

EFEITO DA ADUBAÇÃO VERDE NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DE FOSFATOS, NUMA SUCESSÃO DE CULTURAS, EM SOLO DE CERRADO⁽¹⁾

J.C.A.J. de MAGALHÃES⁽²⁾, R.F. VIEIRA⁽³⁾, J. PEREIRA⁽²⁾
& J.R.R. PERES⁽²⁾

RESUMO

Efetuu-se um ensaio em casa de vegetação, num latossolo vermelho-amarelo de cerrado, com os adubos verdes mucuna-preta [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Merrill)], crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench). Os objetivos do trabalho foram: (a) comparar a eficiência desses adubos na utilização de fósforo proveniente de fosfatos naturais; (b) avaliar o efeito dos adubos verdes incorporados ao solo, na disponibilidade de fosfatos para culturas anuais, numa sucessão de cultivos, e (c) na redução da capacidade de adsorção de fósforo do solo. Utilizaram-se, como fontes de fósforo, o fosfato-de-patos-de-minas, na concentração de 150 ppm de P, e o superfosfato triplo, na concentração de 50 ppm de P. Os tratamentos, em número de 19, foram dispostos em blocos casualizados com três repetições e consistiram em combinações dos fertilizantes fosfatados com diferentes manejos dos adubos verdes (material seco, incorporado ou não ao solo). Avaliou-se o efeito desses tratamentos nos cultivos subseqüentes da soja [*Glycine max* (L.) Merrill)]; cv. Savana, e do trigo (*Triticum aestivum* L.), cv. BR-12, Aruanã. As principais conclusões foram as seguintes: os efeitos dos tratamentos com crotalária incorporada ao solo (parte aérea) foram superiores aos correspondentes com mucuna-preta e trigo-sarraceno incorporados, no desempenho da soja, independente do fertilizante adicionado ao solo; para o trigo, o melhor tratamento foi aquele com fosfato-de-patos-de-minas e trigo-sarraceno incorporado; os tratamentos com esse fosfato e com o superfosfato triplo foram equivalentes, no desempenho da soja, quando se incorporou ao solo a matéria seca da crotalária. Para a mucuna-preta, houve superioridade do efeito do tratamento com superfosfato triplo; confirmou-se a grande habilidade do trigo-sarraceno em extrair nutrientes do solo, que se mostrou benéfica para a cultura do trigo, embora desfavorável para a soja; não houve efeito do material incorporado da mucuna-preta na redução da capacidade de adsorção de fósforo do solo.

Termos de indexação: trigo-sarraceno, mucuna-preta, crotalária, soja, trigo, fosfato natural.

SUMMARY: *EFFICIENCY OF GREEN MANURING ON THE AVAILABILITY OF PHOSPHORUS FROM PHOSPHATES IN A CROP SEQUENCE, ON A SOIL UNDER "CERRADO" VEGETATION*

*A greenhouse experiment was carried out on a Red Yellow Latosol (Typic Acrustox) under "Cerrado" vegetation, cultivated with the green manures "mucuna" [*Mucuna aterrima* (Piper and*

⁽¹⁾ Resumo apresentado na XVIII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, em Guarapari (ES), em 23-28 de outubro de 1988. Recebido para publicação em setembro de 1990 e aprovado em dezembro de 1991.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, EMBRAPA-CPAC, Caixa Postal 08223, CEP 73301 Planaltina (DF).

⁽³⁾ Engenheira-Agrônoma, EMBRAPA-CPAC. CEP 73301 Planaltina (DF).

Tracy) Merrill)], "crotalária" (*Crotalaria juncea* L.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). The aims of this work were: to compare the efficiency of the green manures on the utilization of phosphorus from the rock phosphate; to evaluate the effect of the green manures incorporated into the soil, on the availability of phosphates for annual crops, in a crop sequence and to evaluate their effects on the reduction of soil phosphorus adsorption capacity. Rock phosphate "patos-de-minas" and triple superphosphate were used as sources of phosphorus, at the concentrations of 150 ppm and 50 ppm of P, respectively. There were 19 treatments arranged in a randomized complete block design with 3 replications. The treatments consisted of several combinations of the phosphate fertilizers with different managements of the green manures (dry material, incorporated or not into the soil). Their effects were evaluated by the dry matter production of the succeeding crops of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], cv. Savana and wheat (*Triticum aestivum* L.), cv. BR-12, Aruanã. The main conclusions of this work were: the treatments with the top dry matter of crotalaria incorporated into the soil were better than the treatments with "mucuna" and buckwheat on the performance of soybean, independent of the fertilizer added to the soil; for wheat, the best treatment was that which received rock phosphate and on which the top dry matter of buckwheat was incorporated; the treatments with rock phosphate and triple superphosphate were equivalent to the performance of soybean, when the top dry matter of crotalaria was incorporated into the soil; for "mucuna", the triple superphosphate was more efficient than rockphosphate; the ability of buckwheat for taking up nutrients from the soil was confirmed. This fact produced benefits to the wheat, but it was harmful to the soybean crop, the first of the succeeding crops; there was no effect of "mucuna" material incorporated into the soil on the reduction of its phosphorus adsorption capacity.

Index terms: buckwheat, "mucuna", "crotalária", soybean, wheat, rock phosphate.

INTRODUÇÃO

Trabalhos realizados na região dos Cerrados mostraram a baixa eficiência agrônômica dos fosfatos naturais (Goedert & Lobato, 1980). Entretanto, alguns desses fosfatos apresentaram melhor reação em alguns solos de Cerrado, como o latossolo vermelho-amarelo argiloso (Goedert, 1983), o que também foi comprovado por Magalhães (1984). Este autor obteve melhor aproveitamento do fosfato-de-patos-de-minas pelo trigo cultivado nesse tipo de solo, quando comparado ao observado no latossolo vermelho-escuro de cerrado.

