

Amplitude no fósforo microbiano em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas

Danilo dos Santos Rheinheimer^{1*}, Rosane Martinazzo², Luciano Colpo Gatiboni³, João Kaminski¹ e Leandro Souza da Silva¹

¹Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-900, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. ²Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. ³Centro Educacional do Oeste, Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, Santa Catarina, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: danilo@ccr.ufsm.br

RESUMO. Em solos com elevado grau de intemperismo, a imobilização temporária de fósforo pela biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser um mecanismo de retardamento das reações de adsorção. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a amplitude no fósforo microbiano (P_{in}) em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada, introdução de forrageiras exóticas e adubadas com fertilizantes fosfatados. O estudo foi desenvolvido a partir de um experimento instalado em 1997 que constava de cinco tratamentos de fosfato e calagem (testemunha sem fósforo; hiperfosfato de gafsa; superfosfato triplo; superfosfato triplo + calcário e superfosfato simples + calcário), distribuídos em quatro blocos ao acaso. Em junho de 2002, a pastagem nativa remanescente foi roçada, semeada a pastagem de inverno e as parcelas originais foram divididas em três subparcelas. A reposição dos fertilizantes fosfatados foi feita em três épocas, uma em cada subparcela: sem reaplicação; reaplicação após a roçada da pastagem nativa remanescente (outono-junho); e reaplicação após a roçada da forrageira hiberna (primavera-novembro). A primeira avaliação do P_{in} foi feita 16 dias antes da primeira roçada, considerando o reinício do experimento (0 dia). A partir daí, coletaram-se amostras de solo aos 25, 36, 55, 82, 111, 139, 163, 171, 181, 197, 219, 229, 248, 274 e 316 dias após o reinício do experimento. O corte das forrageiras induziu à imobilização de fósforo pela biomassa microbiana do solo. Parte do fósforo adicionado, via fertilizantes, foi imobilizado temporariamente pela biomassa microbiana do solo.

Palavras-chave: biomassa microbiana, imobilização, adubos fosfatados, pastagens nativas, disponibilidade de fósforo.

ABSTRACT. Microbial phosphorus fluctuation in a Hapludalf under natural pasture, with cut off and forage species introduction, fertilized in different times. In very weathered soils, the temporary phosphorus immobilization by soil microbial biomass (SMB) could be a mechanism to reduce P adsorption. This study was carried out to evaluate the microbial phosphorus (P_{in}) content fluctuation in a Hapludalf under natural pasture with cut off and exotic forage species introduction and fertilized with phosphorus fertilizers. The experiment was conducted in 1997 with five treatments: control without P, natural gafsa phosphate, triple superphosphate, triple superphosphate + lime, and single superphosphate + lime. In 2002, natural pasture was cut off and a mix of ryegrass and arrowleaf clover was planted in a no-tillage system. The original plots were split into three sub-plots: without P reapplication; P reapplication after cut off in winter, and P reapplication after cut off in spring. The first P_{in} evaluation was made 16 days before the first cut off, considered the beginning of the experiment (day 0). Soil samples for P_{in} evaluation were taken at 0, 25, 36, 55, 82, 111, 139, 163, 171, 181, 197, 219, 229, 248, 274, and 316 days after the beginning of the experiment. The cut off stimulated P_{in} immobilization by microbial biomass. Part of the phosphorus from fertilizers was temporary immobilized by microbial biomass.

Key words: microbial biomass, immobilization, phosphate fertilizers, natural pasture, phosphorus availability.

Introdução

Os solos tropicais e subtropicais são constituídos predominantemente por minerais do tipo 1:1, oxihidróxidos de ferro e alumínio e 2:1 com hidróxi-

alumínio nas entrecamadas, uma vez que se encontram em estado avançado de intemperismo (Sanchez e Logan, 1992). Com isso, os principais grupos funcionais envolvidos na adsorção de fósforo

são os OH^- e OH_2^+ ligados a um ou dois metais da estrutura dos minerais (Parfitt, 1978) e a ligação envolve compartilhamento de elétrons e alto grau energético. Isso leva à baixa disponibilidade de fósforo inorgânico (Pi) às plantas, especialmente, em solos com elevada acidez (Barrow, 1983; Goldberg e Sposito, 1985). Porém, a disponibilidade de fósforo não é controlada apenas pelos processos químicos de adsorção e desorção, mas também por processos biológicos, os quais envolvem a mineralização e imobilização do fósforo dos compostos orgânicos e solubilização e precipitação de fosfatos inorgânicos.

