

# EFEITO RESIDUAL DA CALAGEM E DE FONTES DE FÓSFORO NUMA PASTAGEM ESTABELECIDADA EM SOLO DE CERRADO<sup>1</sup>

CLÁUDIO SANZONOWICZ, EDSON LOBATO<sup>2</sup> e WENCESLAU J. GOEDERT<sup>3</sup>

**RESUMO** - O efeito residual de cinco fontes de fósforo foi testado na presença de três doses de calcário, durante dez anos em condições de campo, num Latossolo Vermelho-Escuro (Haplustox). A *Brachiaria decumbens* respondeu à aplicação de P até à dose mais elevada, sendo que os maiores acréscimos ocorreram de 38 para 150 kg/ha de P. Em termos de produção total de matéria seca, os fosfatos tiveram a seguinte eficiência: Superfosfato simples (SS) = termofosfato. (Yoorin) > fosfato natural (FN) de Gafsa Tunísia (hiperfosfato) = FN de Carolina do Norte (EUA) > FN de Araxá. A eficiência do FN de Araxá foi baixa no início, mas foi aumentando com o passar do tempo, sendo maior nas doses mais altas. A produção obtida na dose de 38 kg/ha de P aplicado na forma de FN de Araxá não foi superior à testemunha. Nesse mesmo nível de P, nas outras fontes, o efeito residual acabou após o terceiro ano agrícola. Todas as fontes ainda apresentam efeito residual nas doses mais elevadas. Houve resposta a calcário. A calagem afetou o desempenho dos FN, somente no primeiro ano agrícola. A aplicação de SS em cobertura apresentou produção superior à conseguida com a incorporação da mesma quantidade de P ao solo na ocasião do plantio. O extrator Mehlich revelou valores de P no solo inferiores ao Bray I para todas as fontes e doses, com exceção para o FN de Araxá, no nível mais elevado onde esse método superestimou o P disponível.

Termos para indexação: fosfato natural, eficiência dos fosfatos, calcário, interação fósforo x calcário, *Brachiaria decumbens*, extrator Mehlich, extrator Bray I, adubação de pastagens, Cerrado.

## RESIDUAL EFFECTS OF LIME AND PHOSPHORUS SOURCES IN PASTURES ON CERRADO SOIL

**ABSTRACT** - The residual effect of five sources of phosphate combined with three levels of lime were evaluated during ten years in a field experiment in a Dark Red Latosol (Haplustox). There was response from *Brachiaria decumbens* to the highest level of P applied, and the greatest increment occurred between 38 and 150 kg/ha of P. The phosphate efficiency on the total production of dry matter was as follows: single superphosphate (SS) = thermalphosphate (Yoorin) > rock phosphate (RF) from Gafsa/Tunisia hyperphosphate = RF from North Carolina > RF from Araxá. The efficiency of the Araxá RF was low at the beginning, but increased with time and with higher rates. At the 38 kg/ha level of P applied in the form of RF from Araxá, yields were not greater than the control, and other sources at the same P level had their residual effects disappeared after the 3<sup>rd</sup> year. All P sources showed residual effects at the highest levels. There was lime effect. Liming affected the natural phosphate performance only in the first year. The surface application of SS showed better yields than those obtained with the incorporation of the same amount of P at transplanting. Values of P in soil were smaller using Mehlich extractant compared to Bray I for all sources and levels. However, for the natural phosphate from Araxá at the highest level, the Mehlich method overestimated available P.

Index terms: natural phosphate, effectiveness of phosphates, lime, interaction lime x phosphorus, pasture fertilization, *Brachiaria decumbens*, Mehlich extractor, Bray I extractor, "Cerrado".

## INTRODUÇÃO

A maioria dos solos da região dos Cerrados se caracterizam por apresentarem baixa fertilidade natural. Daí a necessidade de serem adubados para poderem produzir em termos econômicos.

Apesar de os estudos sobre adubação nestes solos terem sido iniciados há cerca de três décadas (Fagundes et al. 1953), a maioria deles foram realizados nos últimos anos. As revisões mais recentes (Lobato 1982, Sanzonowicz & Goedert 1985) mostraram que a deficiência de P é o fator mais limitante ao desenvolvimento das plantas cultivadas em solos de Cerrado. E isto, não só pelos níveis naturalmente baixos, mas também pela grande capacidade destes solos em reter o P aplicado, exigindo, em consequência, a aplicação de doses relativamente altas para se obter níveis de produção economicamente viáveis. Além desses aspectos,

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 25 de junho de 1986. Trabalho apresentado no XX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo - Belém, PA, julho de 1985.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 70.0023, CEP 73300 Planaltina, Brasília, DF.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Ph.D., EMBRAPA/CPAC.

os constantes aumentos nos preços dos fertilizantes fosfatados solúveis nos últimos anos e a descoberta de jazidas de fosfatos naturais induziram os estudos sobre a possibilidade de utilização desses materiais como fontes alternativas para o suprimento de P às plantas. Isto, principalmente levando-se em consideração que os solos da região dos Cerrados seriam os mais adequados para utilização de fosfatos naturais, pois além de possuírem teores baixos de P disponível, são ácidos e apresentam baixo teor de Ca trocável, condições favoráveis para a solubilização dos fosfatos apatíticos (Dyria 1977).

Dada a lenta liberação do P dos fosfatos naturais, é de se esperar que esses fosfatos sejam mais eficientes para cultivos de plantas perenes, como as forrageiras que não necessitam de elevados teores de P disponível num curto espaço de tempo. A *Brachiaria decumbens* é uma espécie que apresenta boa adaptação em solos com alta saturação de alumínio (Spain & Andrew 1976, Serrão et al. 1971); além disso, possui grande capacidade em absorver o fósforo do solo.