Truog (1916) observou que as culturas diferem acentuadamente em sua capacidade de utilização do fósforo proveniente dos fosfatos naturais. Bauer (1921) sugeriu que culturas como o trevo-doce (*Trifolium repens* L.), com grande capacidade de absorver fósforo de fontes menos solúveis, seriam adequadas quando essas fontes fossem adicionadas ao solo, num sistema de rotação com outras culturas de baixa capacidade de utilização de fósforo. Essa característica contribuiria para o fornecimento do nutriente a tais culturas e para a manutenção da matéria orgânica do solo. Fried (1953) verificou que o fósforo dos fosfatos naturais foi mais bem aproveitado pelo trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) e pelas leguminosas, quando comparado às gramíneas.

Raij & Diest (1979), trabalhando com várias culturas, sugeriram que plantas como o trigo-sarraceno, que possuem padrão de absorção alcalina (maior absorção de cátions do que de ânions), deveriam ser pesquisadas, devido a sua eficiente utilização de fosfatos naturais, crescente na agricultura dos países tropicais. Em relação ainda ao trigo-sarraceno, Bekele et al. (1983) constataram sua excepcional capacidade de absorver cálcio e magnésio do solo, mostrando que sua efetiva utilização dos fosfatos naturais seria em virtude dos efeitos combinados do padrão de absorção alcalina (conduzindo a uma acidificação do meio) e da elevada absorção de cálcio, produzindo uma mudança no equilíbrio da lei de ação de

massas, na reação de dissolução dos fosfatos naturais - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 12 \text{H}^+ \rightleftharpoons 10\text{Ca}^{2+} + 6\text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{F}^-$ - segundo Korndörfer (1978).

Aguilar & Diest (1981) mostraram que as leguminosas, quando usam o nitrogênio fixado simbioticamente, revelam um padrão de absorção alcalina, com conseqüente acidificação do meio, propiciando maior mobilização e disponibilidade do fósforo dos fosfatos naturais. Isso foi comprovado por Bekele et al. (1983), que acrescentaram ser essa característica favorável às leguminosas, quando comparadas às gramíneas, em que pese a menor extensão de seu sistema radicular.

No Brasil são poucos os trabalhos orientados nessa linha de pesquisa. Nogueira et al. (1984) estudaram o efeito da adição de matéria orgânica do milho + jacatupé (*Pachyrhizus bulbosus*) cultivados em consórcio, num experimento em casa de vegetação, na solubilização do fosfato natural (apatita-de-araxá). Estudaram também o efeito deste e do gesso na produção do trigo e de um segundo cultivo do milho + jacatupé. Seus resultados mostraram um acréscimo na produção de matéria seca do milho + jacatupé, proporcionado pela adição do fosfato natural e do gesso, o qual mostrou efeito residual positivo, igualmente, na produção de matéria seca do trigo. No terceiro cultivo (milho + jacatupé), houve efeito positivo apenas do fosfato natural. Duque et al. (1984) não verificaram efeito positivo da adubação verde, com mucuna-preta, nos vários parâmetros avaliados para as culturas de milho e amendoim. Todavia, a aplicação de fosfato natural apresentou efeito positivo na porcentagem de fósforo na planta e na produção de grãos de milho.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: (a) comparar a eficiência dos adubos verdes mucuna-preta, crotalária-júncea e trigo-sarraceno, na utilização do fósforo proveniente dos fosfatos naturais; (b) avaliar o efeito desses adubos incorporados ao solo na disponibilidade de fosfatos para culturas anuais, numa sucessão de cultivos, e (c) avaliar seu efeito na redução da capacidade de adsorção de fósforo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação, com amostras de terra tamisadas (2mm de diâmetro) de um latossolo vermelho-amarelo argiloso (LV) de Cerrado coletado na camada arável (0-20cm), com as seguintes características químicas e físicas: pH (H₂O 1:1) = 5,0; matéria orgânica = 3,47%; em meq/100g: Ca²⁺ = 0,28; Ca²⁺ + Mg²⁺ = 0,40; Al³⁺ = 0,54; em ppm: K⁺ = 26; P Mehlich = 1,1; P Bray-1 = 1,4; argila = 65%, silte = 13%, areia fina = 18%, areia grossa = 4%. Foram estabelecidas as seguintes diferentes combinações do fosfato-de-patos-de-minas (na concentração de 150 ppm de P) e do superfosfato triplo (na concentração de 50 ppm de P), com diferentes manejos dos adubos verdes incorporados, a saber: (1) testemunha, sem adição de fosfatos e sem cultivo de adubos verdes; (2) sem adição de fosfatos, com incorporação de adubos verdes; (3) adição de ambos os fertilizantes, sem cultivo de adubos verdes; (4) adição de fosfato-de-patos-de-minas com a parte aérea dos adubos verdes cortada, mas não incorporada; (5) adição de fosfato-de-patos-de-minas ou superfosfato triplo, com incorporação da parte aérea (ambos os fertilizantes), parte aérea + raízes e somente raízes (fosfato-de-patos-de-minas). Os adubos verdes estudados foram mucuna-preta, crotalária-júncea e trigo-sarraceno. Os 19 tratamentos foram dispostos num delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições (Quadro 1).

Após a colheita dos adubos verdes, cultivaram-se a soja e o trigo, em sucessão.

Pesaram-se inicialmente 4kg de terra fina seca ao ar por vaso, adicionando-se uma quantidade de água necessária para se atingir aproximadamente 80% da capacidade total de retenção de água do solo, umidade esta que foi mantida durante todo o ensaio. A seguir, incorporou-se ao solo o fosfato-de-patos-de-minas, nos tratamentos destinados a esta finalidade. O tempo de reação do fertilizante com o solo foi de 30 dias, retirando-se, a seguir, amostras de solo para análise química. O calcário dolomítico (PRNT = 100%) foi aplicado ao solo na quantidade equivalente a 5,4t/ha, necessária para elevar seu pH a 5,5. Na determinação da quantidade de calcário, utilizou-se o método de saturação de bases do solo, visando aumentar este índice para 40%.

