

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ARLEI JUNIOR SOLETTI

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E PLANTAS DE COBERTURA
HIBERNAIS SOB A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

DOIS VIZINHOS

2021

ARLEI JUNIOR SOLETTI

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E PLANTAS DE COBERTURA
HIBERNAIS SOB A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

**Residual effect of phosphate fertilization and hibernal cover crops on soybean
and corn productivity**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor.

DOIS VIZINHOS

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ARLEI JUNIOR SOLETTI

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E PLANTAS DE COBERTURA
HIBERNAIS SOB A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/dezembro/2021

Paulo Cesar Conceição
Doutor em Ciências do solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bárbara Elis Santos Ruthes
Doutoranda em Agronomia
Universidade Federal do Paraná

Laércio Ricardo Sartor
Doutor em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2021

RESUMO

O fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas e está presente em quantidades elevadas na grande maioria dos solos brasileiros, porém a fração prontamente disponível para as plantas representa uma pequena parcela deste montante. Partindo deste pressuposto o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito residual de diferentes fontes fosfatadas e do uso de espécies de plantas de cobertura na solubilização de fósforo. O experimento foi implantado em 2009 na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, situado a uma latitude de 25° 41' 34.05" S, longitude de 53° 5' 42.42" O e altitude de 526 metros. O delineamento experimental é bifatorial (3x8), com 3 tratamentos de fertilizantes fosfatados, solúvel (superfosfato simples), insolúvel (fosfato natural) e sem aplicação de fósforo (controle), associado a 7 espécies de plantas de cobertura no período do inverno: Ervilhaca (*Vicia sativa* L.), tremoço branco (*Lupinus albus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), centeio (*Secale cereale* L.), um mix de plantas de cobertura composto por nabo, aveia e centeio além de uma parcela que permanece em pousio durante o inverno (controle). O experimento contém 24 tratamentos com 3 repetições em blocos ao acaso, totalizando 72 unidades amostrais com 25 m² cada (5 x 5 metros). A aplicação dos fertilizantes fosfatados foi realizada entre os anos de 2009 e 2015 com uma dosagem anual de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. As variáveis analisadas foram: massa seca das plantas de cobertura de inverno, rendimento de grãos e componentes de rendimento das culturas de soja e milho, avaliadas nas safras 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente. Na produção de biomassa das plantas de cobertura houve um destaque para as gramíneas de forma geral, sendo que os maiores acúmulos foram obtidos com o uso das fontes de fósforo, diferindo entre si de acordo com a espécie de planta. Para a soja as respostas entre as fontes de P não foram diferentes entre si, enquanto que nos tratamentos com ausência de fósforo a inferioridade produtiva ocorreu especialmente no tratamento pousio. Já para o milho houve variações mais consideráveis entre as fontes, diferindo estatisticamente em algumas espécies de plantas de cobertura, com superioridade para o fosfato natural novamente. Portanto, o efeito residual entre as fontes fosfatadas teve variações de acordo com a espécie de planta de cobertura, mas de forma geral o fosfato natural teve as maiores respostas e garantiu uma sustentação produtiva mesmo após 5 anos explorando o efeito residual presente no solo.

Palavras-chave: Fósforo; Solubilidade; Sorção; Rendimento;

ABSTRACT

Phosphorus is an essential nutrient for plant development and is present in high amounts in the vast majority of Brazilian soils, but the fraction readily available to plants represents a small portion of this amount. Based on this assumption, the present work aimed to evaluate the residual effect of different phosphate sources and the use of cover crops species on phosphorus solubilization. The experiment was implemented in 2009 in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Dois Vizinhos Campus, located at a latitude of 25° 41' 34.05" S, longitude of 53° 5' 42.42" O and altitude of 526 meters. The experimental design is bifactorial (3x8), with 3 treatments of phosphate fertilizers, soluble (simple superphosphate), insoluble (natural phosphate) and without phosphorus application (control), associated with 7 species of winter cover crops: Vetch (*Vicia sativa* L.), white lupin (*Lupinus albus* L.), forage turnip (*Raphanus sativus* L.), ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam), black oat (*Avena strigosa* Schreb), rye (*Secale cereale* L.), a cover crop mix composed of turnip, oat and rye plus a plot that remains fallow during the winter (control). The experiment contained 24 treatments with 3 repetitions in randomized blocks, totaling 72 sampling units of 25 m² each (5 x 5 meters). Phosphate fertilizers were applied between 2009 and 2015 with an annual dosage of 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The variables analyzed were: dry mass of winter cover plants, grain yield and yield components of soybean and corn crops, evaluated in the 2019/2020 and 2020/2021 harvests, respectively. In the biomass production of the cover plants there was a highlight for the grasses in general, and the highest accumulations were obtained with the use of phosphorus sources, differing among themselves according to the plant species. For soybean, the responses among the P sources were not different, while in the treatments with absence of P the productive inferiority occurred especially in the fallow treatment. For corn, on the other hand, there were more considerable variations among the sources, differing statistically in some species of cover crops, with superiority for natural phosphate again. Therefore, the residual effect between the sources of phosphate had variations according to the species of cover crop, but in general the natural phosphate had the greatest response and ensured a productive support even after 5 years exploiting the residual effect present in the soil.

Keywords: Phosphorus; Solubility; Sorption; Yield;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral.....	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1	Histórico, localização e caracterização da área experimental	15
4.2	Condução do experimento	16
4.3	Variáveis analisadas	18
4.3.1	Produção de matéria seca das plantas de cobertura	18
4.3.2	Componentes de rendimento das culturas de verão e análise estatística 18	
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros apresentam alto grau de intemperismo ocasionado pela ação de agentes químicos, físicos e biológicos desencadeados pelos fatores de sua formação ao longo do tempo. Durante esse processo os minerais primários do solo são alterados, liberando as bases que serão lixiviadas em sua maioria, dando lugar ao alumínio e aos óxidos, um com elevada toxidez às plantas e outro com alta capacidade de retenção dos nutrientes, respectivamente, principalmente o fosforo (P).

Esse processo milenar ocasiona o empobrecimento do solo fazendo-se necessário correções para que possa se tornar agricultável, tendo em vista que esse elemento é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando na respiração celular, auxílio da síntese de ácidos nucleicos, controle hormonal do crescimento das plantas, dentre outros.

O P tem baixa mobilidade no solo devido à alta adsorção a fase coloidal, onde se encontra nas formas orgânicas e inorgânicas. Gradativamente o P encontrado na CTA (Capacidade de troca de ânions) do solo pode ser liberado à solução, para que seja disponibilizado para as plantas, mas este é um processo lento e que necessita práticas de manejo eficientes. Solos com elevada intemperização tendem a ter mais cargas positiva que solos menos intemperizados, e alguns de seus atributos químicos como o pH, capacidade de troca catiônica, saturação por bases apresentam valores menores, acarretando em uma maior adsorção aniônica, como é o caso do P (MELGAR *et al*, 1992).

É válido lembrar que nem todos os solos possuem alta capacidade de reter P, afinal este atributo varia principalmente de acordo com o tipo de argila e a presença de óxidos de ferro e alumínio. Desta forma um solo mais arenoso pode ser menos problemático neste quesito que um solo argiloso, o mesmo ocorre com aqueles cujo o teor de óxidos é relativamente baixo, não havendo tanta adsorção aniônica (QUISPE, 2004).

A falta de P disponível para as plantas acarreta prejuízos significativos a produtividade das culturas, porém o uso indiscriminado de fertilizantes fosfatados ocasiona problemas tão grandes quanto a falta. Este elemento é considerado um grande poluente dos cursos de água, principalmente águas superficiais já que o P é um elemento com pouca percolação no perfil do solo, além disso causa eutrofização das águas favorecendo o crescimento de plantas e algas diminuindo a oxigenação,

podendo causar mortandade de peixes e comprometer a utilização do recurso hídrico (KLEIN; AGNE, 2012)

Diante da problemática exposta, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito residual de fertilizantes fosfatados de diferentes solubilidades sobre a sua disponibilidade no solo e na produtividade de culturas anuais, visando reduzir a adsorção das moléculas de P e conseqüentemente melhorar o aproveitamento dos insumos utilizados. Além disso, visou auxiliar na tomada de decisão quanto a espécie de planta de cobertura utilizada no inverno, buscando a melhor eficiência na ciclagem de fósforo e disponibilização para a cultura subsequente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito residual de sete anos de aplicação de fertilizantes fosfatados e de plantas de cobertura de inverno na disponibilidade de fósforo e na produtividade das culturas de soja e milho em dois anos consecutivos após quatro e cinco anos sem uso de adubação fosfatada.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o rendimento e os componentes de produção das culturas de soja e milho sob influência do efeito residual dos fertilizantes fosfatados e determinar qual deles gera as melhores respostas produtivas nas culturas citadas.

