

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS DOIS VIZINHOS

CURSO DE AGRONOMIA

ANDRESSA MARCON GASPERINI

PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO  
SOLO E SEUS EFEITOS NA CULTURA DO MILHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS

2015

ANDRESSA MARCON GASPERINI

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO  
NO SOLO E SEUS EFEITOS NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Agronomia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Professor Dr. Laércio Ricardo Sartor.

DOIS VIZINHOS

2015

## Agradecimentos

### Agradeço:

Primeiramente a Deus, que sempre me proporciona infinitas alegrias me mostrando qual o melhor caminho a seguir. Sou muito grata por tudo!

Aos meus pais, Idilema e Nelson por me permitirem viver, pelo amor, pela dedicação e o exemplo de vida. Deus me deu vocês porque sabia que eu precisaria de duas pessoas fortes e humildes para me guiar e ensinar...

Á minha irmã Alessandra que sempre foi e sempre será um exemplo na minha vida. Obrigada por tudo, mesmo longe você é minha base e fortaleza.

Ao meu orientador Dr. Laércio Ricardo Sartor pela imensa paciência comigo desde o primeiro dia. Obrigada por toda sua ajuda nessa etapa de minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Aos amigos Karine, Maicon e Vitor. Obrigada pelas coletas de solo, carnavais quebrando milho, pela ajuda durante toda a execução do experimento. Foram três anos na batalha.

Ao grupo PET Agricultura Familiar que me permitiu crescer como pessoa e como profissional. Levarei cada momento com vocês dentro do meu coração e agradeço imensamente pela oportunidade de ser 'Petiana' ao longo dos dois anos e dez meses.

Á todos os professores, técnicos e funcionários da UTFPR por direta ou indiretamente, serem de grande importância na formação de cada aluno que passa pela Universidade.

## RESUMO

GASPERINI, Andressa Marcon. **Plantas de cobertura de inverno na disponibilidade de fósforo no solo e seus efeitos na cultura do milho**. 39 p. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Um dos principais desafios da pesquisa em ciência do solo consiste em melhorar a eficiência do uso dos nutrientes e, com isso, diminuir a quantidade de insumos que implicam em alto custo financeiro e contaminação ambiental. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar o potencial das plantas de cobertura em atuar na melhoria da disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho Distroférico visando respostas no rendimento de grãos de milho. O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, utilizando delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema fatorial (A e B) com três repetições. O fator A foi composto por diferentes plantas de cobertura sendo: aveia preta cv. IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb), centeio cv. IPR 89 (*Secale cereale* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), tremoço branco (*Lupinus albus*), azevém comum (*Lolium multiflorum*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e o fator B representado pela adubação fosfatada constituídas de superfosfato triplo, fosfato natural e sem uso de fósforo. Subsequente ao ciclo das culturas de inverno foi implantada a cultura do milho seguindo a utilização das mesmas fontes fosfatadas. As plantas de cobertura foram semeadas em maio de 2014. No momento da semeadura foram aplicadas as fontes de P anteriormente descritas. A coleta amostral dos tecidos para determinação de massa de matéria seca, teores de N e P total foi realizada no florescimento pleno das culturas. Após a coleta dos tecidos foram realizadas as coletas de solo em 3 camadas (0-5, 5-10, 10-15 cm) com auxílio de uma pá de corte para determinação do P total presente. Em setembro de 2014 foi realizada a semeadura do milho para determinar o número de grãos por espiga, peso de mil grãos e rendimento do milho. Entre todos os fatores analisados, rendimento de grãos de milho, produção de massa de matéria seca das plantas de cobertura e teores de P no solo apresentaram interação significativa ( $P < 0,05$ ). Todas as camadas de solo analisadas apresentaram altos teores de P gerando um gradiente de concentração do P nas camadas superficiais decrescendo em profundidade do solo, se destacando a aveia preta e o tremoço na ciclagem do P na camada superficial e o nabo em todas as camadas como cultura eficiente em absorver o nutriente. A aveia preta apresentou maior produção de massa de matéria seca em relação as demais, independente a fonte fosfatada utilizada, indicando ser uma boa opção para sistemas conservacionistas. Quando se analisou o rendimento do milho, a ervilhaca como cultura antecessora proporcionou incrementos na produção do milho, indiferente a fonte fosfata utilizada. Para teores de P e N dos tecidos das plantas de cobertura, número de grãos por espiga de milho e massa de mil grãos do milho não houve interação significativa ( $P > 0,05$ ) sendo que o nabo apresentou maiores teores de N e a aveia maiores teores de P e as variáveis número de grãos por espiga e massa de mil grãos podem ter sido influenciadas por fatores ambientais ou por características da cultura. A adubação fosfatada pode influenciar na produção de massa de matéria seca e no rendimento dos grãos de milho, tendo influência direta nos teores de P do solo analisado, que se encontram em níveis altos, não justificando aplicações sucessivas de fontes de P e podendo contribuir para fenômenos de indisponibilidade do nutriente no solo.

Palavras chave: Fertilidade, rendimento de milho, fontes fosfatadas, matéria seca, cobertura do solo.

## ABSTRACT

GASPERINI, Andressa Marcon. **Winter cover crops in phosphorus availability in the soil and their effects in the corn crop.** 39 p. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

One of the main challenges in soil science research is to improve the efficiency of the use of nutrients and decrease the amount of agricultural inputs, considering its high cost, environmental impact and the need to increase food production worldwide. Thus, the objective of this work was to determine the potential of cover crops on phosphorus availability of dystroferric red latosolo, aiming the responses on corn grain yield. The experiment was conducted at the Federal Technological University of Paraná, campus Dois Vizinhos using experimental design of blocks at random, in scheme with two factors (A e B) and three repetitions. The factor A was composed of different cover crops, as follows: oat cv. IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb), rye cv. IPR 89 (*Secale cereale* L.), radish (*Raphanus sativus* L.), white lupine (*Lupinus albus*), common ryegrass (*Lolium multiflorum*) and hairy vetch (*Vicia villosa* Roth), and the factor B was represented for the phosphate fertilizers composed of triple superphosphate, phosphate rock, and without phosphorus. After the winter crops season was implanted in the same field the corn crop following the use of the same phosphate sources. Were as cover crops sown in May 2014. No time of sowing were applied the P sources described above. The sample collection tissue paragraph determining mass of dry matter, total N and P content was held there full flowering of cultures. After one tissue collection were performed as samplings of 3 layers (0-5, 5-10, 10-15 cm) with aid of a cutting blade paragraph determination of total P present. In September 2014 corn seeding was carried out to determine the number of spike for grains, weight of a thousand grains and corn yield. Among all the factors analyzed, corn grain yield, mass production of dry matter of cover crops and P concentrations in soil showed significant interaction ( $P < 0.05$ ). All as analyzed soil layers showed high levels of P generating hum concentration gradient to P in superficial layers decreasing in soil depth, especially the oat and lupine in cycling to P in the surface turnip layer in all as layers as culture efficient at absorbing the nutrient. The oat presented increased mass production of dry matter in relation to other, an independent phosphorus source used, indicating being an option good conservationists paragraph Systems. When analyzed the corn yield, vetch how preceding crop provided increments in the corn production, indifferent one phosphate source used. Stop P and N tissue of cover plants, number of in corn grain and thousand mass not corn grain significant interaction ( $P > 0.05$ ) being turnip showed concentrations of N more and oats P and variables as number of grains per spike and weight of a thousand grains can have been influenced by environmental factors or cultural characteristics. The phosphorus fertilization can influence in the dry matter mass production and not return on corn grains, direct influence in P contents of examined soil, which are at high levels, not justifying applications successive P sources and can contribute stop phenomena availability of nutrients without soil.

Keywords: Fertility, corn yield, phosphate sources, dry matter, soil coverage.

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS .....	8
2.1 Objetivo geral .....	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
3.1 Fósforo.....	9
3.2 Fontes solúveis de fósforo .....	10
3.3 Fontes Insolúveis de fósforo.....	11
3.4 Sistema Plantio Direto.....	11
3.5 Plantas de Cobertura.....	12
3.5.1 Aveia Preta ( <i>Avena strigosa</i> Schreb) .....	13
3.5.2 Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> ).....	14
3.5.3 Nabo Forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> L.).....	14
3.5.4 Tremoço Branco ( <i>Lupinus albus</i> L.) .....	14
3.5.5 Ervilhaca Peluda ( <i>Vicia villosa</i> Roth).....	15
4 METODOLOGIA.....	15
4.1 Implantação e avaliação das culturas de inverno.....	16
4.1.1 Implantação de plantas de cobertura de inverno.....	16
4.1.2 Avaliação de matéria seca .....	17
4.1.3 Análises de tecidos .....	17
4.2 Implantação da cultura do milho.....	18
4.2.1 Semeadura.....	18
4.3 Coleta e avaliações do solo.....	20
4.4 Análise estatística dos Resultados .....	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5.1 Plantas de cobertura de inverno e seus fatores.....	20
5.2 Produção do milho em sucessão as plantas de cobertura de inverno .....	28
5.3 Fósforo no solo.....	24
6 CONCLUSÕES .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

O solo pode ser classificado como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, formado por materiais minerais e orgânicos que contém matéria viva (EMBRAPA, 2013). Algumas características do solo podem sofrer alteração devido a ação do homem no ambiente, afetando a qualidade do solo. Qualidade esta que consiste na sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (DORAN & ZEISS, 2000).

Com o crescente avanço na indústria química de fertilizantes e a intensa utilização nos processos produtivos, a qualidade do solo vem sendo questionada e a busca por alternativas que visem frear ou minimizar os danos causados pela ação antrópica são amplamente discutidos mundialmente.

Atualmente, existem diversas maneiras de produzir sem alterar a qualidade do solo, e dentre algumas práticas que visam a melhoria dos atributos químicos do solo está a adubação. A adubação é responsável pelo ajuste de quantidades essenciais dos elementos e melhorar desempenho da cultura. A nutrição mineral das plantas é fator importante para o conhecimento e avaliações da qualidade do solo e envolve usos e atribuições de nutrientes essenciais ou não essenciais para o desenvolvimento das plantas. Um nutriente é considerado essencial quando sua deficiência impede que a planta complete seu ciclo vital, pois participa de etapa do metabolismo das plantas (NOVAIS et al. 2007).

Entre os macronutrientes considerados essenciais para o desenvolvimento das culturas estão o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. O fósforo (P) por sua vez é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais (NOVAIS e SMYTH, 1999) e, juntamente com nitrogênio desempenham papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, dentre outros processos que ocorrem na planta (NOVAIS et al. 2007).

Os solos brasileiros são em sua maioria altamente intemperizados, o que confere uma grande quantidade de óxidos de ferro e alumínio que resultam em uma alta capacidade de adsorção de fósforo (P). Essa adsorção transforma o P contido no solo em uma forma menos lábil, ou seja, menos disponível pela planta, ocasionando sintomas de falta deste nutriente no ambiente o que justifica o crescente aumento na quantidade de fertilizantes fosfatados utilizado nas últimas décadas (TIECHER, 2011).

