

FRAÇÕES DE FÓSFORO EM ESTRUMES E SUA EFICIÊNCIA COMO ADUBO FOSFATADO⁽¹⁾

P. C. CASSOL⁽²⁾, C. GIANELLO⁽³⁾ & V. E. U. COSTA⁽⁴⁾

RESUMO

Os estrumes empregados como fontes de fósforo podem ter eficiência fertilizante diferente da dos adubos comerciais solúveis. Tal eficiência pode variar com a origem do estrume e com as proporções das diferentes frações químicas do P total contido. A eficiência de estrumes de frangos de corte e de bovinos de leite, relativamente ao superfosfato triplo-ST, e a correlação desta eficiência com frações de fósforo contidas nestes materiais foram estimadas em experimento de casa de vegetação. Os tratamentos aplicados foram: um controle, sem P; as doses 6,6, 13,2 e 19,7 mg kg⁻¹ de P de ST, e uma dose única de 15,3 mg kg⁻¹ de P de 11 amostras de cada um dos dois tipos de estrumes. Utilizou-se um Podzólico Vermelho-Escuro e a resposta aos tratamentos foi determinada com o cultivo de milho (*Pennisetum americanum*) durante 27 dias, a partir da adubação fosfatada, período em que foram colhidos três cortes de plantas. As frações de fósforo dos estrumes foram determinadas por extrações sequenciais. O índice de eficiência (IE), estimado pelo método de equivalentes em ST, dos estrumes de frango foi de $0,84 \pm 0,071$, valor menor do que o dos estrumes de bovinos de leite, de $0,94 \pm 0,095$. Não ocorreu diferença de IE entre as amostras de estrumes de mesma espécie animal. Considerando todas as amostras, o IE apresentou correlação positiva com as proporções de P lábil, extraídas por resina trocadora de ânions e NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹, e de P inorgânico total e correlação negativa com as proporções de P extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹ e HCl 0,5 mol L⁻¹ e de P orgânico total. Não ocorreu correlação entre o IE e o teor total de P dos estrumes.

Termos para indexação: adubo orgânico, resíduo, fosfato, fracionamento.

⁽¹⁾ Parte da pesquisa realizada para a Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Recebido para publicação em abril de 2000 e aprovado em março de 2001.

⁽²⁾ Professor do Centro de Ciências Agroveterinárias, Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC. Av. Luiz de Camões 2090, Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2pc@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor de Ciência do Solo-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS E-mail: cgianello@datacontrol.com.br

⁽⁴⁾ Professor do Instituto de Química, UFRGS. E-mail: valentim@if.ufrgs.br

SUMMARY: PHOSPHORUS FRACTIONS IN MANURES AND THEIR EFFICIENCY AS PHOSPHATE FERTILIZER

Manures used as phosphorus sources may have different efficiencies from those of commercial soluble fertilizers. These efficiencies may vary according to the manure origin and to the proportions of its total P in different chemical fractions. A greenhouse experiment was conducted in order to estimate the efficiencies of dairy cattle and chicken manures as phosphorus source, in comparison to triple superphosphate (TSP), as well as to relate these efficiencies to their P fractions. The treatments were: control, without fertilizer or manure; three rates of P, applied as TSP (6.6, 13.2 and 19.7 mg kg⁻¹ soil); and a single phosphorus application rate of 15.3 mg kg⁻¹ soil, from 11 samples of both cattle and chicken manures. Treatment responses were evaluated cultivating millet during 27 days after P application, in pots filled with a Kandiuult soil. Manure P fractions were determined by sequential extractions. The Efficiency Index (EI), estimated by the TSP equivalence, was 0.84 ± 0.071 for chicken manure, significantly lower than that for cattle manure, 0.94 ± 0.095. There were no statistical differences in EI among manures samples of the same animal species. Considering all samples, EI was positively correlated with proportions of labile P (extracted with resin and NaHCO₃) and total inorganic P and negatively correlated with proportions extracted with NaOH and HCl and with total organic P. There was no association between EI and the total P content in the manures.

Index terms: organic fertilizer, phosphate, efficiency, fractions, waste.

INTRODUÇÃO

A eficiência dos estrumes como fonte de fósforo pode ser diferente da dos adubos fosfatados solúveis, pois parte do P total contido nesses resíduos ocorre em formas sólidas, minerais ou orgânicas, que não se solubilizam ou mineralizam durante o período de absorção pelas plantas (Gunary, 1968; Fordham & Schwertmann, 1977). Essa eficiência pode ser estimada relativamente ao superfosfato triplo (Goedert et al., 1996) e variar entre estrumes de diferentes origens e ser, possivelmente, associada à proporção deste nutriente que é liberada no solo em formas assimiláveis pelas plantas (Sharpley & Sisak, 1997).

Na adubação com estrume, o índice de eficiência como fonte de fósforo deve ser considerado para assegurar o fornecimento da quantidade indicada para os cultivos. Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o índice de eficiência empregado para corrigir o teor de fósforo total dos resíduos é de 0,6, para o cultivo imediato à aplicação, e de 0,2, para o cultivo subsequente (COMISSÃO..., CFS/RS-SC, 1995). Entretanto, estes valores podem ser incorretos, em razão da escassez de pesquisas relacionadas com o assunto, especialmente para as condições brasileiras de solo e clima, e com a alta variabilidade de tipos e de composição dos estrumes existentes.