Verificar qual espécie de planta de cobertura hibernal proporciona os melhores resultados produtivos nas culturas de verão.

Avaliar se a quantidade de massa seca produzida pelas plantas de cobertura no inverno tem alguma relação com a produtividade das culturas de verão avaliadas no presente trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

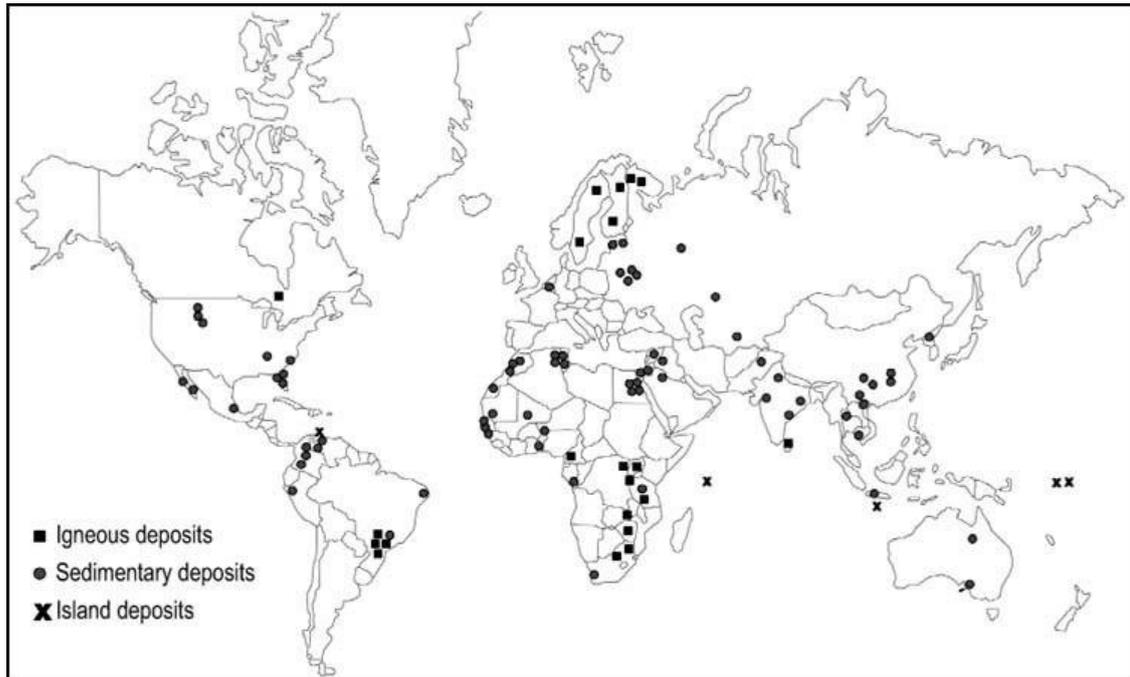
A quantidade de P total presente nos solos brasileiros geralmente é elevada, porém mais de 90% está adsorvido ou complexado aos elementos constituintes do solo, tornando-o indisponível à absorção da planta. Ker (1995) verificou que em solos do cerrado brasileiro podem ser fixados até 4.000 kg ha⁻¹ de P. Já na região de Piracicaba há solos que necessitam aplicação de 2.015 mg kg⁻¹ de P apenas para compensar a quantidade do nutriente que é retido (THOMAZI, 1988)

Devido essa alta retenção de P não há indícios que este nutriente seja perdido por lixiviação, sendo que as maiores perdas estão relacionadas a processos erosivos. Além dos problemas ambientais, o uso indiscriminado pode acarretar em um déficit precoce das jazidas de P, afinal trata-se de um recurso finito que deve ser bem administrado para ter a melhor eficiência produtiva por unidade de P aplicada no solo (PANTANO *et al.*, 2016).

As plantas têm capacidade de absorver o P em duas formas inorgânicas sendo H₂PO₄⁻ e HPO₄²⁻ e estes devem estar obrigatoriamente na fase líquida do solo. Além de serem absorvidas pelas plantas, estas moléculas estão altamente sujeitas ao processo de adsorção às partículas do solo e complexação com alumínio, gerando compostos indisponíveis para as plantas. Sendo assim pode-se dizer que o P no solo é pouco móvel mas é dinâmico, afinal com um manejo eficiente é possível solubilizar uma pequena parte do P adsorvido, porém se este fosfato, seja ele oriundo da dessorção ou de fonte externa, não for rapidamente utilizado por alguma planta do sistema ele pode se tornar indisponível novamente (CARMO & TORRENT, 2010).

O fertilizante fosfatado na grande maioria das vezes é produzido através das rochas fosfáticas (RF) que são encontradas em jazidas nas mais diversas partes do mundo (FIGURA 1), e após passarem por um processo industrial ficam aptas a ser utilizadas como fertilizante agrícola. As RFs podem ser oriundas de rochas ígneas ou sedimentares, sendo que no primeiro caso tem menores concentrações de P₂O₅ devido a mistura da apatita com outros minerais durante a formação geológica (FIXEN, 2009). Por isso fontes fosfatadas oriundas de rochas ígneas não são indicadas para uso direto no solo, havendo a necessidade da industrialização, podendo chegar a níveis de 36 a 60% de P₂O₅ (STEWART *et al.*, 2005).

Figura 1: Depósitos de RFs com potencial econômico no mundo.



Fonte: Zapata e Roy (2004).

A apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$ é a principal fonte de P mineral encontrada no planeta terra sendo amplamente distribuída pelos continentes, havendo variações de acordo com a formação rochosa. Das RFs utilizadas no mundo cerca de 80% são provenientes de jazidas formadas pela sedimentação rochosa (RFs sedimentares), sendo que, em cada local a concentração de P_2O_5 e demais minerais irá variar em função das características geológicas (STEWART *et al.*, 2005).

Em geral os fertilizantes provenientes de RFs sedimentares possuem teores mais elevados de P_2O_5 , característica que ainda não é explicado pela ciência. Uhlein *et al.*, (entre 2018 e 2020) afirmam que “a origem dos fosforitos ainda não é bem compreendida e durante anos têm sido colocadas várias hipóteses para a sua origem, que incluem a influência biológica, química e vulcano-sedimentar”.

A extração de RFs tem alcançado patamares de 120 a 165 milhões de toneladas anualmente desde 1981, um número bastante elevado considerando que se trata de uma matéria prima não renovável e com quantidade de reservas incertas (FIXEN, 2009). Ao relacionar os maiores produtores de RFs fica-se com 4 federações responsáveis pela produção de 72% do total mundial, sendo os Estados Unidos da América, China, Marrocos e Saara Ocidental e a Federação Russa (ZAPATA E ROY, 2004)

Após a extração, a RF passa pela industrialização que consiste na moagem da matéria prima e em grande parte dos casos passa por um processo de acidificação para liberação do P presente no material. Desta forma origina-se os fosfatos insolúveis e solúveis, um passando apenas pelo primeiro processo industrial e o outro pelos dois processos, respectivamente.

Os principais fosfatos solúveis são o superfosfato simples e o superfosfato triplo, ambos passam pelo processo de acidificação onde a RF reage com ácido sulfúrico e fosfórico, aumentando a solubilidade do fertilizante. Segundo Souza *et al.*, (2010) cerca de 95% do fosforo utilizado na agricultura brasileira é proveniente do superfosfato simples e triplo, sendo que estes possuem mais de 90 % do P total solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) + água.

Estes tipos de fertilizantes são disponibilizados rapidamente para as plantas sendo que já no primeiro ano de cultivo há respostas produtivas. Entretanto, eles possuem elevado grau de adsorção com o passar do tempo, desta forma se esta fonte de adubação ficar prontamente disponível para a planta e não for totalmente absorvida este nutriente ele será retido pela fração sólida do solo.

Já os fosfatos insolúveis são aqueles que não passam por nenhum processo de acidificação, sendo feita apenas a moagem da rocha e aplicação no solo. No primeiro ano após o uso em solos com teores de elevados de P, há uma grande tendência de não haver respostas significativas, pois a solubilidade é muito baixa além de ter grande influência do pH do solo, sendo que em solos mais ácidos ($\text{pH} < 6,0$) há uma melhor disponibilização. Em contrapartida, “a lenta liberação, “slow release”, de fontes pouco solúveis em água, poderá fazer com que estas, em relação aos de elevada solubilidade, possam ser mais eficientes em solos de elevada capacidade de fixação de fosforo” (QUISPE, 2004).