O fósforo orgânico (Po), acumulado no solo, pode ser dividido em diferentes grupos de acordo com sua estrutura química (Tate e Newman, 1982). Cerca de 80% do fósforo orgânico total do solo é constituído por fosfatos monoéster (como o hexafosfato de inositol), que são compostos de alta carga residual e alta reatividade com os colóides inorgânicos do solo, fazendo com que estes sejam de alta recalcitrância e baixa disponibilidade às plantas (Rheinheimer, 2000). Os fosfatos orgânicos diéster, polifosfatos e fosfonatos são cadeias carbonadas de mais fácil decomposição microbiana e, por isso, de baixa persistência nos solos, perfazendo em torno de 10% do fósforo orgânico total do solo (Rheinheimer e Anghinoni, 2001). A terceira fração do fósforo orgânico do solo, a mais reativa, é o fósforo contido na biomassa microbiana do solo (Pm), adquirido da solução do solo, ou o mineralizado, a partir de compostos orgânicos e imobilizado nas células microbianas. Como os fosfatos monoéster são de difícil decomposição, a utilização do Po como fonte de fósforo às plantas está diretamente relacionada à mineralização dos fosfatos diéster e, principalmente, da ciclagem do fósforo armazenado na biomassa microbiana do solo (BMS) após a morte dos microrganismos (Stewart e Tiessen, 1987).

A BMS é influenciada por fatores climáticos, principalmente, pela disponibilidade de fontes de energia e nutrientes, estando diretamente relacionada com a quantidade de resíduos vegetais adicionados ao solo e com a disponibilidade de nutrientes inorgânicos (Tsai *et al.*, 1992). Em função disso, ocorrem variações sazonais na atividade microbiana (He *et al.*, 1997). A resposta da BMS à variação da concentração e tipo de carbono adicionado tem sido usada como um indicador da atividade microbiana em curto e longo prazo (Doran, 1980), pois os microrganismos buscam carbono e outros nutrientes, elétrons e energia nos compostos orgânicos. Em sistemas de produções que

mantêm grande quantidade de resíduos na superfície, tem-se observado aumento na atividade dos microrganismos (Vargas, 1997) e na quantidade de Pm (Rheinheimer *et al.*, 2000; Conte *et al.*, 2002).

A adição de fertilizantes fosfatados aos solos tem resultado em aumento nos teores de Pm (Saffigna *et al.*, 1989), mesmo em solos argilosos (Lukito *et al.*, 1998; Conte *et al.*, 2002; Martinazzo *et al.*, 2007). Isso demonstra que os microrganismos são eficientes em competir com os colóides do solo pelo P adicionado. He *et al.* (1997), trabalhando em solo em pastagem e adição de fertilizantes fosfatados, observaram grande variação no fluxo de C, P e S via BMS, podendo atingir 7,3 toneladas de C, 29 kg de P e 41 kg de S por hectare em um ano. A fertilização fosfatada manteve alta a disponibilidade de fósforo o suficiente para atender à demanda da pastagem e a BMS serviu como um reservatório de fósforo. Após, quando ocorre a morte de parte da BMS, o fósforo é convertido em formas inorgânicas, acompanhando a marcha de mineralização, que pode ser mais condizente com a taxa de absorção de algumas espécies de plantas (Myers *et al.*, 1994). Isso faz com que o fósforo armazenado na biomassa microbiana retarde a adsorção ou diminua a quantidade de fósforo adsorvido aos colóides inorgânicos do solo (Stewart e Sharpley, 1984; Stewart e Tiessen, 1987; Rheinheimer, 2000). Conte (2001) observou, em um solo Latossolo argiloso com diferentes doses de fósforo, aumento de Pm logo após a aplicação de adubo fosfatado. No entanto, observou, também, que o Pm não foi afetado pelo fósforo acumulado no solo por aplicações anteriores, possivelmente, porque reações já tivessem ocorrido entre o fósforo e os colóides inorgânicos do solo.

