimos 40 anos para precipitação e 8 anos para temperatura, medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada a 550 m do experimento.

Os tratamentos consistiram de fontes e doses de P arranjados em delineamento experimental de blocos completos ao acaso em esquema fatorial incompleto (3x3+1), com quatro repetições e cinco pastejos: *T1* – sem aplicação de P (controle absoluto); *T2*, *T3* e *T4* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, respectivamente na forma de superfosfato triplo [SFT (granulado): 460, 380 e 130 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água e CaO, respectivamente]; *T5*, *T6* e *T7* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, respectivamente na forma de fosfato natural reativo [FNR (pó) – Arad: 330, 100 e 370 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 20 g L<sup>-1</sup> e CaO, respectivamente]; *T8*, *T9* e *T10* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, respectivamente na forma de termofosfato magnésiano [TFM (pó): 180, 165, 180, 70 e 100 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 20 g L<sup>-1</sup>, CaO, MgO e SiO<sub>2</sub>, respectivamente]. Essas doses de fertilizantes fosfatados foram aplicadas anualmente, em área total e na superfície do solo, antes da semeadura da cultura forrageira anual de inverno (mês de abril).

A área total e área útil de cada parcela foram de 425 m<sup>2</sup> e 273 m<sup>2</sup> (desprezando-se dois metros de bordadura), respectivamente. Neste trabalho foi estudado a forrageira azevém anual durante o inverno de 2012, onde a semeadura do azevém anual (2012) foi realizada logo após a aplicação (superficial) dos fertilizantes fosfatados, empregando-se densidade de 400-500 sementes viáveis m<sup>-2</sup> (30 kg ha<sup>-1</sup> Azevém FABC1 + 15 kg ha<sup>-1</sup> Azevém Barjumbo) e 200 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 25-00-25 aplicado em superfície. Esse consórcio de cultivares de azevém anual foi utilizado visando maximização da oferta de forragem.

Os pastejos foram iniciados e finalizados quando a cultura se encontrava com 30 e 15 cm de altura, respectivamente. A altura da forrageira foi avaliada através do bastão graduado (*sward stick*), antes e após o pastejo. O sistema adotado foi o de pastejo rotacionado em que durante o pastejo os blocos foram divididos como piquetes (correspondendo a 5525 m<sup>2</sup> cada

um), onde os animais permaneceram na área cerca de 4 - 5 dias respeitando-se as alturas de entrada e saída dos animais.

Os animais utilizados para o experimento corresponderam a 21 novilhas da raça holandesa com PV médio 250 kg, equivalente a 5,2 unidades animal (U.A) ha<sup>-1</sup>. Na tabela 4 são apresentados de forma resumida os eventos na área experimental do início do estudo (abril/2009) até a avaliação do azevém anual (2012).

**Tabela 4:** Sequência de eventos das culturas em sucessão na área experimental: época de sementeira, espaçamento entre linhas e densidade de sementeira, cultivar ou híbrido descrição geral das atividades e manejo de cobertura (forragens) ou colheita (grãos).

<b>Cultura</b>	<b>Data de sementeira</b>	<b>Espaçamento entre linhas e densidade de sementeira</b>	<b>Cultivar ou híbrido</b>	<b>Outras atividades</b>	<b>Manejo de cobertura (forragens) e ou colheita (grãos)</b>
Aveia preta (2009)	28/04/2009	0,17 m e 250 sementes m <sup>-2</sup>	IAPAR-61	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 21 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2009/10)	27/09/2009	0,80 m e 5 sementes m <sup>-1</sup>	30F53	-	14/04/2010
Azevém anual (2010)	17/04/2010	0,17 m e 450 sementes m <sup>-2</sup>	FABC-1 e Barjumbo	Início do pastejo com 25 cm	Dessecação 28 dias após a retirada dos animais da área
Soja (2010/11)	05/11/2010	0,40 m e 16 sementes m <sup>-1</sup>	BMX-Apolo	-	30/03/2011
Aveia preta (2011)	04/04/2011	0,17 m e 250 sementes m <sup>-2</sup>	IAPAR-61	Início do pastejo com 30 cm	Dessecação aos 21 dias após a retirada dos animais da área
Milho (2011/12)	02/09/2011	0,80 m e 5 sementes m <sup>-1</sup>	30F53		16/04/2012
Azevém anual (2012)	25/04/2012	0,17 m e 450 sementes m <sup>-2</sup>	FABC-1 e Barjumbo	Início do pastejo com 25 cm	Dessecação aos 04 dias após a retirada dos animais da área

A avaliação do rendimento do azevém anual foi feita mediante a utilização de duas gaiolas de exclusão por parcela, fabricadas com ferro ½ polegada de diâmetro, fechadas com tela de arame de malha 5,0 cm e medindo 0,25 m<sup>2</sup>, para avaliação das fitomassas nas ocasiões de pré e pós pastejos, conforme método adaptado de Cano et al. (2004). Essas gaiolas foram dispostas aleatoriamente nas parcelas com intuito de quantificar a MSP disponível. Todos os

cortes das plantas foram realizados manualmente em  $0,51 \text{ m}^{-2}$  a 3,0 cm do solo mediante uso de foice desprezando 2,0 m de bordadura de cada parcela. Em relação aos atributos qualitativos da forrageira (FDN, FDA), foram determinados segundo metodologia proposta por Van Soest (1967) seguindo as modificações de Silva (2002). Para determinação da PB foi realizada digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl para determinação dos teores de nitrogênio (N) e, posteriormente, realizado a conversão para PB e RPB. Para o P foi utilizado digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção molecular (MALAVOLTA et al., 1997).

Todas as amostras de tecido vegetal foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório para procedimentos de lavagem, secagem, moagem e determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997). Depois de lavadas em água deionizada, as amostras foram secas em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  com circulação forçada de ar até atingir massa constante, moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em recipientes plásticos tampados até a realização das análises químicas.

A análise de variância dos dados foi realizada mediante uso do procedimento Proc Mixed (SAS System, 2010). Para a escolha da matriz de covariância, foi utilizado o critério de informação de Akaike (WOLFINGER, 1993). As variáveis avaliadas (MSP, RPB e as concentração de FDN, FDA, PB, P e pastejos) e suas interações foram consideradas fixas, enquanto o efeito de blocos foi considerado aleatório (LITTEL et al., 1996). As médias dos tratamentos qualitativos (fontes de P e número de pastejos) foram estimadas pelo teste LSMeans e comparadas, quando necessário, pela probabilidade da diferença (PDIFF) do teste Tukey-Kramer ( $P < 0,05$ ). Quando F foi significativo ( $P < 0,05$ ), as variáveis avaliadas foram submetidas à análise de regressão por polinômios ortogonais e ajustadas as doses de P, utilizando-se o procedimento Proc Reg (SAS System, 2010).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre fontes de P e pastejos apenas para o atributo PB (Tabela 6). Para os demais atributos (MSP, FDN, FDA, P e RPB) foram observadas influências de fontes (SFT, FNR e TFM) e doses de P (0 a 180 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) nos períodos de pastejos estudados.

A aplicação de P aumentou linearmente a MSP nos períodos de pastejos, exceto para o primeiro, onde houve aumento quadrático até a dose de 118 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (que corresponderia a MSP de 2992 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 5). A forrageira em condição de ausência de pastejo apresenta menor taxa de perfilhamento, maior acúmulo de massa morta, condição que pode ter proporcionado o aumento quadrático na MSP (WILMAN et al., 1977). Todavia, após o primeiro ciclo de pastejos houve aumento linear devido à adição de P, o que pode estar relacionado aos efeitos provocados pelo pastejo devido aos seguintes fatores: (i) redução na área foliar pela remoção das folhas e dos meristemas apicais o que promove o perfilhamento (WILMAN et al., 1977); (ii) redução das reservas de nutrientes da planta; (iii) mudanças na alocação de energia e nutrientes da raiz para a parte aérea, como forma de compensar as perdas de tecido fotossintético (KEPHART et al., 1995). Portanto, esses fatores justificaram os incrementos lineares, após o início dos ciclos de pastejos, dos rendimentos de MSP devido à aplicação de P.