A palhada sobre o solo tem efeitos fundamentais para a melhoria do sistema produtivo visando obter maiores produtividade e lucratividade da atividade agrícola. O uso de cobertura vegetal vem sendo aprimorado e difundido com o passar dos anos, sendo um dos preceitos básicos do sistema plantio direto. Dentre os inúmeros benefícios desta tecnologia pode-se citar a redução dos processos erosivos, diminuição da amplitude térmica do solo, aporte de matéria orgânica, proteção do solo contra impacto das gotas da chuva, dentre outros (HECKLER *et al*, 1998).

As plantas de cobertura quando utilizadas de maneira adequada se tornam grandes aliadas do produtor, sendo algumas conhecidas como “bomba de nutrientes”

devido a grande capacidade de ciclagem (PASSOS; MARCOLAN, 2013). As raízes densas e agressivas, aliadas a elevada tolerância de algumas espécies a suportarem solos adversos (baixos teores de nutrientes, presença de elementos tóxicos) diferem as plantas de cobertura das culturas comerciais, tornando o seu cultivo imprescindível visando melhorias do solo e ganhos produtivos nas culturas subsequentes.

Estudando diferentes espécies de plantas de cobertura Horst *et al.* (2001) verificou que algumas espécies de plantas de cobertura (*Aeschynomena histrix*, *Arachis hypogaea*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Centrosema macrocarpum*, *Centrosema pubescens*, *Chamaecrista rotundifolia*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Glycine max*, *Lablab purpureus*, *Mucuna pruriens*, *Phaseolus vulgaris*, *Stylosanthes guaianensis*, *Stylosanthes hamata* e *Vigna unguiculata*) tem a capacidade de alterar as formas de P no solo, transformando-os para formas mais solúveis.

Um dos mecanismos utilizado por algumas espécies para melhorar o aproveitamento de P são as raízes proteóides, que são locais onde se desenvolvem um grande número de raízes secundárias curtas com uma densa camada de pelos radiculares, formando um conglomerado capaz de aumentar a absorção dos nutrientes do solo. Em geral esse mecanismo é observado em solos com baixos teores de nutrientes, principalmente P, onde a planta precisa ter mecanismos para aumentar a eficiência no uso deste elemento nutricional. Além da melhor absorção dos nutrientes, as raízes proteóides liberam ácidos orgânicos e enzimas capazes de melhorar a solubilização do fósforo (WATT & EVANS, 1999).

Os ácidos orgânicos liberados na rizosfera atuam como agentes quelantes dos minerais catiônicos do solo (Fe, Ca, Al), reduzindo a adsorção de P através da competição destas cargas com os ácidos. Uma espécie com elevada capacidade de produção das raízes proteóides é o Tremoço branco (*Lupinus albus* L.), sendo que o ácido orgânico secretado em maior quantidade é o citrato, demonstrando que esta planta tem vias metabólicas especializadas na produção deste elemento além de uma alta capacidade de dissipa-lo na rizosfera (KEERTHISINGHE *et al.*, 1997).

Além dos ácidos orgânicos, existem enzimas capazes de melhorar a disponibilidade de P no solo que é o caso da fosfatase ácida, capazes de fazer a hidrólise do fosforo encontrado nas frações orgânicas do solo (WATT & EVANS, 1999). Segundo Gilbert *et al.*, (1999) esta enzima é produzida e libertada das raízes proteóides de *L. albus* em condições de deficiência de P.

Desta forma a produção dos ácidos orgânicos juntamente com a fosfatase ácida acarreta em um melhor aproveitamento de P quando comparado a produção destas substâncias isoladamente, visto que a enzima irá disponibilizar P para a planta através da hidrólise da fração orgânica, enquanto o ácido orgânico quelatiza os minerais impedindo que o P solubilizado seja retido (WATT & EVANS, 1999).

O Tremoço branco é uma das espécies de plantas de cobertura hibernais estudadas no presente trabalho, juntamente com a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), azevem (*Lolium multiflorum* Lam) e um mix de plantas de cobertura contendo aveia, centeio e nabo, todas as espécies possuem suas especificidades de crescimento e desenvolvimento, sendo potenciais tanto para cobertura de solo quanto para ciclagem de nutrientes.

O Tremoço branco (*Lupinus albus* L.) é uma planta leguminosa de inverno, fixadora de nitrogênio com raiz pivotante agressiva podendo chegar a 1,5 metros de profundidade, ideal para recuperar áreas degradadas (CREMONEZ *et al.*, 2013). Segundo Huygue (1997), o tremoço é uma planta que melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, através da ciclagem de nutrientes como é o caso do nitrogênio e também do aporte de matéria orgânica.

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) é uma gramínea de inverno bastante tolerante à solos úmidos e com teores nutricionais baixos, é cultivada mundialmente e utilizada como alimentação humana e animal, além de ser uma excelente planta de cobertura de solo (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2015). É amplamente utilizada devido “ao alto rendimento de matéria seca, à facilidade de aquisição de sementes e de implantação, à rusticidade, à rapidez de formação de cobertura, à eficiente reciclagem de N e do ciclo adequado” (SILVA *et al.*, 2007).

A ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) é uma planta hiberna da família Fabaceae, cultivada nas mais diversas partes do mundo tanto para pastejo quanto para cobertura de solo devido a qualidade nutricional, resistência a temperaturas mais altas, capacidade de fixar biologicamente o N atmosférico e pela ciclagem de nutrientes que ela proporciona (ORTIZ *et al.*, 2015). Devido à baixa relação C/N que esta planta possui, os resíduos vegetais são decompostos rapidamente após senescência, proporcionando uma liberação rápida dos nutrientes presentes nos tecidos vegetais.

O centeio (*Secale cereale* L.) é uma planta excepcional para se cultivar no período do inverno devido sua ampla adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, sendo conhecida pela rusticidade e capacidade de se desenvolver em solos pobres e arenosos. Os restos culturais desta espécie são mais duradouros no solo quando comparado às demais coberturas de inverno, protegendo o solo por um período mais longo. Além disso possui raízes muito agressivas possibilitando a absorção de nutrientes em camadas profundas do perfil do solo, sendo considerada uma planta ótima para ciclagem de nutrientes (BAIER, 1994).

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) pertence à família Brassicaceae, é uma planta anual de ciclo curto que possui sistema radicular agressivo, pivotante, não havendo capacidade de realizar simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium*, portanto não fixam nitrogênio. Graças a grande profundidade que as raízes alcançam, a planta é considerada uma grande extratora de nutrientes destas camadas, trazendo-os à superfície do solo e disponibilizando-os às culturas subsequentes (SILVA *et al.*, 2007).

O azevém (*Lolium multiflorum* Lam) é uma espécie de planta pertencente à família Poaceae, com ciclo anual hibernal e utilizada tanto para fins de alimentação animal quanto para cobertura do solo. Estas plantas florescem e frutificam em abundância no período do inverno favorecendo a ressemeadura natural em casos onde não é realizada a colheita. Se trata de uma planta rustica, agressiva e com expressiva capacidade de perfilhamento, sendo uma das gramíneas com ampla utilização no sul do Brasil (TENEDINI; FELDMANN, 2015)

Já os mix de plantas de cobertura consistem na semeadura de mais que uma espécie de planta, visando unir os efeitos benéficos de cada uma delas. “A utilização de mix de plantas de cobertura vem crescendo entre os produtores rurais e pode ser estratégia mais eficiente, pois poderia proporcionar maior cobertura do solo e sombrear as plantas daninhas, dificultando a sua emergência e desenvolvimento” (ARAÚJO *et al.*, 2019). Além da redução das plantas daninhas, o mix pode beneficiar o solo através do aumento da ciclagem de nutrientes graças aos diferentes sistemas radiculares presentes em uma mesma área no mesmo período de tempo, aumentando a diversidade do local e conseqüentemente melhorando o equilíbrio do sistema.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Histórico, localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos situado a uma latitude de 25° 41' 34.05" S, longitude de 53° 5' 42.42" O e altitude de 526 metros. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférico com textura argilosa (EMBRAPA, 2013), de acordo com a classificação climática de Köppen a região possui clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa).

A implantação do experimento ocorreu no ano de 2009 fazendo a demarcação de 72 parcelas de 25 metros quadrados cada (5 x 5 m), divididas em 24 tratamentos em 3 repetições com blocos ao acaso no modelo bifatorial (3x8), sendo 3 fontes de fósforo e 8 espécies de plantas de cobertura no período do inverno. No ano de implantação foi realizada análise de solo para verificar quais os níveis de fertilidade que a área apresentava, a qual pode ser visualizada na figura 2.