O teor de fósforo total em estrumes de bovino de leite e de frango situa-se, geralmente, entre 4 e 18 g kg⁻¹ em base seca (Cassol et al., 1994; CFS/RS-SC, 1995). Cerca de 3/4 desse teor encontra-se em formas inorgânicas e o restante em compostos

orgânicos (Perperzak et al., 1959; Gerritse & Zugec, 1977). Na forma inorgânica, predominam precipitados de fosfatos de cálcio, como fosfato octocálcico e apatita (Gerritse & Zugec, 1977; van Faassen & van Dijk, 1987), e de magnésio, como estruvita (Fordham & Schwertmann, 1977). A presença de Ca e Mg, associada ao pH superior a 7,0 que geralmente ocorre nos estrumes, favorece a formação destes precipitados (Fordham & Schwertmann, 1977) que apresentam solubilidade muito baixa e podem reagir mais lentamente do que os adubos solúveis no solo (Sharpley & Sisak, 1997). O fósforo incluso em compostos orgânicos também não é imediatamente aproveitável pelas plantas. Entretanto, parte deste fósforo poderá ser mineralizada durante o período de cultivo e, assim, ficar disponível às plantas. Todavia, para que isto ocorra, é necessário que o teor de fósforo total do material seja superior a 2,0 g kg⁻¹ (Kaila, 1949).

Estimativas experimentais da eficiência de estrumes como fonte de P, relativamente a um adubo fosfatado solúvel, têm apresentado ampla variação. Bromfield (1961), em experimentação de vasos, estimou índices de eficiência entre 0,16 e 0,83, para seis amostras de estrumes de ovelha, e Gunary (1968), em experimento semelhante, estimou índices de 0,70 e 0,75, para estrumes de ovelha com teor de P total de 8,1 e 10 g kg⁻¹, respectivamente. Smith & Dijk (1987), em revisão de trabalhos realizados em países da Europa, relataram a predominância de índices de eficiência entre 0,8 e 0,9, embora os valores relatados tenham variado desde 0,10 até 1,10, para diversos tempos de avaliação, tipos de estrumes e níveis de fósforo existentes no solo. Scherer et al.

(1986), analisando a resposta da cultura de milho a doses combinadas de superfosfato triplo e cama de frango, observaram que este estrume pode substituir o adubo comercial como fonte de fósforo à cultura.

O presente trabalho objetivou estimar o índice de eficiência relativa para estrumes de frangos de corte e de bovinos de leite utilizados como adubo fosfatado, bem como avaliar a variabilidade desta eficiência e a sua correlação com frações de fósforo destes materiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se um experimento em casa de vegetação em Porto Alegre (RS). Empregou-se a camada superficial (0-15 cm) de um Podzólico Vermelho-Escuro, coletado no local onde foi realizado um experimento em campo, para estimar a eficiência relativa de estrumes como adubo fosfatado, para uma seqüência de cinco cultivos intercalados de milho e trigo (Cassol, 1999). A análise do solo indicou as seguintes características: teores de argila e matéria orgânica de 300 e 24 g kg⁻¹, respectivamente; pH em água, 5,4; Al, Ca e Mg trocáveis, 0,1, 2,5 e 1,1 cmol_c dm⁻³, respectivamente; e P e K extraíveis (Mehlich-1), 3,6 e 153 mg dm⁻³, respectivamente. O solo foi peneirado em malha de 5 mm e 20 dias antes da aplicação dos tratamentos teve incorporada uma mistura de carbonatos de Ca e Mg em pó com relação molar 3:1, respectivamente, na dose equivalente a 2,0 g kg⁻¹. Foram utilizados vasos com capacidade para 3,5 kg de solo.

Os tratamentos aplicados foram: um controle, sem P; as doses 6,6, 13,2 e 19,7 mg kg⁻¹ de P de superfosfato triplo, e uma dose única de 15,3 mg kg⁻¹ de P, de 11 amostras de cada um dos dois tipos de estrumes. As doses foram aplicadas com base no teor de fósforo total e incorporadas em todo o volume do solo por meio de revolvimento manual. Os estrumes foram coletados na zona rural dos municípios de Montenegro, Salvador do Sul e Arroio dos Ratos (RS) e dispostos a secar em casa de vegetação, até atingirem teor de matéria seca de aproximadamente 950 g kg⁻¹. Os estrumes foram moídos para granulometria inferior a 5 mm e se tomou, através de quarteações sucessivas, uma amostra de aproximadamente 150 g de cada material para aplicação nos vasos e análise. Algumas características dos estrumes utilizados estão representadas no quadro 1. O superfosfato triplo utilizado foi o produto comercial, moído até atingir diâmetro de partículas menor do que 2,0 mm.

Como planta-teste, foi cultivado o milheto (*Pennisetum americanum*), durante 27 dias, de dezembro de 1997 a janeiro de 1998. Esta espécie foi escolhida em teste preliminar que indicou sua

adaptação ao cultivo em vasos na casa de vegetação, sua capacidade de rebrote após cortes sucessivos e seu potencial de resposta a doses crescentes de fósforo. As plantas foram previamente germinadas e mantidas em crescimento durante sete dias em substrato de areia grossa embebida de solução nutritiva isenta de P (Pommel, 1981), acondicionada em cilindros de PVC com dimensões de 3,5 cm de altura e 12 cm de diâmetro. Os cilindros que continham as plântulas enraizadas foram transplantados para a superfície dos vasos um dia após a aplicação dos tratamentos. Foram cultivadas 15 plantas por vaso e efetuados três cortes à altura de 2 cm da superfície: o primeiro, cinco dias após o transplante e os dois seguintes espaçados de 11 dias.