Pelo exposto, parte do fósforo adicionado via fertilizantes é imobilizado logo em seguida pela BMS, porém parece que, em solos sob o efeito residual de adubações fosfatadas anteriores, isso não ocorre. Assim, é necessário avaliar a amplitude do efeito imediato e residual da adubação fosfatada sobre o conteúdo de fósforo armazenado na BMS.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a amplitude no fósforo armazenado pela biomassa microbiana do solo em um Argissolo com pastagem nativa submetida à roçada, introdução de forrageiras exóticas e adubada com fertilizantes fosfatados.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, originalmente, em pastagem nativa. Para este estudo, utilizou-se como base um

experimento instalado em 1997 que objetivava a elevação da oferta de forragem da pastagem nativa pela adubação fosfatada, calagem e introdução de espécies forrageiras de crescimento hibernal. O experimento constava de cinco tratamentos de fósforo e calagem (testemunha sem fósforo; hiperfosfato de gafsa; superfosfato triplo; superfosfato triplo + calcário e superfosfato simples + calcário), distribuídos em quatro blocos ao acaso. A dose adicionada, baseada na quantidade total de fósforo dos fertilizantes, foi de 180 kg de P_2O_5 ha⁻¹, em 1997, e outra de 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹ foi reaplicada em 1998. A dose de calcário foi de 3,2 toneladas ha⁻¹, em 1997 (elevação do pH do solo a 5,5). Nos invernos, eram introduzidas, via semeadura direta, as forrageiras de inverno azevém (*Lolium multiflorum*) + trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*). Maiores detalhes são descritos em Gatiboni *et al.* (2000).

Em junho de 2002, a pastagem nativa remanescente foi roçada a uma altura de aproximadamente, 5 cm do solo e semeada a pastagem de inverno (trevo vesiculoso + azevém). As parcelas principais dos cinco tratamentos (5,6 x 10,0 m) foram divididas em três subparcelas (5,6 x 3,3 m). Neste trabalho, o monitoramento das flutuações temporais do fósforo microbiano foi feito em um dos blocos do experimento, a fim de diminuir a variabilidade espacial. Desse modo, o bloco avaliado passou a ser considerado a área experimental. A reposição dos tipos dos fertilizantes fosfatados foi feita em três épocas, uma em cada subparcela, sem reaplicação; reaplicação após a roçada da pastagem natural remanescente e introdução das espécies forrageiras (outono-junho); e reaplicação após a roçada da forragem de inverno (primavera-novembro). Dentro de cada subparcela (tipo de fertilizante fosfatado e época de aplicação) foram consideradas quatro unidades experimentais, considerando-as como repetições. Os dados climáticos coletados durante o período experimental constam na Tabela 1.

O teor de fósforo armazenado na biomassa microbiana (Pm) foi avaliado 16 dias antes da roçada da pastagem nativa remanescente, considerado reinício do experimento (0 dia). A partir daí, coletaram-se amostras de solo aos 25, 36, 55, 82, 111, 139, 163, 171, 181, 197, 219, 229, 248, 274 e 316 dias após o reinício do experimento. A coleta de solo foi efetuada com trado calador, na camada de 0-10 cm, com seis subamostras por unidade experimental. O solo foi transportado até o laboratório em caixa térmica, que continha gelo, onde foi tamisado em malha de 2 mm e imediatamente analisado o Pm.

Tabela 1. Precipitação pluvial, temperatura mensal, insolação e número de geadas no período de condução do experimento.