Figura 2: Análise de solo química e granulométrica coletadas previamente a implantação do experimento, 2009.

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

Fonte: Teles (2014).

O fator A do experimento consiste em duas diferentes fontes de fertilizante fosfatado e uma testemunha onde não ocorreu aplicação de P desde a implantação do experimento. As fontes utilizadas foram o superfosfato simples (SFS) (18% de P₂O₅ solúvel) abordando a linha dos fosfatos solúveis, e o fosfato natural (FN) (9% de P₂O₅ solúvel e 29% total) que se trata de um fosfato insolúvel. A aplicação destes fertilizantes ocorreu do ano de 2009 até ano de 2015 na dosagem de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ anualmente, onde resolveu cessar as aplicações de fósforo devido ao elevado nível apresentado no solo (SOLTANGHEISI *et al.*, 2018), e avaliar o efeito residual destes fertilizantes.

O fator B é composto por 8 tratamentos, sendo 7 espécies de plantas de cobertura e uma testemunha que consiste no pousio durante o período de inverno. As plantas de cobertura utilizadas são: ervilhaca, tremoço branco, nabo forrageiro, azevém, aveia preta, centeio e um mix de plantas de cobertura composto por nabo, aveia e centeio (av+az+n). O centeio começou a ser cultivado no experimento no ano de 2013, sendo substituído do trevo branco (*Trifolium repens*) que foi cultivado entre os anos de 2009 e 2011. Outra planta de cobertura que foi substituída no decorrer dos anos foi a aveia preta, que de 2009 a 2019 era cultivada em dois tratamentos, e após esta data uma delas deu lugar ao mix de planta citado anteriormente.

4.2 Condução do experimento

O presente trabalho foi conduzido a fim de analisar os dados das safras de 2019/2020 e 2020/2021, utilizando as culturas de soja e milho, respectivamente, no verão, e 7 espécies de plantas de cobertura durante o inverno com intuito de avaliar o efeito residual das adubações fosfatadas e a capacidade de solubilização das espécies de cobertura através de análises produtivas das culturas implantadas.

As plantas de coberturas foram semeadas manualmente em cada unidade amostral, sendo utilizada uma semeadora de inverno com 17 cm entre linhas para cortar a palhada e facilitar o contato da semente com o solo. Das 7 espécies de plantas, 6 foram distribuídas a lanço e para o tremoço branco foi feita a abertura do sulco para depositar a semente, visto que o tamanho da semente requer níveis de umidade mais altos para germinar. Para finalizar o processo utilizou-se um rastelo para movimentar a palhada e garantir mais uniformidade na germinação.

A densidade de semeadura utilizada foi de 70 kg ha⁻¹ de ervilhaca, 100 kg ha⁻¹ de tremoço branco, 20 kg ha⁻¹ de nabo forrageiro, 25 kg ha⁻¹ de azevém, 60 kg ha⁻¹ de aveia preta, 60 kg ha⁻¹ de centeio e 50 kg ha⁻¹ do mix de plantas. Durante a condução das plantas de cobertura realizou-se monitoramento da incidência de daninhas, e no ano de 2020 devido ao alto índice de plantas espontâneas realizou-se aplicação um graminicida a base de cletodim nas parcelas de ervilhaca, tremoço branco e nabo forrageiro. Já nas parcelas de azevém, aveia preta e centeio aplicou-se um latifolicida a base de metsulfurom metílico para controlar as folhas largas que vinham se desenvolvendo junto com as plantas de cobertura. Nas parcelas de mix não foi realizada aplicação de nenhum herbicida e nas parcelas em pousio houve a aplicação de um herbicida de amplo-espectro a base de glifosato, e posteriormente

realizado o monitoramento e capina manual de possíveis plantas espontâneas que se manifestaram após a intervenção química.

O manejo das plantas de cobertura em ambos os anos foi realizado utilizando um herbicida de amplo espectro seguido da rolagem das plantas visando melhorar a eficiência da semeadura e emergência da cultura estival. A cultivar de soja utilizada na safra 2019/2020 foi a TMG 7262 RR, semeada com espaçamento de 45 cm e uma densidade populacional de 12 plantas por metro linear, totalizando 267 mil plantas por hectare. O fornecimento de potássio a cultura foi realizado através da aplicação de cloreto de potássio a lanço em uma dose de 80 kg ha⁻¹ de K₂O, para que a produtividade da cultura não seja limitada pela falta deste nutriente.

Por ser uma cultivar resistente ao herbicida glifosato, o controle das plantas daninhas durante o ciclo da cultura (V3-V4) foi realizado utilizando este princípio ativo, sendo que as daninhas resistentes foram arrancadas posteriormente. Já a aplicação de inseticidas e fungicidas foi baseada nas recomendações do MIP (Manejo integrado de pragas) e MID (Manejo integrado de doenças).

No segundo ano do trabalho, na segunda quinzena do mês de setembro implantou-se a cultura do milho, que assim como a soja foi estabelecido em um espaçamento de 45 cm. Utilizou-se o híbrido AG 8780 VT Pro3 com uma população de 73 mil plantas por hectare, trabalhando com 3,3 plantas por metro linear. Após a emergência e estabelecimento das plantas foi realizada a aplicação de cloreto de potássio a lanço na dose de 80 kg ha⁻¹ de K₂O, garantindo a manutenção dos níveis de potássio no solo. O controle das plantas espontâneas foi realizado quimicamente através da aplicação de herbicida do grupo químico das triazinas, seletivo à cultura do milho.

O fornecimento de nitrogênio para a cultura foi realizado através da aplicação de uréia que possui 46% de nitrogênio na sua composição. Utilizou-se uma dose de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio para suprir a demanda da cultura, totalizando 327 kg ha⁻¹ de uréia. Este valor foi convertido para área de 25 m² chegando a uma quantidade de 817 gramas do fertilizante nitrogenado por parcela, que foi distribuída a lanço no experimento.

4.3 Variáveis analisadas

4.3.1 Produção de matéria seca das plantas de cobertura

A avaliação da matéria seca das plantas de cobertura foi realizada em ambos os anos na fase de pleno florescimento da cultura, pois é o estágio de desenvolvimento que a planta converte toda sua energia para produção de massa verde. A partir deste momento a planta entra em fase reprodutiva e os fotoassimilados serão direcionados para a produção de sementes e a curva de acúmulo de biomassa tende a cair. Esta fase fica compreendida no final do mês de agosto e início do mês de setembro.

Realizou-se a amostragem com o auxílio de um quadro de 0,4 x 0,6 m totalizando 0,24 metros quadrados. O quadro foi colocado em um local representativo da unidade experimental e realizado o corte das plantas próximo ao solo, este processo foi realizado uma vez em cada parcela gerando 63 amostras, pois nove parcelas permanecem em pousio durante o inverno. Após o corte as plantas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, e levados à uma estufa para secagem do material a temperatura de 55°C.

Após permanecer 72 horas na estufa, realizou-se a retirada e pesagem do material em uma balança semi-analítica, para estimar a produção de massa seca (MS) por hectare através da extrapolação dos dados.

4.3.2 Componentes de rendimento das culturas de verão e análise estatística

A determinação dos componentes de rendimento da soja foi realizada pela amostragem de cada parcela através do corte de 6 metros lineares de plantas divididos em 2 linhas centrais representativas da parcela, totalizando uma área de 2,7 m². Estas plantas foram acondicionadas em feixes unidas por um fitilho devidamente identificados e transportadas até os laboratórios da universidade.

Posteriormente realizou-se a debulha das plantas, pesagem dos grãos de cada parcela para verificar a produtividade da mesma e aferição de umidade do grão com um medidor eletrônico do tipo caneco, para permitir o ajuste da produtividade da parcela a um teor de umidade de 13%.

Em relação a cultura do milho a avaliação foi realizada através da coleta das espigas presentes em 8 metros lineares, divididos em duas linhas centrais e representativas da parcela. O acondicionamento foi feito em bolsas para então proceder com o transporte das mesmas até o laboratório da universidade. Foram

escolhidas 3 espigas por unidade amostral para determinação dos componentes de rendimento que são: número de fileiras, número de grãos por fileira, e massa de mil grão. Posteriormente o procedimento adotado foi o mesmo da cultura da soja, pois realizou-se a debulha das amostras, pesagem e aferição da umidade do material para padronizar a produção à uma umidade de 13 %.