Adicionalmente, a oferta de MSP no período experimental foi suficiente para atender às necessidades da carga animal utilizada (estimada a partir do PV médio dos animais e a oferta de MSP). Considerando os cinco ciclos de pastejos, a oferta de MSP variou de 8 a 14% do PV animal (taxa de lotação de 5,2 U.A ha<sup>-1</sup>), o que está condizente ao recomendado para maior desempenho animal em sistemas de pastejo rotacionado (DE CONTO et al., 2011). A disponibilidade de forragem do presente estudo seria suficiente para atender uma taxa de ganho de peso diário (GPD) de 800 g dia<sup>-1</sup> (NRC, 2001). A ingestão de MS corresponde ao

fator mais importante dentro da nutrição animal, pois estabelece as quantidades de nutrientes disponíveis para saúde e adequada produção animal (NRC, 2001).

Foram observados, no primeiro ciclo de pastejo, aumentos das concentrações de FDN e FDA devido à adição de P (Tabela 5). Esse nutriente proporcionou vigoroso crescimento e desenvolvimento das plantas, e os animais iniciaram o primeiro pastejo (aproximadamente 42 cm de altura, aos 76 dias após sementeira) depois do momento ideal, situação onde as concentrações de FDN e FDA seriam menores. Dentre os fatores que poderia aumentar a concentração de FDN e FDA na pastagem, destaca-se o manejo de altura de entrada e saída dos animais (GOMIDE, 1994; FEROLLA et al., 2007).

Para os demais ciclos, os animais iniciaram o pastejo no momento mais adequado. Salienta-se que, no terceiro ciclo de pastejo, foi observado incremento linear nas concentrações de FDA devido à adição de P. Isso pode ser atribuído ao fato de as condições de temperatura ter sido mais favoráveis para o adequado crescimento do azevém anual (FLOSS, 1988). Portanto, os aumentos nas concentrações de FDN e FDA para os pastejos 2-5 em relação ao primeiro foram decorrentes do envelhecimento da pastagem (WILSON, 1982).

Apesar da aplicação de doses de P não ter diminuído a concentração de FDN e FDA, pode ter beneficiado a pastagem, através do aumento de perfilhamento (PUPO, 1995), rebrote (ROSA & ALMEIDA, 2001) e utilização pelos animais (ROSSI & MONTEIRO, 1999). As concentrações de FDN e FDA observadas neste estudo são inferiores a 600 e 400 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente – valores considerados limitantes a ingestão das forragens (VAN SOEST, 1965; MERTENS, 1994; DELAGARDE et al., 2001) e, portanto, adequadas à alimentação animal, conforme NRC (2001).

As concentrações de P na parte aérea do azevém anual foram influenciadas pela aplicação deste nutriente (Tabela 5). As concentrações máximas de P ocorreriam no primeiro (2,86 g kg<sup>-1</sup>), terceiro (2,90 g kg<sup>-1</sup>) e quinto (2,80 g kg<sup>-1</sup>) ciclos de pastejo mediante a adição

de, respectivamente, 152, 120 e 142 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total por ocasião da semeadura da forrageira. Também foi observado, no segundo ciclo de pastejo, aumento linear na concentração de P no azevém anual devido à adição deste nutriente.

Aumentos da concentração de P no azevém anual nos pastejos 1, 3 e 5 podem ser decorrentes da; (i) utilização da pastagem pelos animais (GRANT et al., 1988); (ii) da mistura de pastagem (azevém FABC-1 e Barjumbo) devido à diferença de filocromo (NABINGER, 1996) e (iii) condições climáticas do período (transição do inverno para primavera) (STODDART et al., 1986). Adequadas concentrações de P no tecido vegetal da pastagem favorece a velocidade de rebrote e bem como maior persistência da forrageira (ZANINI et al., 2009), outro efeito benéfico do suprimento de P para a pastagem é a melhora da digestibilidade (OLIVEIRA et al., 2004).

Na nutrição animal, o P tem papel fundamental e junto ao cálcio (Ca), tem as seguintes funções: (i) formação da matriz óssea (MCDOWELL, 1992); (ii) crescimento e diferenciação celular (GONZÁLEZ e SILVA, 2003); (iii) componente dos ácidos nucleicos – DNA e RNA (FLATT et al., 2001); (iv) manutenção do equilíbrio ácido básico e osmótico (FLATT et al., 2001); e (v) controla a atividade dos microrganismos do rúmen (ANDRIGUETTO et al., 1990). Desse modo, as concentrações de P na parte aérea do azevém anual observado neste trabalho é importante do ponto de vista de nutrição animal, pois atendem, durante todos os ciclos de pastejo, as exigências mínimas (2,0 g kg<sup>-1</sup> de P) preconizadas para bovinos em crescimento e /ou lactação (NRC, 1984). Ainda, o aumento da concentração de P na parte aérea da forragem após o ultimo ciclo de pastejo é importante para a adubação em SIPA, pois favorece a ciclagem e liberação paulatinamente deste nutriente para a cultura subsequente produtora de grãos (GALETTO et al., 2014a).

As concentrações de PB no azevém anual foram diminuídas no primeiro e no segundo ciclos de pastejo devido à aplicação de doses de P (Tabela 5). Tem sido verificado que a

aplicação de P nas forrageiras pode diminuir ou não alterar as concentrações de PB (MACIEL et al., 2007; PAULINO et al., 1994). Em situações onde o P aplicado não atende as exigências da planta, tem sido observado um ligeiro aumento nas concentrações de N e, por conseguinte de PB nos tecidos vegetais (MONTEIRO et al., 1995). Esse aumento decorre da maior concentração deste elemento (N) devido ao menor desenvolvimento da planta ocasionado pela deficiência de P (MONTEIRO et al., 1995).

Para os demais (terceiro, quarto e quinto) períodos de pastejos, as concentrações de PB não foram influenciadas pela aplicação de P. A ausência de efeitos devido à aplicação de P pode ser devido às características intrínsecas ao ciclo da pastagem. Com o avançar da idade da pastagem, normalmente as concentrações de PB diminuem (LUCZYSZYN & ROSSI, 2007). Ainda, os valores de PB observados no presente estudo atendem as exigências mínimas para o adequado funcionamento do rúmen ( $70 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ) e rendimentos de leite entre  $13 \text{ e } 18 \text{ kg dia}^{-1} \text{ animal}^{-1}$  (NRC, 2001), em todos os ciclos de pastejos.

Com relação ao RPB, a aplicação de P ocasionou maior rendimento deste atributo a partir do segundo pastejo (Tabela 5). O maior RPB na forragem foi verificado no terceiro ciclo de pastejo, onde foi observado aumento de  $2,50 \text{ kg de PB ha}^{-1}$  por  $\text{kg de P}_2\text{O}_5$  aplicado (Tabela 5). Tem sido verificada ausência de efeitos da adubação fosfatada sobre os RPB na pesquisa (GATIBONI et al., 2008; ZUFFO et al., 2014; MONTEIRO et al., 1995).

Apesar das concentrações de PB terem sido reduzidas devido à aplicação de doses de P (primeiro e segundo ciclos de pastejos), o RPB no primeiro ciclo não foi influenciado, devido ao incremento de MSP. Ainda, a aplicação de P não influenciou as concentrações de PB do terceiro ao quinto pastejo, mas proporcionou aumento no RPB devido à MSP. Portanto, maiores RPB implicam em menores custos de produção animal, pois dentre todos os nutrientes na dieta animal, a PB representa o componente mais importante (maior custo) (CAVALCANTE et al., 2005).

**Tabela 5:** Equações de regressão e nível de significância dos atributos avaliados para o azevém anual submetidos a doses de fósforo (0, 60, 120, 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total), aplicadas na superfície do solo, em sistema integrado de produção agropecuário.