Juntamente com os tratamentos, foram aplicados K₂SO₄ e NH₄NO₃ em solução. A dose de K foi de 37 mg kg⁻¹ em todos os tratamentos. A dose de N variou com a fonte de P e com a relação C/N de cada estrume e foi de 52 mg kg⁻¹ nos vasos tratados com o ST e de 52, 40 e 32 mg kg⁻¹ nos vasos que receberam a aplicação de estrumes com relação C/N maior do que 30, entre 20 e 30 e menor do que 20, respectivamente. Após o segundo corte, aplicou-se a dose de 20 mg kg⁻¹ de N na superfície de todos os vasos, utilizando-se solução de NH₄NO₃. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados com três repetições. Na análise estatística, os cortes de plantas foram considerados subparcelas.

A eficiência dos estrumes como adubo fosfatado foi estimada pelo método de equivalentes em superfosfato triplo-EqST (Goedert et al., 1986) com base na quantidade de P absorvido pela parte aérea das plantas de milheto.

As amostras de estrume e tecido vegetal foram secas em estufa a 65°C e, em seguida, moídas em moinho de bolas (estrumes) ou de facas (plantas), até atingirem diâmetro de partículas menores do que 2 mm. O pH dos estrumes foi determinado em potenciômetro numa suspensão de estrume e água em relação 1:5, respectivamente. O C orgânico foi determinado pelo método Walkley-Black e o fósforo total, pelo método Murphy-Riley (Murphy & Riley, 1962), após digestão com ácidos nítrico e perclórico à temperatura de até 250°C (Tedesco et al., 1995). Para as demais determinações, as amostras de estrume e tecido vegetal foram digeridas com ácido sulfúrico e água oxigenada em bloco digestor à temperatura de aproximadamente 350°C. O nitrogênio foi determinado pelo método semimicro-Kjeldahl (Tedesco et al., 1995); o potássio, por fotometria de chama, e o cálcio e o magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica.

Para o fracionamento do fósforo dos estrumes foram aplicadas extrações sucessivas em uma mesma amostra, com método adaptado de Hedley et al. (1982), seguindo-se a seguinte seqüência:

(a) extração de fósforo inorgânico (P-1) por resina trocadora de ânion (AR103 QDP434, Ionics Inc, USA). Empregou-se resina em lâminas de 2,5 x 3,0 cm, saturadas em bicarbonato (Miola, 1995); (b) extração de formas de fósforo orgânico (P-0) e inorgânico (P-1) com solução de NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} a pH 8,5; (c) extração de P-0 e P-1 em NaOH 0,1 mol L^{-1} ; (d) extração de P-1 com HCl 1,0 mol L^{-1} ; (e) extração de P-0 e P-1 com NaOH 0,5 mol L^{-1} , e (f) extração do P residual (P-r) por digestão em HNO_3 e HClO_4 concentrados a quente (Tedesco et. al., 1995).

A seqüência de extrações foi efetuada em tubos de polietileno com tampa de rosca, empregando-se 0,2 g de estrume e 40 mL de solução extratora. A cada extração, a suspensão foi agitada durante 16 h em agitador de revolução ("end-over-end") à rotação de 27 rpm. Na extração com resina, o fósforo retido nas lâminas foi recuperado com 40 mL de HCl 0,5 mol L^{-1} . A suspensão solo + água foi quantitativamente transferida para outro tubo, lavando-se com 15 mL de água deionizada, e centrifugada a 5.000 rpm, durante 15 min. O sobrenadante foi eliminado e o material submetido à extração seguinte. As demais extrações da seqüência foram efetuadas nos mesmos tubos, utilizando-se 30 mL da solução extratora e tempo de agitação de 16 h à temperatura ambiente, seguida de centrifugação a 5.000 rpm por 15 min e retirada do sobrenadante para as determinações de P total (Pt) e P-1. Para a determinação do P-t, alíquotas dos extratos que continham entre 5 e 20 μg de P foram digeridas em HNO_3 e HClO_4 concentrados a quente (Tedesco et al., 1995). A determinação de P nos extratos foi feita pelo método Murphy-Riley. Os extratos alcalinos foram acidificados até pH 5,5 com adição de HCl 5 mol L^{-1} , utilizando-se p-nitrofenol como indicador. O P-0 nos extratos foi estimado por diferença entre P-t e P-1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frações de fósforo nos estrumes

A média do teor de fósforo total dos estrumes de frango foi de 10,8 g kg^{-1} , com desvio-padrão de 3,07 (Quadro 2). Este teor de fósforo, obtido pelo somatório de todas as frações determinadas no fracionamento, correspondeu a 0,81 vez o teor de fósforo total determinado por digestão com ácido nítrico e perclórico (Quadro 1). Os estrumes de bovino de leite apresentaram 5,11 g kg^{-1} de média para o teor de fósforo total recuperado no fracionamento, com desvio-padrão de 1,48. Neste caso, o fósforo recuperado no fracionamento correspondeu a 1,05 vez o valor determinado por digestão com ácido nítrico e perclórico. Neste tipo de estrume, o fracionamento foi eficiente na recuperação das formas de fósforo contidas, o que, aparentemente, não ocorreu para o estrume de frango. Entretanto, é provável que todas as formas de P dos estrumes tenham sido extraídas em todas as amostras, pois a última etapa do fracionamento (P-residual) foi a digestão com ácido nítrico e perclórico. Assim a menor recuperação obtida nos estrumes de frango resultou de perdas de fósforo em etapas do fracionamento ou de erro sistemático na determinação de P nestas etapas.