A presença de P no sistema e a sua indisponibilidade levam a iniciar estudos voltados para a busca de alternativas que sejam sustentáveis e acessíveis aos produtores como o Sistema de Plantio Direto, que, com o uso de algumas espécies de cobertura tem se mostrado muito eficiente. Existem espécies de plantas de cobertura que potencializam a disponibilidade de P no solo apresentam papel importante na conservação e ciclagem de nutrientes.

Sendo assim, é perceptível a necessidade de estudos envolvendo diferentes sistemas de produção agrícola e de manejo de solos para entender os mecanismos e processos responsáveis pela retenção e disponibilização de fósforo a partir das diferentes formas de ocorrência. Dessa forma, o estudo realizado pretendeu avaliar os efeitos da utilização de diferentes plantas de cobertura de inverno associado à aplicação de diferentes fontes fosfatadas a fim de avaliar o potencial de ciclagem do nutriente através das plantas de cobertura tornando-o disponível para o solo e para as culturas sucessoras de verão.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Verificar como a disponibilidade de fósforo no solo pode ser alterada com o uso de diferentes plantas de cobertura de inverno associadas a diferentes fontes de P e os efeitos na cultura do milho.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar o potencial de produção de matéria seca das culturas de cobertura de inverno devido ao uso da adubação fosfatada.
- Determinar teores de N e P total dos tecidos das plantas de cobertura de inverno como maneira de avaliar a ciclagem destes nutrientes;
- Avaliar os efeitos do uso de fertilizantes fosfatados no rendimento de milho em sucessão as plantas de cobertura de inverno;
- Avaliar a disponibilidade de fósforo no solo com o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura;
- Analisar os efeitos do uso de fertilizantes fosfatados solúveis e insolúveis nos teores de P total do solo em diferentes camadas;



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Fósforo

O fósforo é essencial para a produção de um grande número de compostos nas plantas além de participar em diversos processos metabólicos e estimular o desenvolvimento radicular, respiração celular e a produção das culturas. O abastecimento de fósforo às plantas se dá essencialmente via sistema radicular, e sua absorção depende da capacidade de fornecimento de fósforo ao substrato.

De acordo com Krolowet et al, (2004) o fósforo se desloca facilmente na planta e a carência manifesta-se pelo ciclo vegetativo curto, pela falta ou pelo desenvolvimento deficiente de hastes em gramíneas forrageiras, pela presença de invasoras típicas de solos pobres e pela ausência de leguminosas, desempenhando papel principal nos períodos iniciais da vida das plantas, quando necessitam de elevada disponibilidade no solo. É, também, essencial para o desenvolvimento radicular e perfilhamento, passando a sua deficiência a limitar a capacidade produtiva das pastagens (MOREIRA; MALAVOLTA & MORAIS, 2002) e também muito importante para a nutrição das leguminosas e para a nodulação e fixação de  $N_2$  (CHAUDHARY & FUJITA, 1998). A deficiência de P proporciona, além de baixa produtividade, sintomas de arroxamento das folhas e formação de colmos finos e frágeis e de espigas pequenas e retorcidas (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004).

O pH do solo controla a disponibilidade para as plantas das formas iônicas do fosfato, onde a disponibilidade do ânion monovalente  $H_2PO_4^-$  é aumentada em valores de pH abaixo de 7, enquanto que o ânion divalente  $HPO_4^{2-}$  tem sua disponibilidade aumentada em pH acima de 7, sendo que em solos muito alcalinos, o P se encontra na forma de  $PO_4^{3-}$  que não é absorvida pelas plantas e em solos muito ácidos o P apresenta problemas quanto a sua disponibilidade devido á elevada capacidade de adsorção pelo solo (DECHEM & NACHTIGALL, 2007).

Outra característica do P são suas formas presentes no solo podendo ser encontrado em formas de P lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis. Essa quantificação das formas de P é feita através do fracionamento do P utilizando metodologias padronizadas, como Fracionamento de Chang & Jackson (1957) onde é possível determinar as formas de P preferencialmente absorvidas pelas plantas e a relação do P disponível com as diferentes formas de P (NOVAIS et al. 2007).

As formas lábeis representam as formas prontamente disponíveis às plantas onde o P está ligado com menor energia de ligação aos coloides do solo e pode ser disponibilizada na

solução do solo maior com facilidade. As formas moderadamente lábeis são representadas pelo P quimissorvido aos oxihidróxidos de ferro, alumínio e argilominerais que estão presentes nos solos e por causa da sua facilidade em formar complexos de alta energia sua dessorção é lenta e pode ocorrer apenas em médio e longo prazos. As formas não lábeis são representados por compostos inorgânicos e orgânicos recalcitrantes, cuja energia de ligação do fosfato com o composto é intensa que praticamente impede sua liberação para a solução do solo (OLIVEIRA, 2014). Para a fração não lábil a retenção de P em formas não reversíveis ou pouco reversíveis, foi observado que em solos mais intemperizados e mais oxídicos, há forte competição entre solo e planta pelo P (FERNANDEZ et al. 2008).

A característica dos solos tropicais e subtropicais, predominantes no Brasil, é o alto grau de intemperismo, que possuem menor disponibilidade de P em função do elevado teor de oxihidróxidos de ferro e alumínio que o adsorvem especificamente (SANCHEZ & LOGAN, 1992; NOVAIS & SMYTH, 1999; RHEINHEIMER et al., 2008).

Apesar do P ser exigido em pequenas quantidades pela maioria das culturas, o atual sistema produtivo vem utilizando grandes doses de fertilizantes fosfatados afim de suprir as necessidades dos cultivos (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004). De maneira geral, são utilizados principalmente adubos fosfatados solúveis que apresentam elevados custos de produção e a partir disso, tem-se observado interesse no uso de fontes alternativas de P, com destaque aos fosfatos naturais, que apresentam menor custo, entretanto, proporcionam baixa disponibilidade de P às plantas em curto prazo (SCHONINGER; GATIBONI; ERNANI, 2013).

Comumente tem sido recomendado o superfosfato triplo e superfosfato simples como fontes de fósforo, entretanto outras fontes reativas de menor solubilidade, como o fosfato natural, têm apresentado bons resultados na produtividade de diversas culturas (LANA, et al, 2004).

A classificação dos fertilizantes fosfatados é obtida de acordo com a solubilidade em água, citrato neutro de amônio (CNA) e ácido cítrico (AC). Sabendo-se o produto e sua solubilidade, pode-se inferir sua eficiência agrônômica, ou seja, sua capacidade de fornecer P para as plantas (CHIEN et al., 2011).

### **3.2 Fontes solúveis de fósforo**

Considera-se uma fonte solúvel de fósforo as rochas que passaram pelo processo de acidificação. Segundo Silveira (2000) os principais fosfatos acidulados são os superfosfatos triplos e superfosfatos simples obtidos pela reação da rocha fosfática com os ácidos sulfúrico e

fosfórico aumentando sua solubilidade. Os superfosfatos simples e triplo possuem mais de 90% do P total solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) + água, além de elevada eficiência agronômica e correspondem à aproximadamente 95% do  $P_2O_5$  utilizado na agricultura brasileira (SOUSA et al., 2010). O processo de produção de fertilizantes fosfatados solúveis encarece o custo dos mesmos, tornando-os inacessíveis nas quantidades necessárias à parte dos agricultores (REIS, 2002).

As fontes de P mais solúveis possuem maior eficiência agronômica em curto prazo, mas apresentam maior tendência a perdas por retenção no solo à medida que aumenta o tempo de contato do fertilizante no solo (BHATTI; YAWAR, 2010) e com isso, exigem reposições constantes do nutriente.

Para os melhores resultados utilizando fosfatos solúveis é interessante realizar a aplicação em solos corrigidos, na linha de cultivo, preferencialmente posterior a calagem e ideal para qualquer cultura, devido as rápidas respostas do mesmo.

### **3.3 Fontes Insolúveis de fósforo**

Considera-se uma fonte insolúvel de fósforo as rochas que não passaram por nenhum processo de acidificação. Esses fosfatos apresentam índice de eficiência agronômica médio para culturas anuais no primeiro cultivo, e que evolui nos anos seguintes, principalmente em solos ácidos disponibilizam mais lentamente o P, podendo favorecer maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (SOUSA et al., 2010). Segundo Goedert e Souza (1984), as fontes mais eficientes inicialmente são os fosfatos insolúveis, devido ao aumento da solubilidade após alguns anos da aplicação, tornando-se uma opção mais econômica para o produtor.

Para os melhores resultados utilizando fosfatos insolúveis deve-se realizar a aplicação em solos com maior acidez, com uma faixa de pH que permita que o fosfato inicie sua dissolução, além disso, funciona melhor quando aplicado a lanço na superfície do solo, sendo mais indicado para culturas de ciclo longo (perenes ou semi perenes) que são capazes de utilizar com maior eficiência o P.

### **3.4 Sistema Plantio Direto**

O sistema plantio direto (SPD), que preconiza o não revolvimento do solo, associado ao uso de plantas de cobertura em rotação com culturas comerciais, vem ganhando espaço nas áreas agrícolas do Brasil (BOLLIGER et al., 2006;). Em sistemas consolidados de plantio

direto, os fertilizantes fosfatados são adicionados na linha, sem revolvimento do solo, o que, aliado à deposição dos resíduos vegetais na superfície, favorece sua ciclagem nessa camada do solo, diminuindo as perdas de P e aumentando seu acúmulo na camada superficial. O acúmulo de resíduos superficiais também reduz a taxa de decomposição da matéria orgânica, beneficiando a atividade microbiana e o estoque de P orgânico na biomassa microbiana (CONTE, 2001; MUZILLI, 1983). Esse sistema tem demonstrado grande eficiência no controle da erosão, via manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, propiciando também o aumento da disponibilidade de nutrientes (CALEGARI, 2006).

### 3.5 Plantas de Cobertura

A utilização de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno podendo ser consorciadas ou cultivadas no sistema apenas em pousio visando otimizar o uso de P nos sistemas agrícolas, busca-se atender a uma das premissas básicas do SPD, que é a adequação de sistema de rotação e sucessão de culturas de modo a otimizar o aporte de matéria orgânica e nutrientes, além de proteger o solo dos processos erosivos (SILVA et al., 2007; MARCELO et al., 2009). Por isso, é fundamental selecionar plantas de cobertura com maior potencial em produzir fitomassa e acumular, principalmente, carbono (C) e nitrogênio (N), além de conhecer a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais. O conhecimento desses aspectos é fundamental tanto para a conservação e, ou, melhoria da capacidade produtiva do solo como para maximizar a disponibilização de nutrientes às culturas em sucessão (CRUSCIOL et al., 2008; WEBER & MIELNICZUK, 2009). Entre as espécies estudadas se incluem aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), centeio (*Secale cereale* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), tremoço (*Lupinus albus* L.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) que são potenciais tanto em ciclagem de nutrientes como produção de resíduos para o solo.