Pelo fato de este experimento ser de longa duração, diversas publicações (Relatório técnico anual 1976, 1978, 1980, Sanzonowicz & Lobato 1980, Lobato & Sanzonowicz 1980, Yost et al. 1982, Sanzonowicz & Goedert 1985) já têm sido feitas enfocando somente determinados aspectos e usando períodos de tempo menores, sendo que o trabalho em questão analisou o conjunto de todos os dados obtidos nos dez anos de avaliação.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência agrônômica das fontes de fósforo, na presença de calagem, na produtividade da *B. decumbens*, a longo prazo. Além disso, procurou-se dar maior ênfase em comparar um fosfato natural brasileiro, cuja jazida está localizada dentro da região dos cerrados, em relação às demais fontes, bem como a possibilidade do seu uso para a formação de pastagens.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está instalado em um Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, de textura argilosa, fase Cerrado (Brasil. Ministério da Agricultura 1966), no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) em Planaltina, DF. As características químicas do solo, a aplicação

e incorporação do calcário, a caracterização das fontes de fósforo: superfosfato simples, fosfato natural (FN) de Araxá, FN de Carolina do Norte (EUA), FN de Gafsa-Tunísia (hiperfosfato) e termofosfato (Yoorin). O desenho experimental, a adubação básica e o plantio da *Brachiaria decumbens* Stapf foram detalhadas por Yost et al. (1982).

As doses de 38, 150 e 600 kg/ha de P foram aplicadas a lanço e incorporados ao solo em fevereiro de 1973, para todas as fontes, exceto o FN de Carolina do Norte que, em decorrência da pouca disponibilidade do material, foi incluído apenas o nível de 150 kg/ha de P. Todas as doses de P foram combinadas com três doses de calcário (0, 3 e 4,5 t/ha). Além desses e da testemunha, houve um tratamento adicional onde eram aplicados em cobertura 38 kg/ha/ano de P na forma de superfosfato simples (SSAnual), durante os cinco primeiros anos após o estabelecimento da pastagem, sempre no início da estação chuvosa, totalizando 190 kg/ha de P aplicado.

Anualmente eram feitas adubações uniformes em todas as parcelas com nitrogênio e potássio, com base na análise do solo e na produção de matéria seca, com exceção do oitavo e nono anos agrícolas, visando repor as extrações.

Nestes dez anos em que o ensaio foi conduzido, foram realizados 23 cortes da pastagem, sendo que da parte aérea era retirada uma amostra que foi secada a 65°C em estufa de circulação de ar forçada para determinar a produção da massa seca.

A análise do tecido para a determinação de P, e a digestão das amostras, foram feitas por via úmida com ácido sulfúrico concentrado e água oxigenada, e a concentração de P faz-se conforme Murphy & Riley (1962). Com base no rendimento de massa seca e teor de P no tecido, calculou-se o P extraído e retirado das unidades experimentais para o superfosfato simples, FN da Araxá e testemunha. Após o último corte, efetuou-se a amostragem do solo (0 cm - 20 cm de profundidade) coletando-se vinte amostras por subparcelas. As determinações do pH, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e P (Mehlich I) foram feitas conforme Brasil. Ministério da Agricultura (1966), enquanto o P (Bray I) foi realizado segundo (Bray & Kurtz 1945).

#### RESULTADOS E DISCUSSÕES

No primeiro corte, realizado três meses após o plantio da pastagem, a análise estatística revelou que a calagem não teve efeito significativo na produção de matéria seca (MS), de *B. decumbens*.

Apesar de o calcário não ter influenciado diretamente no estabelecimento da pastagem, a sua interação entre fontes de fósforo foi altamente significativa (Fig. 1). Observa-se que a eficiência agrônômica do fosfato natural de Araxá teve seu desempenho ini-

cial prejudicado com o aumento das doses de calcário, enquanto ocorreu o inverso com o superfosfato simples. No entanto, estes efeitos da calagem na presença do fosfato de Araxá desapareceu com o passar do tempo, não sendo significativo no corte realizado aos 25 meses e nem na produção total de MS do segundo ano agrícola, sendo que a partir de então começaram a aparecer os efeitos benéficos da calagem, mesmo na presença do fosfato natural de Araxá. O efeito da calagem nos três primeiros anos agrícolas em relação às outras fontes de fósforo, mesmo para as menos solúveis, como FN de Carolina do Norte e do FN de Gafsa (hiperfosfato), apresentou uma tendência de aumento na produção de matéria seca.

A análise estatística mostrou que não houve

efeito significativo do calcário na produção de matéria seca nos diferentes anos agrícolas, com exceção do terceiro ano, fato este, provavelmente decorrente da deficiência de magnésio no solo nas parcelas que não receberam calcário na ocasião do estabelecimento. Como a análise do solo revelava baixos teores de Mg, fez-se a aplicação de 50 kg/ha de Mg ( $MgSO_4$ ) em todas as parcelas, e, a partir de então, não mais se observou resposta positiva ao calcário.

No entanto, considerando-se a produção acumulada de MS durante todo o período, conforme pode-se observar na Tabela 1, nota-se que houve um efeito benéfico da calagem até a dose de 3 t/ha de calcário, onde houve um acréscimo de 7,6% de MS em relação à testemunha, o que equivale