Mês/ano	Precipitação pluvial mm	Temperatura mensal °C			Insolação horas mês ⁻¹	Número de geadas
		9h	15h	21h		
2002						
Jun	174	14,9	15,6	15,6	123	6
Jul	283	14,0	14,8	14,9	119	3
Ago	283	15,7	15,5	16,7	141	--
Set	306	15,6	16,9	17,3	188	1
Out	349	20,6	21,1	21,8	112	--
Nov	234	21,9	23,7	23,5	176	--
Dez	233	24,1	25,8	25,8	198	--
2003						
Jan	178	25,8	27,9	29,8	282	--
Fev	205	26,1	27,3	27,2	182	--
Mar	342	24,2	25,2	26,2	180	--
Abr	190	20,2	21,7	21,5	177	--
Mai	69	17,4	18,5	18,5	185	--

Fonte: Departamento de Fitotecnia – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (Estado do Rio Grande do Sul).

O teor de Pm foi obtido pelo método de irradiação com microondas (Islam e Weil, 1998), de acordo com os seguintes procedimentos: amostras de 0,500 gramas de solo foram pesadas em triplicata (conjunto A, B e C). Somente o solo do conjunto A foi irradiado em microondas a $8,1 \times 10^4$ J; no solo do conjunto C foi adicionado 50 mg P kg⁻¹ e o solo do conjunto B não recebeu nem irradiação e nem fosfato. Extraíu-se o P do solo dos três conjuntos com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (pH 8,5) na relação solo: solução de 1:20. O Pm foi calculado pela equação:

$$\frac{(\text{conjunto A} - \text{conjunto B})}{0,4 \times (\text{conjunto C} - \text{conjunto A})} \quad (1)$$

em que:

o fator 0,4 foi obtido de Brookes *et al.* (1982), assumindo que apenas 40% do fósforo da BMS são extraídos pela técnica. Os dados de Pm do solo das amostragens antes e após as roçadas da pastagem natural remanescente, da forragem de inverno e da pastagem natural rebrotada para os tipos de fertilizantes fosfatados (testemunha sem fósforo, hiperfosfato de gafsa, superfosfato triplo, superfosfato triplo + calcário, superfosfato simples + calcário) foram submetidos a análises de variância a 5% de significância e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% (Gomes e Gomes, 1984).

Resultados e discussão

Efeito residual: roçadas da pastagem sem reaplicação de fosfato

O efeito das roçadas da parte aérea das forragens, associado ao efeito residual das fontes de fosfato, promoveu um incremento temporário no conteúdo do Pm do solo (Figura 1a). Houve

incremento nos teores de Pm, após a roçada da pastagem nativa remanescente, independentemente do histórico de adubação do solo e do tipo de fosfato aplicado (Figura 1a). Essa flutuação do Pm, após a roçada, deve ter sido provocada pela decomposição de uma grande quantidade de forragem e resíduos vegetais mortos na superfície do solo, decorrentes do período de repouso da área experimental (quatro anos). A roçada deve ter proporcionado um estímulo à BMS, pela mineralização de fontes de nutrientes provenientes dos resíduos vegetais, mesmo para o tratamento sem aplicação de P (testemunha). O estímulo à BMS foi maior quando da aplicação do fosfato. Mesmo após quatro anos sem aplicação de fertilizantes fosfatados, os teores de fósforo disponível extraído pela resina trocadora de ânions para os fosfatos de gafsa, SFT, SFT+calcário e SFS+calcário foram de 11,0; 11,0; 10,0 e 11,0 mg kg⁻¹, respectivamente, sendo superiores àquele do tratamento-testemunha, que foi de 7,8 mg kg⁻¹ (dados não apresentados).

Na testemunha, o teor de Pm aumentou de 9,0 mg kg⁻¹ na avaliação feita duas semanas antes da roçada para 19,6 mg kg⁻¹ duas semanas após a roçada. Para os tratamentos com adição de fosfato, o teor médio de Pm aumentou de 10,0 mg kg⁻¹ para 29,6 mg kg⁻¹, nas avaliações feitas aos 16 dias antes e 18 dias após a roçada da pastagem nativa remanescente, respectivamente (Tabela 2).