De maneira geral, algumas plantas de cobertura utilizam diferentes mecanismos para acessar às formas de P do solo menos lábeis e favorecer a ciclagem do P no sistema. Tais como o aumento na relação raiz/parte aérea, exsudação radicular de hidrolases ou de compostos orgânicos tais como citrato e malato (WATTS & EVANS, 1999), capazes de complexar metais associados aos fosfatos ou capazes de promover a acidificação da rizosfera. Mecanismo que favorece a solubilização dos fosfatos naturais menos reativos, insolúveis em água, que necessitam de acidez para que alguma dissolução se inicie, pela associação micorrízica, na qual as hifas dos fungos ampliam a área radicular, ou com outros microrganismos capazes de

favorecer a quebra de compostos orgânicos com a consequente liberação do ânion fosfato (NAHAS, 2002; SILVA et al, 2011). Essas habilidades variam com a espécie vegetal, as características do solo e o ambiente em que a planta está inserida, pois as plantas desenvolveram estratégias fisiológicas para conviver com a baixa disponibilidade de fósforo.

A utilização dessas plantas para a ciclagem do P pode ter efeito positivo nas culturas sucessoras aumentando o rendimento, produção de matéria seca ou ainda proporcionar ao solo características de qualidade para qualquer cultura ali estabelecida. O conhecimento da dinâmica de decomposição de resíduos vegetais das plantas condicionadoras e dos seus efeitos na disponibilidade de P no solo, em formas mais prontamente disponíveis, é importante para se recomendar o uso dessas plantas, seja em cobertura (SPD), seja com incorporação (CARVALHO, 2005).

Ainda, algumas espécies de plantas tem sido reportadas por serem capazes de aumentar a eficiência de uso de fosfatos naturais. Habib et al., (1999) demonstraram que a exsudação de ácidos orgânicos por raízes de nabo é responsável por aumentar a solubilização de fosfatos naturais em solos calcários. Da Ros (1993) e Giacomini et al. (2003) verificaram que plantas leguminosas apresentaram uma maior capacidade de acumular P no tecido vegetal, comparado às gramíneas. Essa capacidade de acumulação de P nos tecidos reflete na ciclagem e disponibilidade para as culturas sucessoras, tornando as leguminosas mais eficientes num sistema de utilização de espécies solubilizadoras de P. Para Rao et al. (1997) essas diferenças entre gramíneas e leguminosas quanto à eficiência de aquisição e utilização de P podem ser explicadas pela morfologia do sistema radicular e atividade de fosfatase ácida. As gramíneas possuem um maior sistema radicular, enquanto as leguminosas têm maior eficiência de aquisição de P por unidade de raiz.

### **3.5.1 Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb)**

A aveia preta é uma gramínea de inverno utilizada para forragem, feno, silagem ou como planta de cobertura. Caracteriza-se por apresentar resistência ao déficit hídrico (DERPSCH & CALEGARI, 1985), alto grau de rusticidade e rendimento de matéria fresca, fatores que fazem com que a espécie seja a mais utilizada como cobertura de solo no outono-inverno no sul do Brasil (AITA, 1997). Segundo Floss (2002), os restos vegetais das gramíneas são fornecedoras de nutrientes, a médio e longo prazo, às culturas sucessoras, com acúmulo na camada superficial. Este processo favorece o aumento nos teores de fósforo (P) e potássio (K) do solo sob o sistema de plantio direto.

### 3.5.2 Azevém (*Lolium multiflorum*)

O azevém é uma planta pertencente à família das Poaceas com característica de cultivo anual e hibernal (GALVAN et al, 2010). Apresenta crescimento lento sob baixas temperaturas e a produção de matéria seca aumenta com temperaturas mais elevadas na primavera (FILHO & QUADROS, 1995). É utilizado principalmente como forrageira e para cobertura de solo em pomares e lavouras em sistema de plantio direto (GALVAN et al, 2010) e possui uma alta capacidade de ressemeadura natural, facilidade na aquisição de sementes e baixo custo de implantação (FARINATTI et al, 2006).

### 3.5.3 Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L)

Pertencente a família da crussíferas é uma planta anual que apresenta sistema radicular pivotante e profundo (BURLE et al, 2006). Possui elevado potencial de produção de matéria seca, quando manejada em estágio de floração, sua produção fica em torno de 2 a 6 ton ha<sup>-1</sup> mesmo em áreas que não recebem adubação externa (CALEGARI, 2008).

Planta muito eficiente, pois possui elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, tornando o nabo uma importante espécie para fazer parte de esquemas de rotação de culturas (OHLAND et al., 2005; CARVALHO & AMABILE, 2006).

### 3.5.4 Tremoço Branco (*Lupinus albus* L.)

Pertence a família das Leguminosas e é uma planta anual de inverno, muito cultivada na região sul do país. Apresenta sistema radicular profundo com raiz pivotante que chega a atingir 2 m de profundidade possuindo grande potencial de realizar efeitos importantes nas características físicas, químicas e biológicas do solo (COSTA et al, 1992). Pereira e Silva (1985) observaram que o tremoço-branco se destacou na produção de matéria seca ficando em torno de 3,6 a 12,9 ton ha<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho no cerrado.

O tremoço branco melhora as características estruturais, químicas e biológicas do solo, por meio do aumento do teor de matéria orgânica e aporte e reciclagem de nutrientes, como o nitrogênio (HUYGHE, 1997).

### 3.5.5 Ervilhaca Peluda (*Vicia villosa* Roth)

Uma leguminosa de inverno que possui produtividade de massa seca entre 4 a 6 ton ha<sup>-1</sup> (FORMENTINI et al, 2008). Apresenta diversas finalidades, sendo utilizada para pastejo (solteira ou consorciada), feno, silagem, adubação verde e produção de grãos e é uma das plantas de cobertura mais utilizadas, devido ao seu potencial de fixação de nitrogênio e reciclagem de nutrientes (ORTIZ et al, 2015).

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi conduzido na área experimental da UTFPR, Campus Dois Vizinhos, localizada na região Sudoeste do Estado do Paraná, com latitude 25°42'S, longitude 53°08'W e altitude média de 561m. O solo da área experimental é caracterizado como um Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima da região é classificado como Cfa na escala de Köppen-Geiger com verões quentes temperaturas superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco (ALVARES et al., 2013).

O delineamento experimental utilizado foi fatorial com blocos ao acaso, em unidades experimentais de 5 x 5 m, totalizando 6 tratamentos com 3 repetições. No inverno o fator A foi o uso de plantas de cobertura e o fator B a aplicação de diferentes fontes de fertilizante mineral fosfatado, sendo superfosfato triplo (44% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em Citrato neutro de amônio + água) e fosfato natural (24% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel ácido cítrico) (BRASIL, 2007). No verão foi implantada a cultura do milho em todas as parcelas. Os tratamentos principais foram compostos de testemunha (sem o uso de plantas de cobertura) e com uso de cinco espécies de plantas de cobertura de inverno, como aveia preta cv. IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), tremoço branco (*Lupinus albus*), azevém comum (*Lolium multiflorum*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth). Nas mesmas unidades experimentais foram utilizados adubos fosfatados, nitrogenados e potássicos.

Os fertilizantes foram aplicados conforme doses recomendadas de acordo com o Manual de Adubação e de Calagem para os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SBCS-CQFS RS/SC, 2004) de acordo com a análise de solo realizada em 2008, antecedendo a implantação do experimento (Tabela 1).

Os fertilizantes foram aplicados na forma de superfosfato triplo e fosfato natural considerando a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Em todas as parcelas foram aplicados 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e nas unidades experimentais constituídas por aveia e

azevém foi aplicado 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de ureia durante o perfilhamento. Para a cultura do milho o nitrogênio foi aplicado no estágio fenológico V4 totalizando 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

**Tabela 1.** Análise química e granulométrica de solo da gleba antecedendo a instalação do experimento com diferentes fontes fosfatadas e plantas de cobertura de inverno. UTFPR, Dois Vizinhos, 2008.

Camada	pH CaCl <sub>2</sub>	MO	P resina	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	V
---- cm ----		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- mmolc dm <sup>-3</sup> -----					%
0-5	5,4	40,2	8,1	0,00	34,2	54,0	26,9	5,0	71,5
5-10	5,2	40,2	9,7	0,00	36,8	56,2	29,8	2,8	70,7
10-20	5,0	26,8	4,8	0,08	39,7	43,2	21,3	1,3	62,4
Camada		Argila		Silte			Areia		
---- cm ----		-----g kg <sup>-1</sup> -----			-----				
0-5		701,4			259,3			39,3	
5-10		739,0			243,2			17,8	
10-20		751,5			231,5			17,0	

pH CaCl<sub>2</sub>: determinação do pH em Cloreto de Cálcio; MO: Matéria Orgânica; P resina: determinação de fósforo pelo método de Resina de Troca Aniônica (RTA); Al<sup>3+</sup>: Alumínio total do solo; H+Al: Acidez potencial do solo. Ca<sup>2+</sup>: Cálcio total do Solo; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio total do solo. K<sup>+</sup>: Potássio total do solo. V: Saturação por Bases.

## 4.1 Implantação do experimento

### 4.1.1 Implantação de plantas de cobertura de inverno

Em maio de 2014 foi instalado o experimento a campo, com demarcação da área experimental e implantação das plantas de cobertura no início do inverno. Para as culturas aveia, azevém, ervilhaca, nabo e trevo a semeadura foi realizada manualmente e a lanço, na densidade recomendada para cada cultura (Tabela 2). Para a semeadura do tremoço, foi utilizada uma enxada para abertura de covas e cobertura das sementes. No momento da semeadura, foram aplicadas as doses de fertilizantes fosfatados e potássico para cada cultura conforme descrito anteriormente.

**Tabela 2:** Densidade de plantas utilizada para a implantação do experimento a campo. UTFPR, Dois Vizinhos. 2015.

Cultura	Densidade (kg ha <sup>-1</sup> )
Aveia preta	50
Azévem	30
Ervilhaca	60
Nabo	20
Tremoço branco	15



As plantas de cobertura foram conduzidas sendo realizado controle de formigas cortadeiras quando necessário utilizando iscas formicidas. Não realizou-se a aplicação de inseticidas e fungicidas nestes tratamentos.

#### **4.1.2 Avaliação de massa de matéria seca**

As amostras de matéria seca das plantas de cobertura foram coletadas quando as culturas atingiram o estágio reprodutivo, onde toda a massa verde acumulada na superfície do solo foi coletada em uma área de 0,25 m<sup>2</sup> com auxílio de um quadro de corte de dimensões 0,5 x 0,5 m. O material coletado foi identificado e acondicionado em sacos de papel separadamente. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas ou até atingir massa constante, posteriormente pesadas em balança semi-analítica e moídas em moinho tipo Wiley. Aproximadamente 30 gramas de cada parcela foi armazenada para posteriores análises de determinação dos teores de N total e P total dos tecidos.