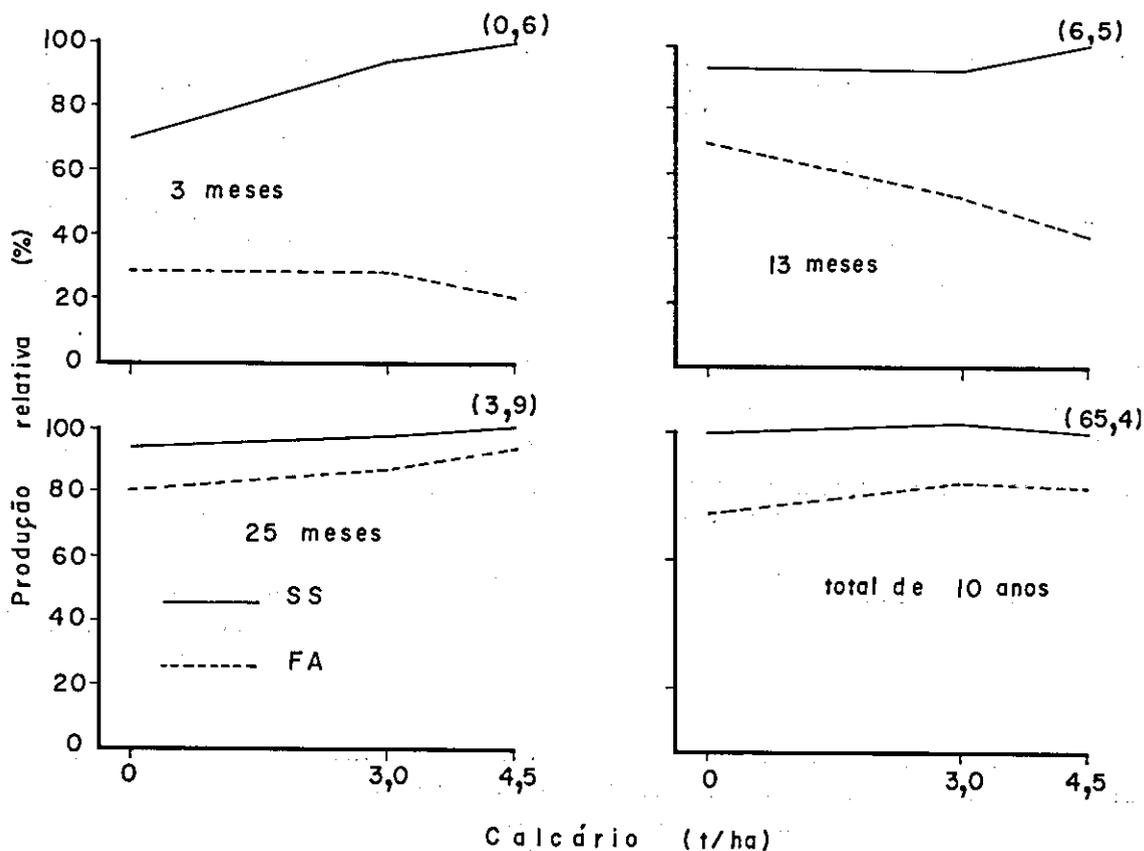


FIG. 1. Efeito da acidez do solo na solubilidade do fosfato natural de Araxá (FA) e do superfosfato simples (SS) no cultivo de *B. decumbens*, em diferentes épocas, após a aplicação do calcário. Os valores entre parênteses correspondem a 100% da produção de matéria seca, na média das doses de fósforo.

TABELA 1. Produção total de matéria seca de *Brachiaria decumbens* cultivada durante dez anos (23 cortes), influenciado por doses de calcário, fontes níveis e modos de aplicação do fósforo.

Fontes	kg/ha de P	Calcário t/ha			Média *	Produção relativa <sup>2</sup>	IEA <sup>2</sup>
		0	3,0	4,5			
		----- t/ha -----					
Superfosfato simples	38	31,8	24,3	28,3	28,3	28	100
	150	64,6	69,7	65,2	66,5	65	100
	600	99,4	106,9	102,0	102,8	100	100
					Média 65,9 a		
Termofosfato (Yoorin)	38	19,4	23,0	34,3	25,6	25	75
	150	63,9	63,3	67,1	64,8	63	97
	600	103,3	110,4	114,5	109,4	106	108
					Média 66,5 a		
FN de Araxá	38	11,7	18,6	23,2	17,8	17	01
	150	49,7	49,4	43,7	47,6	46	61
	600	84,2	97,6	95,3	92,4	90	88
					Média 52,6 c		
FN Gafsa (Hiperfosfato)	38	23,3	24,5	26,3	24,7	24	66
	150	58,7	66,3	64,9	63,3	62	93
	600	94,5	104,0	101,2	99,9	97	97
					Média 62,6 b		
FN Carolina do Norte	150	56,4	61,1	66,3	61,3	60	89
SSA	38 <sup>1</sup> (190)	72,8	81,7	82,8	79,1	77	—
Testemunha	0	18,3	15,2	19,5	17,7	17	—
Média		56,8 b	61,1 a	62,3 a			

\* Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa (DMS 5%).

<sup>1</sup> Dose aplicada anualmente em cobertura, no início da estação chuvosa entre out./74 a out./78 (5 anos).

<sup>2</sup> Produção em relação à obtida com aplicação de 600 kg/ha de P, na forma de superfosfato simples.

<sup>3</sup> Índice de Eficiência Agronômica (IEA), calculado com a média, ou seja:

$$IEA = \frac{\text{Produção da fonte, na dose } x - \text{produção da testemunha}}{\text{Produção do superfosfato, na dose } x - \text{produção testemunha}} \times 100$$

a um aumento de 4,3 t/ha de matéria seca. Estes dados demonstram que a *B. decumbens* possui boa tolerância à acidez e aos níveis de alumínio inicialmente encontrados no solo, cerca de 70% de saturação de alumínio (Relatório técnico anual 1976). Neste caso, a resposta positiva da calagem pode ser atribuída mais a um fornecimento de Ca e Mg como nutriente do que como uma necessidade de correção do solo.

A comparação entre as fontes de fósforo testadas revela que há diferenças significativas entre elas na produção de MS de *B. decumbens* (Tabela 1).

Para se comparar as diferenças de produção de MS entre as fontes de fósforo, utilizou-se a percentagem relativa da produção de MS e o índice de eficiência agronômica (IEA). Segundo Goedert & Lobato (1984), a percentagem relativa reflete bem a eficiência comparativa entre as fontes somente quando o rendimento mais alto se aproximar do potencial máximo de produção e o rendimento da parcela testemunha for baixo; e para o IEA, pressupõe-se que a função de resposta à adubação pode ser representada por uma reta, e que a capacidade de produção do fósforo nativo é o mesmo para qualquer dose aplicada.