A adubação básica consistiu nos nutrientes nitrogênio (apenas nos tratamentos com trigo-sarraceno e naqueles sem semeadura dos adubos verdes), potássio, enxofre e micronutrientes, nas seguintes concentrações e fontes: 100 ppm de N (NH₄NO₃); 100 ppm de K (K₂SO₄ + KCl), 30 ppm de S (K₂SO₄) e 50 ppm de FTE BR-12. Todos os fertilizantes foram usados em sua forma comercial.

Em cada vaso, semearam-se os adubos verdes e, após sua germinação, mantiveram-se, por vaso, quatro plantas de mucuna-preta e crotalária e seis plantas de trigo-sarraceno. As sementes das leguminosas foram inoculadas com *Bradyrhizobium* sp., na dose de 1kg de inoculante para 35kg de semente.

Estas plantas foram colhidas no estágio de florescimento pleno, que ocorreu aos 120, 90 e 60 dias respectivamente, para mucuna-preta, crotalária e trigo-sarraceno.

Foram incorporadas, em 3,3kg de terra, em cada caso, quantidades iguais de matéria seca da parte aérea (9g) e das raízes (1g) dos adubos verdes, conforme os tratamentos (Quadro 1), sendo as raízes removidas dos tratamentos em que não era prevista sua incorporação ao solo. Após o período de decomposição da matéria orgânica incorporada (40 dias), o

Quadro 1. Tratamentos propostos para o ensaio em latossolo vermelho-amarelo argiloso, em casa de vegetação

Adubação fosfatada x Manejo dos adubos verdes
1. Sem fósforo, sem adubo verde incorporado (testemunha).
2. Sem fósforo + parte aérea da mucuna-preta incorporada.
3. Sem fósforo + parte aérea da crotalária incorporada.
4. Sem fósforo + parte aérea do trigo-sarraceno incorporado.
5. Fosfato-de-patos-de-minas + parte aérea da mucuna-preta incorporada.
6. Fosfato-de-patos-de-minas com parte aérea da mucuna-preta removida.
7. Fosfato-de-patos-de-minas + parte aérea da crotalária incorporada.
8. Fosfato-de-patos-de-minas com parte aérea da crotalária removida.
9. Fosfato-de-patos-de-minas + parte aérea do trigo-sarraceno incorporada.
10. Fosfato-de-patos-de-minas com parte aérea do trigo-sarraceno removida.
11. Superfosfato triplo + parte aérea da mucuna-preta incorporada.
12. Superfosfato triplo + parte aérea da crotalária incorporada.
13. Superfosfato triplo + parte aérea do trigo-sarraceno incorporada.
14. Superfosfato triplo, sem adubo verde incorporado.
15. Fosfato-de-patos-de-minas + parte aérea e raízes da mucuna-preta incorporada.
16. Fosfato-de-patos-de-minas + raízes de mucuna-preta incorporada.
17. Fosfato-de-patos-de-minas + parte aérea e raízes da crotalária incorporada.
18. Fosfato-de-patos-de-minas + raízes da crotalária incorporada.
19. Fosfato-de-patos-de-minas, sem adubo verde incorporado.

(1) Os tratamentos relacionados referem-se ao primeiro cultivo (adubos verdes). Cultivaram-se, em sucessão, nos mesmos vasos, a soja e o trigo.

solo foi seco e preparado para a semeadura da soja, retirando-se antes amostras para análise química (pH em água e fósforo extraível pelo extrator Bray-1). Tais amostras foram preparadas após mistura das três repetições, obtendo-se uma amostra simples para cada tratamento.

Em seguida, semeou-se a soja, cv. Savana, deixando-se, após o desbaste, um estande de quatro plantas por vaso. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, na mesma proporção empregada para mucuna-preta e crotalária. Após a colheita da soja, no estágio de florescimento pleno, foram novamente retiradas amostras de solo para análise química.

Para o plantio do trigo, o solo recebeu uma adubação nitrogenada na concentração de 150 ppm de N (25 ppm de N na forma de nitrato de amônio e 125 ppm de N na de sulfato de amônio) e uma adubação potássica (cloreto de potássio), visando elevar o teor de K no solo, em cada tratamento, para 200 ppm de K. Em seguida, semeou-se o trigo, cv. BR-12, -Aruanã, mantendo-se, após o desbaste, seis plantas por vaso. Aos 30 dias após a germinação, efetuou-se uma adubação nitrogenada, em cobertura, na concentração de 50 ppm de N na forma de nitrato de amônio, sendo o trigo colhido também no estágio de florescimento pleno.

Os seguintes parâmetros foram avaliados durante as três fases do experimento: produção de matéria seca, conteúdos de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) da parte aérea e das raízes dos adubos verdes (exceto raízes do trigo-sarraceno, por insuficiência de material) e das partes aéreas da soja e do trigo. Determinou-se, também, o teor de carbono na matéria seca da parte aérea dos adubos verdes (método Walkley & Black) para o cálculo da relação C/N desse material. Como parâmetro auxiliar, visando à interpretação dos resultados, avaliou-se o

Quadro 2. Produções médias de matéria seca da parte aérea e rendimento relativo de plantas de crotalária, mucuna-preta e trigo-sarraceno, coletados no período de florescimento pleno, nos diferentes tratamentos de fósforo

Tratamentos	Crotalária		Mucuna-preta		Trigo-sarraceno	
	Mat. seca ⁽¹⁾	Rendimento relativo ⁽²⁾	Mat. seca ⁽¹⁾	Rendimento relativo ⁽²⁾	Mat. seca ⁽¹⁾	Rendimento relativo ⁽²⁾
	g/vaso	%	g/vaso	%	g/vaso	%
Testemunha (-P)	2,01	8,41 (4,43)	23,28	51,31	2,86	12,97 (6,30)
Superfósforo triplo	23,91	100,00 (52,70)	43,03	94,84	22,05	100,00 (48,60)
Fósforo-de-patos-de-minas	20,85	87,20 (45,95)	45,37	100,00	16,36	74,19 (36,06)

⁽¹⁾ Médias de 3, 3 e 15 observações para a testemunha, superfósforo triplo e fósforo-de-patos-de-minas respectivamente.