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 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 utilizou-se o SigmaPlot 12.5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de matéria seca das plantas de cobertura de inverno dos anos de 2019 e 2020 estão representados na figura 3. Como pode-se perceber o tratamento com uso de FN foi o que proporcionou a maior produção de MS das plantas de coberturas, considerando que em todas as espécies a média de produção foi maior no primeiro ano, e no segundo ano apenas o centeio não se enquadrou neste padrão de resposta. Ao analisar estatisticamente os dados produtivos, pode-se perceber que no ano de 2019 apenas a ervilhaca e a aveia preta não diferiram a produção de MS com FN comparado ao uso do fertilizante solúvel, as demais espécies de plantas de cobertura tiveram superioridade produtiva com o uso de FN.

Já no ano de 2020 a ervilhaca e a aveia preta novamente não diferiram estatisticamente os resultados produtivos com uso de FN em comparação ao SFS, porém o azevém e o centeio também se enquadraram nesta situação, afinal não houve diferença significativa para esta variável. Partindo deste pressuposto pode-se dizer que dentre as plantas de cobertura estudadas no trabalho, a ervilhaca apresentou a menor resposta do efeito residual entre o FN e o SFS, enquanto o tremoço, nabo e mix de plantas são as espécies que apresentaram diferenças significativas em ambos os anos, com superioridade produtiva no uso de FN.

As maiores produções de massa seca com uso de FN em detrimento ao SFS podem ocorrer pelo fato de que a utilização de fontes de fósforo com alta solubilidade não deve ser feita em solos com alta capacidade de fixação de P e ácidos, pois a rápida disponibilização do nutriente faz com que a planta não o absorva nas mesmas proporções e ele acabe sendo retido nos colóides do solo. Portanto acredita-se que as diferenças obtidas entre as fontes fosfatadas estejam relacionadas e este fator, pois apesar de ter acidez corrigida, o solo do experimento possui altos teores de argila e óxidos e acaba sendo propício à fixação do P aplicado (GARCIA, 2014).

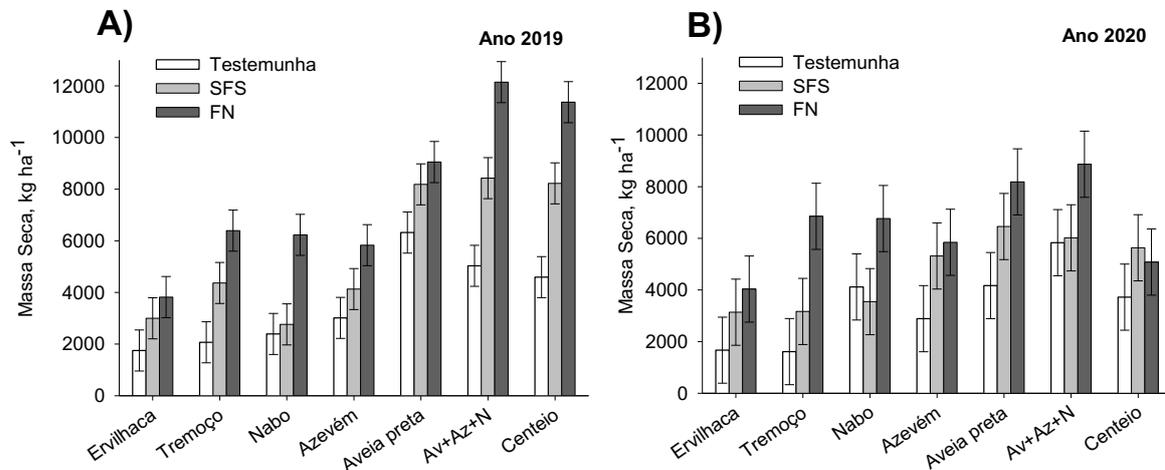
Analisando a produção de massa seca sob efeito residual das fontes de P comparativamente ao tratamento controle pode-se perceber que no ano de 2019 todas as plantas de cobertura tiveram maior produção de MS sob efeito residual de FN em detrimento a ausência de P, enquanto que com uso de SFS, diferiram da testemunha apenas o tremoço, aveia preta, mix de plantas e o centeio. Já no ano de 2020 as plantas de cobertura que tiveram superioridade produtiva com uso de FN em comparação a ausência de P foram o tremoço, aveia preta e o mix, enquanto as demais plantas tiveram equivalência produtiva na análise estatística, apesar de terem

medias produtivas superiores para o FN. Neste mesmo ano pode-se observar que, em nenhuma das espécies houve diferença produtiva entre o SFS e a testemunha, mostrando que foi um ano onde com menos variações produtivas entre as fontes de P e a testemunha comparativamente ao ano anterior, sendo que este resultado pode estar relacionado a depleção de P no solo devido a extração sem a devida reposição do nutriente.

Com relação a produtividade de biomassa entre as espécies de plantas, houve um destaque para o mix de plantas, sendo a planta de cobertura com maior média absoluta com o uso de FN e SFS no ano de 2019 e com FN e ausência de P no ano de 2020. Em contraponto a isto, observa-se que a ervilhaca de forma geral, foi a espécie que teve menor aporte de biomassa em ambos os anos para as diferentes fontes de adubação. Nos tratamentos com ausência de aplicação de P desde 2009 diferiram significativamente os tratamentos com aveia preta, mix de plantas e o centeio no ano de 2019, enquanto no ano de 2020 apenas o mix de plantas mostrou-se superior nesta comparação, demonstrando a capacidade destas espécies produzir biomassa mesmo em baixos níveis de P no solo.

Com o uso de SFS no ano de 2019 houve um padrão de resposta semelhante à ausência de P, visto que a aveia preta, o mix e o centeio tiveram superioridade produtiva. Já no ano de 2020 o centeio teve uma produção de biomassa menor e deixou de estar entre os mais produtivos com uso de SFS, ficando apenas a aveia preta e o mix de plantas nesta categoria.

Figura 3: Produção de massa seca das plantas de coberturas sob efeito das fontes de P e ausência de aplicação, nos anos de 2019 (A) e 2020 (B) - Tratamento com centeio foi precedido pelo trevo branco até o ano de 2013 enquanto que o mix foi precedido por aveia preta até o ano de 2019.



Fonte: Autoria própria (2021).

Durante o verão dos anos avaliados houve o cultivo de soja e milho, respectivamente, e os rendimentos de grão destas culturas podem ser visualizados na figura 4. Como pode-se perceber, as fontes de P não se diferem entre si no rendimento de grãos da cultura da soja, porém a ausência de aplicação do nutriente fez com que a produtividade da cultura diferisse estatisticamente em todos os tratamentos, comparativamente aos que tiveram aplicação de P, indiferente da fonte fosfatada. Já para a cultura do milho houve diferentes respostas produtivas de acordo com a fonte fosfatada aplicada. O uso do FN gerou produtividades superiores de milho em relação ao SFS quando o cultivo foi realizado sob a ervilhaca, o nabo e o mix de plantas, enquanto nas demais espécies hibernais as duas fontes de P foram equivalentes. Já a produtividade da cultura na ausência de P foi menor em todos os tratamentos, evidenciando a importância deste nutriente para alcançar boas produtividades, tanto da soja, quanto do milho.

O fósforo é um elemento que desempenha funções essenciais na planta, atuando na respiração, na transferência de energia entre as células dos tecidos vegetais e também na fotossíntese. Este elemento também está presente na estrutura dos ácidos nucleicos de vários cromossomos, genes, coenzimas e outros elementos das plantas, tornando-o indispensável para um bom desempenho produtivo do vegetal, gerando reduções no desenvolvimento principalmente nas fases iniciais, que não são compensadas no decorrer do ciclo da cultura. Sendo assim, esses fatores estão relacionados aos resultados produtivos obtidos das culturas de verão sob

ausência de aplicação de P, pois o crescimento e desenvolvimento da planta fica limitado ao teor deste elemento disponível no solo (GRANT *et al.*, 2001).

Em um trabalho realizado por Resende (2004), sobre diferentes fontes e modos de aplicação de P na cultura do milho foi verificado que nos dois primeiros anos de cultivo as fontes solúveis geraram produções maiores, porém a partir do terceiro ano de estudo os fosfatos naturais passaram a gerar desempenhos produtivos melhores comparativamente as fontes solúveis. Os resultados obtidos são semelhantes pois o milho foi implantado no quinto ano de exploração do efeito residual das fontes de P, e o que se percebe são respostas produtivas melhores para o uso de FN em alguns tratamentos, enquanto que o SFS não foi superior em nenhum deles.