Em termos de produção total de MS, o termofosfato (Yoorin) apresentou eficiência semelhante à do superfosfato simples, desde o primeiro ano, enquanto o fosfato natural de Araxá diferiu das demais fontes, e, em decorrência da sua solubilidade inicial lenta, apresentou um estabelecimento mais lento da pastagem. No entanto, o seu desempenho foi melhorando com o passar do tempo, mas a sua eficiência sempre foi inferior à dos demais fosfatos utilizados. Comportamento semelhante foi observado por Goedert & Lobato (1984), de diversos fosfatos naturais brasileiros em relação ao superfosfato triplo, neste mesmo tipo de solo, tanto na produção das culturas anuais como no capim andropógon. Este particular decorre da baixa solubilidade que esse fosfato apresenta quando aplicado *in natura*.

O fosfato natural de Gafsa (Hiperfosfato) apresentou uma produção de MS inferior e intermediária entre as fontes mais solúveis (Yoorin e superfosfato simples) e o fosfato natural de Araxá; porém, significativa em relação a estas fontes de fósforo (Tabela 1). O FN de Carolina do Norte apresentou um desempenho bem superior ao FN de Araxá, mas semelhante ao FN de Gafsa.

Houve aumentos na produção de MS da cultura até o nível mais elevado de P aplicado. No entanto, os maiores acréscimos de produção se verificaram do primeiro para o segundo nível de P aplicado, isto é, de 38 para 150 kg/ha de P.

A diferença obtida na produção entre o superfosfato simples e o fosfato de Araxá, na dose de 38 kg/ha de P foi inicialmente muito acentuada, mas foi desaparecendo com o passar do tempo, sendo que após o terceiro ano, as produções obtidas não diferiram entre si (Fig. 2). Isto mostra que o efeito residual de dose de 38 kg/ha de P aplicado na forma de superfosfato simples diminuiu após o terceiro ano do estabelecimento da pastagem, e a sua produção foi semelhante à da testemunha. Esse mesmo comportamento foi observado do termofosfato (Yoorin) e do hiperfosfato em relação ao fosfato de Araxá. Estes resultados levam a crer que o efeito residual da dose de 38 kg/ha de P se tenha exaurido após este período.

À medida que as doses aumentaram, no caso de 150 para 600 kg/ha de P, as produções obtidas

nas duas fontes comparadas (superfosfato simples e fosfato de Araxá) atingiram rendimentos bastante próximos uma da outra, após o segundo ano (Fig. 2). Contudo, a produção acumulada permaneceu superior para a fonte solúvel, apesar de a eficiência do FN ter aumentado com o tempo, ou seja, a maior produção comparativa inicial obtida com as fontes mais solúveis não é compensada com o decorrer do tempo (Tabela 1 e Fig. 3).

As produções de matéria seca obtidas com o nível de 38 kg/ha de P aplicado na forma de fosfato de Araxá não diferiram das obtidas na parcela testemunha (Tabela 1 e Fig. 3). Esse resultado confirma as observações realizadas por Werner et al. (1968) e Sanzonowicz & Goedert (1985), para doses baixas de P aplicados na forma de fosfato natural de Araxá, Olinda e Alvorada.

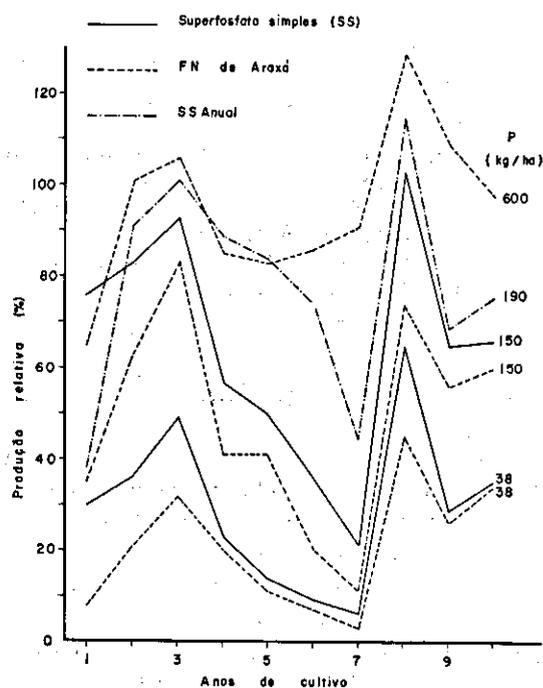


FIG. 2. Produção relativa anual de matéria seca de *B. decumbens* nos dez anos de avaliação (100% correspondente a 600 kg/ha de P, aplicado na forma de SS). O tratamento SS Anual recebeu, a lanço e em cobertura, 38 kg/ha/ano, na forma de SS, nos cinco primeiros anos de cultivo.

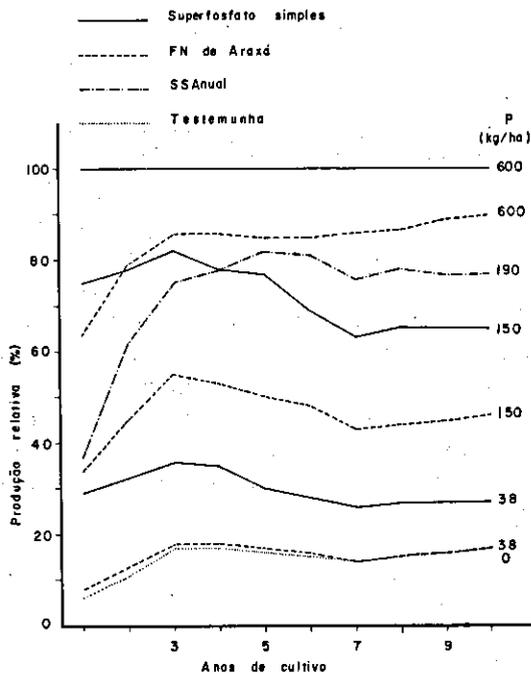


FIG. 3. Produção relativa acumulada de matéria seca de *B. decumbens*, durante dez anos de avaliação em resposta à aplicação de doses e fontes de fósforo. O tratamento SSAnual recebeu, a lanço e em cobertura, 38 kg/ha/ano de P, na forma de superfosfato simples, nos cinco primeiros anos de cultivo.