⁽²⁾ Os números entre parênteses referem-se ao rendimento relativo dos tratamentos em cada cultura, considerando-se como 100% a produção máxima de matéria seca obtida no ensaio (mucuna-preta, tratamento com fósforo-de-patos-de-minas).

percentual de infecção por fungos micorrízicos vesículo-arbusculares nas raízes dos adubos verdes e do trigo (apenas nos tratamentos em que foram incorporados os adubos verdes).

A comparação de médias dos parâmetros avaliados, entre tratamentos, foi feita pelo teste de Duncan a 5%. Determinou-se o coeficiente de correlação linear e a equação de regressão linear entre os parâmetros percentagem de infecção por fungos micorrízicos nas raízes do trigo e produção de matéria seca da parte aérea da gramínea.

Foram determinadas isotermas de adsorção de fósforo, de acordo com o método descrito por Souza & Volkweiss (1987), em amostras de terra coletadas após o cultivo do trigo, nos seguintes tratamentos: sem fósforo, sem adubo verde (solo virgem com calagem); fósforo natural sem adubo verde e fósforo natural + parte aérea + raízes de mucuna-preta incorporada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produção da matéria seca da parte aérea e de rendimento relativo das plantas de crotalária, mucuna-preta e trigo-sarraceno constam do quadro 2.

A mucuna-preta apresentou as maiores produções, mostrando um excelente aproveitamento do fósforo nativo do solo (tratamento testemunha, sem fósforo), que se traduziu numa eficiência relativa de aproximadamente 51% do tratamento com maior produção de matéria seca. O trigo-sarraceno, considerado cultura padrão em eficiência de absorção de fósforo, mostrou-se inferior, com produções menores que aquelas correspondentes às duas leguminosas. Entretanto, produziu o mesmo que a crotalária, no tratamento testemunha. A mucuna-preta mostrou uma tendência de maior produção de matéria seca com o fósforo-de-patos-de-minas, em relação ao superfósforo triplo, ocorrendo o inverso com crotalária e trigo sarraceno (Quadro 2).

O percentual de raízes dos adubos verdes infectadas por fungos micorrízicos pode ser observado no quadro 3. Para a mucuna-preta, os valores mais elevados foram obtidos no tratamento testemunha, não havendo diferença entre os tratamentos com adubação fosfatada. A infecção por fungos micorrízicos nesta leguminosa foi maior que a obtida na

Quadro 3. Raízes de crotalária, mucuna-preta e trigo-sarraceno infectadas por micorrizas nativas, em solo LV

Tratamentos de P ⁽¹⁾	Crotalária	Mucuna-preta	Trigo-sarraceno
	%		
Testemunha (-P)	21	42	0
Superfósforo triplo	24	21	0
Fósforo-de-patos-de-minas	12 ⁽²⁾	23	0
Média por cultura	19	29	0

⁽¹⁾ Médias de três observações. ⁽²⁾ Média de apenas duas observações.

crotalária, exceto no tratamento com superfósforo triplo. A infecção por fungos micorrízicos nas raízes da crotalária foi menor no tratamento com o fósforo-de-patos-de-minas. O percentual nulo de infecção micorrízica nas raízes do trigo-sarraceno mostra que seu mecanismo de absorção de fósforo independe da ação de micorrizas.

Os resultados de pH e fósforo extraível, em amostras de solo coletadas após o período de decomposição dos adubos verdes e antes da semeadura da soja, constam do quadro 4. Observaram-se tendências de valores mais elevados de fósforo no tratamento com fósforo-de-patos-de-minas e matéria seca do trigo-sarraceno incorporado, do que naqueles com crotalária e mucuna-preta incorporadas. Nos tratamentos com superfósforo triplo, não houve diferenças quanto aos teores de fósforo. Entretanto, é importante destacar que os valores de fósforo extraível foram praticamente iguais, quando se incorporou ao solo o trigo-sarraceno, com ambos os fertilizantes. Isso confirma a habilidade desta planta na solubilização dos fosfatos naturais. Verificaram-se, aliás, valores de pH inferiores para os tratamentos com trigo-sarraceno, com ambas as fontes de fósforo, confirmando, em certo grau, seu poder acidificante do meio (Bekele et al., 1983). Observou-se também maior teor de fósforo extraível no tratamento com superfósforo triplo sem adubo verde incorporado, quando comparado com o tratamento equivalente com o fósforo-de-patos-de-minas (Quadro 4).

Quadro 4. Análises químicas em amostras do solo LV⁽¹⁾ coletadas após o período de decomposição dos adubos verdes (parte aérea) no solo e antes da semeadura da soja.

Tratamentos		pH (H ₂ O)	P
Fosfatos x Adubos verdes			
n ^{•(2)}		1:1	ppm
1.	Sem P, sem adubo verde	5,6	1,5
2.	Sem P + mucuna-preta incorporada	5,9	1,3
3.	Sem P + crotalária incorporada	5,8	1,9
4.	Sem P + trigo-sarraceno incorporado	5,5	1,5
5.	Fosfato-de-patos-de-minas + mucuna incorporada	6,0	2,9
7.	Fosfato-de-patos-de-minas + crotalária incorporada	6,2	2,9
9.	Fosfato-de-patos-de-minas + trigo-sarraceno incorporado	5,9	4,3
11.	Superfosfato triplo + mucuna incorporada	5,8	4,3
12.	Superfosfato triplo + crotalária incorporada	6,0	4,2
13.	Superfosfato triplo + trigo-sarraceno incorporado	5,7	4,2
14.	Superfosfato triplo, sem adubo verde	5,5	5,7
19.	Fosfato-de-patos-de-minas, sem adubo verde	5,9	3,8

⁽¹⁾Amostras coletadas após mistura das três repetições, retirando-se para análise apenas uma amostra por tratamento. ⁽²⁾Números dos tratamentos conforme quadro 1.