Aproximadamente 1/4 do P de estrume de frango foi recuperado na forma orgânica (Quadro 2), enquanto Perperzak et al. (1959) encontraram aproximadamente 1/3 do fósforo de estrumes de frango e galinha de postura nesta forma. Entretanto, no trabalho destes autores, o P orgânico foi estimado pelo método da calcinação que inclui tratamento térmico a 550°C. Este tratamento pode provocar alterações em fosfatos inorgânicos estáveis, aumentando sua solubilidade no H_2SO_4 0,2 mol L^{-1} ,

Quadro 1. Valores médios e respectivos desvios-padrão, do pH em água e dos teores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais determinados em amostras de estrumes de frangos e de bovinos de leite

Característica	Estrume de frango		Estrume de bovino de leite	
	Valor médio	Desvio-padrão	Valor médio	Desvio-padrão
pH (H_2O)	7,5	0,33	7,9	0,52
	g kg^{-1}			
C orgânico	300	37,6	233	56,2
Nitrogênio	21,6	2,88	14,1	3,23
Fósforo	13,4	3,55	4,8	1,63
Potássio	19,6	3,32	11,5	7,18
Cálcio	21,5	3,76	9,1	2,14
Magnésio	7,8	2,53	5,7	1,56

Quadro 2. Teores médios de P inorgânico (P-1) e orgânico (P-0) e respectivos desvios-padrão, numa seqüência de extrações sucessivas em amostras de estrumes de frangos e de bovinos de leite

Extração ou somatório	Forma	Estrume de frango		Estrume de bovino de leite	
		Teor extraído	Desvio-padrão	Teor extraído	Desvio-padrão
g kg ⁻¹					
Resina	P-1	3,79	0,97	3,23	0,98
NaHCO ₃ 0,5 mol L ⁻¹	P-1	0,69	0,74	0,46	0,30
	P-0	0,26	0,16	0,22	0,11
NaOH 0,1 mol L ⁻¹	P-1	0,31	0,19	0,15	0,12
	P-0	2,16	0,71	0,41	0,11
HCl 1,0 mol L ⁻¹	P-1	2,91	1,50	0,13	0,07
NaOH 0,5 mol L ⁻¹	P-1	0,20	0,07	0,02	0,01
	P-0	0,30	0,08	0,18	0,05
HNO ₃ -HClO ₄		0,18	0,13	0,16	0,07
Somatório P-1		7,90	3,26	3,99	1,31
Somatório P-0		2,72	0,64	0,81	0,23
P total (P-1 + P-0)		10,8	3,07	4,95	1,48

o que pode resultar em valor superestimado para o P orgânico, pois este é estimado por diferença entre os valores de P extraídos por esta solução em amostras calcinadas e não calcinadas (Condrón et al., 1990).

Nos estrumes de bovino de leite, aproximadamente 1/6 do P total (Quadro 2) foi recuperado em forma orgânica. A maior proporção de P orgânico em estrume de frango pode ser resultante da menor capacidade do sistema digestivo das aves de hidrolisar fosfatos orgânicos do grupo inositol (Gillis et al., 1949). A fitina, que pertence a este grupo, geralmente é o componente fosfatado predominante nos grãos utilizados nas rações. Por outro lado, os microrganismos do rúmen de bovinos produzem fosfatases que, associadas ao meio ácido, podem hidrolisar os fosfatos orgânicos, incluindo-se a fitina. Acredita-se que a maior parte do P-0 de estrume de bovino seja derivada de componentes de biomassa microbiana (Perperzak et al., 1959).

Os teores médios de fósforo extraídos em cada etapa do fracionamento nos dois tipos de estrumes testados estão representados no quadro 2. As formas lábeis, constituídas dos fosfatos solúveis em água e fracamente ligados à matriz sólida dos estrumes, extraídas pela resina e pelo bicarbonato (Hedley et al., 1982), compreenderam 0,80 do P total no estrume de bovino e 0,44 no estrume de frango. A maior proporção de formas lábeis em estrume de bovino é

mais uma evidência da hidrólise mais intensa a que foram submetidos os fosfatos orgânicos no trato digestivo destes animais em relação aos frangos. Na fração extraída em hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹, onde predominam formas orgânicas que podem ser consideradas moderadamente lábeis (Mc Laughlin et al., 1977; Bowman & Cole, 1978), foram recuperados 0,23 do P total no estrume de frango e 0,11 no de bovino. A maior proporção de P-0 recuperada nesta fração em estrumes de frango também evidenciou a menor capacidade de hidrólise de fosfatos orgânicos do sistema digestivo desta espécie em relação aos bovinos.

Na extração com ácido clorídrico 1,0 mol L⁻¹, foram recuperados 0,27 do P total em estrume de frango e apenas 0,023 do P total em estrume de bovino. O HCl extrai formas de P ligadas ao Ca (Williams et al., 1980; Hedley et al., 1982) que provavelmente compõem a maior parte do P-1 contido em estrume (Sharpley & Sisak, 1997). Entretanto, as formas de P-1 de maior solubilidade, como monocalcário fosfato e dicálcio fosfato, foram extraídas nas etapas anteriores do fracionamento. Assim, nesta fração, provavelmente predominaram compostos sólidos mais estáveis, como apatita e estruvita, que ocorreram em proporção aproximadamente dez vezes superior no estrume de frango em relação ao de bovino. A formação destes compostos em estrume ocorre pela presença de ortofosfato e dos cátions Ca²⁺

e Mg^{2+} em pH alcalino e suas partículas podem aumentar de tamanho com o tempo de estocagem do material (Fordham & Schwertmann, 1977), o que pode diminuir sua reatividade.