#### **4.1.3 Análises de tecidos**

As análises de tecidos foram todas realizadas no laboratório de Solos da UTFPR-DV. Para a extração de N total e P total foi utilizada a metodologia de Tedesco et al., (1995), e para a determinação de N total utilizou-se a metodologia de Tedesco et al., (1995) e a determinação de P utilizou-se a metodologia de Murphy & Riley (1962).



**Figura 1:** Procedimentos de avaliação das plantas de cobertura de inverno; A - Coleta amostral de matéria seca de plantas de cobertura; B - Processo de moagem das plantas de cobertura para posterior análise; C - Equipamento de espectrofotômetro de absorção para determinação de P em tecidos vegetais das plantas de cobertura. UTFPR-Dois Vizinhos, 2015. Fonte: A autora.

## 4.2 Implantação da cultura do milho

### 4.2.1 Semeadura

Para preparo da área para o plantio do milho, realizou-se a dessecação das plantas de cobertura de inverno utilizando-se o herbicida Glifosato na dose de  $3 \text{ L ha}^{-1}$ . Trinta dias após a dessecação foi realizada a semeadura da cultura do milho no local. Para a semeadura foi utilizado o espaçamento de 0,45 cm entre linhas e uma densidade populacional de 60.000 plantas por hectare, utilizando a cultivar comercial DuPont Pioneer 30F53YH<sup>®</sup>.

A cultura do milho recebeu aplicação de inseticida quando constatou-se a presença da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) realizando-se a aplicação de inseticida Belt<sup>®</sup> na dose recomendada para a cultura. Não foram feitas aplicações de herbicidas e fungicidas para a cultura do milho.



**Figura 2:** Cultura do milho instalada a campo após as plantas e cobertura de inverno. Semeadura do milho setembro de 2014. UTFPR-Dois Vizinhos, 2015. Fonte: A autora.

#### 4.2.2 Avaliação dos componentes de rendimento

Após a maturação fisiológica do milho, foram amostrados, em oito metros lineares por unidade experimental, o rendimento de grãos de milho e componentes do rendimento. A colheita da amostra representativa foi realizada manualmente, coletando-se todas as espigas das plantas das duas linhas centrais da parcela, descartando 0,5 m de cada bordadura. De todas as parcelas, foram selecionadas aleatoriamente 10 espigas para contagem do número de fileiras e número de grãos por fileiras. A debulha foi realizada com debulhador mecânico e todo o conteúdo de milho debulhado foi pesado para determinação do peso total da parcela. Foram ainda contabilizados massa de mil grãos de cada parcela e a umidade do grão, que foi determinada através do medidor de umidade universal. Após, a umidade dos grãos do milho foi padronizada para 13%.



**Figura 3:** Procedimentos de avaliação da cultura do milho; Avaliações de contagem dos componentes de rendimento (número de fileiras número de grãos por fileira) da cultura do milho. UTFPR- Dois Vizinhos, 2015. Fonte: A autora.

### 4.3 Coleta e avaliações do solo

A coleta de amostras de solo de todas as parcelas foi realizada após a dessecação das culturas de inverno. Com auxílio de uma pá de corte, o solo foi coletado em três camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm (Figura 3), para a extração do P presente no solo através do método da Resina Trocadora de Ânions (RTA). As análises de solo foram realizadas no laboratório de Solos da Esalq-USP utilizando a metodologia de Hedley et al. (1982).



**Figura 4:** Procedimentos para a execução da coleta de solo; F - coleta de solo com o uso de pá de corte; G - coleta e armazenamento em sacos identificados para posteriores análises. UTFPR-Dois Vizinhos, 2015. Fonte: A autora.

### 4.4 Análise estatística dos resultados

Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de 5% de probabilidade de erro e, quando significativos, as médias de foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. O programa estatístico utilizado para a análise estatística foi o Stathgraphic Plus 4.1 e para a plotagem dos gráficos foi utilizado o SigmaPlot 12.5.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Plantas de cobertura de inverno e seus fatores

De acordo com os resultados houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre plantas de cobertura e fontes de fósforo para a variável produção de matéria seca (Tabela 3). Nas parcelas onde não se utilizou adubação fosfatada, o tremoço ( $4.266 \text{ kg ha}^{-1}$  de matéria seca) e a aveia preta ( $4.320 \text{ kg ha}^{-1}$  de matéria seca) apresentaram os maiores valores de produção de matéria seca. Em contraponto, o pior desempenho de nesta condição, foi obtido pelo azevém, com

aproximadamente  $1.786 \text{ kg ha}^{-1}$  de matéria seca. Dados semelhantes foram encontrados por Giacomini et al. (2003) que avaliaram a produção de matéria seca da parte aérea plantas de cobertura de inverno sem o uso de fontes fosfatadas, considerando apenas a fertilidade natural e a aplicação de N, e observaram os maiores valores para a aveia preta que alcançou uma produção média de  $5.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de matéria seca.

Quando aplicado superfosfato triplo o nabo e aveia preta apresentaram maiores produtividades de matéria seca chegando a produzir  $5.920 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $6.695,33 \text{ kg ha}^{-1}$  de matéria seca, respectivamente e, o azevém, mais uma vez demonstrou menor produção de matéria seca, com  $2.986,67 \text{ kg ha}^{-1}$ . Com relação o uso de fosfato natural nas plantas de cobertura, a aveia preta se destacou na produção de matéria seca, produzindo um total de  $6.134 \text{ kg ha}^{-1}$  de MS e o azevém se manteve como a planta de cobertura com menor produção de matéria seca, produzindo em média  $2.773,33 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Em outros trabalhos conduzidos na região sudoeste do Paraná, Dahlen et al (2014) encontraram uma produção média de  $6.600 \text{ kg ha}^{-1}$  matéria seca para a cultura da aveia preta, sendo que para o azevém a produção de matéria seca foi superior, chegando a atingir  $3.300 \text{ kg ha}^{-1}$ . A melhor performance apresentada pela aveia preta em todos os tratamentos em relação às fabáceas no outono/inverno está ligada à característica de desenvolvimento inicial mais acelerado, o que proporciona uma melhor adaptação às condições edafoclimáticas adversas.

A baixa produtividade de matéria seca do azevém em todos os tratamentos pode ter sido causada pelo ciclo mais tardio da cultura devido a necessidade de semeadura do milho. Outro ponto relevante com relação a baixa produtividade de MS do azevém a ser citado refere-se à coleta amostral no período em que a planta não havia atingido o máximo de desenvolvimento, uma vez que os fatores climáticos foram adequados para o bom desenvolvimento da cultura. Para Gomes et al. (1997), indiferentemente da fonte fosfatada utilizada o azevém não obtém bons resultados de produtividade de matéria seca podendo refletir diretamente na produtividade do milho, ciclagem de nutrientes para o solo e para as culturas sucessoras e, principalmente a proteção do solo no sistema.

No trabalho desenvolvido por Balbinot Junior et al (2004) na região oeste de Santa Catarina, que apresenta condições climáticas semelhantes as descritas neste trabalho, com temperaturas em torno de  $10$  a  $20^\circ\text{C}$  e distribuição pluviométrica em torno de  $437 \text{ mm}$  no período do inverno (EPAGRI/CIRAM, 2015) foi constatado que durante todo o ciclo de desenvolvimento o azevém proporcionou menor produção de massa fresca e seca do que as demais plantas de cobertura de inverno analisadas, demonstrando não ser uma alternativa

eficiente para produção de elevada quantidade de massa tendo um incremento menos acelerado durante a evolução do ciclo até a coleta do material.

O uso de superfosfato triplo resultou no incremento da produção de matéria seca das plantas de cobertura devido a rápida disponibilidade do ânion monovalente  $H_2PO_4^-$ , que é a forma absorvida pelo sistema radicular das plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Todavia o uso de fosfato natural também proporcionou bons índices produção de matéria seca nas plantas. Fato que pode ser efeito da liberação mais lenta do ânion para a solução do solo e maior contato solo-fertilizante, permitindo que as plantas aproveitem melhor o fósforo ao longo de todo o desenvolvimento da cultura (DECHEM & NACHTIGALL, 2007). Além do mais, vale ressaltar o efeito residual do fosfato natural que vem sendo aplicado ao longo de 5 anos na área como fator capaz de afetar o desenvolvimento da cultura. Esses fatores contribuem para que o fosfato natural seja uma boa alternativa de uso em decorrência às respostas similares em produção de matéria seca considerando o alto custo de aquisição do superfosfato triplo (CORRÊA, et al 2008).

**Tabela 3:** Produção de massa de matéria seca de plantas de cobertura de inverno submetidas a diferentes fontes fosfatadas. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2015.

	<b>Ervilhaca</b>	<b>Tremoço</b>	<b>Nabo</b>	<b>Azevém</b>	<b>Aveia</b>	<b>Média</b>
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>					
<b>Sem P</b>	3520,00 <sup>abA</sup>	4266,67 <sup>aA</sup>	2506,67 <sup>bcB</sup>	1786,67 <sup>cA</sup>	4320,00 <sup>aA</sup>	3280,00
<b>SFT</b>	4506,67 <sup>abA</sup>	3333,33 <sup>cA</sup>	5920,00 <sup>aA</sup>	2986,67 <sup>cA</sup>	6695,33 <sup>aA</sup>	4688,40
<b>FN</b>	4755,33 <sup>abA</sup>	3826,67 <sup>bcA</sup>	5093,33 <sup>abA</sup>	2773,33 <sup>cA</sup>	6134,67 <sup>aA</sup>	4516,70
<b>Média</b>	4260,70	3808,90	4506,70	2515,60	5716,70	

Onde: Sem P –sem fonte fosfatada; SFT- com superfosfato triplo; FN –com fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre si na linha e letras maiúsculas na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As diferentes fontes fosfatadas utilizadas e sem P, não apresentaram diferença entre si em relação ao teor de N total da planta (Tabela 4). Entretanto para as plantas de cobertura houve diferença, sendo que o nabo e o azevém foram as plantas utilizadas que apresentaram maior teor de N total nos tecidos (34,2 e 32,6 g kg<sup>-1</sup> respectivamente), seguidos da ervilhaca com 30,7 g kg<sup>-1</sup> de N. O nabo se destaca devido à elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, com seu potencial de exploração do solo (OHLAND et al., 2005). O bom desempenho demonstrado pela ervilhaca está relacionado à capacidade da planta em realizar associação simbiótica com bactérias fixadoras de N, acarretando uma maior oferta de N e, conseqüente, acúmulo maior deste nutriente no tecido. O azevém, por sua vez apresentou elevado teor de N, devido ao fato de ter sido coletado quando ainda possuía tecidos mais jovens. A planta de cobertura que apresentou valores mais baixos de N nos tecidos foi a

aveia com  $2,45 \text{ g kg}^{-1}$ , resultado que pode ser explicado pela grande necessidade de aplicação de fonte de N para o desenvolvimento da gramínea, afetando no crescimento da aveia e o na sua produção de fitomassa (SANTI et al, 2003). Além disso a aplicação de N estimula o crescimento e a atividade radicular, com reflexos positivos na absorção de nutrientes e na quantidade de massa seca produzida (SILVEIRA, et al, 2012).