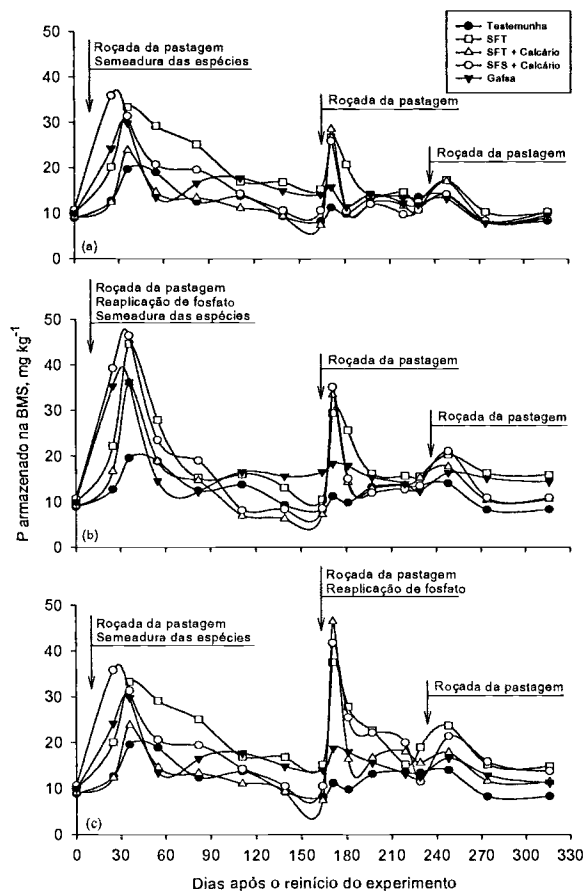


Figura 1. Conteúdo de fósforo armazenado na biomassa microbiana do solo em um Argissolo em pastagem natural submetido a roçadas periódicas sem reaplicação de fosfato (a) e com reaplicação de fosfato no outono (b) e na primavera (c).

Tabela 2. Fósforo armazenado na biomassa microbiana do solo antes e após as roçadas das pastagens em função da adição de fosfato e calcário e da época de reaplicação.

Tratamento	Roçada da pastagem natural remanescente		Roçada da pastagem de inverno		Roçada da pastagem natural rebrotada	
	Antes (16 dias)	Após (18 dias)	Antes (1 dia)	Após (7 dias)	Antes (1 dia)	Após (9 dias)
mg kg ⁻¹						
<i>Efeito residual: roçadas da pastagem sem reaplicação de fosfato</i>						
Testemunha	9.0 bA	19.6 aB	8.2 aA	11.2 aB	13.5 ^{ms}	14.1
Gafsa	10.1 bA	29.8 aA	14.1 aA	15.8 aB	11.9	13.2
SFT	10.2 bA	33.3 aA	15.3 bA	26.7 aA	12.4	17.3
SFT + Calcário	9.2 bA	23.8 aAB	7.4 bA	28.5 aA	10.8	17.0
SFS + Calcário	10.7 bA	31.4 aA	10.6 bA	25.9 aA	10.7	14.1
CV (%)		7.1		13.4		10.4
<i>Roçadas da pastagem com reaplicação de fosfato no outono</i>						
Testemunha	9.0 bA	19.6 aC	8.2 aA	11.2 aB	13.5 ^{ms}	14.1
Gafsa	10.1 bA	36.4 aB	16.5 aA	18.4 aB	12.4	16.4
SFT	10.2 bA	44.7 aAB	10.6 bA	29.5 aA	15.6	20.4
SFT + Calcário	9.2 bA	36.2 aB	7.3 bA	33.5 aA	15.2	17.7
SFS + Calcário	10.7 bA	46.5 aA	8.6 bA	35.2 aA	13.5	21.1
CV (%)		8.5		13.6		13.6
<i>Roçadas da pastagem com reaplicação de fosfato na primavera</i>						
Testemunha	9.0 bA	19.6 aB	8.2 aA	11.2 aB	13.5 aA	14.1 aB
Gafsa	10.1 bA	29.8 aA	14.1 aA	18.8 aB	12.6 aA	16.6 aAB
SFT	10.2 bA	33.3 aA	15.3 bA	37.6 aA	19.0 aA	23.7 aA
SFT + Calcário	9.2 bA	23.8 aAB	7.4 bA	46.5 aA	15.6 aA	17.9 aAB
SFS + Calcário	10.7 bA	31.4 aA	10.6 bA	40.5 aA	11.6 bA	21.4 aAB
CV (%)		7.1		11.6		6.9

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, minúscula para comparação da época de amostragem em cada roçada separadamente e maiúscula para adição de fosfato e calcagem.