Pastejo	Equação	R <sup>2</sup>	P <sup>(1)</sup>
<i>Massa seca pastejo (kg ha<sup>-1</sup>)</i>			
1	$y = 1816,3 + 20,035x - 0,0853x^2$	0,96	0,0010
2	$y = 1862,2 + 10,29x$	0,93	0,0055
3	$y = 3017,3 + 16,712x$	0,86	0,0200
4	$y = 2817,6 + 11,279x$	0,72	0,0086
5	$y = 1994,5 + 8,4171x$	0,88	0,0004
<i>Fibra detergente neutro (g kg<sup>-1</sup>)</i>			
1	$y = 368,52 + 0,2864x$	0,59	0,0001
2	$\hat{y} = \bar{y} = 412,29$	-	-
3	$\hat{y} = \bar{y} = 476,00$	-	-
4	$\hat{y} = \bar{y} = 551,33$	-	-
5	$\hat{y} = \bar{y} = 569,79$	-	-
<i>Fibra detergente ácido (g kg<sup>-1</sup>)</i>			
1	$y = 223,58 + 0,1556x$	0,50	0,0460
2	$\hat{y} = \bar{y} = 267,08$	-	-
3	$y = 271,03 + 0,1825x$	0,56	0,0074
4	$\hat{y} = \bar{y} = 338,41$	-	-
5	$\hat{y} = \bar{y} = 363,70$	-	-
<i>Fósforo (g kg<sup>-1</sup>)</i>			
1	$y = 1,7876 + 0,0142x - 5E-05x^2$	0,99	0,0500
2	$y = 1,6936 + 0,0075x$	0,99	0,0001
3	$y = 1,7147 + 0,0198x - 8E-05x^2$	0,93	0,0152
4	$\hat{y} = \bar{y} = 2,124$	-	-
5	$y = 1,8507 + 0,0133x - 5E-05x^2$	0,86	0,0226
<i>Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup>)</i>			
1	$y = 194,27 - 0,2466x$	0,65	0,0459
2	$y = 207,58 - 0,222x$	0,64	0,0150
3	$\hat{y} = \bar{y} = 127,58$	-	-
4	$\hat{y} = \bar{y} = 123,26$	-	-
5	$\hat{y} = \bar{y} = 139,98$	-	-
<i>Rendimento de proteína bruta (kg ha<sup>-1</sup>)</i>			
1	$\hat{y} = \bar{y} = 426,17$	-	-
2	$y = 386,17 + 1,3302x$	0,72	0,0181
3	$y = 347,74 + 2,5091x$	0,88	0,0076
4	$y = 338,45 + 1,4179x$	0,87	0,0179
5	$y = 302,36 + 0,8554x$	0,55	0,0059

<sup>(1)</sup> Nível de significância da equação

Com relação às fontes de P estudadas, estas não proporcionaram alterações na MSP (Tabela 6). Isso pode ser atribuído aos seguintes fatores: (i) frequência anual de aplicação de P na área experimental, que pode ter proporcionado formação de gradiente de P no solo (SANTI et al., 2012); (ii) disponibilização do P oriundo de fontes fosfatadas insolúveis em água (FNR e TFM), devido à ação de ácidos orgânicos presentes no sistema (BRADY, 1989) e pH do solo (KOCHHANN et al., 1982); (iii) menor exigência de P em relação as culturas produtoras de grãos (IAPAR, 2003). Além disso, houve maior rendimento de MSP no terceiro e quarto pastejos, devido às maiores taxas de crescimento do azevém anual no início da primavera (FLOSS, 1988).

Tanto as fontes de P (Tabela 6), assim como as doses deste nutriente (Tabela 5) alteraram as concentrações de FDN. Essas alterações (maior e menor concentração de FDN mediante a aplicação de STF e TFM, respectivamente) podem estar relacionadas às características dos produtos. O TFM, diferentemente do STF, possui magnésio (Mg) e silício (Si) em sua composição. O Mg é um nutriente que atua como carregador de P na planta (NEPTUNE, 1986). O Si tem sido um dos elementos benéficos que proporciona maior resistência ao acamamento (mantendo as plantas mais eretas), redução ao ataque de pragas e maior resistência às condições adversas do clima (HASHEMI et al., 2010), além de participar da síntese de carboidratos (SOUZA et al., 2013). Portanto, menor concentração de FDN devido à aplicação de TFM, além de propiciar maior ingestão de MS pelos animais, pode ter favorecido a qualidade bromatológica da pastagem devido ao aumento de carboidratos não fibrosos. Pastagens de melhor qualidade (menores concentrações de FDN) favorecem a produção animal a pasto, maximizando os SIPAs.

**Tabela 6:** Massa seca em pastejo (MSP, concentração de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), fósforo (P), proteína bruta (PB) e rendimento de proteína bruta (RPB) no azevém anual, após aplicação superficial de fontes de fósforo no sistema integrado de produção agropecuário.

Fonte	Pastejos					Média
	1	2	3	4	5	
<i>Massa seca pastejo</i>						
	————— kg ha <sup>-1</sup> —————					
SFT	2704	2751	5096	4357	2838	3549 A
FNR	2436	2728	4050	3595	2526	3066 A
TFM	2494	2885	4409	3548	2892	3245 A
Média	2544 b	2788 b	4518 a	3833 a	2752 b	
<i>Fibra em detergente neutro</i>						
	————— g kg <sup>-1</sup> —————					
SFT	413,1	418,8	471,5	555,4	571,0	485,9 A
FNR	380,6	410,5	481,3	549,6	577,4	479,8 AB
TFM	389,1	407,6	475,3	549,0	561,0	476,4 B
Média	394,3 d	412,2 d	476,0 c	551,3 b	569,7 a	
<i>Fibra em detergente ácido</i>						
	————— g kg <sup>-1</sup> —————					
SFT	239,1	258,6	279,7	340,0	377,8	299,1 A
FNR	230,2	271,8	293,5	334,2	358,5	297,7 A
TFM	243,3	270,7	289,1	341,0	354,7	299,8 A
Média	237,5 e	267,1 d	287,5 c	338,4 b	363,7 a	
<i>Fósforo</i>						
	————— g kg <sup>-1</sup> —————					
SFT	2,74	2,80	2,96	2,38	2,57	2,69 A
FNR	2,13	1,92	2,19	1,80	2,14	2,04 C
TFM	2,57	2,39	2,23	2,19	2,67	2,41 B
Média	2,48 a	2,37 ab	2,46 ab	2,12 c	2,46 ab	
<i>Proteína bruta</i>						
	————— g kg <sup>-1</sup> —————					
SFT	163,1 Bb	187,1 Aba	119,6 ABcd	116,7 Bd	132,7 Bc	143,9 B
FNR	173,3 ABb	191,2 Aa	145,6 Ac	123,3 ABd	137,5 ABcd	154,2 A
TFM	179,6 Ab	184,4 Ba	117,3 Bd	129,6 Acd	149,6 Ac	152,1 AB
Média	172,0 b	187,6 a	127,5 cd	123,2 d	139,9 c	
<i>Rendimento de proteína bruta</i>						
	————— kg ha <sup>-1</sup> —————					
SFT	423	493	588	507	364	474 A
FNR	416	506	630	444	341	467 A
TFM	439	518	502	448	433	468 A
Média	426 b	505 a	573 a	466 ab	379 c	

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey - Kramer a 5% de probabilidade. SFT: superfosfato triplo; FNR: fosfato natural reativo; TFM: termofosfato magnésiano.

No entanto, as concentrações de FDA não foram influenciadas pelas fontes de P. Todavia, foram diretamente afetadas pelo ciclo da pastagem. O aumento das concentrações de carboidratos fibrosos (FDN e FDA) no avançar do ciclo de desenvolvimento na pastagem é um processo normal (FLOSS, 1988). Entretanto, a estratégia de manejo da pastagem, o comportamento ingestivo (seletivo) do animal (CARVALHO et al., 1999) e a adequada formulação da dieta (MARCONDES et al., 2010), tornam plausível a utilização das pastagens nos seus mais variados ciclos de desenvolvimento (LESCH et al., 1963).