**Tabela 4:** Teor de nitrogênio presente no tecido das plantas de cobertura de inverno submetidas a diferentes fontes fosfatadas. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2015.

	<b>Ervilhaca</b>	<b>Tremoço</b>	<b>Nabo</b>	<b>Azevém</b>	<b>Aveia</b>	<b>Média</b>
	<b><math>\text{g kg}^{-1}</math></b>					
<b>Sem P</b>	31,1	28,0	29,8	28,9	25,1	28,6 <sup>A</sup>
<b>SFT</b>	33,8	29,2	30,9	31,1	22,8	29,5 <sup>A</sup>
<b>FN</b>	26,8	24,1	36,2	40,8	25,7	30,7 <sup>A</sup>
<b>Média</b>	30,7 <sup>ab</sup>	27,1 <sup>ab</sup>	34,2 <sup>a</sup>	32,6 <sup>a</sup>	24,5 <sup>b</sup>	

Onde: Sem P –sem fonte fosfatada; SFT- com superfosfato triplo; FN –com fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre si na linha e letras maiúsculas na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para o teor de P Total dos tecidos das plantas de cobertura não houve interação significativa ( $P>0,05$ ) entre os fatores analisados, como se observa na tabela 5. As fontes fosfatadas utilizadas não diferiram entre si em relação ao teor de P total da planta, porém as plantas de cobertura apresentaram diferença para essa variável. A aveia preta e a ervilhaca foram as plantas de cobertura utilizadas que apresentaram os maiores teores de P total nos tecidos ( $5,34$  e  $5,25 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente) e a planta de cobertura que apresentou os menores teores de P nos tecidos foi o azevém com  $3,08 \text{ g kg}^{-1}$ . Um ponto a ser ressaltado é que a ervilhaca, embora tenha produzido menor quantidade de MS do que a aveia preta, acumulou quantidades de fósforo iguais ou superiores às da gramínea. Tais resultados se devem à maior concentração deste elemento no tecido da leguminosa.

**Tabela 5:** Teor de P presente no tecido das plantas de cobertura de inverno submetidas a diferentes fontes fosfatadas. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2015.

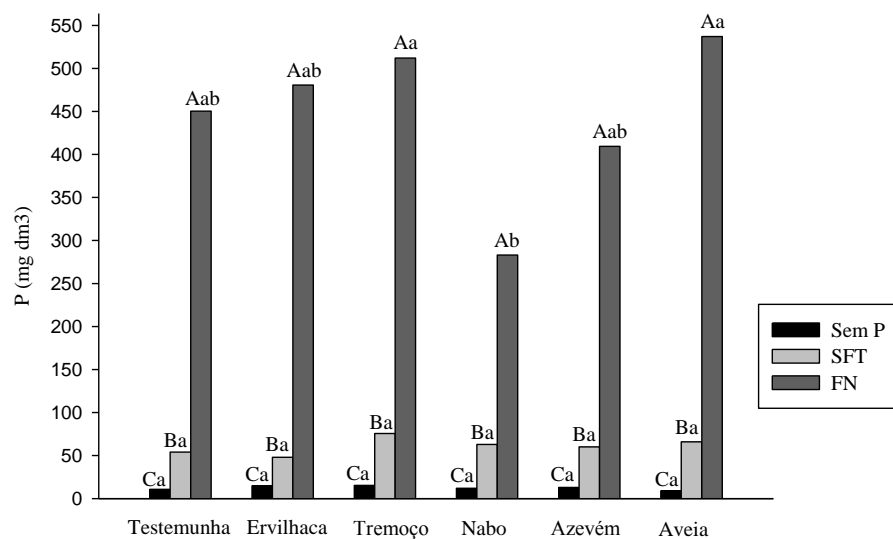
	<b>Ervilhaca</b>	<b>Tremoço</b>	<b>Nabo</b>	<b>Azevém</b>	<b>Aveia</b>	<b>Média</b>
	<b><math>\text{g kg}^{-1}</math></b>					
<b>Sem P</b>	6,91	3,87	2,76	2,75	4,26	4,11 <sup>A</sup>
<b>SFT</b>	4,28	5,84	4,14	3,48	5,70	4,69 <sup>A</sup>
<b>FN</b>	4,57	3,97	5,64	3,04	6,05	4,65 <sup>A</sup>
<b>Média</b>	5,25 <sup>a</sup>	4,55 <sup>ab</sup>	4,18 <sup>ab</sup>	3,08 <sup>b</sup>	5,34 <sup>a</sup>	

Onde: Sem P –sem fonte fosfatada; SFT- com superfosfato triplo; FN –com fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre si na linha e letras maiúsculas na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 5.2 Fósforo no solo

Todas as camadas de solo analisadas apresentaram interação significativa entre os fatores analisados ( $P < 0,05$ ). Foi observada a formação de um gradiente de concentração de P, partindo de maiores para menores valores de P conforme a camada de solo analisada. Isso pode ser explicado pela pouca mobilidade de P no solo, sendo que a aplicação anual de fertilizantes e o não revolvimento do solo contribuíram para a formação desse gradiente (TIECHER et al, 2012).

De acordo com a figura 5, ao se analisar o teor de P total presente no solo na camada de 0-5 cm, observa-se que sem o uso de adubação fosfatada e com o uso de superfosfato triplo as plantas de cobertura de inverno obtiveram resultados estatisticamente iguais, já com o uso de fosfato natural todas as parcelas apresentaram altos teores de P, sendo a aveia preta e o tremoço as plantas de cobertura que proporcionaram os maiores teores de P no solo (512 e 537 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente).



**Figura 5:** Fósforo no solo na camada de 0-5 cm após plantas de cobertura de inverno. Extração de Fósforo do solo através do método de Resina Trocadora de Ânions (RTA). Onde: Sem P- tratamento testemunha, SFT- superfosfato triplo; FN- fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre as plantas de cobertura e letras maiúsculas diferem entre as fontes fosfatadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dois Vizinhos, 2015.

O que acontece nas camadas superficiais é reflexo do manejo adotado, uma vez que os níveis do nutriente na camada mais superficial são maiores devido ao não revolvimento do solo, a aplicação de adubos fosfatados em cobertura durante cinco anos além da decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo. O que se observou, é que o tremoço assumiu papel de



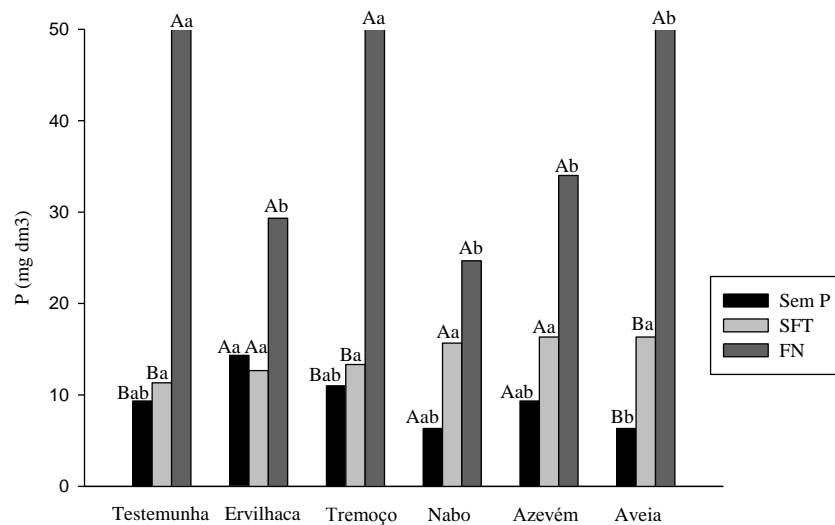
importante ciclador de P no solo em todos os tratamentos proporcionando os maiores níveis de P nesta camada analisada, juntamente com a aveia preta. Esse fato pode estar atribuído a potencialidade do tremoço em excretar quantidades de ácidos orgânicos como o citrato, malato e fumarato que são capazes de dissolver e ocupar os sítios de absorção do P no solo, além de produzir grande quantidade de enzimas fosfatases capazes de mineralizar o nutriente (LA BAYON, 2006; COSTA & LOVATO 2004). Os teores de P total presentes nos tecidos da aveia preta sugerem que a gramínea possui elevada capacidade de fornecer nutrientes a médio e a longo prazo às culturas sucessoras, proporcionando um acúmulo na camada superficial com aumento nos teores de P do solo (FLOSS, 2002), o que justifica o comportamento da aveia preta nesta camada de solo.

O uso do fosfato natural em todos os tratamentos proporcionou altos níveis de P no solo, tal fato está atribuído a baixa solubilidade dos fosfatos naturais, já que não passam por processos de acidificação na sua produção, necessitando que ocorra acidez no solo para que sua dissolução se inicie. Com o uso dos superfosfato triplo, nota-se menores níveis de P no solo, o que indica que o fosfato aplicado foi utilizado, podendo ser ciclado através das plantas de cobertura, ou ainda permanece no solo na forma menos lábil. É importante destacar que a medida que aumenta o tempo de contato do fosfato com o solo, ocorre uma passagem de P solubilizado para as formas não lábeis, se tornando inacessível para as plantas, mesmo em camadas mais superficiais (NOVAIS et al, 2007).

O teor de suficiência, ou nível crítico de fósforo disponível extraído por resina trocadora de ânions é de 20 mg de P dm<sup>3</sup> de solo (SBCS-CQFS RS/SC 2004), e isso demonstra que os tratamentos compostos por superfosfato triplo e fosfato natural estão acima do nível crítico, indicando que a aplicação de fontes fosfatadas nestas parcelas não é necessária, pois há quantidades de P suficiente para o desenvolvimento das plantas. Entretanto, as parcelas que não receberam nenhuma fonte fosfatada, demonstraram estar abaixo do nível crítico de P no solo, justificando a importância da aplicação de fontes fosfatadas no local e, também a baixa produção de matéria seca das plantas de cobertura de inverno e o rendimento dos grãos de milho nesta condição.

Com a análise do teor de P total presente no solo na camada de 5-10 cm (Figura 6) observou-se que, sem o uso de adubação fosfatada, a ervilhaca foi a cultura que apresentou o maior teor de P no solo (14,66 mg dm<sup>-3</sup>) se destacando das demais. As plantas de cobertura que tiveram menor desempenho nesta condição foram a aveia e o nabo (6,33 mg dm<sup>-3</sup> ambas as

culturas). Com a aplicação de superfosfato triplo a aveia e o azevém proporcionaram os maiores níveis de P ( $16,33 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e, nas parcelas compostas por testemunha foram alcançados os menores valores ( $11,33 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Com o uso de fosfato natural o maior teor de P no solo foi encontrado com o tremoço e testemunha atingindo teores de próximos de  $115 \text{ mg dm}^{-3}$  ambas as parcelas e os menores teores foram encontrados nas parcelas constituídas por ervilhaca, nabo, azevém e aveia preta com valores alcançando  $40 \text{ mg dm}^{-3}$ .