No quadro 5 encontram-se os conteúdos dos nutrientes da matéria seca dos adubos verdes incorporados ao solo. Nos tratamentos com ambas as fontes de fósforo e com a parte aérea do trigo-sarraceno incorporada, os conteúdos dos nutrientes foram sempre maiores do que nos demais. A menor relação C/N da matéria seca da parte aérea do trigo-sarraceno, inferior mesmo à determinada para material semelhante de mucuna-preta e crotalária (Quadro 5), contribuiu provavelmente para uma rápida mineralização do material incorporado, tornando os nutrientes absorvidos prontamente disponíveis no solo.

Os dados de matéria seca e conteúdo de nutrientes da parte aérea da soja, cultivada em sucessão aos adubos verdes, constam do quadro 6, que permite constatar a superioridade acentuada dos tratamentos com crotalária incorporada (7, 12 e 17), em relação àqueles com os outros adubos verdes, à exceção do tratamento com crotalária, em que não foi adicionado o fósforo (3).

Os tratamentos com a mucuna-preta incorporada também se mostraram, de modo geral, superiores aos correspondentes com o trigo-sarraceno (5 e 11, 9 e 13, respectivamente, para mucuna-preta e trigo-sarraceno). Esses resultados conflitam com os do quadro 4, em que se mostraram teores mais elevados de fósforo no solo cultivado com o trigo-sarraceno, quando comparados aos determinados para mucuna-preta e crotalária.

Ainda pelo quadro 6, considerando-se a produção da matéria seca da parte aérea da soja, observou-se que o tratamento com superfosfato triplo sem adubo verde incorporado (14) produziu o dobro de matéria seca que o correspondente com o fosfato-de-patos-de-minas (tratamento 19), confirmando a maior disponibilidade de fósforo no solo, proveniente da fonte solúvel (Quadro 4). No entanto, constatou-se - Quadro 6 - que não houve diferença significativa entre as duas fontes de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea da soja, quando foi incorporada ao solo a matéria seca da crotalária (tratamentos 7 e 12, respectivamente, para fosfato-de-patos-de-minas e superfosfato triplo). Isso conflita com os dados dos quadros 4 e 6, em que se mostram, respectivamente, teores de fósforo no solo e conteúdos de fósforo da parte aérea da soja mais elevados no tratamento com superfosfato triplo. A produção de matéria seca da soja no tratamento com mucuna-preta e superfosfato triplo (11) foi superior à obtida no tratamento com fosfato-de-patos-de-minas (5), ao contrário do obtido naquele com trigo-sarraceno; neste caso, a matéria seca da soja foi baixa com ambos os fertilizantes.

Quadro 5. Conteúdo de nutrientes e relação C/N da matéria seca da parte aérea, parte aérea e/ou raízes dos adubos verdes incorporados ao solo

Tratamentos ⁽¹⁾	Conteúdo de nutrientes					Relação C/N ⁽²⁾
Adubo verde	N	P	K	Ca	Mg	
n°	mg					
2. Mucuna (pa)	161,4	6,3	144,9	90,0	39,0	...
3. Crotalária (pa)	330,0	8,1	148,8	75,6	63,0	...
4. Trigo-sarraceno (pa)	220,8	9,0	282,6	140,4	188,7	...
5. Mucuna (pa)	157,8	7,8	88,2	96,9	34,5	23
7. Crotalária (pa)	152,7	8,1	141,0	62,7	38,7	26
9. Trigo-sarraceno (pa)	232,5	17,4	307,2	145,8	168,0	16
11. Mucuna (pa)	157,5	6,6	82,8	90,3	34,5	24
12. Crotalária (pa)	150,9	6,9	128,4	55,5	41,4	29
13. Trigo-sarraceno (pa)	203,4	16,8	234,0	107,7	154,8	16
15. Mucuna (pa + r)	173,3	7,4	87,3	108,9	38,3	...
16. Mucuna (r)	26,4	0,9	3,6	6,0	4,5	...
17. Crotalária (pa + r)	179,7	9,4	161,9	72,5	45,2	...
18. Crotalária (r)	14,3	1,0	3,6	6,0	3,0	...

⁽¹⁾Ver quadro 1. pa: parte aérea; pa + r: parte aérea + raízes; r: raízes. ⁽²⁾Relação C/N determinada apenas nos tratamentos com fosfatos e matéria seca da parte aérea incorporada.

Quadro 6. Produção de matéria seca (parte aérea) e conteúdos de nutrientes da soja⁽¹⁾ nos tratamentos de adubos verdes e fertilizantes fosfatados

Tratamentos ⁽²⁾	Peso de matéria seca	Conteúdo de nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
n.º	g	mg				
1	3,23j	114,5g	1,4l	49,3j	34,4g	34,4f
2	4,61hi	124,7efg	2,7jkl	67,1hij	47,5efg	40,2f
3	4,65hi	147,5c-g	2,8ijk	73,6hi	45,5fg	40,0f
4	3,79ij	134,2efg	1,8kl	52,3ij	38,3g	37,0f
5	8,59de	156,0b-f	5,2gh	115,0ef	75,2cd	55,8cd
6	9,40cd	176,7bcd	6,6def	131,1de	89,7bc	61,4bc
7	13,98a	245,3a	8,0cd	174,5ab	127,4a	74,7a
8	9,74c	187,4b	6,5ef	138,0cd	88,7bc	57,4c
9	5,17gh	167,7b-e	5,6fg	98,9fg	60,4def	45,3def
10	4,89hi	147,4c-g	4,1hi	81,6gh	57,6def	43,0ef
11	11,40b	192,6b	7,2de	147,4cd	100,0b	70,0ab
12	12,96a	237,4a	9,9ab	195,4a	127,0a	80,4a
13	6,05fg	184,6bc	6,6de	109,7f	74,2cd	52,3cd
14	8,26e	260,4a	10,4a	158,4bc	95,0b	69,4ab
15	10,29c	228,6a	9,0bc	159,5bc	120,4a	77,2a
16	6,98f	130,1efg	4,9gh	101,0fg	65,2de	44,0ef
17	13,44a	243,0a	9,0bc	183,7a	122,0a	69,8ab
18	9,99c	185,0bc	7,0de	143,3cd	89,6bc	60,1bc
19	4,10hij	143,0d-g	3,5ij	68,4hij	46,2efg	38,1f
C.V. (%)	7,38	11,18	12,77	10,39	13,22	11,81

⁽¹⁾Médias seguidas de uma letra comum não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Duncan. ⁽²⁾Identificação dos tratamentos conforme quadro 1.