As concentrações de P no azevém anual variaram de acordo com a fonte e os ciclos de pastejos (Tabela 6). Maior e menor concentração de P no azevém anual foi observado mediante aplicação de SFT e FNR, respectivamente. Isso pode estar relacionado às características intrínsecas de solubilidade das fontes de P. O SFT apresenta maior capacidade de suprimento imediato de P em relação às fontes insolúveis em citrato neutro de amônio + água (como exemplos, FNR e TFM), resultando em maior absorção e acúmulo de P no azevém anual. O TFM apresenta alta solubilidade em ácido cítrico quando comparado ao FNR, proporcionando condição para maior suprimento de P no sistema e aproveitamento deste nutriente pelas plantas. Com o tempo e frequência de aplicação, normalmente há tendência de diminuição nas diferenças de respostas das plantas entre fornecimento de P de alta ou baixa solubilidade (SANZONOWICZ & GOEDERT, 1986). Os maiores valores de P encontrado no tecido vegetal do azevém anual devido à aplicação de SFT podem ainda estar relacionado a “consumo de luxo” pela planta (PROCÓPIO et al., 2005). Quanto ao FNR, apesar deste ter resultado menor concentração de P nas plantas, estas atendem às exigências mínimas preconizadas para bovinos em crescimento e/ou lactação (NRC, 1984).

Para o atributo PB, tanto as fontes quanto os ciclos de pastejos estudados influenciaram os seus valores (Tabela 6). Maiores valores de PB foram verificados para o FNR, e menores para o SFT. Em situação de menor quantidade de P disponível (mediante a

aplicação de fosfato insolúvel em água + citrato neutro de amônio e de baixa solubilidade em ácido cítrico – FNR) as pastagens tendem aumentar as concentrações de PB (MONTEIRO et al., 1995), pois decorre da maior concentração de PB ocasionado pela deficiência de P (MONTEIRO et al., 1995). Salienta-se que o RPB não foi influenciado pelas fontes de P (Tabela 6), devido ao fato de o rendimento de MSP não ter sido alterado. Ainda, as alterações das concentrações de PB verificadas no presente estudo, no avançar da idade e ciclos de pastejo, correspondem efeito normal da fisiologia da forrageira (FLOSS, 1988), pois com o avançar do ciclo de desenvolvimento há uma perda natural da qualidade das forragens (LUCZYSZYN et al., 2007).

As diferenças verificadas neste estudo para os atributos MSP, FDN, FDA, P, PB e RPB, devido ao ciclo de pastejo, são efeitos condizentes ao ciclo natural de envelhecimento da pastagem. Todavia, efeitos da aplicação de doses e fontes de P resultam em melhoria de alguns atributos (MSP, FDN, P, PB e RPB) da forragem, principalmente, quando se considera aplicações de fosfatos no médio e longo prazo.

#### **4.6 CONCLUSÕES**

A aplicação de fosfato proporciona maior rendimento de massa seca em pastejo, rendimento de proteína bruta e concentração de fósforo na pastagem.

As fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfato natural reativo – Arad e termofosfato magnésiano) não alteram rendimento de massa seca em pastejo, concentrações de fibra detergente ácido e rendimento de proteína bruta.

O superfosfato triplo proporciona maior acúmulo de fósforo na parte aérea do capim, ao passo que o fosfato natural reativo resulta em maior concentração de proteína bruta.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção agrícola e pecuária no Brasil devido às proporções continentais do País se mostra de formas bastante distintas. Há sistemas com baixa e alta tecnologia que proporcionam rendimentos diferenciados. Todavia, tem sido verificado que com a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária é possível aumentar a produção de alimentos sem, no entanto aumentar a necessidade de abertura de novas áreas. Esse aumento da produção com a adoção de sistemas integrados decorre da utilização mais eficiente dos fertilizantes devido aos diferentes sistemas radiculares (grãos e pastagens) e ao efeito animal. Nesse contexto, entre os nutrientes, o fósforo merece total atenção, pois corresponde a um elemento finito, e práticas que otimizem a sua utilização se fazem importante. Resultados de pesquisas têm mostrado que à adoção de fontes de fósforo de baixa solubilidade nesse sistema, pode ao longo do tempo tornar os rendimentos de grãos e forragem semelhante às fontes de alta solubilidade. Todavia, a utilização de extratores de fósforo para discriminar a melhor fonte e doses de fósforo em sistemas integrados de produção agropecuária ainda necessita de mais estudos para mostrar como o elemento fósforo se comporta nesse sistema.

A pastagem como fonte de suprimento de nutrientes para os ruminantes se constitui em um alimento barato quando bem manejada. Contudo, devido às características intrínsecas de cada genótipo, a adubação fosfatada pode representar em melhorias dos atributos bromatológicos da mesma, refletindo em maiores ganhos de produção e maiores receitas para a atividade.

## 6. REFERENCIAS

- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura de sucessão. In. FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Palltti, 1997. p. 76-111.
- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. & KUNTZE, M.A.G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 29:415-424, 2005.
- ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995.
- ALVARENGA, R. C. **Integração Lavoura – Pecuária**. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE. 3. Anais. Belo Horizonte - MG: UFMG, 2004.
- ALVIM, M. J., CÓSER, A. C. Aveia e Azevém anual: Recursos forrageiros para a época seca. IN: **Pastagens para gado de leite em regiões de influência da Mata Atlântica**. Coronel Pacheco: EMBRAPA. p. 83-107,2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 24:179-189, 2000.
- AMBROSI, I.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.10, p.1213-1219, 2001.
- ANDRIGUETTO J.M. **Nutrição Animal**. 4.ed. São Paulo: Nobel, 1990. p.396.
- ANGHINONI, I.; SCHLINDWEIN, J.A. & NICOLODI, M. Amostragem do solo no sistema plantio direto. In: **Curso de fertilidade do solo em plantio direto**, 5. Passo Fundo, Aldeia Norte Editora, 2002. p. 97-105.
- ANGHINONI, I. ; ASSMANN, J.M. ; MARTINS, A.P. ; COSTA, S.E.V.G.A. ; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v. 6, p. 01-0, 2011.
- AQUINO, B. F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo**. Fortaleza: UFC, 2004.182p. Apostilas Didáticas.
- ASSMANN, T.S.; CASSOL, L.C.; ASSMANN, A.L. Manejo da fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes) em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: **Encontro de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil**, 1., 2002, Pato Branco. Anais. Pato Branco: CEFET-PR, 2002. p. 61-84.

- ASSMANN, A. L. ; ASSMANN ; SOARES, A. B. . **Integração Lavoura-Pecuária para a Agricultura Familiar**. 1. ed. Londrina: IAPAR, 2008. v. 1. 49 p.
- ASSMANN, A. L. ; ASSMANN ; SOARES, A. B. . **Integração lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. 1. ed. Londrina: IAPAR, 2008. v. 1. 49 p.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; et al. Integração lavoura- pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, n.6, 2009.
- BARBER, S. A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York: **Wiley-Interscience**, 1984. 398 p.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 21:105-112, 1997.
- BENEDETTI, E; **Produção de leite a pasto** – bases práticas. Salvador: SEAGRI, 2002. 176p.
- BERG, B. Nitrogen release from litter and humus in coniferus forest soil - a mini review. **Scandinavian Journal of Forest Research**, 1:359-369, 1986.
- BOHAC, E.A.F.; CÂMARA, D.S.G.M.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, v.66, n.02, p.259-266, 2007.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p
- BRAGA, J. M.; AMARAL, F. A. Efeito de fontes de fósforo na variação de pH e disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 17, p. 325-335, 1971.
- BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milho - soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.393 404, jan./fev. 2008.
- BREMM, C. Relação planta-animal em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) com ovinos sob níveis de suplemento. 2007. 102 f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BRUM, A. L.; HECK, C. R.; LEMES, C. L.; MÜLLER, P. K.: A economia mundial da soja: impactos na cadeia produtiva da oleaginosa no Rio Grande do Sul 1970-2000. **Anais dos Congressos**. XLIII Congresso da Sober em Ribeirão Preto. São Paulo, 2005.
- BÜLL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um Latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônômica. **Bragantia**, v.56, n.1, p.169-79, 1997.