Contudo, o índice de eficiência do fosfato de Araxá para níveis mais elevados de P foi bastante superior. Para a dose de 150 kg/ha de P, o IEA foi de 61%, sendo este um índice importante para cálculos econômicos e sobre a viabilidade do uso dessa fonte de fósforo. Esse dado mostra, ainda, que, se computado o efeito residual de um período relativamente longo, a eficiência dos fosfatos naturais brasileiros é bem superior à obtida nos primeiros anos. Entretanto, para a análise econômica, tem grande influência o estabelecimento mais rápido com fontes mais solúveis e o fato de que a produção acumulada final é maior para estas fontes (Tabela 1).

Um tratamento adicional com 38 kg/ha de P sob a forma de superfosfato simples foi aplicado em cobertura, superficialmente, sem incorporação, em outubro de 1974 (Tabela 1). O tratamento foi

repetido anualmente, durante os cinco primeiros anos, sempre no início do período chuvoso. As produções obtidas com este tratamento, em março de 1975, foram superiores às conseguidas com a incorporação da mesma quantidade de P ao solo na ocasião do plantio da forrageira. A produção de MS obtida logo após a segunda aplicação de P em cobertura (total aplicado de 76 kg/ha de P) foi igual à obtida na dose mais alta de P aplicado (600 kg/ha de P), tanto na forma de superfosfato simples como na forma de fosfato natural de Araxá (Fig. 2).

Esta alta resposta dessa forrageira à aplicação de P em cobertura também foi observada por Hammond et al. (1982). Estes autores verificaram que a produção obtida durante os quatro primeiros anos, para uma aplicação inicial de P, foi tão eficiente como as aplicações anuais da mesma quantidade total do elemento, fracionada em quatro partes. Esses resultados mostram a viabilidade de adubações parceladas e em cobertura na forma de superfosfato simples, sendo que esta boa resposta desta espécie pode ser atribuída a seu eficiente sistema radicular localizado próximo à superfície do solo. Esse aspecto é importante para a recuperação de pastagens degradadas, onde o P é um fator limitante da produtividade.

A quantidade total de fósforo extraído do solo pela forrageira das parcelas experimentais que receberam diferentes doses de fósforo, na forma de superfosfato simples e fosfato de Araxá, é mostrada na Tabela 2. A pequena quantidade de P retirado na parcela testemunha confirma a baixa disponibilidade desse nutriente nas condições naturais desse solo.

A quantidade de P recuperado durante os dez anos de avaliação foi de 67%, 55% e 23% para o superfosfato simples e de 36%, 31% e 19% para o fosfato de Araxá, respectivamente para as doses de 38, 150 e 600 kg/ha de P. A quantidade total de P absorvido foi maior nas doses mais altas de P aplicado. Entretanto, os maiores índices de recuperação do P por unidade do elemento aplicado foram obtidas nas doses mais baixas, sendo que este valor foi mais elevado para o superfosfato simples do que para o fosfato de Araxá (Tabela 2).

A quantidade de P extraído na parcela testemunha, em relação às outras que receberam P, mostra

que a *B. decumbens* tem capacidade de extrair P do solo, mesmo que este se encontre disponível em concentrações muito baixas.

O índice de eficiência agrônômica do fosfato natural de Araxá em relação ao superfosfato simples em termos da quantidade de P extraído está na Tabela 2. Comparando-se estes índices com os obtidos para a produção de MS (Tabela 1), nota-se que foram semelhantes para a dose de 38 kg/ha de P, enquanto para as doses mais altas de P aplicado, o IEA foi menor para a quantidade de P absorvido. À medida que aumentam as doses de P aplicado, maior é o IEA. Comportamento semelhante foi observado por Goedert & Lobato (1984), do fosfato de Araxá em relação ao superfosfato triplo na quantidade de P extraído pelo capim-andropógon.

TABELA 2. Fósforo retirado do solo pela *B. decumbens* nos dez anos de cultivo, e índice de eficiência agrônômica (IEA), percentagem de P recuperado, máximo (Máx.) e mínimo (Mín.) das fontes testadas. Média dos níveis de calcário.

Fontes	Dose de P total kg/ha	P retirado	IEA <sup>1</sup>	P recuperado	
				Máx.	Mín. <sup>3</sup>
Superfosfato simples (SS)	38	25,4	100	67	30
	150	78,4	100	52	43
	600	140,5	100	23	21
FN Araxá (FA)	38	13,7	0	36	0
	150	46,7	51	31	22
	600	111,0	77	19	16
SSAnual	38 <sup>2</sup> (190)	111,9	—	59	51
Testemunha	0	13,9	0	—	—

$$^1 \text{ IEA} = \frac{\text{P retirado FA} - \text{P testemunha}}{\text{P retirado SS} - \text{P testemunha}} \times 100$$

<sup>2</sup> Dose aplicada anualmente em cobertura, no início da estação chuvosa entre out./74 e out./78 (5 anos).

<sup>3</sup> Mín. = P retirado na dose - P retirado na testemunha. (dose aplicada)<sup>-1</sup> x 100

A aplicação, em cobertura, de 38 kg/ha de P durante os cinco primeiros anos, sempre no início da estação chuvosa, propiciou uma recuperação do P pela planta, maior do que a obtida nas doses em que o P foi incorporado ao solo, conforme pode-se observar na Tabela 2.