Nos tratamentos sem adição de fósforo, com adubo verde incorporado, aqueles com mucuna-preta e crotalária (tratamentos 2 e 3) foram superiores, na produção de matéria seca da soja, em relação ao tratamento testemunha (1), que, por sua vez, não diferiu significativamente daquele com trigo-sarraceno incorporado (4). Houve, ainda, superioridade dos tratamentos com parte aérea + raízes incorporadas sobre aqueles apenas com raízes incorporadas, quer para a crotalária (17 x 18), quer para a mucuna-preta (15 x 16). Em relação aos tratamentos com retirada dos adubos verdes, aqueles em que se removeu do sistema a parte aérea da mucuna-preta e crotalária, respectivamente, 6 e 8, foram superiores ao tratamento com remoção da parte aérea do trigo-sarraceno (10).

O fraco desempenho da soja no tratamento com fosfato-de-patos-de-minas e trigo-sarraceno incorporado (9) pode ser explicado pelas seguintes hipóteses: (1) um possível efeito alelopático do trigo-sarraceno incorporado no crescimento da soja; ou (2) o caráter não micorrízico do trigo-sarraceno (Quadro 3) não contribuiria para um aumento do número de propágulos de fungos micorrízicos VA nativos no solo, normalmente baixos em áreas virgens de cerrado, o que se refletiria em menor absorção de nutrientes pela soja, nos vasos em que se cultivou a poligonácea, comparada àquela observada principalmente nos tratamentos com a crotalária incorporada, independente dos fertilizantes utilizados, como se vê no quadro 6 (tratamentos 7 x 9 e 12 x 13), respectivamente, para crotalária e trigo-sarraceno).

As análises químicas do solo LV, em amostras coletadas após a colheita da soja, constam do quadro 7. Observaram-se as mesmas tendências constatadas nas amostras coletadas

Quadro 7. Análise química do solo LV em amostras coletadas em alguns tratamentos de fosfatos x adubos verdes, após a colheita da soja e antes do plantio do trigo (média de três repetições)

Tratamentos ⁽¹⁾	pH (H ₂ O)	P	M.O.	N	C/N ⁽²⁾
n.º	1:1	ppm	— % —		
1	5,5	1,5	3,37	0,12	16
2	6,1	1,5	3,47	0,13	15
3	5,7	1,7	3,37	0,14	14
4	5,4	2,3	3,47	0,14	14
5	5,8	3,4	3,50	0,12	17
6	5,6	3,8	3,50	0,12	17
7	6,1	3,7	3,47	0,12	17
8	6,1	3,6	3,47	0,11	18
9	5,8	4,9	3,59	0,13	16
10	5,6	4,7	3,55	0,13	16
11	5,6	5,0	3,53	0,12	17
12	5,9	4,2	3,48	0,13	15
13	5,7	5,0	3,43	0,13	15
14	5,8	4,9	3,37	0,15	13
15	5,9	3,8	3,72	0,15	14
16	5,8	3,9	3,43	0,14	14
17	6,1	3,3	3,45	0,14	14
18	6,0	3,4	3,43	0,15	13
19	5,9	3,9	3,27	0,14	14

⁽¹⁾A relação dos tratamentos com os respectivos números consta no quadro 1.

⁽²⁾Dados de C orgânico determinados em cada repetição (C orgânico: matéria orgânica dividida por 1,724).

após a incorporação dos adubos verdes (Quadro 4), variando o pH de 5,5 a 6,1. Quanto ao teor de fósforo no solo, observaram-se valores um pouco mais elevados nos tratamentos com superfosfato triplo e material incorporado de mucuna-preta e trigo-sarraceno (respectivamente, tratamentos 11 e 13), em relação àquele com crotalária incorporada (tratamento 12), o que não ocorreu nos dados do quadro 4.

Os dados de infecção micorrízica nas raízes, a produção de matéria seca e o conteúdo de nutrientes da parte aérea do trigo, cultivado em sucessão à soja, encontram-se no quadro 8. O tratamento com maior produção de matéria seca foi aquele com fosfato-de-patos-de-minas e trigo-sarraceno incorporado (9), o qual diferiu significativamente dos tratamentos correspondentes com mucuna-preta e crotalária incorporadas (respectivamente 5 e 7). Não se verificaram diferenças nos tratamentos com superfosfato triplo e adubos verdes incorporados (11, 12 e 13).

O tratamento com parte aérea e raízes incorporadas da mucuna-preta (15) mostrou-se também significativamente superior, quer para a produção de matéria seca, quer para a infecção micorrízica nas raízes do trigo, àqueles com materiais semelhantes de crotalária incorporada (17 e 18). Houve também diferença significativa entre o tratamento com superfosfato triplo sem adubo verde incorporado (14) e o equivalente com o fosfato-de-patos-de-minas (19), confirmando a maior disponibilidade de fósforo no solo no tratamento com o superfosfato triplo (Quadro 7).

Os dados de conteúdo de nutrientes da parte aérea do trigo corroboram, de modo geral, os relativos à produção de matéria seca. Os tratamentos com parte aérea do trigo-sarraceno incorporado (9 e 13) e parte aérea + raízes e raízes de mucuna-preta incorporada (15 e 16) estão quase sempre entre os melhores. Já os tratamentos com crotalária incorporada se encontram em posição inferior, principalmente o 17 e o 18, como já comentado.