CAMARGO, M. S. de; SILVEIRA, R.I. Efeito dos fosfatos naturais Alvorada, Catalão, Patos e Arad na produção de massa seca de milho em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 509-519, 1998.

CANO, C.C.P.; CECATO, U.; CANTO, M.W.; et al. Produção de Forragem do Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1949-1958, 2004.

CARVALHO, P.C.F., PRACHE,S., ROGUET, C., LOUAULT, F. Defoliation process by ewes of reproductive compared to vegetative swards. In: **INTERNATIONAL Symposium on the Nutrition of Herbivores**, 5, San Antonio, USA. 1999. Proceedings... CD ROOM.

CARVALHO, P.C.F; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; SULC, R.M.; LANG, C. R.; FLORES, J.P.C.; TERRA L.; MARÍLIA L.; SILVA, J.L.S.; CONTE, O.; LIMA W.C; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, p. 1-15, 2010.

CAVALCANTE, M. A. B.; PEREIRA, O. G.; VALADARES FILHO, S. C., et al. 2005. **Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: consumo, digestibilidade total e desempenho produtivo**, v.34, n.3, p.711-719, 2005.

CECATO, U. et al. Avaliação de cultivares e linhagens de aveia (*Avena* spp.). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 3, p. 347-354. 1998

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA) - ESALQ/USP (CEPEA). Disponível em < [http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib\\_Cepea\\_1994\\_2013.xls](http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib_Cepea_1994_2013.xls)>. Acesso em 23/06/2014.

CEKINSKI, E.; CALMONOVICI, C. E.; BICHARA, J. M.; FABIANI, M.; GIULIETTI, M.; CASTRO, M. L. M. M.; SILVEIRA, P. B. M.; PRESSINOTTI, Q. S. H. C.; GUARDANI, R. (Ed.). Tecnologia de produção de fertilizantes. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, 1990. p. 95-129.

CFS-RS/SC (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC). Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3 ed. Passo Fundo: **SBCS-Núcleo Regional Sul/EMBRAPA-CNPT**, 1995. 224p.

CHIEN, S.H. IFDC's evaluation of modified phosphate rock products. In: RAJAN, S.S.S.; CHIEN, S.H. **Direct application of phosphate rock and related technology: latest developments and practical experiences**. Kuala Lumpur: IFDC, 2001. p.63-77. (Special Publications, 37).

CHRISTOFFOLETI, P. J.; PASSINI, T. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do feijão**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo. Piracicaba: LPV/ESALQ/USP, 1999. p. 80-97.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the genetic base of soybean: A multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA (IAPAR), disponível em: <<http://www.iapar.br/modulos/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>> acesso em: 05/12/2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 18 de junho de 2014.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; VILLA NOVA, A. S.; SITTA, D. S. X. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1393-1399, 1991.

DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. **Australian Journal of Soil Research**, 24:265-279, 1986.

DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 21:473-480, 1997.

DE CONTO, L. ; SGANZERLA, D. C. ; PEDROSO, C. E. S. ; MONKS, P. L. . Relação azevém anual - ruminante. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, p. 41-54, 2011.

DELAGARDE, R.; PRACHE, S.; D'HOOR, P. et al. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. **Fourrages**, v.166, p.189-212, 2001.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno. Londrina: **Instituto Agrônômico do Paraná**, 1992. 80p. (Circular Técnica, 73).

DIEZ-RODRÍGUEZ, G.I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, v.30, n.2, p.311-316, 2001.

EGAN, J.K.; DOYLE, P.T. Effect of intraruminal infusion of urea on the response in voluntary feed intake by sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.36, n.3, p.483-495, 1985.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; MOREIRA, A.; PORTES, T. A. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 33, n. 14, p. 2167-2181, 2010.

FEROLLA, F. S. et al. Produção de matéria seca, composição da massa de forragem e relação lâmina foliar/caule + bainha de aveia-preta e triticales nos sistemas de corte e de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1512-1517, 2007.

FERREIRA, E.V.O. ; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI M. H.; MARTINS A. P.; CARVALHO P.C.F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 161-169, 2011.

FLATT, W.R.; STANTON, T.L.; SCHULTZ, D. Effect os phosphorus concentration on blood serum phosphorus concentration, growth performance, carcass characteristics, and cost of gain on finishing cattle. **Animal Sciences Research Report**. 2001.

FLORES, J.P.C ; ANGHINONI, I. ; CASSOL, L. C. ; CARVALHO, P.C.F. ; LEITE, J.G..D. ; FRAGA, T.I. ; Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 771-780, 2007.

FLOSS, E.L. **Manejo forrageiro de aveia (*Avena sp.*) e azevém (*Lolium sp.*)**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1988. p.231-268.

FONTANELI, R.S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagem anuais de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.11, p.2129-2137, 2000.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 34:2267-2276, 1999.

FRANZINI, V. I. ; MURAOKA, Takashi ; MENDES, F. L. . Ratio and rate effects of 32P-triple superphosphate and phosphate rock mixtures on corn growth. **Scientia Agrícola (USP. Impresso)**, v. 66, p. 71-76, 2009.

FREITAS, F.K. et al. Suplementação energética na recria de fêmeas de corte em pastagem cultivada de inverno. *Produção Animal*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1256-1266, 2005.

FREITAS, R.E.; MENDONÇA, MARCO AURÉLIO ALVES DE ; LOPES, G. O. . Expansão de área agrícola nas mesorregiões brasileiras. **Revista de Política Agrícola**, v. Ano XX, p. 100-116, 2011.

FUNDAÇÃO ABC. Agrobanco: **Banco de dados agronômicos**. 2008. Disponível em: <http://www.fundacaoabc.com.br/>. Acesso em: 10 de abril 2014.

FURLAN, B. N.; SIMILI, F. F.; REIS, R. A.; GODOY, R.; FERREIRA, D. S.; SOUZA, A. G.; FAIÃO, C. A.; YOSHIMURA, M. L. **Sobressemeadura de cultivares de aveia em pastagens de capim Tifton-85**. Goiânia-GO: A Produção Animal e o Foco no Agronegócio, in: 42ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005.

FURLANI, P. R.; PURQUERIO, L. F. V. **Avanços e desafios na nutrição de hortaliças**. In: **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. MELLO PRADO, R. et al. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP, 2010. p. 45-62.

GALETTO, S.L.; DA FONSECA, A.F.; HARKATIN, S.; REIFUR, H.I.; De CARVALHO, I.Q. Grain crops and forage yield resulting from the use of phosphates in integrated production system. **Revista Ciência Agronômica (UFC. Impresso)**, v. 45, p. 931-945, 2014a.

GALETTO, S.L. ; DA FONSECA, A.F. ; HARKATIN, S. ; AULER, A.C. ; De Carvalho, I.Q. . Availability of phosphorus for maize in crop-livestock integration system. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Online), v. 45, p. 956-967, 2014b.

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

GATIBONI, L. C. ; KAMINSKI, J. ; PELLEGRINI, J. B. R. ; AQUINO, J. E. R. . Efeito da adubação fosfatada e da calagem sobre a qualidade bromatológica da forragem de pastagem natural com introdução de espécies forrageiras de inverno. **Revista Brasileira de Agrociência** (UFPEL), v. 14, p. 01-10, 2008.

GERDES, L.; MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; SANTOS, L. E.; CUNHA, L. A.; BUENO, M. S.; SCHAMMASS, E. A. Características do dossel forrageiro e acúmulo de forragem em pastagem irrigada de capim-aruana exclusivo ou sobressemeado com uma mistura de espécies forrageiras de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol. 34, n.4, p. 1088 a 1097, 2005.

GOEDERT, W.J; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, n.3, p.311-318, 1980.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 97-102, 1984.