Apesar desta espécie possuir grande capacidade de retirar o P do solo, a quantidade extraída na dose de 38 kg/ha de P, aplicado na forma de fosfato de Araxá foi similar à da testemunha (IEA igual a zero), corroborando as afirmativas de Sanzonowicz & Goedert (1985) de que a aplicação de doses baixas de P na forma de fosfato natural não conseguem suprir as necessidades da planta.

Os resultados da análise química do solo, que mostram em que condições ocorreram as reações dos fosfatos no solo, refletidas em relação ao pH, Ca + Mg, e Al trocável e P extraível, ajudam a explicar as respostas obtidas com o *B. decumbens* (Tabelas 3 e 4).

Os dados mostram que o efeito residual de aplicação do calcário ainda persiste após dez anos de sua incorporação ao solo, como revelam as características químicas do solo (Tabela 3). A elevação do pH do solo e dos teores trocáveis de Ca + Mg e a correspondente diminuição do Al<sup>3+</sup> trocável são bem acentuados nas parcelas que receberam calcário, tanto na parcela testemunha como nos demais tratamentos.

A comparação dos dados de análise do solo realizada aos três meses após a incorporação do calcário (Yost et al. 1982), com os da Tabela 3, observa-se que o pH na ausência de calcário praticamente não se alterou, mas na dose de 4,5 t/ha de calcário o pH decresceu de 5,6 para 5,0 ao passo que o teor de Ca + Mg baixou de 3,7 para 1,3 ml/100 g. Nesses dez anos de cultivo, o teor de alumínio aumentou tanto na ausência como na presença do calcário, sendo mais acentuado nas parcelas que receberam calagem. Por outro lado, o teor de Ca + Mg diminuiu em todos os tratamentos, mas os maiores decréscimos se verificaram quando houve aplicação do calcário. Essa diminuição do teor de Ca + Mg se deve à extração pela gramínea e às perdas por lixiviação.

De modo geral, a utilização de altas doses de fósforo aumentou o pH do solo, sendo que, mesmo após dez anos de sua aplicação, o termofosfato (Yoorin), principalmente nas doses mais altas, apresenta um efeito mais pronunciado do que as outras fontes, provavelmente em virtude do seu alto teor em silicato de magnésio (Yost et al. 1982).

A aplicação de 6.900 kg de superfosfato simples (600 kg/ha de P) não apresentou nenhuma variação no pH solo, ao passo que as outras fontes geralmente promoveram uma pequena elevação do pH, sendo que a mais acentuada ocorreu na presença do termofosfato (Yoorin).

Os teores trocáveis de Ca + Mg e Al variaram entre as fontes (Tabela 3), sendo que o termofosfato magnesiano, quando aplicado na dose de 600 kg/ha de P, além de elevar os teores de Ca + Mg, reduziu o Al trocável. Era de se esperar que houvesse um aumento do teor de Ca + Mg trocável nas parcelas que receberam o fosfato apatítico (FN Araxá), pois com a sua dissolução no solo haveria liberação do  $Ca^{++}$ , como ocorreu com o FN de Gafsa. No entanto, isto não aconteceu, o que leva a crer que parte desse fosfato ainda permanece no solo, na forma original.

Os teores de P no solo, determinados pelos dois extratores mais comumente utilizados (Método Mehlich e Bray I), são relativamente baixos em todos os níveis e para todas as fontes, com exceção da dose de 600 kg/ha de P. Isto mostra que o efeito residual depende mais da dose inicialmente aplicada do que da fonte de fósforo. Além disso, os resultados mostram que no décimo ano após a sua aplicação, independentemente do método de extração utilizado (Tabela 4), os teores de P atualmente encontrados no solo foram drasticamente reduzidos em relação aos dados obtidos por Yost et al. (1982), aos três meses após sua incorporação. Este decréscimo relativamente rápido do teor de P disponível no solo, pode, com o passar do tempo, ser atribuído principalmente: a) à absorção de P pelas culturas e a sua remoção das parcelas; b) à grande capacidade de adsorção de P

TABELA 3. Efeito do calcário e das fontes de fósforo nas características químicas do solo, dez anos após sua aplicação.

Fonte	Dose	Calcário (t/ha)								
		0			3,0			4,5		
		pH	Ca + Mg	Al	pH	Ca + Mg	Al	pH	Ca + Mg	Al
	kg/ha de P	meq/100 g			meq/100 g			meq/100 g		
Superfosfato simples	38	4,6	0,28	1,8	4,5	0,41	1,6	4,8	0,85	1,1
	150	4,6	0,31	1,7	4,8	0,77	1,3	5,0	1,21	1,0
	600	4,6	0,30	1,9	4,9	1,11	1,0	4,9	1,04	1,2
Termofosfato (Yoorin)	38	4,3	0,22	1,9	5,0	0,62	1,2	4,9	0,81	1,2
	150	4,7	0,27	1,6	4,8	0,73	1,4	5,1	1,50	0,7
	600	5,0	1,33	0,9	5,5	2,81	0,2	5,5	2,75	0,2
FN de Araxá	38	4,5	0,20	1,7	4,6	0,34	1,8	4,7	0,70	1,5
	150	4,6	0,28	1,6	4,7	0,53	1,4	4,9	1,03	1,0
	600	4,7	0,38	1,7	5,0	1,11	1,0	5,1	1,56	0,8
FN Carolina do Norte	150	4,6	0,30	1,7	5,0	0,77	1,8	4,9	0,84	1,2
Fosfato de Gafsa (Hiperfosfato)	38	4,5	0,26	1,9	4,6	0,40	1,6	4,8	0,87	1,2
	150	4,6	0,29	1,6	4,9	0,86	1,1	5,0	1,19	1,0
	600	4,8	0,63	1,4	5,1	1,67	0,7	5,2	2,28	0,5
Superfosfato simples (SSAnual)	38 (190) <sup>1</sup>	4,5	0,26	1,8	4,8	0,69	1,4	5,0	1,11	1,0
Testemunha	0	4,4	0,25	1,8	4,5	0,41	1,6	4,8	0,95	1,2

<sup>1</sup> Dose aplicada anualmente, em cobertura no início da estação chuvosa out./74 a out./78 (5 anos).