Em avaliações realizadas neste mesmo experimento com as culturas de soja e milho após 1, 2 e 3 anos explorando o efeito residual das aplicações de fósforo, verificou-se que neste período o FN já alcançava a mesma eficiência técnica que o SFS, onde os autores evidenciam a viabilidade técnica desta modalidade de adubação (ARTUSO, 2018; STUANY, 2019). Isto mostra que o FN tende a sustentar a produtividade das culturas por um período mais longo quando comparado ao SFS, visto que nos primeiros anos explorando o efeito residual ele apresentava resultados similares a fonte solúvel e atualmente o que se percebe são respostas superiores para alguns tratamentos.

Estudos realizados comprovam que a deficiência de P nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura do milho reduz o crescimento da planta, pois este nutriente está relacionado a obtenção de carbono. Sendo assim com a restrição de P ocorre redução na emissão e crescimento foliar, principalmente das folhas baixas. Com essa redução de área foliar ocorre menos captação de energia luminosa para fotossíntese, e conseqüentemente menos carboidratos produzidos pela planta o que restringe a emergência de raízes nodais, que comprometem a capacidade de absorção de P pela planta (GRANT *et al.*, 2001). Isso tudo faz com que o rendimento de grãos seja inferior quanto existem limitações nos níveis deste nutriente, como pode ser observado na figura 3.

Ao analisar os dados em função da espécie de planta de cobertura utilizada no inverno, pode-se perceber que sob efeito residual das fontes de P a cultura da soja teve o menor rendimento de grãos sob a aveia preta, enquanto que as demais espécies de plantas de cobertura geraram produtividades equivalentes. Outro parâmetro que pode ser discutido é com relação a capacidade de solubilização de P

pelas plantas de cobertura nos tratamentos com ausência de aplicação deste superioridade produtiva nos tratamentos com azevém, aveia preta e mix de plantas, sendo que as demais espécies geraram produtividades estatisticamente menores, podendo dar ênfase ao pousio que obteve a menor média produtiva dentre os tratamentos.

Como pode-se perceber algumas das espécies de plantas de cobertura que geraram os maiores rendimentos na cultura da soja, foram as que tiveram as maiores produtividades de MS no período do inverno, como é o caso da aveia preta e do mix. Esta sincronia de produção entre a cultura hibernal e estival pode estar relacionada a maior solubilização e incorporação de P nos tecidos da planta de cobertura que teve um maior aporte de biomassa, e no período do verão o material foi mineralizado e o P disponibilizado para a cultura estival que gerou maiores rendimentos. De acordo com Rosolem *et al.*, (2003) os resíduos culturais presentes na superfície do solo são importante reserva de nutrientes, logo, a quantidade de resíduos presentes em uma determinada área é diretamente proporcional ao teor de nutriente existente neste mesmo local, podendo elevar as reservas de P no solo ao longo dos anos e desencadear as respostas obtidas no experimento.

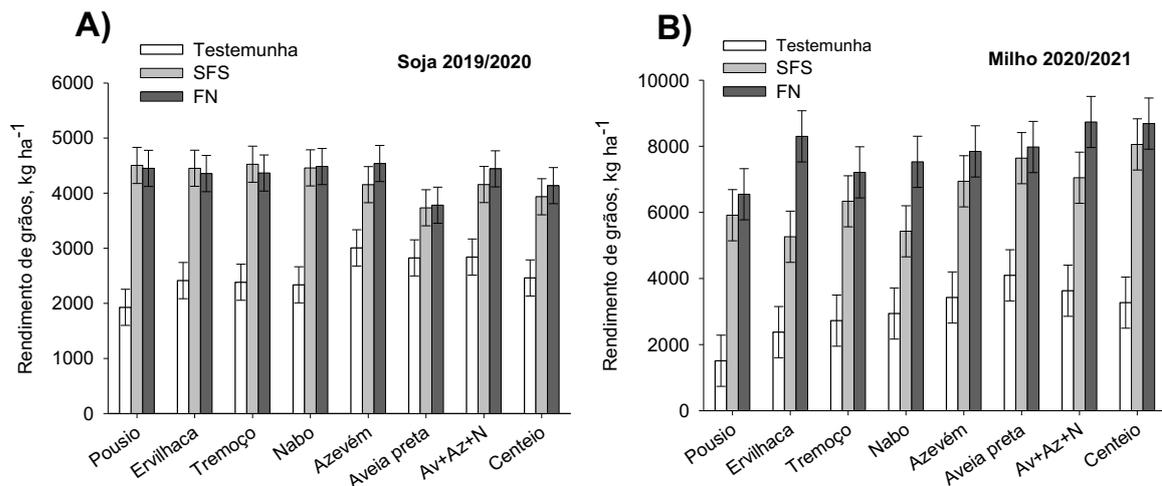
Na cultura do milho pode-se observar que sob efeito residual de FN houve uma superioridade produtiva para os tratamentos com ervilhaca, mix e centeio, enquanto que sob efeito residual do fosfato solúvel e na ausência de aplicação de P as espécies que geraram maiores produtividades ao milho foram o nabo, a aveia preta, o mix e o centeio. Como pode-se perceber o rendimento de grãos das culturas estivais de acordo com as espécies de plantas de cobertura segue um padrão de resposta semelhante, sendo que a presença das gramíneas e do mix de plantas nos tratamentos com ausência de P vem gerando melhores resultados produtivos em ambas as culturas, indicando uma melhor solubilização de P destas espécies.

Segundo Barradas (2010) as gramíneas são espécies de plantas capazes de acumular uma grande quantidade de biomassa, mesmo em áreas de baixa fertilidade. Além disso a alta relação C/N favorece a manutenção da palha na superfície, funcionando como um agente protetivo para a química, física e biologia do solo. Por vezes a quantidade elevada de palha na superfície proporcionado pelas gramíneas, tem conseguido ciclar uma quantidade maior de P que está fixado no solo.

Em consonância ao que foi citado, é possível observar que nos tratamentos que ficaram em pousio durante o inverno tiveram as menores medias produtivas na

ausência de aplicação de P, tanto na cultura da soja quanto na cultura do milho. Isso pode ser uma resposta a ausência da ciclagem de P durante o inverno, sendo um limitante ainda maior para o rendimento da cultura estival quando comparado aos tratamentos que tiveram plantas de cobertura no inverno.

Figura 4: Rendimento de grãos das culturas de soja (A) e milho (B) sob efeito de diferentes fontes de adubação fosfatada e plantas de cobertura - Tratamento com centeio foi precedido pelo trevo branco até o ano de 2013 enquanto que o mix foi precedido por aveia preta até o ano de 2019.



Fonte: Autoria própria (2021).

A massa de mil grãos das culturas de soja e milho podem ser visualizadas na figura 5. Como pode-se perceber houve poucas variações neste componente de rendimento para a cultura da soja, sendo que apenas nos tratamentos com nabo e mix houve diferença significativa entre as fontes de P, com superioridade para o FN. Para o fator plantas de cobertura também não existem variações grandes para este caráter. Estas pequenas variações entre o uso de fontes de fósforo ou a ausência delas na massa de mil grãos do soja, pode ser explicado pelo fato de ser uma característica com grande influência genética do material utilizado, sendo que a menor produtividade da cultura nas parcelas com ausência de aplicação de P possivelmente foi determinada pelo menor número de grãos por planta e não pela redução da massa dos mesmos.

Já para a cultura do milho ocorreram distinções maiores, havendo diferença significativa entre as fontes de P nos tratamentos com a presença do nabo e da ervilhaca. Além disso, todos os tratamentos com ausência de aplicação de P tiveram massa de mil grãos estatisticamente menor que os tratamento onde usou-se as fontes fosfatadas, indiferente da solubilidade.