Os teores de P extraídos nas duas últimas etapas do fracionamento, extração em NaOH 0,5 mol L⁻¹ e digestão com ácido nítrico e perclórico, foram pouco representativos em relação ao P total contido nos estrumes (Quadro 2). Possivelmente, estas frações constituíram-se de compostos inorgânicos sólidos de alta estabilidade, que continham ortofosfato ligado a Fe ou Al. A solução de hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹ também extraiu compostos fosfatados orgânicos estáveis que não foram removidos pelos extratores anteriores.

Resposta de milho a doses de P e eficiência dos estrumes

No primeiro corte, realizado cinco dias após o plantio, o rendimento de matéria seca de milho (Figura 1a) não teve incremento significativo em decorrência das doses de fósforo. Todavia, os rendimentos acumulados nos outros dois cortes, realizados aos 16 e 27 dias do plantio, aumentaram linearmente com a dose de ST aplicada. O rendimento acumulado estimado pela equação de regressão no terceiro corte variou de 1,88 a 4,20 g vaso⁻¹. Os rendimentos acumulados no terceiro corte, obtidos com a aplicação de estrume de mesma espécie animal, não diferiram entre si pelo teste F a 5%. Entretanto, os valores médios destes rendimentos de 3,26 e 3,51 observados para estrumes de frango e bovino, respectivamente, foram diferentes entre si

pelo mesmo teste, indicando que o estrume de bovino foi superior ao de frango em eficiência relativa como fonte de fósforo.

A quantidade acumulada de fósforo absorvido (Figura 1b) aumentou linearmente com as doses de ST em todos os cortes realizados, embora, no primeiro corte, o incremento de rendimento por unidade de fósforo aplicado tenha sido pequeno, relativamente aos demais. A estimativa do P absorvido acumulado até o terceiro corte variou de 3,43 até 13,0 mg vaso⁻¹ na aplicação das doses 0 e 19,6 mg kg⁻¹ de P do ST, respectivamente. Neste parâmetro, também não se detectou diferença significativa entre os rendimentos acumulados provocados por estrumes de mesma espécie animal. Entretanto, a média dos rendimentos acumulados observados para o grupo dos estrumes de bovino, que foi 10,45 mg vaso⁻¹, também foi superior aos 9,68 mg vaso⁻¹ de média observada para os estrumes de frango, confirmando a maior eficiência daquele tipo de estrume em relação a este. Tais resultados mostram que, para tornar mais precisa a adubação fosfatada com estrumes, deve-se utilizar um índice de eficiência representativo para cada tipo de estrume, para o ajuste da dose a ser aplicada.

O índice de eficiência médio estimado, com base na quantidade de fósforo absorvido, para as amostras de estrume de frango foi de 0,84 com desvio-padrão de 0,071. Para os estrumes de bovino, o índice de eficiência médio estimado foi de 0,94 com desvio-padrão de 0,095. A diferença de eficiência entre os dois estrumes foi significativa pelo teste F a 5%. Assim, no período de 30 dias após a incorporação no

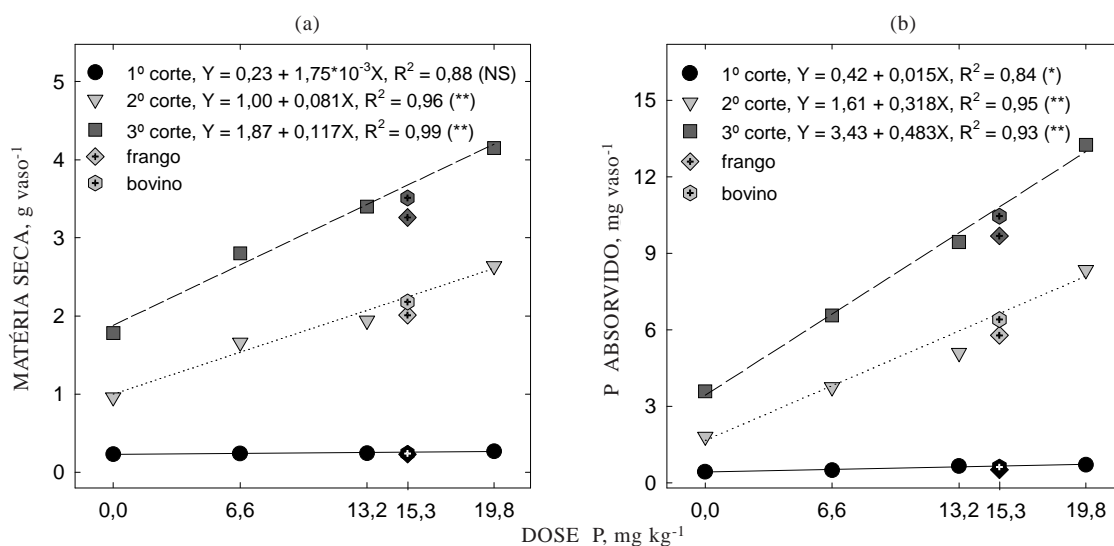


Figura 1. Rendimentos de matéria seca (a) e fósforo absorvido (b) acumulados em três cortes de milho, considerando quatro doses de superfosfato triplo e a dose 15,3 mg kg⁻¹ de P de onze amostras de estrumes de frango e de bovino de leite, aplicadas num Podzólico Vermelho-Escuro. * significativo a 5%. ** significativo a 1%.

solo, os estrumes de bovino apresentaram eficiência aproximadamente 12% maior do que a eficiência dos estrumes de frango.