DMS (5%) pH = 0,14.

Ca + Mg = 0,32.

Al = 0,3.

TABELA 4. Teores de fósforo no solo em função do calcário extraído pelos métodos Mehlich (PM) e Bray I (PB), na presença de doses e fontes de fósforo, dez anos após a sua aplicação.

Fontes	Doses de P	Calcário (t/ha)					
		0		3,0		4,5	
		PM	PB	PM	PB	PM	PB
	kg/ha	ppm					
Superfosfato simples	38	1,1	2,5	1,0	2,2	1,2	2,0
	150	1,3	2,8	1,1	2,4	1,4	2,1
	600	3,0	5,6	7,7	10,6	4,4	5,7
Termofosfato (Yoorin)	38	1,0	2,2	1,0	2,4	0,9	2,1
	150	1,0	2,4	1,1	2,1	1,0	1,9
	600	2,4	4,2	3,9	5,1	2,8	4,0
FN de Araxá	38	0,9	2,4	1,0	2,1	1,0	2,5
	150	1,3	2,8	1,3	2,4	1,2	2,2
	600	6,1	4,4	9,8	3,0	10,3	2,9
FN Carolina do Norte	150	1,2	3,0	1,2	2,1	1,0	2,0
FN Gafsa (Hiperfosfato)	38	1,1	3,9	0,2	1,9	0,9	2,0
	150	1,1	2,3	1,1	2,1	0,3	1,8
	600	4,8	6,4	9,1	6,1	9,0	4,3
S. simples (SSAnual)	38 (190) <sup>1</sup>	1,3	2,4	1,3	2,3	1,1	1,9
Testemunha	0	1,0	2,5	0,9	1,8	0,9	1,9
DMS (5%)		1,7	1,6	7,6	3,2	4,7	2,2

<sup>1</sup> Dose aplicada anualmente em cobertura, no início da estação chuvosa entre out./74 a out./78 (5 anos).

desse solo; c) provavelmente, às partículas, principalmente dos fosfatos naturais que, ao serem moídos, foram criadas cargas nas faces quebradas, e estas, ao serem preenchidas por óxidos de Fe e Al, formaram uma camada envolvente ao seu redor. Esse fenômeno dificulta a liberação do P do fosfato. Segundo Goedert (1983), cerca de 1/4 do P aplicado na forma de apatita permaneceu no mesmo estado, seis anos após a sua aplicação.

Como se pode observar na Fig. 4, o extrator Mehlich superestima o teor de fósforo, quando usado para solos que receberam fosfatos naturais, essa resposta somente ocorreu na dose mais elevada de P aplicado. Através da análise do solo realizada aos três meses após a aplicação das fontes e doses de P, Yost et al. (1982) observaram que o extrator Mehlich superestimou o teor de P no solo, tanto na dose de 150 como na de 600 kg/ha de P. Isto mostra que com o passar do tempo as doses

menores perdem mais rapidamente o seu efeito residual. Mas apesar de os extratores não conseguirem extrair teores maiores de P na dose de 150 kg/ha de P em relação a 38 kg/ha de P, a produtividade da *B. decumbens* é bem melhor em função da dose (Fig. 4). Por outro lado, a quantidade de P extraível pelo método Bray I (Tabela 4) reflete o fato de que os fosfatos mais solúveis foram capazes de manter maior nível de P disponível para as plantas.

O extrator ideal é aquele que quando se correlaciona a produção relativa com os teores de P encontrados no solo apresenta só uma curva, para todas as fontes. Na Fig. 4, pode-se observar que nenhum dos extratores usados apresenta esse comportamento.

Pelo fato de ser ácido, o extrator Mehlich, na presença de fosfatos de baixa reatividade, extrai o P do mineral que não é disponível para as plantas.

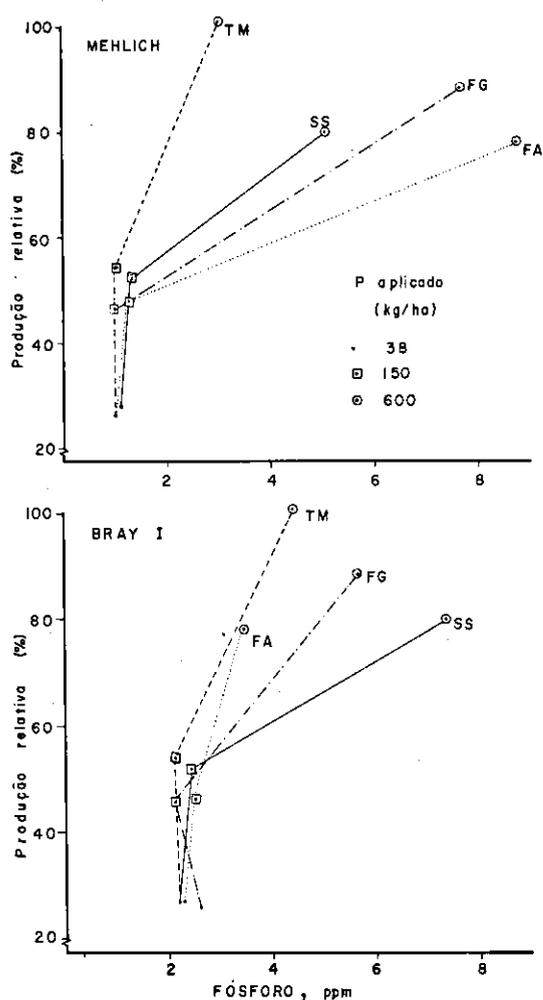


FIG. 4. Valores de P extraível pelo método Mehlich I e Bray I, na presença do termofosfato (Yoorin) (TM), superfosfato simples (SS), FN de Gafsa (FG) e FN de Araxá (FA) aplicados a lanço e incorporados ao solo, no início do experimento (produção relativa e teores de P no solo obtidos no décimo ano agrícola).