GOMES, J.F.; REIS, J.C.L. Produção de espécies forrageiras perenes de estação fria no Litoral Sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 3, n. 2, p.131-138, 2000.

GOMIDE, J. A. **Fisiologia das plantas forrageiras e manejo das pastagens**. Informação Agropecuária, v. 88, n. 153/154, p. 11-18, 1988.

GOMIDE, J.A. **Manejo de pastagens para produção de leite**. In: CECATO, U., SANTOS, G.T., PRADO, I.N., MOREIRA, I. (eds). Simpósio Internacional de Pastagens. Eduem, Maringá-PR, 1994. p. 141-168.

GOMIDE, C. A. M. Características morfofisiológicas associadas ao manejo do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.). 2001. 107 f. **Dissertação** (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

GONÇALVES, L. C. ; BORGES, I. ; FERREIRA, P. D. S.. **Alimentação de gado de leite**. 1. ed. Belo Horizonte: FEPMVZ - Editora, 2009. v. 1. 452 p.

GONZÁLEZ, F.H.D. e SILVA, S.C.. **Introdução à bioquímica clínica animal**. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 2003.

GRANT, S. A. et al. Comparison of herbage production under continuous stocking and intermittent grazing. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 29-39, mar. 1988.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. 4 ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 784p., 2006.

HANSEL, F. D. ; AMADO, T. J. C. ; BORTOLOTO, R. P. ; TRINDADE, B. S. ; HANSEL, D. S. S. . Influence of different phosphorus sources on fertilization efficiency.. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** (Online), v. 7, p. 103-111, 2014.

HARGROVE, W. L. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. **Agron. J., Madison**, v.78, p.70, 1986.

HARRISON, AF. 1982. 32P-method to compare rates of mineralization of labile organic phosphorus in woodland soils. **Soil Biol. Biochem.** 14(4): 337-341.

HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A. & SADEGHIPOUR, H.R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus L.*, plants. **Soil Science Plant Nutrition.**, 56:244-253, 2010.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 2, p. 271-280, 2001.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S.; WHITE, P. **Functions of macronutrients**. In: Marschner, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3th edition. Academic Press: San Diego, 2012. PP 135-189.

HORST, G.L., NELSON, C.J., ASAY, K.H. 1978. Relationship of leaf elongation to forage yield of tall fescue genotypes. **Crop Science.**, 18(5):715-719.

HUME, D. E. Leaf and production of prairie Grass (*Bromus willdenowws*) and two regrass (*lollium*) species. **Annals of Botany**, 67, p: 111-121, 1991.

HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on phosphorus sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science.** 152:463-471, 1991.

IEIRI, A. Y.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, S. H. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com brachiaria. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 34, p. 1154-1160, 2010.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no estado do Paraná**. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/niapar61.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/niapar61.pdf)> (20/07/2014)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESATÍSTICA (IBGE). **Rebanho brasileiro de bovinos**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>> (21/07/2014)

KAMINSKI, J. ; PERUZZO, G. . Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria - RS: Núcleo Regional Sul - **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997. 31p .

KEPHART, K.D.; WEST, C.P.; WEDIN, D.A. Grassland ecosystems and their improvement. In: BARNES, R.F.; MILLER, D.A.; NELSON, C.J. (Eds). **Forages: an introduction to**

**grassland agriculture.** Ames: The Science of Grassland Agriculture, Iowa State University Press, 1995. v.1, p.141-153.

KOCHHANN, R. et al. **Adubação fosfatada do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** In: OLIVEIRA, A.J. et al. **Adubação fosfatada no Brasil.** Planaltina: Embrapa, CPAC, 1982. p.29-60. (Embrapa - CPAC. Documentos, 21).

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. **Avaliação de fontes de silício para arroz,** in: I Congresso Nacional de Arroz Irrigado, Pelotas, p. 313-6. 1999

LESCH, S.F.; PIETERSE, P.J.S.; OOSTHUIZEZ, F.J. et. al. Utilization of the energy in mature veld hay by steers: effect of urea supplementation. **Proceedings South African Society of Animal Production**, v.2, p.45-57, 1963.

LIMA, S. O. ; FIDELIS, R.R. ; COSTA, Sérgio José da . AVALIAÇÃO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO NO ESTABELECIMENTO DE *Brachiaria brizantha* cv. MARANDU NO SUL DO TOCANTINS. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (UFG), v. 37, p. 100-105, 2007.

LYNCH, J. P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany.** Victoria, v. 55, n. 5, p. 493-512, 2007.

LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D. 1996. SAS System for Mixed Models. **SAS Institute**, Cary, NC, USA. 633 p.

LOPES, R.S.; AL. Efeito da irrigação e adubação na disponibilidade e composição bromatológica da massa seca de lâminas foliares de capim-elefante. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 35,n. 1,p. 20-29, 2006.

LOPES, M. T.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D. T.; AGUINAGA, A. A.; FLORES, J. P. C. ; MORAES, A. Sistemas de integração lavoura-pecuária: Efeito do manejo da altura de pastos de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Revista Ciência Rural**, v. 39, p. 1499-1506, 2009.

LUNARDI, R; CARVALHO, P. C. F.; TREIN, C. R.; COSTA, J. A.; CAUDURO, G. F.; BARBOSA, C. M. P.; AGUINAGA, A. A. Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, v. 38, p. 795-801, 2008.

LUCZYSZYN, V.C.; ROSSI J.P. Composição bromatológica de pastagens de inverno submetidas a pastejo por ovinos, obtidas por fístulas esofágicas. **Revista Acadêmica. Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, p. 345-351, 2007.

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H. **Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária.** In Favoretto, V.; Rodrigues, L.R.A.; Reis, R.A. (eds.). SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 2, 1993, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1993. p.216-245.

MACEDO, M. C. M. . Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACIEL, G. A. ; COSTA, S. E. G. V. A. ; FURTINI NETO, A. E. ; FERREIRA, Mozart Martins ; EVANGELISTA, A.R. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria Brizantha* cv. marandu cultivada em dois tipos de solos. **Ciência Animal Brasileira** (UFG), v. 8, p. 227-233, 2007

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **O fósforo na planta e interações com outros elementos**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 35-80.

MARCONDES, M. I. ; GIONBELLI, M.P. ; VALADARES FILHO, S.C. ; CHIZZOTTI, M.L. ; PAULINO, M.F. . **Exigências nutricionais de proteína para bovinos de corte**. In: Valadares Filho, Sebastião de Campos; Marcondes, Marcos Inácio; Chizzotti, Mário Luiz; Paulino, Pedro Veiga Rodrigues. (Org.). 2ed.Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2010, v. , p. 113-134.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. **Avaliação do custo indireto da pontualidade na semeadura direta da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) através da antecipação da adubação**. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005, Canoas - RS. Anais Conbea. Canoas - RS: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005a. v.1.

MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G.; BARROS, F.M. Extração de nutrientes por forrageiras cultivadas com água residuária do beneficiamento de frutos do cafeeiro. **Revista Ceres**, 52(303):675-688, 2005b.

MCDOWELL, R.L.. **Minerals for grazing ruminants in tropical regions**. 3.ed. Florida. 1997.

MELLO, C.R.; et al. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da microrregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1319-1324, set. 2002.

MELLO, L.M.M.; YANO, E.H.; NARIMATSU, K.C.P.; TAKAHASHI, C.M.; BORGHI, E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola** , 2004, 24, 1, 121-129.

MERCANTE, F. M. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja? Como se beneficiar?** In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7., 2003, Sorriso. Anais... Cuiabá: Ed. UFMT, 2003. p. 25-29.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) Forage quality, evaluation and utilization. Winsconsin: **American Society of Agronomy**, 1994. p.450-493.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PESQUISA E ABASTECIMENTO (MAPA). Exportações do agronegócio – ranking de produtos, 2013. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina\\_inicial/vegetal/culturas/soja](http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina_inicial/vegetal/culturas/soja)>. Acesso em: 05 outubro. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PESQUISA E ABASTECIMENTO (MAPA). Brasil projeções do agronegócio de 2012/2013 a 2020/2021, 2011, disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br>> acesso em 15/06/2014.