Correlação entre a eficiência relativa e as frações de fósforo em estrume

Quando o teste de correlação foi feito em separado para cada tipo de estrume, não se encontrou correlação significativa entre as frações de fósforo dos estrumes e a sua eficiência relativa como adubo fosfatado. A ausência de correlação pode, em parte, ser explicada pela inexistência de diferença significativa para a eficiência das amostras de um mesmo tipo de estrume, conforme anotado nos parágrafos anteriores. As amostras de estrume foram coletadas numa região em que os agricultores adotam sistemas de produção semelhantes, o que certamente contribuiu para limitar as possibilidades de variação da proporção das frações de fósforo e da eficiência.

Considerando todas as amostras testadas, a proporção de P-1 total, as proporções de P recuperados nas extrações por resina e bicarbonato (Quadro 2) e a soma destas duas frações apresentaram coeficientes de correlação positivos a 5% com o índice de eficiência dos estrumes (Figura 2). Estas correlações positivas, provavelmente, foram influenciadas pelo tipo de estrume, pois os estrumes de bovinos apresentaram eficiência superior em relação aos de frango e as proporções médias de P-1 total e de P recuperado nas extrações por resina e bicarbonato (Quadro 2) também foram superiores naquele em relação a este tipo de estrume. Por outro lado, as formas de P lábil, extraídas pela resina e pelo bicarbonato, constituíram 57% do P-1 total dos estrumes de frangos, enquanto nos estrumes de bovinos a proporção destas formas foi de 92% do P-1 total. As correlações positivas encontradas foram coerentes com a afirmação de Black (1993) de que quanto maior a proporção de formas solúveis e reativas, ou lábeis, de P num fertilizante, maior a sua eficiência como fonte deste nutriente às plantas.

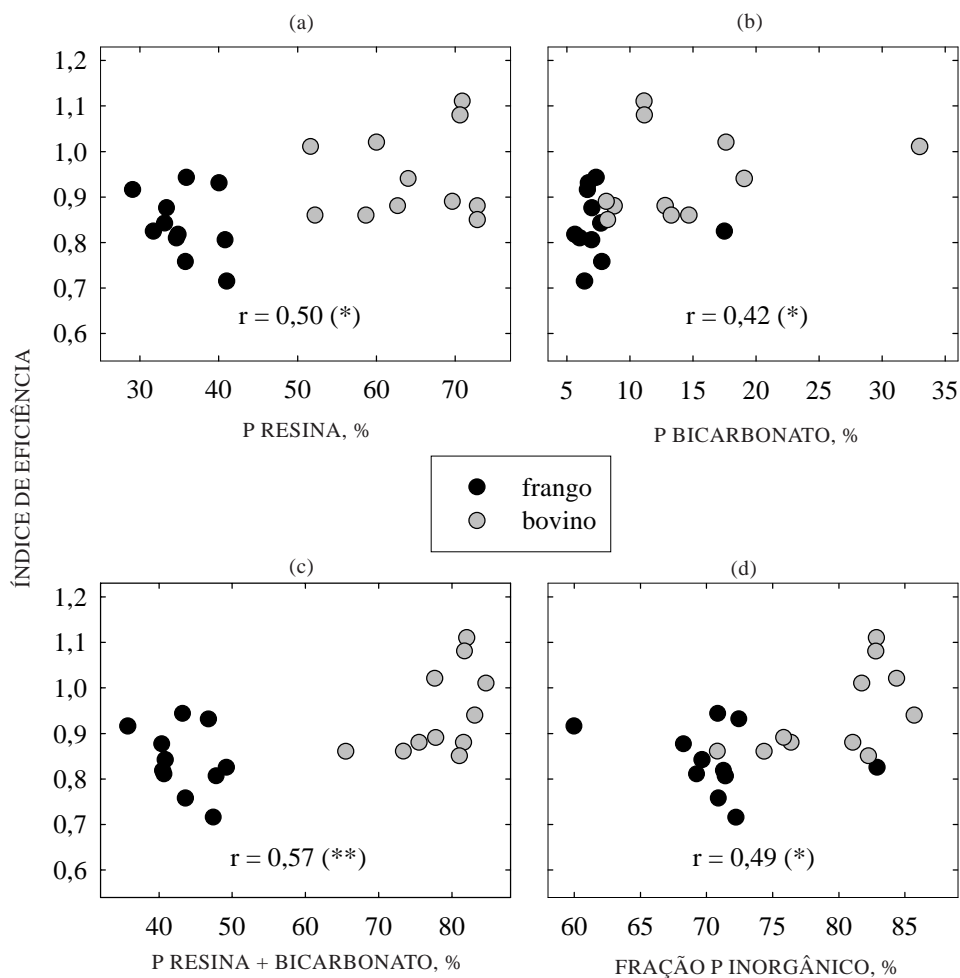


Figura 2. Correlação entre o índice de eficiência relativa de estrumes de frango e de bovino de leite como adubo fosfatado e as proporções do P recuperado em: resina trocadora de ânions (a), bicarbonato de sódio 0,5 mol L⁻¹ (b), soma das frações resina e bicarbonato (c) e somatório das formas inorgânicas (d). (*Significativo a 5%. **Significativo a 1%).