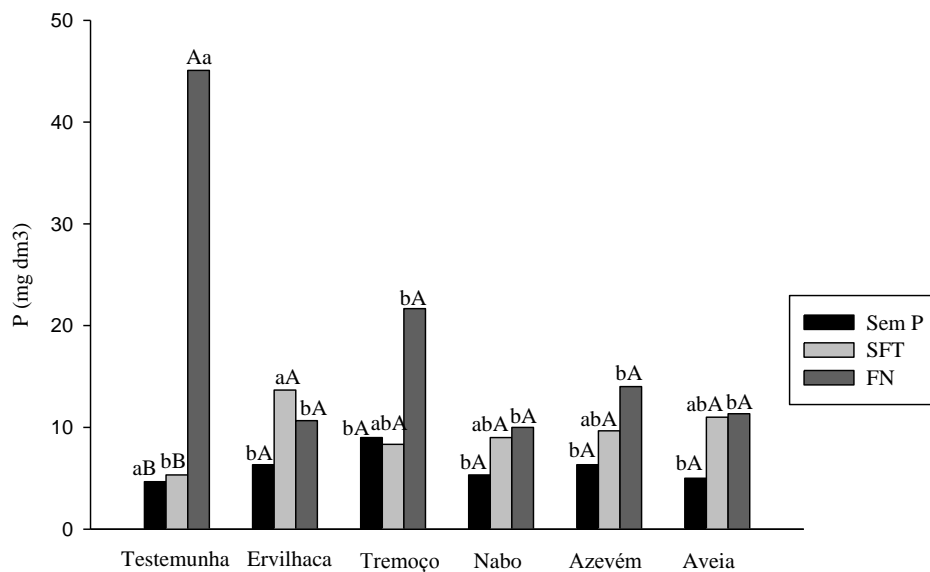


**Figura 6:** Fósforo no solo na camada de 5-10 cm após plantas de cobertura de inverno. Extração de Fósforo do solo através do método de Resina Trocadora de Ânions (RTA). Onde: Sem P- tratamento testemunha, SFT- tratamento com uso de superfosfato triplo; FN- tratamento com uso de fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre as plantas de cobertura e letras maiúsculas diferem entre as fontes fosfatadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dois Vizinhos, 2015.

Houve uma redução nos teores de P nesta camada em relação a camada anterior, resultado da pouca mobilidade de P para camadas mais profundas do solo, a aplicação de fertilizantes fosfatados em superfície e a ausência do revolvimento do solo (PAVINATO & CERETTA, 2004). Os tratamentos constituídos por superfosfato triplo e fosfato natural, se encontram dentro dos níveis críticos de P do solo, sendo que o uso de fosfato natural, permitiu elevados níveis de P na camada subsuperficial. Destaca-se a atuação do nabo e da ervilhaca nesta condição, uma vez que permitiram o maior aproveitamento de fosfato natural, reduzindo consideravelmente os níveis desse nutriente. O nabo apresenta potencial de utilização de nutrientes em camadas mais profundas, pois seu sistema radicular agressivo permite que maiores áreas e volumes de solo sejam explorados, otimizando o uso e ciclagem de elementos importantes como o P e K.

É notável que as parcelas constituídas por testemunha apresentam um elevado teor de P resultante do uso de fosfato natural. Isso ocorreu, pois, nenhuma cultura de interesse comercial foi estabelecida nessas parcelas, não ocorrendo a absorção e a consequente ciclagem, favorecendo os fenômenos de retenção do P no solo.

Houve redução nos teores de P do solo na camada de 10-15 cm devido a pouca mobilidade do P em profundidade. Sem o uso de fertilizante fosfatado, o tremoço proporcionou os maiores teores de P ( $9 \text{ mg dm}^{-3}$ ) enquanto que o menor teor de P foi obtido nas parcelas com testemunha ( $4,67 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Quando se utilizou o superfosfato triplo, os maiores teores de P foram proporcionados pela ervilhaca ( $13,66 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e os menores teores de P nesta condição foram obtidos nas parcelas com testemunha ( $5 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Nas parcelas onde se utilizou fosfato natural os maiores teores de P foram encontrados nas parcelas com testemunha ( $45,07 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e os menores valores proporcionados com o cultivo do nabo ( $10 \text{ mg dm}^{-3}$ ).



**Figura 7:** Fósforo no solo na camada de 10-15 cm após plantas de cobertura de inverno. Extração de Fósforo do solo através do método de Resina Trocadora de Ânions (RTA). Onde: Sem P- tratamento testemunha, SFT- tratamento com uso de superfosfato triplo; FN- tratamento com uso de fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre as plantas de cobertura e letras maiúsculas diferem entre as fontes fosfatadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dois Vizinhos, 2015.

O comportamento das plantas de cobertura na camada de 10-15 cm provavelmente exerceu pouca influência nos níveis de P total encontrados, uma vez que o acesso das raízes nessa camada é dificultado e a pouca mobilidade do elemento pode ocasionar maiores quantidades de P não lábil no solo. É importante destacar que nas parcelas com testemunha, os níveis de P são ainda maiores, indicando a forte tendência de ocorrer a fixação desse P nos coloides do solo. Nas parcelas onde se utilizou nabo se observam os menores teores de P na

camada de 10-15 cm, indicando que o sistema radicular extremamente agressivo da cultura, pode explorar as camadas mais profundas, aumentando absorção de nutrientes por volume de solo e diminuindo a tendência que ocorra os fenômenos de fixação do elemento.

### 5.3 Produção do milho em sucessão as plantas de cobertura de inverno

Para a variável rendimento de grãos de milho houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre planta de cobertura de inverno e fontes fosfatadas utilizadas (Tabela 6 e 7). Em parcelas que não receberam nenhuma fonte fosfatada na semeadura do milho, nota-se que o maior rendimento de grãos de milho foi obtida quando cultivado em sucessão a ervilhaca, alcançando  $4.827 \text{ kg ha}^{-1}$ . Enquanto que o pior desempenho analisando a cultura de inverno antecessora ao milho foi da aveia preta com  $2.675 \text{ kg ha}^{-1}$ . Com o uso do superfosfato triplo o milho em sucessão a ervilhaca apresentou um rendimento médio de  $5.943,42 \text{ kg ha}^{-1}$ , correspondendo ao melhor rendimento e, o pior rendimento nessa situação foi alcançado pelo tremoço com  $4.933,99 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Com o uso do Fosfato natural o rendimento médio de milho foi de  $6.763,95 \text{ kg ha}^{-1}$  quando cultivado em sucessão ao azevém e o pior rendimento nesta condição foi da aveia preta com um rendimento médio de  $5.704,38 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2007) e Silva et al. (2008) onde as produtividades de milho foram superiores quando cultivado sob fabáceas solteiras ou em consórcio. A explicação está na capacidade dessa planta em fixar N atmosférico através da simbiose com bactérias específicas do gênero *Rhizobium*, aumentando a concentração deste nutriente no solo após a decomposição do resíduo vegetal. A baixa produtividade de milho em sucessão a aveia preta, pode ser explicado pela alta imobilização de N no solo o que prejudicou sua absorção pelas plantas (CHERUBIN et al, 2014).

Sugere-se que os altos rendimentos do milho em todos os tratamentos são resultado da concentração de P no solo estar em valores maiores que o nível crítico aceitável, uma vez que o teor de suficiência (teor crítico) é de  $20 \text{ mg de P dm}^{-3}$  de solo (SBCS, 2004) e a aplicação anual de fontes fosfatadas não interfere mais na produção do milho, sendo nesse caso, mais afetado pelo N do que pelo P. Outro fator a ser considerado, é que durante a execução do experimento, houve uma distribuição pluviométrica intensa, chegando próxima a 200 mm durante o desenvolvimento do milho, sendo que a boa disponibilidade de água faz com que alguns nutrientes disponíveis no solo se movimentem mais facilmente para a zona de absorção radicular da planta na solução do solo (PAVINATO & CERETTA, 2004). Segundo os dados

da CONAB, para a safra de 2014/2015 a produção média brasileira de milho foi de 5.208 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015), resultado que se aproxima do obtido no trabalho realizado, o que nos mostra que as estratégias adotadas estão sendo eficientes na produtividade de grãos da cultura do milho nas condições atuais.

**Tabela 6:** Rendimento de grãos de milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura em função a diferentes fontes fosfatadas. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2015.

	Testemunha	Ervilhaca	Tremoço	Nabo	Azevém	Aveia	Média
	kg ha <sup>-1</sup>						
Sem P	3954,41 <sup> abcB</sup>	4827,47 <sup> Aa</sup>	2976,72 <sup> bcB</sup>	3769,02 <sup> abcB</sup>	4379,56 <sup> abB</sup>	2675,07 <sup> cB</sup>	3763,71
SFT	5665,46 <sup> aA</sup>	5943,42 <sup> aA</sup>	4933,99 <sup> aAB</sup>	5748,41 <sup> aA</sup>	5156,36 <sup> aB</sup>	5424,06 <sup> aA</sup>	5478,62
FN	5861,37 <sup> aA</sup>	5758,84 <sup> aA</sup>	6067,1 <sup> aA</sup>	5936,33 <sup> aA</sup>	6763,95 <sup> aA</sup>	5704,38 <sup> aA</sup>	6015,33
Média	5160,42	5509,91	4659,27	5151,25	5433,29	4601,17	

Onde: Sem P –sem fonte fosfatada; SFT- com superfosfato triplo; FN –com fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre si na linha e letras maiúsculas na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Quando se analisou o número de grãos por espiga os resultados não apresentaram interação significativa ( $P > 0,05$ ) conforme descrito na tabela 8. As parcelas que consistiam em apenas a testemunha, ou seja, sem a aplicação de P, apresentaram uma média de 569 grãos por espiga, já nas parcelas que receberam superfosfato triplo obteve-se uma média de 532 grãos por espiga e com o uso do fosfato natural obteve-se um maior número de grãos por espiga em relação ao superfosfato triplo ou sem o uso de P.

Os valores encontrados se assemelham com os resultados obtidos por Carmo et al. (2012) que analisando o número de grãos por espiga utilizando a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N o número de grãos por espiga alcançado foi de 520.

O número de grãos por espiga na cultura do milho é definido durante o período de florescimento sendo muito influenciada pelo fluxo de fotoassimilados que ocorre durante este período, sendo que a maior necessidade de N no período de enchimento de grãos evidencia os maiores valores no número de grãos por espiga (BORTOLINI et al, 2001). A precipitação pluviométrica e o percentual de fecundação das espigas também influencia diretamente no enchimento do grão e no número desses na espiga sendo que a falta de água durante a polinização causa desidratação do tubo polínico e o excesso prejudica a atividade do grão de pólen (MAGALHÃES & DURÃES, 2006).