A equivalência do fosfato natural, em relação aos fosfatos solúveis, medido pelo Pm, foi devido ao longo período de crescimento da pastagem natural. Isso proporcionou um incremento de matéria seca e maior desenvolvimento de raízes, ao longo do período de pousio, potencializando a atividade da BMS. Este aumento do conteúdo de Pm pode ser atribuído ao aumento da disponibilidade de carbono de fácil decomposição (Tsai *et al.*, 1992), especialmente pela morte de parte do sistema radicular da pastagem nativa provocada pela roçada (Carámbula, 1977), estimulando a BMS. O conteúdo de P oriundo de resíduos de plantas tem sido um fator importante para determinar as taxas de mineralização ou imobilização, as quais são potencializadas quando há altas quantidades de carbono de fácil decomposição. Assim, a quantidade de fósforo imobilizado pela BMS pode ser aumentada pelo fornecimento de carbono (Chauhan *et al.*, 1979), ocorrido após a roçada da pastagem nativa remanescente. Isso demonstra que, neste experimento, a BMS foi mais dependente do aporte de carbono e nutrientes no solo do que dos fatores climáticos, discordando do que foi obtido por Sarathchandra *et al.* (1988) e Smith e Paul (1990) em outros locais.

Na avaliação feita aos sete dias após a roçada da pastagem de inverno (junho), durante o pleno florescimento do azevém e do trevo, observou-se incremento no conteúdo de Pm em relação à avaliação feita um dia antes da roçada, somente para os tratamentos que haviam recebido fosfatos solúveis (Figura 1a e Tabela 2). Os valores de Pm aumentaram de 15,3 para 26,7 mg kg⁻¹; 7,4 para 28,5 mg kg⁻¹ e 10,6 para 25,9 mg kg⁻¹, para os tratamentos SFT, SFT + calcário e SFS + calcário, respectivamente (Tabela 2). A ausência de estímulo da BMS, nos tratamentos testemunha e fosfato natural e o menor estímulo nos tratamentos com fosfato solúvel em relação à roçada da pastagem nativa remanescente, deve-se, possivelmente, à menor quantidade de carbono disponível aos microrganismos, pois o desenvolvimento da cultura de trevo e de azevém é bem menor do que a da pastagem nativa remanescente, especialmente em termos de acúmulo de resíduos superficiais, promovido pela renovação da pastagem durante o inverno e a menor quantidade de renovação radicular (efeito rizosférico), como observado por Buchanan e King (1992).

A terceira roçada da pastagem nativa rebrotada não estimulou a BMS a imobilizar fósforo. Isso se deve, provavelmente, à menor disponibilidade de carbono de fácil decomposição devido ao período de

acúmulo de resíduos ter sido menor, comparativamente às duas roçadas anteriores.