MIRANDA, C. H. B. Ciclagem de nutrientes com vistas a sustentabilidade do sistema. **Pasturas Tropicais**, CIAT, Cali, Co, v. 64, 2000.

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

MORAES A. et al. Crop-livestock integration in Brazilian subtropics II. In: **International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems**. Porto Alegre: UFRGS 2012. CD Rom.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.36, p.1519-1527, 2001.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. . Eficiência de fontes e doses fósforo na alfafa e na centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.10, p. 1459-1466, 2002.

NABINGER, C. **Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa**. In: Reunião do grupo técnico regional do cone sul (zona campos) em melhoramentos e utilização de recursos forrageiros das áreas tropical e subtropical, 1996, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. p. 17-62.

NABINGER, C. **Eficiência do uso de pastagens: Disponibilidade e perdas de forragem**. fundamentos do pastejo rotacionado. (ed). ARISTEU MENDES PEIXOTO et al. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 213-252.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Beef Cattle Nutritio (Washington, DC). **Nutrient requirements of beef cattle**.6.ed. Washington, DC: National Academy Pres: 1984. 90p. (Nutrient Requirements of Domestic Animals, 4).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. 408p.

NEPTUNE , A.M L. O magnésio como nutriente para as culturas. In: SiLVA, M. de C. (Coord.). **P, Ca, Mg, S e micronutrientes**: situação atual e perspectivas na agricultura. São Paulo: MANAH, 1986. p.74-82, 144p.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T.; CARNEIRO J.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2425-2433, 2008.

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

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F.N. Fósforo. 2007, In: Fertilidade do solo. ROBERTO F.N.; VITOR H. A.V.; NAIRAN F.B.; RENILDES L.F.F.; REINALDO B. C.; JULIO C.L.N.. Viçosa – MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, 1017 p.

OLIVEIRA, T. N.; PAZ, L. G.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; FERREIRA, R. L. C.; ARAÚJO, G. G. L.; PIRES, A. J. V. Influência do fósforo e do regime de corte na composição química e digestibilidade in vitro do capim-de-raiz (*Chloris orthoton* Doell). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vicososa, v. 33, n. 6, p. 2248-2255, 2004.

OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A. DE; SILVA, I. F. DA; ALVES, J. C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.973-983, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). Disponível em < <https://www.fao.org.br/FAOddma.asp> >. Acesso em 26/06/2014.

PAULINO, V.T.; COSTA, N. DE L.; LUCENA, M.A.C. DE; SCHAMMAS, E. A. Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu à calagem e à adubação fosfatada em um solo ácido. **Pasturas Tropicais**. 16 (2): 23-33, 1994.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná. 38p., 1992.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:911-920, 2008.

PEDROSO, C.E.S., MEDEIROS, R.B., SILVA, M.A., JORNADA, J.B.J., SAIBRO, J.C. E TEIXEIRA, J.R.F. 2004. Comportamento de ovinos em gestação e lactação sob pastejo em diferentes estágios fenológicos de azevém anual. **Revista Brasileira de Zootecnia**., 33: 1340-1344, 2004.

PESKE, S. T. ; TRIGO, L. F. N. ; GASTAL, M. F. ; VAHL, L. C. . Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n.1, p. 111-115, 1997.

PIAZETTA, R. ; DITTRICH, J. R. ; DITTRICH, J. R. ; MONTEIRO, A. L. G. ; ALVES, S. J. ; MORAES, A. ; LUSTOSA, S. B. C. ; GAZDA, T. L. ; MELO, H. A. . Características qualitativas da pastagem de aveia preta e azevém manejada sob deferentes alturas, obtida por simulação de pastejo. **Archives of Veterinary Science**, v. 14, p. 43-48, 2009.

PIVA, J. T. ; MORAES, A. ; DIECKOW, J. ; SILVA, V. P. da . Manejo do solo em sistema de integração lavoura-pecuária floresta no centro-sul do Paraná. **Anais da III Reunião Paranaense de Ciência do Solo**. 3ed.: , 2013, v. , p. 491-499.

POWELL, J.M.; WILLIAMS, T.O. **Livestock, nutrient cycling and sustainable agriculture in the West African Sahel**. London: International Institute for Environment and Development, 1993. p.7.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S.. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.6, p. 911-921, 2005.

PUPO, N. I. H. “**Manual de Pastagem e Forrageiras: formação, conservação, utilização**”. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1995. 343p.

QUESSADA, T; GAZZONI, B. F.; OLIVIO F.. Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, p. 1-25, 2010.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, p.547–566, 1986.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba-SP, 420 p., 2011.

RAO, S.C.; PHILLIPS, W. A.; MAYEUX, H. S.; PHATAKL, S. C.; Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science, Madison**, v.43, n.6, p.2212-2217, 2003.

RESTLE, J., LUPATINI, G.C., VALENTE, A.V. et al. **Avaliação da mistura de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio**. I – Produção animal. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 30, 1993, Rio de Janeiro. Anais... Viçosa: SBZ, 1993. p.71.

RESTLE, J.; ROSO, C.; SOARES, A.B. Produtividade animal e retorno econômico em pastagem de aveia preta mais azevém adubada com fontes de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.357-364, 2000.

REZENDE, L.A.; ASSIS, L.C. & NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**., 94:159-167, 2004.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.1, p.41-49, 2003.

ROBINSON, J.S. & SYERS, J.K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal Soil Science**., 41: 597-605, 1990.

- ROSA, J.L. & ALMEIDA, M.L.de. **Ensaio Nacional de aveias forrageiras em Lages, SC – 2000**. Resultados experimentais/XXI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia – Lages: UDESC, 2001.
- ROSO, C. Produção animal em misturas de gramíneas anuais de estação fria. Santa Maria: UFSM, 1998. 104p. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, 1998.
- ROSO, C. et al. Produção e qualidade de forragem da mistura de gramíneas anuais de estação fria sob pastejo contínuo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.459-467, 1999.
- ROSSI, C.; FAQUIN, V.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Calagem e fontes de fósforo na produção do braquiário e níveis críticos de fósforo em amostras de Latossolo dos Campos das Vertentes (MG). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 1083-1089, 1997.
- ROSSI, C.; MONTEIRO, F. A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colônia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1101-1110, 1999.
- ROSSI, C.Q. ; PEREIRA, GERVÁSIO M; GIACOMO, S. G. ; BETTA, M. ; POLIDORO, Jose Carlos . Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. Semina. **Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1523-1534, 2013.
- RUSSELE M. P.; FRANZLEUBBERS, A. J. Introduction to symposium: integrated crop-livestock system for profit and sustainability. **Agronomy Journal**, v.99, p.323-324, 2007.
- SANTI, A. L. ; FIORIN, J.E. ; COCCO, K. L. T. ; CHERUBIN, M.R. ; EITELWEIN, M. T. ; AMADO, T. J. C. ; HAUSCHILD, F. E. G. . Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 3, p. 18-25, 2012.
- SANTOS JR.; J. D. G.; KANNO, T.; MACEDO, M. C. M. Efeito de doses de nitrogênio e fósforo na produção de matéria seca e no crescimento de *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa, Anais... Viçosa: **Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2000. p.85.
- SANTOS, H.Q. Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagens para bovinos de corte. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003a. 142p. (**Tese de Doutorado**)
- SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O.; SPERA, S.T. Efeito de sistemas mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.545-552, 2003b.
- SANTOS, E.A.; KLIEMANN, H.J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.139-146, 2005.

SANTOS, B. N. R. ; RONALDO ; COSTA, M. R. G. F. ; PEREIRA, I. D. C. . Teores de Materia Seca e Material Mineral de Feno de duas Variedades de Capim Elefante Sob Quatro Períodos de Corte. **Revista Brasileira de Nutrição Animal**, v. 01, p. 28-32, 2007.