Todos os fatores envolvendo a cultura do milho como disponibilidade de água, temperaturas, nutrição mineral, fisiologia da planta devem ser analisados conjuntamente, pois somente com a variável adubação não é possível indicar interferência no número de grãos por espiga.

**Tabela 7:** Número de grãos por espiga do milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura em função de diferentes fontes fosfatadas. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2015.

	Testemunha	Ervilhaca	Tremoço	Nabo	Azevém	Aveia	Média
<b>Grãos por espiga</b>							
<b>Sem P</b>	477	461	349	461	419	420	431 <sup>C</sup>
<b>SFT</b>	536	554	510	544	509	537	532 <sup>B</sup>
<b>FN</b>	574	583	512	525	622	596	569 <sup>A</sup>
<b>Média</b>	529 <sup>a</sup>	533 <sup>a</sup>	457 <sup>b</sup>	510 <sup>ab</sup>	517 <sup>ab</sup>	518 <sup>ab</sup>	

Onde: Sem P –sem fonte fosfatada; SFT- com superfosfato triplo; FN –com fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre si na linha e letras maiúsculas na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para a variável massa de mil grãos de milho também não houve interação significativa entre os fatores analisados ( $P > 0,05$ ), como se observa na Tabela 9. De acordo com os resultados, quando não se aplicou nenhuma fonte fosfatada, a massa de mil grãos obtida foi de  $351 \text{ g}^{-1}$ , enquanto que para o superfosfato triplo e o fosfato natural as médias foram estatisticamente iguais ( $385$  e  $389 \text{ g}^{-1}$ , respectivamente). A massa de mil grãos é o resultado da duração efetiva de enchimento e da taxa de crescimento do grão, que por sua vez é dependente dos fatores que controlam a oferta de assimilados para o seu completo enchimento, além de ser importante componente da produção de milho, podendo ser afetada por qualquer tipo de estresse que por ventura a planta venha sofrer no período após o florescimento (FANCELLI & DOURADO NETO, 2001).

Os baixos resultados obtidos para a variável massa de mil grãos, podem ser explicados por problemas na pós colheita e armazenamento do milho, sendo este, exposto a ambientes úmidos por longo período, propiciando um ambiente favorável para o aparecimento de fungos resultando em grãos com menor peso e menor qualidade (PINTO, 2005; MILLER, 1995).

**Tabela 8:** Massa de mil grãos (g) de milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura em função de diferentes fontes fosfatadas. UTFPR, Dois Vizinhos, PR, 2015.

	Testemunha	Ervilhaca	Tremoço	Nabo	Azevém	Aveia	Média
<b><math>\text{g}^{-1}</math></b>							
<b>Sem P</b>	352	337	359	359	339	358	351 <sup>B</sup>
<b>SFT</b>	377	389	395	393	374	382	385 <sup>A</sup>
<b>FN</b>	370	402	397	374	400	395	389 <sup>A</sup>
<b>Média</b>	366 <sup>a</sup>	376 <sup>a</sup>	384 <sup>a</sup>	375 <sup>a</sup>	371 <sup>a</sup>	378 <sup>a</sup>	

Onde: Sem P –sem fonte fosfatada; SFT- com superfosfato triplo; FN –com fosfato natural. Letras minúsculas diferem entre si na linha e letras maiúsculas na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 6 CONCLUSÕES

- A produção de matéria seca das plantas de cobertura é influenciada pela fonte fosfatada utilizada, entretanto, os teores de N e P dos tecidos das culturas não sofrem alteração;
- De maneira geral, o rendimento de grãos de milho pode ser afetado pela fonte fosfatada utilizada e pelas plantas de cobertura utilizadas antes do plantio do milho. O número de grãos por espiga e a massa de mil grãos não são influenciadas pelas fontes fosfatadas utilizadas e tampouco pela planta de cobertura antecessora;
- Os teores de P total do solo analisado são altos principalmente na camada superficial, o que não justifica a aplicação adicional de fertilizantes fosfatados na área;
- O nabo e o tremoço se destacaram como plantas de cobertura de inverno eficientes em absorver e utilizar para suas funções o P presente no solo nas camadas subsuperficiais, já na camada superficial o tremoço e a aveia preta se destacaram na utilização e ciclagem deste nutriente;
- O fosfato natural, por ser um fertilizante insolúvel, tende a aumentar a presença de P devido ao efeito residual que vem sendo ocasionado ao longo dos anos com sucessivas aplicações, e o maior tempo de contato com o solo pode facilitar a adsorção do P;
- O superfosfato triplo por ser um fertilizante solúvel, proporciona menores teores de P no solo devido a rápida liberação e absorção pelas plantas, podendo ainda sofrer adsorção quando não acessível para as plantas;
- Este estudo pode ser utilizado para a elaboração de novas recomendações para a adubação visando alternativas sustentáveis e acessíveis aos produtores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, Celso. **Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão.** In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., coords. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Pallotti, 1997. p.76-111.
- ALMEIDA ACOSTA, J. A.; AMADO, T. J. C.; NEERGAARD, A.; VINTHER, M.; SILVA, L. S.; NICOLOSO, R. S. **Effect of 15N-labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1337-1345, 2011
- ALVARES, Clayton Alcarde.; STAPE, José Luiz.; SENTELHAS, Paulo Cesar.; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes.; SPAROVEK, Gerd. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 6, 711–728. Gebruder Borntraeger, Stuttgart, 2013.
- BALBINOT JUNIOR, Alvadi Antonio.; BACKES, Rogério Luiz.; TÔRRES, André Nunes Loula. **Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios.** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.3, n.1, p.38-42, 2004. Disponível em <<http://periodicos.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5477/3676>> acesso em 14 de outubro de 2015.
- BHATTI, Tariq M.; YAWAR, Wasim. **Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud.** Hydrometallurgy, Amsterdam, v. 103, n. 1-4, p. 54-59, June 2010.
- BOLLIGER, Adrian Marc.; MAGID, Jakob.; AMADO, Telmo Jorge Carneiro.; NETO, Francisco Skóra.; SANTOS RIBEIRO, Maria de Fátima dos.; CALEGARI, Ademir.; RALISCH, Ricardo.; NEERGAARD, Andreas de. **Taking stock of the brazilian "zero-till revolution": a review of landmark research and farmers' practice.** Advances in Agronomy, v. 91, p. 48-110, 2006.
- BORTOLINI, Clayton Giani.; SILVA, Paulo Ferreira da.; ARGENTA, Gilber.; Forsthofer, Everton Leonardo. **Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia-preta em resposta a adubação nitrogenada e regime hídrico.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 36, n. 9, p. 1101-1106, set. 2001. Acesso em 23 de setembro de 2015. Disponível em <<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v36n9/6469.pdf>>>.
- BURLE, Marília Lobo.; CARVALHO, Arminda Moreira de.; AMABILE, Renato Fernando.; PEREIRA, João. **Caracterização das espécies de adubo verde.** Cerrado Adubação Verde. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, p71-142. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n 5, de 23 de fevereiro de 2007.
- CALEGARI, Ademir. **Sequestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Argiloso do Sul do Brasil.** 2006. 191 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.



CALEGARI, Ademir. **Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto**. Informações Agronômicas, nº 122. 2008.

CARMO, Mariana Siqueira.; CRUZ, Simério Carlos Silva.; SOUZA, Epitácio José de.; CAMPOS, Luis Fernandes Cardoso.; MACHADO, Carla Gomes. **Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (Zea mays convar. saccharata var. rugosa)**. Biosci. J., Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 223-231, Mar. 2012

CARVALHO, Arminda Moreira de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. 2005. 199 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, Arminda Moreira de.; AMABILE, Renato Fernando. **Cerrado Adubação Verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 369p. 2006.

COSTA, M.B.B.; CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A. **Adubação Verde no sul do Brasil**. AS-PTA, Rio de Janeiro, 342.p. 1992.

COSTA, M. D.; LOVATO, P.E. **Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, p 603-605, 2004.

CORRÊA, Rossini M.; NASCIMENTO, Clístenes W. A. do.; FREIRE, Fernando J.; SOUZA, Silvana K. de S.; SILVA, Gleibson B. da. **Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias [online] 2008, 3 (Julio-Septiembre) Acesso em 28 de outubro de 2015. Disponível em :<<http://cm.redalyc.org/articulo.oa?id=119017386004>> ISSN 1981-1160

CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. **Fractionation of soil phosphorus**. Soil Sci., 84:133-144, 1957.

CHERUBIN, Maurício Roberto.; FABRIS, CRISTIANO.; WEIRICH, Sidinei Wolnei.; ROCHA, Edson Miguel Telles Da.; BASSO, Claudir José.; SANTI, Antônio Luis.; LAMEGO, Fabiane Pinto. **Desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil**. Science and Technology, Rio Verde, v. 07, n. 01, p.76 – 85, jan/abr. 2014.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L.I.; TU, S.; SNYDER, C.S. **Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, v. 89, p. 229–255, 2011.

CHOUDHARY, Muhamed Iqbal.; FUJITA, Kounosuke. **Comparison of phosphorus deficiency effects on the growth parameters of mashbean, mungbean, and soybean**. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, v.44, n.1, p.19-30, 1998.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**. v.2 - Safra 2014/15, n.7 - Sétimo Levantamento, Brasília, p. 1-100, abr. 2015.

- CONTE, Elaine. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no sistema plantio direto**. 2001. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa.; MORO, Edegar.; VALLE LIMA, Eduardo do.; ANDREOTTI, Marcelo. **Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto**. Revista Bragantia, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.
- DAHLEN, Ana Regina.; CONCEIÇÃO, Paulo César.; LUCHESE, Augusto Vaghetti. GARMUS, Taís Gabriele. **Plantas de cobertura de inverno para a cultura do milho no sudoeste do Paraná**. Boletim Técnico. Série Agricultura Familiar. Vol 1, nº1, janeiro de 2014.
- DA ROS, Clóvis Orlando. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.
- DERPSCH, ROLF.; CALEGARI, Ademir. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1985. 96p. (Documentos IAPAR, 9).
- DECHEN, Antonio Roque.; NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. **Elementos requeridos à nutrição de plantas**. In: SBCS- Sociedade Brasileira e Ciência do Solo. Fertilidade do Solo, 1017 p. Editores: NOVAIS, Roberto Ferreira.; ALVAREZ, Victor Hugo.; BARROS, Nairam Félix de.; FONTES, Renildes Lúcio F.; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola.; NEVES, Júlio César Lima. 2007, Viçosa.
- DORAN, John.W; ZEISS, Michael R. **Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality**. Applied Soil Ecology, 2000. Disponível em <<<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=agronomyfacpub>>> acesso em 12 de novembro de 2014.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. – Brasília, DF : EMBRAPA-SPI, 2013. [Eds] SANTOS, H. G dos.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C dos.; OLIVEIRA, V.A. de.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA. J.A de.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B de. In: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2013.
- FANCELLI, A., DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba-RG: Agropecuária, 2001. 360p
- FANCELLI, Antônio Luiz.; DOURADO NETO, Durval. **Produção de milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- FARINATTI, L. H. E., RESTLE, J., CHIEZA, E. D., ARBOITTE, M. Z., KOEFENDER, I., CATTELAN, J., ... & CHASSOT, R. C. **Avaliação de diferentes cultivares de azevém no desempenho de bezerras**. *Embrapa Clima Temperado*, 166(1), 3-16. 2006.