Roçadas da pastagem com reaplicação de fosfato no outono

O comportamento geral do Pm foi semelhante ao observado com o efeito residual: três picos caracterizam as análises feitas após as roçadas da pastagem (Figura 1b). A roçada da pastagem nativa remanescente estimulou a BMS, proporcionando um grande acúmulo de Pm. Assim, quando há grande acúmulo de matéria seca, servindo de fonte de carbono e energia à BMS, o acúmulo de Pm é proporcional à capacidade do adubo fosfatado em liberar fósforo à solução do solo. O teor de fósforo disponível passou de 7,8 mg kg⁻¹ na testemunha para 18,0; 17,0 e 18,0 mg kg⁻¹ quando da adição de SFT, SFT + calcário e SFS + calcário, respectivamente (dados não apresentados). A maior disponibilidade de fósforo proporcionou incremento na produtividade de forragem de inverno, que passou de 3,3 toneladas ha⁻¹ na testemunha para 6,0; 6,5 e 7,6 toneladas ha⁻¹ nos tratamentos com SFT, SFT + calcário e SFS + calcário, respectivamente. Assim, a reaplicação dos superfosfatos manteve o Pm 21,2% mais elevado do que o efeito residual (32,7 e 27,0 mg kg⁻¹, respectivamente). Resultados semelhantes são descritos por Conte (2001), em que as frações inorgânicas de P, no solo, correlacionaram-se com os teores de fósforo contidos na biomassa microbiana do solo, com melhores correlações para as frações de maior labilidade. O aumento no conteúdo de Pm, quando adicionado adubo fosfatado solúvel ao solo, também foi observado por Saffigna *et al.* (1989) e Guerra *et al.* (1995), entre outros. Segundo Tate (1984), parte do fósforo adicionado que é incorporado pela BMS pode ser uma fonte potencial de fósforo disponível, considerando que o Pm pode ser considerado uma fração lábil da matéria orgânica.

Novamente, a reaplicação de fosfato natural não estimulou a imobilização de fósforo pela BMS após a roçada da pastagem de inverno, pela baixa produtividade de trevo + azevém proporcionada por esse fertilizante. A roçada da pastagem nativa rebrotada não aumentou significativamente a imobilização de fósforo pela BMS, similarmente ao observado com os tratamentos de efeito residual, embora a reaplicação de fosfato solúvel tenha mantido os valores de Pm mais elevados na primeira coleta após a roçada.

Roçadas da pastagem com reaplicação de fosfato na primavera

A reaplicação do fosfato solúvel imediatamente

após a roçada da pastagem de inverno (azevém + trevo) promoveu um acentuado acréscimo de fósforo armazenado pela BMS (Figura 1c). Os valores de Pm aumentaram em média, para os superfosfatos, de 11,1 mg kg⁻¹ na avaliação feita um dia antes da roçada, para 41,2 mg kg⁻¹ na avaliação feita aos nove dias após (Tabela 2). O acréscimo médio foi de 52,6% no Pm (41,2 mg kg⁻¹) em relação à não reaplicação (27,0 mg kg⁻¹) e de 26,0% em relação à reaplicação de outono (32,7 mg kg⁻¹). Novamente, a imobilização de fósforo pela BMS esteve relacionada ao aumento na disponibilidade desse nutriente no solo decorrente da adição dos adubos fosfatados, sendo que os valores de P extraído pela resina passaram de 7,0 mg kg⁻¹ na testemunha para 12,0; 18,0; 19,0 e 18,0 mg kg⁻¹ nos tratamentos com fosfato de gafsa, SFT, SFT + calcário e SFS + calcário, respectivamente (dados não apresentados).

A maior disponibilidade de fósforo, proporcionada pela aplicação na primavera (após corte da pastagem de inverno), incrementou a produtividade da pastagem nativa rebrotada, que passou de 3,3 toneladas ha⁻¹ na testemunha para 5,7; 5,9; 6,7 e 7,4 toneladas ha⁻¹ nos tratamentos com gafsa, SFT, SFT + calcário e SFS + calcário, respectivamente. Isso, inclusive, fez com que o Pm, nos tratamentos SFT e SFS + calcário, se mantivesse mais elevado após o corte da pastagem nativa rebrotada (Tabela 2).

Conclusão

O corte das forrageiras induz à imobilização de fósforo pela biomassa microbiana do solo. Quanto maior a disponibilidade de fósforo no solo, maior a produtividade das pastagens e maior a quantidade de fósforo imobilizado temporariamente pelos microrganismos do solo. Parte do fósforo adicionado, via fertilizantes, foi imobilizado temporariamente pela biomassa microbiana do solo, atuando como um retardador do processo de adsorção de fósforo e melhorando o sincronismo entre a mineralização do fósforo orgânico e a absorção pelas plantas.