Em pesquisas anteriores, também foram observadas correlações positivas entre a disponibilidade de fósforo às plantas e os teores de fósforo extraído de amostras de solo por resina (Rajj, 1981; Miola, 1995) e pela solução $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de bicarbonato de sódio a pH 8,5 (Bowman & Cole, 1978; Hedley et al., 1982), indicando que estes extratores removem formas de fósforo lábeis que podem ser solubilizadas, ou hidrolisadas, durante o período de absorção pelas plantas, o que foi observado neste trabalho, para o fósforo contido nos estrumes. A correlação positiva entre a eficiência e a proporção de P-1 total pode ser um indicativo de que neste componente teve origem a maior parte do fósforo fornecido às plantas pelos estrumes e isto pode ser associado à predominância de compostos fosfatados reativos, ou lábeis, nesta fração, pois a maior parte do P-1 dos estrumes foi recuperada na extração com resina (Quadro 2).

As frações de fósforo que se correlacionaram negativamente com a eficiência foram aquelas extraídas em NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, o P-1 extraído em HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e a proporção de P-0 total (Figura 3). A redução na eficiência dos estrumes com o aumento

nas fração P-0 extraída em hidróxido de sódio e P-0 total dos estrumes indicou que parte dos fosfatos orgânicos não foi mineralizada no período de 30 dias de cultivo. Contudo, a queda de eficiência dos estrumes com o aumento na proporção de P-0 também pode ter sido, em parte, decorrente do aumento concomitante na proporção das formas de P-1 não-lábeis. Contribuiu para validar esta observação o fato de os estrumes de frango, os quais tiveram menor eficiência, terem apresentado, em relação aos de bovino, maiores proporções de P-1 extraído em HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ que também se correlacionou negativamente com a eficiência, indicando que, nesta fração, também foram extraídas formas de P-1 não-reativas no período de cultivo. Assim, parte do P-1 dos estrumes permaneceu em formas sólidas no solo durante este período, o que também deve ter contribuído para a menor eficiência destes resíduos em relação ao superfosfato triplo, contrariamente ao sugerido por Bromfield (1961) que atribuiu a menor eficiência dos estrumes em relação ao superfosfato somente à presença de formas de P orgânicas.

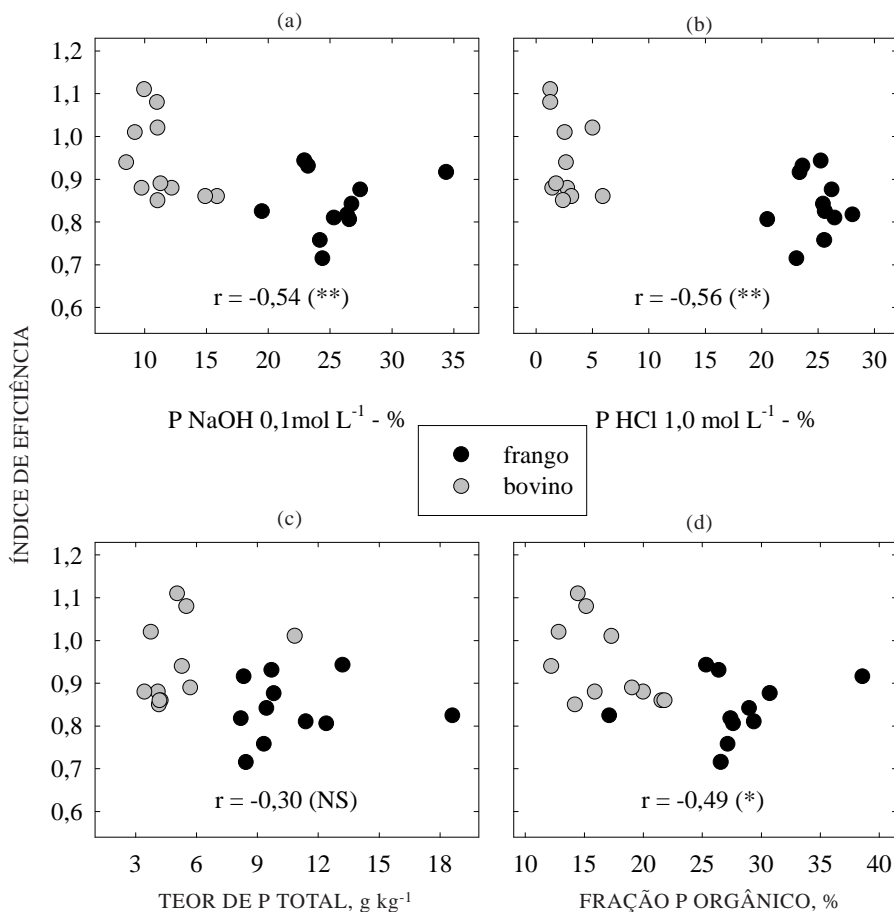


Figura 3. Correlação entre o índice de eficiência de estrumes de frango e de bovino de leite como adubo fosfatado e as proporções do P recuperado em NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (a), HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (b), teor de P total (c) e somatório de formas orgânicas (d). (NS não-significativo. * Significativo a 5%. ** Significativo a 1%).