FERNANDEZ, R. I. E., NOVAIS, R. F., NUNES, F. N., KER, J. C. **Reversibilidade de P não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: II -extrações sucessivas do P pela resina de troca aniônica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.6. p. 2319-2330, 2008.

FILHO, Roblein Cristal Coelho.; QUADROS, Fernando Luis Ferreira de. **Produção animal em misturas forrageiras de estação fria semeadas em uma pastagem natural.** Ver. Ciência Rural, v. 25, nº 2,p.289-293, 1995.

FORMENTINI, Eegar Antonio., LÓSS, F. R., BAYERL, M. P., LOVATI, R. D.;BAPTISTI, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem.** Vitória: Incaper, 324. 2008.

FLOSS, Elmar Luiz. **Aveia, um sustentáculo do sistema de semeadura direta.** Revista Plantio Direto, Passos Fundo, v. 72, n. 69, p. 14-18, 2002.

GALVAN, Jônatas.; RIZZARDI, Marcel.; CARNEIRO, Cerci Maria. **Carcaterização anatômica de órgãos vegetativos de *Lolium multiflorum* Lam sensível e resistente ao glifosato.** XXVII Congresso Brasileiro da Ciencia das Plantas Daninhas. Ribeirão Preto, SP. 2010.

GIACOMINI, Sandro José.; AITA, Celso.; HÜBNER, André Paulo.; LUNKES, Adilson.; GUIDINI, Elias.; AMARAL, Elizandro Brum do. **Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, p.1097-1104, 2003.

GIACOMINI, S.J. et al. **Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo.** Revista Brasileira Ciência do Solo, v.27, n.2, p.325-334, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-6832003000200012>>. Acesso em: 23 setembro. 2015.

GOEDERT, Wenceslau J.; SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de. **Uso de Fertilizantes Fosfatados.** In: SIMPÓSIO SOBRE FETILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília, DF. Anais... Brasília: EMBRAPA-DID, 1984, p. 255-290.

GOMES, A.S. et al. **O que rende a cobertura morta.** A Granja, Porto Alegre, n. 588, p. 47-49. 1997.

HABIB, L.; CHIEN, S.H.; CARMONA, G.; HENAO, J. **Rape response to a Syrian phosphate rock and its mixture with triple superphosphate on a limed alkaline soil.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, Philadelphia, v. 30, p. 449-456, 1999

HEDLEY, M.J., STEWART, J.W.B., CHAUHAN, B.S. **Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations.** Soil Science Society of America Journal, v. 46, p. 970-976, 1982.

HUYGHE, Christian. **White lupin (*Lupinus albus* L.).** Field Crops Research, v.53, p.147-160, 1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429097000282>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

KROLOW, Rodrigo Holz.; MISTURA Claudio.; COELHO Rogério Waltrick.; SIEWERDT Lotar.; ZONTA Élio Paulo. **Efeito do fósforo e do potássio sobre o desenvolvimento e a**

**nodulação de três leguminosas anuais de estação fria.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.6, p.2224-2230, 2004.

LA BAYON, R.C; WEISSKOPF, L.; MARTINOIA, E; JANSA, J. FROSSARD, E; KELLER, F.; FOLLM, K.B.; GOBAT, J.M. **Soil phosphorus uptake by continuously cropped *Lupinus albus*: a new microcosmo design.** Plant and Soil. Dordrecht, v. 283. P 309-321, 2006.

LANA, Regina Maria.Q.; ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio.; LUZ, José Magno Q.; SILVA, Julierme Candido da. **Produção da alfaca em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado.** Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.3, p. 525-528, jul-set 2004.

MAGALHÃES, Paulo César.; DURÃES, Frederico O. M.. **Fisiologia da Produção de Milho.** Circular técnica nº 76. Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2006. Disponível em <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19620/1/Circ\\_76.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19620/1/Circ_76.pdf)> Acesso em 29 de novembro de 2015

MALAVOLTA, Euripedes.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. et al. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas.** São Paulo: Pioneira, 1974. 727p.

MARCELO, Adolfo Valente.; CORÁ, José Eduardo.; FERNANDES, Carolina.; MARTINS, Márcio dos Reis Martins.; JORGE, Ricardo Falqueto. **Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yeald.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, p. 417- 428, 2009

MILLER, J.D. **Fungi and Mycotoxins in grain: implications for stored product research.** Journal Stored Products Research, v.31, n.1, p.1-16, 1995

MOREIRA, Adônis.; MALAVOLTA, Eurípedes.; MORAES, Larissa Alexandra Cardoso. **Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfaca e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.10, p.1459-1466, 2002.

MORI, Claudia de.; NASCIMENTO JUNIOR, Alfredo.; MIRANDA, Martha Zafariz de. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura do centeio no mundo e no Brasil.** Embrapa, Documentos 142, jun 2013. Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/969149/1/2013documentosonline142.pdf>> acesso em 15 fev 2015.

MUZILLI, Osmar. **Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 7:95-100, 1983.

MURPHY, J. & RILEY, J. P. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.** Analytica Chimica Acta, 27:31-36, 1962.

NAHAS, Ely. **Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas.** Bragantia, v. 61, p. 267-275, 2002.

NOVAIS, Roberto Ferreira de.; SMYTH, Jot T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999. 399p.

- NOVAIS, Roberto Ferreira.; ALVAREZ, Victor Hugo.; BARROS, Nairam Félix de.; FONTES, Renildes Lúcio F.; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola.; NEVES, Júlio César Lima. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. 2007.
- OLIVEIRA, Clovisson Menotti Boeira de. **Quantificação de formas de fósforo em diferentes tipos de solo e usos em Santa Catarina**. Tese Doutorado. Lages, 2014
- OHLAND, Regiani Aparecida Alexandre.; SOUZA, Luiz Carlos Ferreira de.; HERNANI, Luís Carlos.; MARCHETTI, Marlene Estevão.; GONÇALVES, Manoel Carlos. **Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.29, p.538-544, 2005.
- ORTIZ, Sidney.; MARTIN, Thomas Newton.; BRUM, Marcons da Silva.; NUNES, Nathália Vasconcelos.; STECCA, Jessica Deolinda Leivas.; LUDWIG, Rodrigo Luiz. **Densidade de semeadura de duas espécies de ervilhaca sobre caracteres agrônômicos e composição bromatológica**. Ciência Rural, Santa Maria, v.45, n.2, p.245-251, fev. 2015
- PAVINATO, Paulo Sérgio; CERETTA, Carlos Alberto. **Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação**. Ciência Rural [online] 2004, 34 (nov.-dez;). Acesso em 22 de setembro de 2015. Disponível em <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33134617>> ISSN 0103-8478.
- PEREIRA, J.; SILVA, M.A da. **Cultivo do tremoço nos cerrados**. Observações Preliminares. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados-CPAC. Comunicado Técnico, 43.1985.
- PINTO, N. F. J. de A. **Grãos ardidos em milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. (Circular técnica, 66).
- RAO, L. M.; BORRERO, V.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M. A. **Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type**. Journal of Plant Nutrition, New York, v. 20, n. 1, p. 155-180, 1997
- REDEL Yonathan D.; RUBIO, Rosa.; ROUANET, Juan L.; BORIE, Fernando. **Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol**. Geoderma, v. 139, p. 388–396, 2007.
- REIS, N.P. **Perspectivas para o fósforo**. In: Simpósio Nacional do setor de fertilizantes, 2002.Palestra...São Paulo: ANDA, 2002, 364 p.
- RHEINHEIMER, Danilo dos Santos.; ANGHINONI, Ibanor.; KAMINSKI, João. **Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 345-354, 2000.
- SANCHEZ Pedro A.; LOGAN Terry J. **Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics**. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., 5585 Guilford Rd., Madison, WI 53711 USA, 1992.
- SANTI, A.; AMADO, T. J. C; ACOSTA, J. A. A.. **Adubação nitrogenada na aveia preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2003, vol.27, n.6, pp. 1075-1083. ISSN 1806-9657.

SBCS- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed.– Porto Alegre, 2004.400p.

SILVA, Tácio Oliveira da.; NETO, Antônio Eduardo Furtini.;CARNEIRO; Leandro Flávio;PALUDO, Vinitius. **Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos**. Revista Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, out./dez. 2011.

SILVA, Adriano Alves da.; SILVA, Paulo Regis Ferreira da.; SUHRE, Elias.; ARGENTA, Gilber.; STRIEDER, Mércio Luiz.; RAMBO, Lisandro. **Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 928- 935, julho/agosto, 2007

SILVA, A. A. da; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; PIANA, A. T.; STRIEDER, M. L.; JANDREY, D. B.; ENDRIGO, P. C. **Produtividade do milho irrigado em sucessão a espécies invernais para produção de palha e grãos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 987-993, 2008.

SILVEIRA, Edson Roberto.; PELISSARI, Adelino.; MORAES, Anibal de.; PIAZZETTA, Hugo von Linsingen.; LANG, Claudete Reisdorfer.; CARVALHO, Paulo César de Faccio. **Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1323-1332, jul./ago. 2012.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de.; LOBATO, Edson.; REIN, Thomaz. A. **Adubação com fósforo**. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de.; THOMAZ A. Rein.; WENCESLAU, J. Goedert.;; LOBATO, Edson.; NUNES, Rafael de Souza; **Fósforo**. In: PROCHNOW, Luis Ignacio.; CASARIN, Valter.; STIPP, Silvia Regina. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: IPNI – Brasil, v. 2, 2010, p.67-132.

SCHONINGER, Evandro Luiz.; GATIBONI, Luciano Colpo.; ERNANI, Paulo Roberto. **Fertilização com fosfato natural e cinética de absorção de fósforo de soja e plantas de cobertura do cerrado**. Revista Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 1, p. 95-106, jan./fev. 2013.

TEDESCO, Mariano.; GIANELLO, Clesio.; BISSANI, Carlos Alberto.; BOHNEN, Humberto Jorge. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. 174 p Il: Boletim técnico [de solos]. Departamento de solos. UFRGS. Porto alegre, 1995.

TIECHER, Tales. **Dinâmica do fósforo em solo muito argiloso sob diferentes preparos de solo e culturas de inverno**. 80p. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Santa Maria, 2011.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under diferente long term tillage systems and winter crops. Revista Brasileira de Ciencia do solo. Viçosa, v 36. p 271-281. 2012.

VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Cultivo de centeio: Manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, Sistema de produção, 1-2a edição. 2006.

WATT, Michelle; EVANS, John R. **Proteoid roots physiology and development**. *Plant Physiology*, v.121, p.317-323, 1999.

WEBER, Mirla Andrade.; MIELNICZUK, João. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 429- 437, 2009.