Referências

BARROW, N.J. On the reversibility of phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.*, Oxford, v. 34, n. 4, p. 751-758, 1983.

BROOKES, P.C. et al. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, Elmsford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

BUCHANAN, M.; KING, L.D. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus and activity in

no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems. *Biol. Fertil. Soils*, Berlin, v. 13, n. 4, p. 211-217, 1992.

CARÁMBULA, M. *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Montevideo: Hemisferio Sur, 1977.

CHAUHAN, B.S. et al. Effect of carbon additions on soil labile inorganic, organic and microbially held phosphate. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, v. 59, n. 3, p. 387-396, 1979.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3. ed. Porto Alegre: SBCS-NRS, 1994.

CONTE, E. *Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fósforo em solo no sistema plantio direto*. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CONTE, E. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 44, n. 1, p. 765-771, 1980.

GATIBONI, L.C. et al. Influência da adubação fosfatada e da introdução de espécies forrageiras de inverno na oferta de forragem de pastagem natural. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Rio de Janeiro, v. 35, n. 8, p. 1663-1668, 2000.

GOLDBERG, S.; SPOSITO, G. On the mechanism of specific phosphate adsorption by hydroxylated mineral surfaces: a review. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.*, New York, v. 16, n. 8, p. 801-821, 1985.

GOMES, K.A.; GOMES, A.A. *Statistical procedures for agricultural research*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1984.

GUERRA, J.G.M. et al. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana do solo de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 4, p. 543-551, 1995.

HE, Z.L. et al. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soil under pasture. *Biol. Fertil. Soils*, Berlin, v. 24, n. 4, p. 421-428, 1997.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fertil. Soils*, Berlin, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.

LUKITO, H.P. et al. Phosphorus requirements of microbial biomass in a regosol and an andosol. *Soil Biol. Biochem.*, Elmsford, v. 30, n. 7, p. 865-872, 1998.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563-570, 2007.

MYERS, R.J.K. et al. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Ed.). *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p. 81-116.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soil and soil materials. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 30, p. 1-46, 1978.

- RHEINHEIMER, D.S. *Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo do solo*. 2000. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S. *et al.* Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.
- SAFFIGNA, P.G. *et al.* Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biol. Biochem.*, Elmsford, v. 21, n. 1, p. 197-204, 1989.
- SANCHES, P.A.; LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. *In: LAL, R.; SANCHES, P.A. (Ed.). Myths and science of soils of the tropics*. Madison: SSSA, 1992. p. 35-46.
- SARATHCHANDRA, S.U. *et al.* Seasonal changes and the effects of fertilizer on some chemical, biochemical and microbiological characteristics of high-producing pastoral soil. *Biol. Fertil. Soils*, Berlin, v. 6, n. 4, p. 328-335, 1988.
- SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. *In: BOLLAG, J.; STOSTKY, G. (Ed.). Soil biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1990. p. 357-393.
- STEWART, J.W.; SHARPLEY, A.N. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. *In: FOLLETT, W.R.; WHITTY, J.M. (Ed.). Soil fertility and organic matter as critical components of production systems*. Madison: ASA-SSSA, 1984. p. 101-121. (Special publication, 19).
- STEWART, J.W.B.; TIESSSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 4, n. 1, p. 41-60, 1987.
- TATE, K.R.; NEWMAN, R.K. Phosphorus fractions of a climosequence of soils in New Zealand tussock grassland. *Soil Biol. Biochem.*, Elmsford, v. 14, n. 1, p. 191-196, 1982.
- TATE, K.R. The biological transformation of P in soil. *Plant and Soil*, The Hague, v. 6, n. 1/3, p. 245-256, 1984.
- TSAI, S.M. *et al.* Efeito de fatores do solo. *In: CARDOSO, E.J.N.B. et al. (Ed.). Microbiologia do solo*. Campinas: SBSC, 1992. p. 59-72.
- VARGAS, L.K. *Biomassa e atividade microbiana em sistemas de manejo do solo*. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

Received on January 15, 2007.

Accepted on February 15, 2008.