A elevada produção de matéria seca do trigo nos tratamentos inicialmente com trigo-sarraceno (Quadro 8), ao contrário do ocorrido para a soja (Quadro 6), pode estar relacionada à elevada taxa de infecção micorrízica (Quadro 8), associada ao maior teor de nutrientes no solo, resultante da decomposição do material incorporado daquele adubo verde (Quadro 5).

A figura 1 mostra a correlação estreita existente entre a percentagem de infecção por fungos micorrízicos nas raízes do trigo e sua produção de matéria seca da parte aérea, com um coeficiente de correlação altamente significativo ($r = +0,89^{**}$). O cultivo da soja pode ter contribuído para a multiplicação do número de propágulos dos fungos vesículo-arbusculares no solo, anteriormente inibida pelo caráter não micorrízico do trigo-sarraceno, embora tal período de multiplicação dos propágulos não fosse suficiente para se verificar um efeito simbiótico naquela leguminosa (Figura 1).

Quadro 8. Infecção por micorrizas nas raízes⁽¹⁾, peso da matéria seca e conteúdo de nutrientes da parte aérea do trigo nos tratamentos de adubos verdes e fertilizantes fosfatados

Tratamentos ⁽²⁾	Infecção por micorrizas	Peso da matéria seca	Conteúdo de nutrientes				
			N	P	K	Ca	Mg
n°	%	g	mg				
1	19d	1,85fg	43,9g	1,2f	43,3d	4,6d	6,2f
2	15 ⁽³⁾ d	2,14efg	50,2fg	1,8f	56,5d	4,7d	7,1ef
3	14d	2,07efg	49,4fg	1,4f	52,6d	4,8d	7,0ef
4	21d	1,66g	42,3g	1,1f	41,9d	4,7d	6,1f
5	46c	4,03cde	97,3cde	6,6bcd	131,4c	6,4cd	9,4c-f
6	...	5,38bcd	120,2a-d	7,1bc	152,8bc	6,7cd	9,4c-f
7	71b	4,96bcd	101,6b-e	5,5cde	147,7bc	7,9bcd	10,9b-e
8	...	5,55bcd	121,6a-d	6,8bcd	172,4bc	8,6bc	11,7a-e
9	88a	8,08a	151,0a	7,6ab	246,8a	12,6a	15,9a
10	...	5,25bcd	110,0b-e	5,5cde	162,9bc	9,2bc	10,8b-f
11	73b	5,02bcd	120,6a-d	7,5ab	166,3bc	7,0cd	11,3b-e
12	65b	5,05bcd	109,5b-e	6,1b-e	157,0bc	7,1cd	10,5b-f
13	73b	6,57ab	132,8abc	6,6bcd	203,0ab	11,4ab	15,0ab
14	...	6,52ab	129,6a-d	6,6bcd	202,9ab	9,4abc	13,9abc
15	93a	6,11abc	135,2ab	8,7a	202,9ab	8,8bc	13,5a-d
16	90a	5,66bcd	126,0a-d	7,0bcd	179,2bcd	8,3bcd	11,7a-e
17	46c	3,74def	82,5ef	4,9e	152,8bc	6,8cd	8,9def
18	46c	3,88def	82,8ef	5,4de	121,8c	6,3cd	8,9def
19	...	4,11cde	93,6de	4,5e	127,0c	7,1cd	9,7c-f
CV (%)	10,48	24,38	18,62	15,94	22,34	25,34	23,33

⁽¹⁾ Determinada apenas na testemunha e nos tratamentos com adubos verdes incorporados. ⁽²⁾ Médias seguidas de uma letra comum não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Duncan. Tratamentos conforme quadro 1. ⁽³⁾ Média de duas repetições apenas.

Sano (1987) obteve uma grande diferença em termos de número de propágulos de fungos micorrízicos no solo, com o cultivo de culturas micorrízicas (mucuna e soja) e não micorrízica (repolho), a qual se refletiu no crescimento do sorgo, cultivado em sucessão àquelas culturas. O menor rendimento esteve associado à área anteriormente cultivada com o repolho, onde se verificou também o menor número de propágulos.

As isotermas de fósforo, em três tratamentos selecionados, encontram-se na figura 2. Observou-se inexistência de diferenças relevantes. A diferença de cerca de 30 ppm de fósforo a menos (fósforo retido pelo solo para se ter 0,2 ppm de P na solução de equilíbrio) no tratamento com fosfato natural sem adubo verde incorporado, em relação àquele sem fosfato natural e sem adubo verde incorporado (testemunha), deve-se, possivelmente, a uma solubilização do fósforo do fosfato natural. O tratamento com fosfato natural e mucuna-preta incorporada mostrou, contudo, uma tendência semelhante à testemunha (Figura 2).

Esses resultados concordam com os obtidos por Le Mare et al. (1987), os quais não mostraram efeito da adubação verde na quantidade total de fósforo adsorvido pelo solo e, sim, no fósforo isotopicamente trocável. O referido trabalho foi efe-

tuado em amostras de solo coletadas de parcelas adubadas com superfosfato simples. Estudos semelhantes, em condições de campo, deveriam ser realizados em ensaios como o presente, em que se estudaram combinações de adubação com fosfato natural x adubos verdes incorporados.

CONCLUSÕES

1. Os efeitos dos tratamentos com crotalária incorporada foram superiores aos correspondentes com mucuna-preta e trigo-sarraceno incorporado, no desempenho da soja, independente do fertilizante adicionado ao solo. Para o trigo, o melhor tratamento foi aquele com fosfato-de-patos-de-minas e trigo-sarraceno incorporado ao solo. Foram equivalentes, para esta cultura, os efeitos dos tratamentos com superfosfato triplo, quando se incorporou ao solo a matéria seca dos três adubos verdes.

2. Os tratamentos com fosfato-de-patos-de-minas e superfosfato triplo mostraram-se equivalentes no desempenho da soja, quando foi incorporada ao solo a matéria seca da crotalária. Já para a mucuna-preta incorporada, houve superioridade do tratamento com superfosfato triplo.