SANZONOWICZ, C.; GOEDERT, W.J. **Uso de fosfatos naturais em pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1986, 33p. (Embrapa-CPAC. Circular técnica, 21)

SAS System. **SAS Institute Inc. SAS Online Doc® 9.2**. Cary, NC: SAS Institute, 2010.

SHANE, M.; LAMBERS, H. Cluster roots: a curiosity in context. **Plant and Soil**, The Hague, v. 274, n. 1/2, p. 111-125, Jul. 2005.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.249-254, 1985.

SILVA, D.J.; Queiroz, A.C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 2.ed. Viçosa, MG: **Universidade Federal de Viçosa**, 2002.

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

SOUSA, B.M. Consumo e ambiente ruminal de vacas Holandês-Zebu em lactação sob pastejo de *Brachiaria* spp. suplementadas com diferentes quantidades de concentrado. 2006. 77f. Tese (**Doutorado em Ciência Animal**) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte.

SOUZA, L. C. ; SIQUEIRA, J. A. M. ; Silva, J.L.S ; COELHO, C. C. R. ; NEVES, M.G ; OLIVEIRA NETO, C. F. . Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** (Online), v. 12, p. 1-14, 2013.

STODDART, J. L., THOMAS, H. , LLOYD, E . J. & POLLOCK, C. J. (1986). **The use of a temperature-profiled position transducer for the study of low-temperature growth in Gramineae. Equipment design and output interpretation**. Planta 167, 359-363.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. & PAULA, J.C. **Efeito da temperatura do ar e precipitação pluviométrica na decomposição de plantas de cobertura do Cerrado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007, Anais... Gramado-RS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

TREVIZAM, A. R. ; SILVA, M. L. S. ; MURAOKA, T. **Distribution of fertilizer phosphorus in soybean plant and its exportation by the crop**. *Ambiência* (UNICENTRO), v. 9, p. 475-486, 2013

VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. Recentes avanços em proteína na nutrição de vacas leiteiras. In: **Simpósio Internacional de Bovinocultura de Leite**, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. p.228-243.

VALADARES FILHO, S. C.; MAGALHÃES, K. A.; ROCHA JÚNIOR, V. R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 329p.

VAN SOEST, P. J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. **Journal Animal Science**, v.24, n.3, p.834-844, 1965

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV Determination of plant cell-wall constituents. **Journal of the Official Agricultural Chemist**, v.50, p.50-55, 1967.

VAN SOEST, P.J. Plant, animal and environment. In: **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University, 1994. p.77-92.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. **Manejo químico do solo para alta produtividade da soja**. In: SIMPÓSIO DA CULTURA DA SOJA, Piracicaba, 1998. Soja: tecnologia da produção. Piracicaba: G. M. S. CÂMARA, 1998. p.84-112.

WERNER, J.C.; KALIL, E.B.; GOMES, E.P.; PEDREIRA, J.V.S.; ROCHA, G.L.; SARTINI, H.J. **Competição de adubos fosfatados**. Boletim de Indústria Animal, São Paulo, v.25, p.139-149, 1968.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18).

WHITEHEAD, D.C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1990. 397p.

WILLIANIS, P.H. & HAYNES, R.J. Cycling of P and S through the soil-plant-animal system under intensively grazed grass-clover pastures. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., Kyoto, 1990. Transactions. Kyoto, **International Society of Soil Science**, 1990. v. 4 p. 276-281.

WILMAN, D., DROUSHIOTIS, D., MZAMANE, M.N., SHIM, J.S. The effect os interval between harvests and nitrogen application on initiation, emergende and longevity of leaves, longevity of tillers and dimensions and weights of leaves and 'stem' in Lolium. **Journal of Agricultural Science**, v.89, p.65-79, 1977.

WILSON, J.R. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J.B., ed. Nutritional limits to animal production from pastures. **Farnham Royal: CAB**, p. 111-113, 1982.

WOLFINGER, R.D. 1993. **Covariance structure selection in general mixed models**. Communications in Statistics Simulation and Computation, 22: 1079-1106.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

YAN. X; LIAO H.; BEEBE S. E.; BLAIR M.W.; LYNCH J. P.; QTL mapping of root hair and acid exudation traits and their relationship to phosphorus uptake in common bean. **Plant**

**and Soil**, v. 265, n. 1/2, p.17-29, Aug. 2004.

YORINORI, J.T. **Cancro da haste da Soja:epidemiologia e controle**. Londrina: Embrapa, CNPSo, 1996. 75p. (Circular Técnica, 14).

ZANINI, F. H.; SCHULTZ, T. A.; CASTAGNARA, D. D.; OLIVEIRA, P. S. R.; NERES, M. A.. Adubação fosfatada sobre a produção de matéria seca de forrageiras tropicais. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v.4, n. 1, p. jan., 2009.

ZHOU, J.R., ERDMAN, J.W.J.R. Phytic acid in health and disease. C.R.C. Crit **Revista Food Science Nutrition**, v. 35, p. 495-508, 1995.

ZUFFO, L. F. ; MESQUITA, E.E.; CASTAGNARA, D. D. ; OLIVEIRA, P.S.R; NERES, M.A.. Composição bromatológica e mineral da forragem produzida pelo tifton 85 fertilizado com doses de superfosfato triplo ou fosfato de Araxá. **Bioscience Journal (Online)**, v. 30, p. 856-865, 2014.

Tabela 7: Valores de F referentes aos atributos do azevém anual, soja e solo.

Fator de variação	MST	MSR	MSD	RG	MSPA
Fontes	0,74 NS	0,38 NS	1,03 NS	0,05 NS	0,06 NS
Doses	7,62 **	7,08 **	6,13 **	5,55 **	3,00 *
Fontes x Doses	0,45 NS	0,79 NS	0,47 NS	0,19 NS	1,05 NS
CV (%)	40,76	45,40	44,67	15,30	13,34
Fator de variação	PMS	CPGS	PRS	EUP	APA
Fontes	2,98 NS	0,25 NS	2,84 NS	1,63 NS	10,73 **
Doses	3,12 *	26,89 **	7,59 **	17,23 **	12,8 **
Fontes x Doses	0,72 NS	0,16 NS	2,58 NS	0,57 NS	1,79 NS
CV (%)	3,47	11,28	26,16	12,75	33,89
Fator de variação	APS	pH 0-5	pH 0-10	pH 0-20	PM 0-5
Fontes	1,23 NS	9,92 **	3,68 *	1,01 NS	60,29 **
Doses	16,69 **	8,08 **	5,23 **	3,03 *	57,33 **
Fontes x Doses	0,65 NS	1,94 NS	0,99 NS	0,57 NS	16,01 **
CV (%)	19,11	3,05	3,24	2,95	34,84
Fator de variação	PM 0-10	PM 020	PRTI 0-5	PRTI 0-10	PRTI 0-20
Fontes	54,17 **	50,12 **	48,66 **	33,74 **	28,34 **
Doses	56,29 **	57,21 **	54,38 **	35,42 **	35,74 **
Fontes x Doses	14,13 **	12,54 **	14,99 **	12,32 **	11,09 **
CV (%)	31,39	27,09	22,84	18,95	16,06

\*: P &lt; 0,05

\*\*: P &lt; 0,01

NS: não significativo

## Anexos

**Tabela 8:** Valores de DMS referentes aos atributos do azevém anual, soja e solo.

Fator de variação	MST	MSR	MSD	RG	MSPA	PMS	CPGS	PRS	EUP	APA
Fontes	3371,8	815,3	2893,1	613,83	1390,3	1,49	0,43	4,59	1,47	7,56
Doses	4291,9	1037,8	3682,6	781,34	1769,7	1,89	0,55	5,84	1,87	9,63
Fator de variação	APS	pH-0.5	pH-0.10	pH-0.20	PM-0.5	PM-0.10	PM-0.20	PRTI-0.5	PRTI-0.10	PRTI-0.20
Fontes	6,82	0,14	0,14	0,12	6,97	3,76	1,92	14,39	7,91	4,08
Doses	8,68	0,18	0,18	0,15	8,87	4,78	2,44	18,32	10,08	5,15

DMS: Diferença mínima significativa