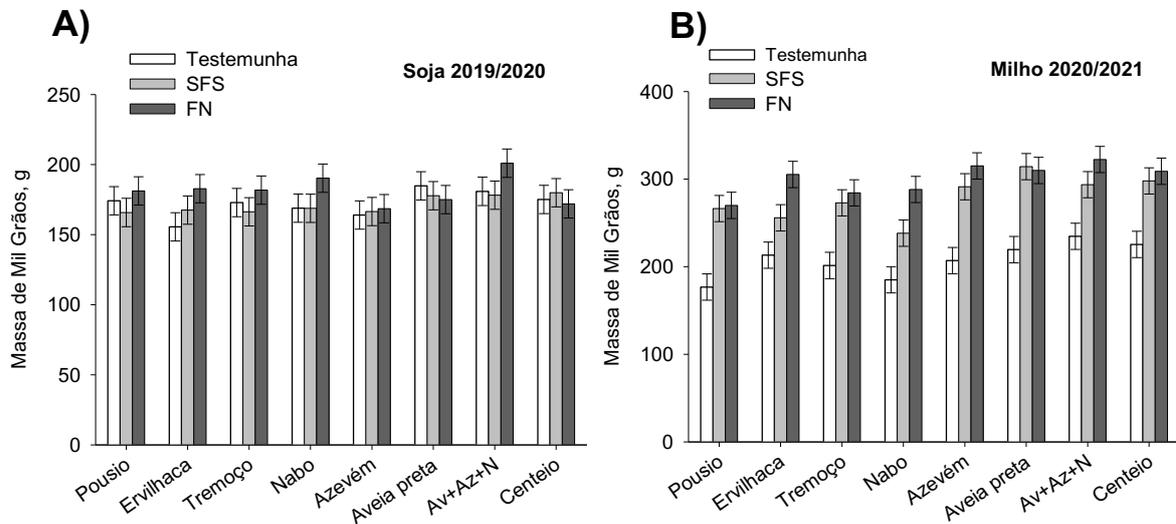
Como pode-se perceber dentre as espécies de plantas de cobertura que geraram melhores resultados de rendimento de grãos e massa de mil grãos na cultura do milho, está a ervilhaca e o nabo forrageiro. É válido ressaltar que nestes casos o nitrogênio oriundo da fixação biológica da ervilhaca e ciclagem deste nutriente pelo nabo, podem estar gerando influências, e apesar do milho receber uma adubação de ureia igual em todas as parcelas, este nitrogênio “extra” que ocorre de forma natural em alguns tratamentos pode ter algumas influências indesejáveis nas respostas do experimento, afinal busca-se respostas relacionadas ao P.

O fósforo é um macronutriente que desempenha papel fundamental na cultura do milho, atuando na formação de raízes, fornecendo resistência mecânica ao caule, melhora a digestibilidade do milho forragem, influencia positivamente na floração, fecundação, formação e maturação dos grãos, sendo que cerca de 77 a 86% do fósforo é translocado para o grão (ÉVORA, 2014), por estes motivos a restrição do P no solo afeta diretamente a massa de mil grãos da cultura.

Dentre as espécies de plantas de cobertura estudadas, a ervilhaca, aveia preta, mix e centeio tiveram superioridade na massa de mil grãos da cultura do milho sob ausência de adubação fosfatada. Nos tratamentos onde utilizou-se o FN estas mesmas espécies de plantas de cobertura tiveram superioridade, juntamente com o azevém. E com a utilização da fonte de P solúvel destaca-se as melhores respostas para este caráter com o uso de azevém, aveia preta, mix e centeio.

Como já mencionado para o rendimento de grãos das culturas, na massa de mil grãos do milho novamente há um destaque para as gramíneas e o mix, que são as plantas que mais se repetem demonstrando superioridade nos resultados. Além disso, o tratamento de pousio também foi o que gerou a menor média para este caráter, tanto na ausência de P como no uso de FN, seguindo o mesmo raciocínio anterior.

Figura 5: Massa de mil grãos das culturas de soja (A) e milho (B) sob efeito de diferentes fontes de adubação fosfatada e plantas de cobertura - Tratamento com centeio foi precedido pelo trevo branco até o ano de 2013 enquanto que o mix foi precedido por aveia preta até o ano de 2019.



Fonte: Autoria própria (2021).

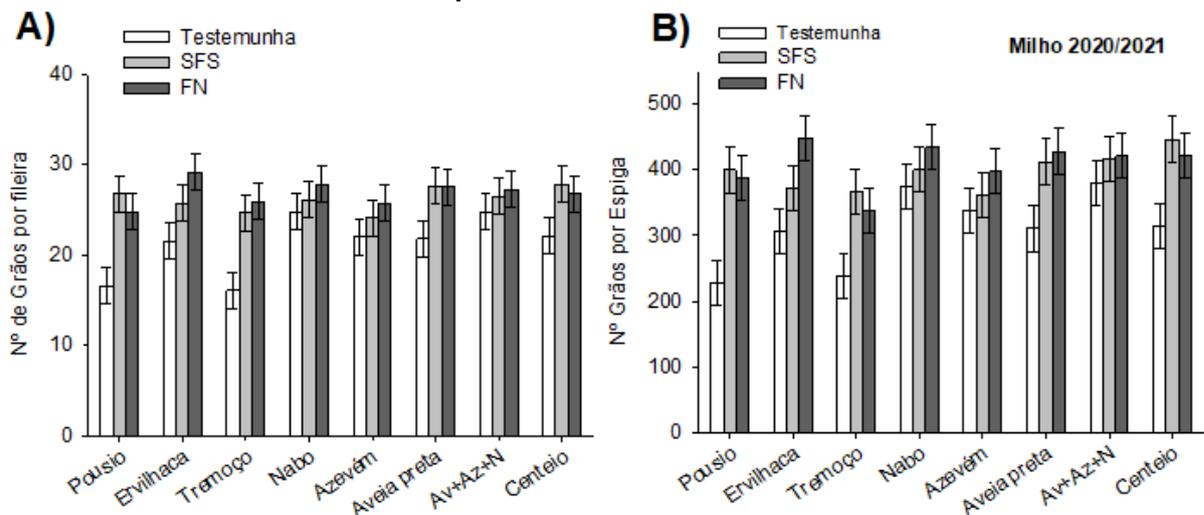
Na figura 6 é possível observar o número de grãos por fileira (A) e número de grãos por espiga (B) da cultura do milho implantada no experimento. Em ambos os casos houve interação entre os fatores plantas de cobertura e fontes de fósforo, sendo que para o número de grãos por fileira não houve diferença entre as fontes de P, porém os tratamentos sem fósforo tiveram resultados inferiores, havendo diferença significativa nos tratamentos com ervilhaca, tremoço, aveia preta, centeio e pousio. Para esta mesma característica é possível observar que na ausência de P os tratamentos com tremoço e em pousio tiveram os piores resultados, diferindo dos demais e sendo estatisticamente iguais. Com uso de FN o tratamento do pousio foi o que apresentou a menor média produtiva desta característica enquanto que o tratamento com ervilhaca se sobressaiu, porém não diferiu estatisticamente.

O número de grãos por fileira também teve interação entre os fatores plantas de cobertura e fontes de fósforo, havendo superioridade do FN em relação ao SFS apenas no tratamento com ervilhaca, sendo que os demais foram estatisticamente iguais entre as fontes de P. Para os tratamentos com ausência de aplicação de P, houve uma quantidade de grãos por espiga estatisticamente menor que ambas as fontes fosfatadas, naqueles que tiveram o cultivo de tremoço, aveia preta, centeio e no pousio, enquanto que com o cultivo de ervilhaca houve diferença significativa apenas para o fosfato natural e os demais não apresentaram diferenças entre as fontes e a ausência de P.

Dentre as plantas de cobertura, o tremoço foi o que teve o pior desempenho sem a aplicação de P, com resultado estatisticamente igual ao do pousio. Por outro lado, pode-se citar o mix de plantas e o nabo como sendo as espécies que tiveram o melhor desempenho, igualando-se estatisticamente ao centeio, e o azevém.

A partir destes dados apresentados é possível perceber influências dos tratamentos tanto no número de grãos por fileira quanto no número de grãos por espiga, e possivelmente isto esteja relacionado aos teores de P no solo, atuando como limitante destes componentes de rendimento, sendo compatível ao que Diogenes (2015) afirmou, que a deficiência de P ocasiona a formação de espigas defeituosas, tortas e com falhas nas fileiras de grãos, além de poder atrasar a maturação.

Figura 6: Componentes de rendimento da cultura do milho, safra 2020/2021, sob efeito de diferentes fontes de adubação fosfatada e plantas de cobertura - Tratamento com centeio foi precedido pelo trevo branco até o ano de 2013 enquanto que o mix foi precedido por aveia preta até o ano de 2019.



Fonte: Autoria própria (2021).

6 CONCLUSÃO

Fontes solúveis de P geram um menor efeito residual a médio e longo prazo, e o FN tem as melhores respostas nestas condições gerando altas produtividades tanto de milho quanto de soja, evidenciando que o agricultor pode fazer o uso deste efeito residual em anos que a adubação fosfatada esteja com preços elevados.

Com relação às plantas de cobertura destaca-se que o uso de espécies gramíneas de forma geral, apresentando os melhores efeitos para elevar o rendimento das culturas de verão principalmente quando comparada às demais espécies na ausência de adubação fosfatada, e que estas espécies são as que geram maiores produtividades de biomassa no inverno.