Como conseqüência, valores elevados de P no solo não refletem aumento de produção. Apesar de possuir esses problemas, é um método muito usado, pois se apresenta como razoavelmente adequado como um indicador da disponibilidade de P para solos sem adubação ou que receberam adubos fosfatados solúveis. O método Bray I, por não

superestimar o teor de P em solos que receberam P na forma de fosfato natural e apresenta boa capacidade de extrair o P "residual" do solo, nos tratamentos que receberam 0, 38 ou 150 kg/ha de P, parece ser o método que melhor exprime a resposta da *B. decumbens* em função dos teores de P encontrados no solo.

### CONCLUSÕES

1. A *B. decumbens* respondeu à aplicação de calcário, mas os aumentos de produção de matéria seca acumulada no período de dez anos não foi elevada.
2. Houve resposta à aplicação de fósforo até a dose mais elevada, sendo que os maiores acréscimos na produção de matéria seca ocorreram nas menores doses.
3. O efeito residual da menor dose de P aplicada acabou após o terceiro ano agrícola.
4. Em termos de produção total de matéria seca, o superfosfato simples e o termofosfato (Yoorin) foram as fontes que apresentaram melhor índice de eficiência agrônômica, vindo a seguir o FN de Gafsa (hiperfosfato), FN de Carolina do Norte e FN de Araxá.
5. A eficiência do FN de Araxá foi baixa no início, mas foi aumentando com o passar do tempo. Contudo, a produção acumulada permaneceu superior para as fontes mais solúveis, mostrando que a maior produção inicial obtida com estas fontes não foi compensada pela melhoria da eficiência dos FN com o decorrer do tempo.
6. O índice de eficiência agrônômica do FN de Araxá variou em função da quantidade de fosfato aplicado, sendo muito baixo na menor dose.
7. A calagem afetou o desempenho do FN de Araxá, somente no primeiro ano agrícola.
8. A aplicação do superfosfato simples em cobertura apresentou produção superior à conseguida com a incorporação da mesma quantidade de P ao solo, na ocasião do plantio.
9. Em termos de alterações químicas no solo, o termofosfato (Yoorin) foi a fonte de P que mais aumentou o pH, o teor de Ca + Mg, e diminuiu o nível de Al trocável no solo.
10. Os métodos Mehlich e Bray I revelaram que ainda há quantidades razoáveis de P disponível no

## EFEITO RESIDUAL DA CALAGEM

solo, quando foram aplicados 600 kg/ha de P, dez anos atrás.

11. O método Bray I, por não superestimar o teor de P "disponível" no solo, quando se aplicam fosfatos naturais, reflete melhor a disponibilidade do nutriente no solo, em relação à produção obtida, do que o método Mehlich.

## AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores, Osni Correa de Souza, Wilson V. Soares, Tarcísio G. da Silva Campos e aos Técnicos Agrícolas Amábilio J.A. Camargo e Antero Marques Ferreira, pelo acompanhamento e avaliação, e ao Antônio Carlos Gomes, pela análise estatística dos dados.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento semi-detalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura do Distrito Federal. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1966. 135p. (Boletim técnico, 8)
- BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59:39-45, 1945.
- DYNIA, J.F. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência dos adubos fosfatados. Porto Alegre, UFRGS, 1977. 61p. Tese Mestrado.
- FAGUNDES, A.B.; MENEZES, W.C.; KALCKMANN, R. E. Adubação e calagem de terras do cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Campinas, 1949. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1953. p.295-304.
- GOEDERT, W.J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 18(5):499-506, 1983.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de Cerrado. *R. bras. Ci. Solo*, 8: 97-102, 1984.
- HAMMOND, L.L.; LEON, L.A.; RESTREPO, L.G. Efecto residual de las aplicaciones de 7 fuentes de fósforo en Oxisol de Carimagua. *Suelos Ecuat.*, 12(2): 196-206, 1982.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos sob vegetação de cerrado. In: OLIVEIRA, J.A.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.201-40.
- LOBATO, E. & SANZONOWICZ, C. Effects of P sources on pastures. In: AGRONOMIC economic research on soils of the tropics; 1978-1979 report. Raleigh, North Carolina State University, 1980. p.51-61.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-6, 1962.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS 1975-1976. Planaltina, 1976. 154p.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS 1976-1977. Planaltina, 1978. 183p.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS 1978-1979. Planaltina, 1980. 170p.
- SANZONOWICZ, C. & GOEDERT, W.J. Uso de fosfatos naturais em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 7., Piracicaba, SP, 1984. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1985. p.235-67.
- SANZONOWICZ, C. & LOBATO, E. Calagem e fontes de fósforo na produção de *Brachiaria decumbens* Stapf. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1980. 2p. (EMBRAPA-CPAC. Pesquisa em andamento, 3)
- SERRÃO, E.A.S.; CRUZ, E. de S.; SIMÃO NETO, M.; SOUSA, G.F. de; BASTOS, J.B.; GUIMARÃES, M. C. de F. Resposta de três gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens* Stapf, *Brachiaria ruziziensis* Germain et Everard e *Pennisetum purpureum* Schum.) a elementos fertilizantes em Latossolo Amarelo textura média. Belém, IPEAN, 1971. 38p. (Fertilidade de solo, 1)
- SPAIN, J.M. & ANDREW, C.S. Mineral characterization of species; six tropical grasses x four aluminum treatments in water culture. *Annu. Rep. Div. Trop. Crops Pastures CSIRO*, 1976.
- WERNER, J.C.; KALID, E.B.; GOMES, F.P.; PEREIRA, J.V.S.; ROCHA, G.L.; SARTINI, H.J. Competição de adubos fosfatados. *B. Indústr. anim.*, 25:139-49, 1968.
- YOST, R.S.; NADERMAN, G.C.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. *Agron. J.*, 74:462-8, 1982.