O teor de fósforo total dos estrumes não teve correlação com a eficiência como fonte deste nutriente. Isto sugere que somente as formas lábeis de fósforo nos estrumes contribuíram para sua eficiência fertilizante, no período imediato à aplicação no solo, conforme descrito em parágrafo anterior. Contudo, caso o teor de fósforo total de um material orgânico incorporado no solo seja menor do que $2,0 \text{ g kg}^{-1}$, pode ocorrer imobilização temporária de fósforo na biomassa microbiana (Kaila, 1949), reduzindo sua eficiência fertilizante. Porém, os estrumes testados neste trabalho apresentaram teores de P total superiores a este valor, o que também foi observado por Cassol et al. (1994), para 81 amostras de estrumes coletados no estado de Santa Catarina.

CONCLUSÕES

1. As proporções de fósforo orgânico e inorgânico estimadas em estrume de frango de corte foram aproximadamente 1/4 e 3/4 do P total, respectivamente. Em estrume de bovino de leite, estas proporções foram aproximadamente 1/6 e 5/6, respectivamente.

2. Os índices de eficiência relativa, estimados por equivalentes em superfosfato triplo, para estrumes de frangos de corte e de bovinos de leite como adubos fosfatados foram de $0,84 \pm 0,071$ e $0,94 \pm 0,095$, respectivamente. Não houve diferença de eficiência entre amostras de estrume de mesma espécie animal.

3. A eficiência relativa de estrume como adubo fosfatado teve correlação positiva com as proporções de P inorgânico total e com as frações lábeis de P, extraídas por resina trocadora de íons e bicarbonato de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e negativa com as proporções de P orgânico total e com as frações extraídas por ácido clorídrico 1 mol L^{-1} e hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$.

4. Não houve correlação entre a eficiência relativa dos estrumes como adubo fosfatado e o teor de fósforo total contido nestes resíduos.

LITERATURA CITADA

BLACK, C.A. Soil fertility evaluation and control. Boca Raton, Lewis Publishers, 1993. 746p.

BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO_3 extraction. *Soil Sci.*, 125:49-54, 1978.

BROMFIELD, S.M. Sheep faeces in relation to the phosphorus cycle under pastures. *Aust. J. Agric. Res.*, 12:111-123, 1961.

CASSOL, P.C.; VEZARO, M.A. & CASA, A.M. Teores de matéria seca, C orgânico, nutrientes e pH em esterco de bovinos, suínos e aves. In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1., Pelotas, 1994. Anais. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 1994. p.62-63.

CASSOL, P.C. Eficiência fertilizante de estrumes de bovinos de leite e frangos de corte como fonte de fósforo às plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 162p. (Tese de Doutorado)

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFS/RS-SC. Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 1995. 223p.

CONDIRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1261-1266, 1990.

FORDHAN, A.W. & SCHWERTMANN, U. Composition and reaction of liquid manure (gülle), with particular reference to phosphate - II: Solid phase components. *J. Environ. Qual.*, 6:136-140, 1977.

GERRITSE, R.G. & ZUGEC, I. The phosphorus cycle in pig slurry measured from $^{32}\text{PO}_4$ distribution rates. *J. Agric. Sci.*, 88:101-109, 1977.

GILLIS, M.B.; NORRIS, L.C. & HEUSER, G.F. The effects of phytin on the phosphorus requirement of the chick. *Poultry Sci.*, 28:283-287, 1949.

GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. & REIN, T. Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1986. 23p. (Documentos, 22)

GUNARY, D. The availability of phosphate in sheep dung. *J. Agric. Sci.*, 70:33-38, 1968.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.

KAILA, A. Biological absorption of phosphorus. *Soil Sci.*, 68:279-289, 1949.

McLAUGHLIN, J.R.; RYDEN, J.C. & SYERS, J.K. Development and evaluation of a kinetic model to describe phosphate sorption by hydrous ferric oxide gels. *Geoderma*, 18:295-307, 1977.

MIOLA, G.R. Extração de P, K, Ca e Mg do solo por diferentes métodos de avaliação da disponibilidade de P para as plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 106p. (Tese de Mestrado)

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

PERPERZAK, P.; CALDWELL, A.G.; HUNZIKER, R.R. & BLACK, C.A. Phosphorus fractions in manures. *Soil Sci.*, 87:293-302, 1959.

- POMMEL, B.A. Détermination au moyen d'un teste biologique de la cinétique de libération du phosphore à partir d'une boue résiduaire. *Agronomie*, 1:467-472, 1981.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p
- SMITH, K.A. & van DIJK, T.A. Utilisation of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. In: van der MEER, H.G.; UNWIN, R.J.; van DIJK, T.A. & ENNIK, G.C., eds. *Animal manure on grassland and fodder crops*. Dordrecht, Martins Nijhoff, 1987. p.87-102.
- SCHERER, E.E.; NADAL, R. & CASTILHOS, E.G. Utilização de esterco de aves e adubo fosfatado na cultura do milho. Florianópolis, Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, 1986. 36p. (Boletim técnico, 35)
- SHARPLEY, A.N. & SISAK, I. Differential availability of manure and inorganic sources of phosphorus in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1503-1508, 1997.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- Van FAASSEN, H.G. & van DIJK, H. Manure as a source of nitrogen and phosphorus in soils. In: van der MEER, H.G.; UNWIN, R.J.; van DIJK, T.A. & ENNIK, G.C., eds. *Animal manure on grassland and fodder crops*. Dordrecht, Martins Nijhoff, 1987. p.27-45.
- WILLIAMS, J.D.H.; MAYERS, T. & NRIAGU, J.O. Extractability of phosphorus from phosphate minerals common in soils and sediment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:462-465, 1980.