A prática do pousio durante o inverno em lavouras com baixos teores de fósforo gera os menores resultados produtivos na cultura de verão, enquanto que as maiores produtividades de massa seca das plantas de cobertura proporcionaram melhores produções nas culturas estivais, evidenciando que o uso de plantas de cobertura nas entressafras é uma prática essencial principalmente em solos com baixos teores de P, para solubiliza-lo de frações menos lábeis.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, F. C. *et al.* Cultivo de plantas de cobertura na produção de biomassa de plantas daninhas. **XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, [S. l.], ago. 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201518/1/CNPAF-2019-cbai-asn2.pdf>. Acesso em: 21 set. 2020.
- ARTUSO, V. A. **Produtividade da soja sob efeito residual de fontes de fósforo e plantas de cobertura de ciclo hibernal**. Orientador: Laércio Ricardo Sartor. 2018. 35f. TCC (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018.
- BAIER, A.C. **Centeio**. Passo Fundo: EMBRAPA CNPT, 1994. 29p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 15). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164511/1/FL-06193.pdf>> Acesso em: 17 set. 2020.
- BARRADAS, C. A. de. **Manual técnico adubação verde**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 10 p. Acesso em 06 nov. 2021. Disponível em <http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/manual25.pdf>
- CARGNELUTTI FILHO, A. *et al.* Relações lineares entre caracteres de aveia preta. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 6, pág. 985-992, junho de 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000600985&lng=en&nrm=iso>. acesso em 16 de set. de 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140500> .
- CARMO, M.; TORRENT, J.; **Dinâmica do Fósforo no Solo: Perspectiva Agrônômica e Ambiental**. Castelo Branco – Portugal: Edições IPCB, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1871/1/Dinamica_do_fosfora_no_solo_final.pdf> Acesso em: 28 set. 2020.
- CREMONEZ, P. A. *et al.* Tremoço: Manejo e Aplicações. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, p. 98- 108, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314104792_Tremoco_Manejo_e_Aplicacoes. Acesso em: 17 set. 2020.
- DIOGENES, H. C. **Fontes e doses de fósforo no cultivo de milho em condições de terra firme em Manaus – AM**. Tese (Doutorado) – Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas, 2015. 114 p. Acesso em 02 nov. 2021. Disponível em <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/4678/2/Tese%20%20Haroldo%20Cunha%20Di%3%b3genes.pdf>
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília - DF: 2013. 353 p. ISBN 978-85-7035-198-2.

FIXEN, P. E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. **Informações agrônômicas**, [s. l.], n. 126, junho 2009. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~nutricao/deplantas/reservas.pdf>. Acesso em: 1 set. 2020.

GILBERT G. A.; KNIGHT J.D.; VANCE C. P.; ALLAN D. L.; Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots. **Plant Cell Environ.** 1999. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-3040.1999.00441.x>> Acesso em: 16 set. 2020.

GRANT, C.A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C.; **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial ad planta.** Potafos. Informações agrônômicas. N° 95. Piracicaba – SP, Set. 2001. Acesso em 31 out. 2021. Disponível em [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C.; Palha. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Org.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde.** Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. p.37- 49. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistema_plantiodireto.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

HORST, W. J.; KAHM, M.; JIBRIN, J. M.; CHUDE, V. O. Agronomic measures for increasing P availability to crops. **Plant and Soil.** Dordrecht, v. 237, p. 211-223, 2001.

HUYGHE, C. White lupin (*Lupinus albus* L.). **Field Crops Research**, v.53, p.147-160, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429097000282>>. Acesso em: 17 set. 2020.

KEERTHISINGHE, G.; HOCKING, P.J.; RYAN, P.R.; DELHAIZE, E. Effect of phosphorus supply on the formation and function of proteoid roots of white lupin (*Lupinus albus* L.) **Plant, Cell and Environment**, v.21, p.467-478, 1997. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-3040.1998.00300.x>> Acesso em: 16 set. 2020.

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil.** Viçosa, 1995. 181p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: De nutriente à poluente!. **Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1713- 1721, 1 set. 2012. DOI <http://dx.doi.org/10.5902/223611706430>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6430/pdf>. Acesso em: 2 nov. 2020.

MELGAR, R. J.; SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A.; CRAVO, M. S. Fertilizer nitrogen movement in a Central Amazon Oxizol and Entisol cropped to corn. **Fertilizer Research**, v.31, n.2, 1992.

ORTIZ, S. *et al.* Densidade de semeadura de duas espécies de ervilhaca sobre caracteres agrônômicos e composição bromatológica. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 245-251, Fev. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000200245&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 Set. 2020.

PANTANO, G. *et al.* Sustentabilidade no uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Quim. Nova**, São Carlos - SP, v. 39, n. 6, p. 732 - 740, maio 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v39n6/0100-4042-qn-39-06-0732.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

PASSOS, A. M. A.; MARCOLAN, A. L. **Sistema Plantio Direto: plantas de cobertura**. Embrapa, Porto Velho, RO, ago. 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126122/1/folder-plantiodireto.pdf>. Acesso em: 15 set. 2020.

QUISPE, J. F. S. **Eficiência agrônômica de fosfatos com solubilidade variável em água em solos distintos quanto a capacidade de fixação de fósforo**. Orientador: Luís Ignácio Prochnow. 2004. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba- SP, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-14122004-112159/publico/jack.pdf>. Acesso em: 9 set. 2020.

RESENDE, A. V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado**. Tese (Doutorado) – Agronomia, Lavras: UFLA, 2004. 169p. Acesso em 01 nov. 2021. Disponível em <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/568042/1/resende01.pdf>

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.355-362, 2003.

SILVA, A. A. *et al.* 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, ago. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v37n4/a02v37n4.pdf>. Acesso em: 17 set. 2020.

SOLTANGHEISI, A. *et al.* Changes in soil phosphorus lability promoted by phosphate sources and cover crops. **Soil and Tillage Research**. V. 179, n. 1, p. 20 – 28, 2018. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718300084?via%3Dihub> Acesso em 07 dez. 2021

SOUSA, D. M. G.; THOMAZ A. R.; WENCESLAU, J. G.; LOBATO, E.; NUNES, R. S.; **Fósforo**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: IPNI – Brasil, v. 2, 2010, p.67-132.

STEWART, W. M.; HAMMOND, L. L.; VanKAUWENBERGH, S. J. Phosphorus as a natural resource. In: **Phosphorus: agriculture and the environment**. Madison: ASA-

CSS A-SSSS, 2005. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr46.c1>>. Acesso em 08 ago. 2020.

STUANY, B. A. J. **Produtividade do milho sob efeito residual da aplicação de fontes de adubação fosfatada e plantas de cobertura de inverno**. Orientador: Laércio Ricardo Sartor. 2019. 31f. TCC (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019.

TELES, A. P. B. **Influência de plantas de cobertura e fertilizantes fosfatados nas frações de fósforo e nos atributos químicos do solo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. doi:10.11606/D.11.2014.tde-12082014-102711. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-12082014-102711/pt-br.php> Acesso em: 2021-12-07.

TENEDINI, J. T.; FELDMANN, N. A. **Utilização de coberturas de inverno na supressão de azevém resistente ao Glyphosate**. 2º Simpósio de Agronomia e Tecnologia em Alimentos, [S. l.], nov. 2015. Disponível em: <http://faifaculdades.edu.br/eventos/AGROTEC/1AGROTEC/>. Acesso em: 21 set. 2020.

THOMAZI, M. D. **Fixação de fosfato por solos do município de Piracicaba**. Piracicaba, 1988. 67p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

UHLEIN, A.; MARQUES, C. S. S.; UHLEIN, G. J. Fertilizantes provenientes de depósitos sedimentares de fosfato e de potássio pré-cambrianos. **Recursos Minerais de Minas Gerais**, [s. l.], entre 2018 e 2020. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Fertilizantes.pdf>. Acesso em: 8 set. 2020.

UNIVERSIDADE DE ÉVORA, A cultura do milho, Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuárias, Tecnologia do Solo e das Culturas, Noções Básicas de Agricultura e Fundamentos de Agricultura Geral. Évora, 2014. Disponível em <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>> acesso em 02 nov. 2021.

WATT, M.; EVANS, J. R. **Proteoid roots physiology and development**. Plant Physiology, v.121, p.317-323, 1999. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/121/2/317.full.pdf+html>> Acesso em: 16 set. 2020.

ZAPATA, F.; ROY, R. N. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. **Fertilizer and plant nutrition**. FAO, Rome, v. 13, 2004. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y5053e/y5053e00.htm#Contents>. Acesso em: 8 set. 2020.