3. Confirmou-se a grande habilidade do trigo-sarraceno em extrair nutrientes do solo, a qual se mostrou benéfica para a cultura do trigo. Todavia, o efeito da matéria seca desta planta, incorporada ao solo, foi desfavorável no desempenho da soja, primeira cultura da sucessão.

4. Não houve efeito do material incorporado da mucuna-preta na redução da capacidade de adsorção de fósforo no solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. José Ribeiro, pelo auxílio diário na condução do ensaio; aos Srs. Antônio Manoel de Souza, Nivaldo Caetano da Silva e Cícero Luiz de Oliveira, pelo apoio aos trabalhos em casa de vegetação; à equipe do laboratório de Microbiologia do Solo, pelos serviços prestados; ao Dr. Antônio Carlos Gomes, pela valiosa colaboração na análise estatística dos dados experimentais; ao Dr. Djalma M. Gomes de Souza, pela orientação na determinação das isotermas de adsorção de fósforo.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR, S.A. & DIEST, A. VAN. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline pattern of legumes utilizing symbiotically, fixed nitrogen. *Pl. Soil, The Hague*, 61:27-42, 1981.
- BAUER, F.C. The relation of organic matter and the feeding power of plants to the utilization of rock phosphate. *Soil Sci., Baltimore*, 12:21-41, 1921.
- BEKELE, T.; CINO, B.J.; EHLERT, P.A.I.; VAN DER MAAS, A.A. & DIEST, A. VAN. An evaluation of plant-borne factor promoting the solubilization of alkaline rock phosphate. *Pl. Soil, The Hague*, 75:361-378, 1983.
- DUQUE, F.F.; ALMEIDA, D.L. & PESSANHA, G.G. Rotação de culturas utilizando fosfatos naturais como fonte de P e fixação biológica como

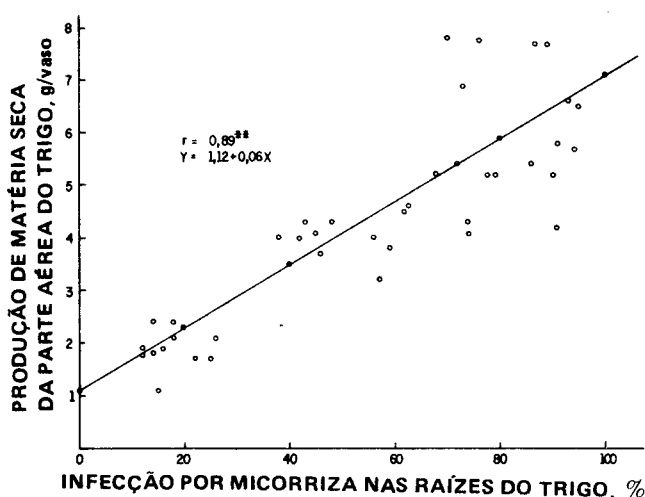


Figura 1. Relação entre a infecção micorrízica nas raízes do trigo e a produção de matéria seca da parte aérea do trigo (N = 41 pares).

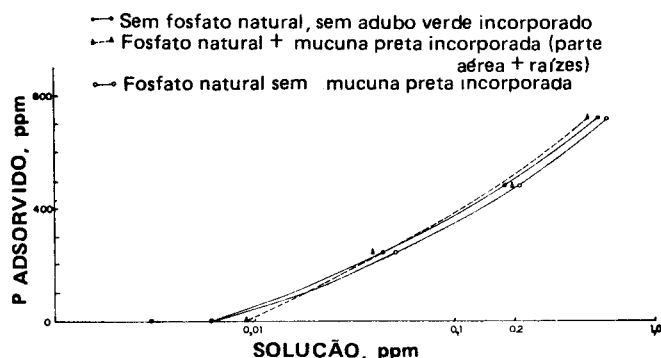


Figura 2. Isotermas de adsorção de fósforo em três combinações de tratamentos com fosfato natural x adubo verde incorporado.

- fonte de nitrogênio. I - Resultados preliminares. In: ADUBAÇÃO verde no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p.216-217.
- FRIED, M. The feeding power of plants for phosphates. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 17:357-359, 1953.
- GOEDERT, W.J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 18:499-506, 1983.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solos de cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 15:311-180, 1980.
- KORNDÖRFER, G.H. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre, UFRGS, 1978. 62p. (Tese de Mestrado)
- LE MARE, P.H.; PEREIRA, J. & GOEDERT, W.J. Effects of green manure on isotopically exchangeable phosphate in a Dark-Red Latosol in Brazil. J. Soil Sci., Oxford, 38:199-209, 1987.
- MAGALHÃES, J.C.A.J. de Aproveitamento do fosfato-de-patos-de-minas pelo trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. IAC-5, cultivado em dois solos sob vegetação de cerrado do DF, com dois níveis de calagem. Piracicaba, ESALQ, 1984. 202p. (Tese de Doutorado)
- NOGUEIRA, F.D.; PAULA, M.B. de; TANAKA, R.T. & FREIRE, J.C. Influência do fosfato natural e do gesso em culturas consorciadas de milho + jacatupé, em rotação com trigo e na disponibilidade de nutrientes do solo. In: ADUBAÇÃO verde no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p.30-41.
- RALI, B. van & DIEST, A. VAN Utilization of P from different sources by six plant species. Pl. Soil, The Hague, 51:577-589, 1979.
- SANO, S.M.; WARNER, A.; SOUSA, D.M.G. & PERES, J.R.R. Influência do manejo de solos e culturas no comportamento de fungos endomicorrízicos em solos de cerrados. In: EMBRAPA-CPAC, RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS 1982/1985. Planaltina, 1987. p.186-189.
- SOUZA, D.M.G. & VOLKWEISS, S.J. Reações do superfosfato triplo em grânulos, com solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 11:133-140, 1987.
- TRUOG, E. The utilization of phosphates by agricultural crops, including a new theory regarding the feeding power of plants. Wisconsin, Agricultural Experiment Station, 1916. 50p. (Tech. Bul., 41)