

Crescimento e produtividade de milho e ervilhaca submetidos à aplicação de doses combinadas de calcário e fósforo em Latossolo arenoso sob sistema plantio direto

Antonio Nolla¹, Gerson Sander¹, Itamar Pereira da Palma¹, Leandro Bochi da Silva Volk¹ e William Silva¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Agronomia, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP.: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR.

anolla@uem.br, gerson_sander@hotmail.com, itamar-pdp@hotmail.com, leandrovolk@yahoo.com.br

Resumo: A aplicação combinada de calcário e fósforo em sistema plantio direto vem sendo utilizada na agricultura, e tem proporcionando respostas positivas às culturas comerciais, porém são poucas as pesquisas desta combinação em solos arenosos. Objetivou-se verificar o efeito combinado de diferentes níveis de calcário e fósforo no crescimento de milho e ervilhaca em plantio direto. Aplicou-se superficialmente, em um Latossolo sob SPD, diferentes doses de calcário (0, 500, 1000 e 2000 kg ha⁻¹) e fósforo (0, 40, 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Cultivou-se, em sucessão, milho e ervilhaca durante a safra 2008/09. A aplicação de calcário e fósforo aumentou o crescimento e produtividade do milho. Verificou-se efeito de interação entre calcário e fósforo para a produtividade, massa de 100 grãos e comprimento de espiga do milho. A produção de matéria seca de ervilhaca não foi alterada pela aplicação de calcário e fósforo, provavelmente ocasionado pelo clima desfavorável.

Palavras-chave: Super fosfato triplo; calagem; plantio direto.

Growth and productivity of maize and vetch submitted to the application of combined doses of lime and phosphorus in a sandy Oxisol under no-tillage

Abstract: Combined application of lime and phosphorus in on tillage system has been used in agriculture, and it has provided positive responses to the crops, but there are a few researches with this combination in sandy soils. The objective of this work was to verify the combined effect of different levels of lime and phosphorus on growth of *Zea mays* (maize) and *Vicia benghalensis* (vetch) in no tillage system. It was applied superficially, in an Oxisol under no tillage, different doses of lime (0, 500, 1000 and 2000 kg ha⁻¹) and phosphorus (0, 40, 80 and 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅). Maize and *Vicia benghalensis* were cultivated in succession during the 2008/09 harvest. The application of lime and phosphorus increased the growth and yield of maize. There was an interaction effect between lime and phosphorus for yield, weight of 100 grains and ear of maize's length. Dry matter production was not affected by application of lime and phosphorus, probably due to unfavorable weather.

Key words: Triple Superphosphate, liming, no tillage.

Introdução

A utilização do plantio direto como sistema de cultivo nas áreas agrícolas brasileiras tem aumentado rapidamente na última década. No Paraná, este sistema iniciou em 1971, e

abrangeu 200.000 hectares em 1983, aumentando para 1 milhão em 1996 (Wiethölter, 1997) e, na atualidade, esta área já abrange 2,5 milhões de hectares, o que corresponde a 42% da área agrícola total do estado (Wiethölter, 2002). O Brasil conta atualmente com mais de 12,5 milhões de hectares em sistema plantio direto, superado apenas pelos EUA, com 19,8 milhões de hectares (Wiethölter, 2000). O sucesso do sistema plantio direto decorre das grandes vantagens de sua utilização. Esses dados têm alertado a pesquisa no intuito de gerar informações e conhecimentos pertinentes a este sistema relativamente novo, no qual ainda restam muitas questões a serem elucidadas.

No sistema plantio direto consolidado, a manutenção do solo constantemente coberto por plantas ou seus resíduos e a aplicação superficial de adubos e corretivos, alteram a dinâmica do solo, provocando um aumento na concentração de matéria orgânica e nutrientes na camada superficial do solo, especialmente de fósforo e de cálcio (Muzilli, 1983; Sá, 1999). Esse acúmulo pode estar contribuindo para reduzir o efeito da acidez do solo nesse sistema, devido à alta afinidade química entre ambos e pelo efeito fisiológico e desintoxicante do cálcio. Além disso, o aumento de pH do solo pela calagem aumenta as cargas negativas no complexo de troca e diminui a solubilidade de alumínio e de ferro, aumentando, por isso, a concentração de fósforo disponível na solução do solo (Ernani et al., 1996; Ernani et al., 2000). O aumento de fósforo na solução do solo pelo aumento de pH, pelo manejo do solo (SPD) ou pela adubação, pode estar contribuindo para a inativação de parte do Al^{+3} em solução, formando compostos estáveis [AlPO_4 ; $\text{Al(OH)}_2\text{H}_2\text{PO}_4$], e de baixa solubilidade, que precipitam (Raij, 1991; Novais e Smyth, 1999).

Assim, o grau de substituição entre o calcário e o fósforo (Vidor e Freire 1972; Ben e Dechen, 1996), com interação positiva nas doses mais baixas (Anghinoni e Salet, 2000), pode também ser importante para explicar a menor resposta das culturas à adição de calcário no sistema plantio direto. Por outro lado, em solos com pH mais elevado ($>5,5$), com alto teor de cálcio trocável e/ou da aplicação de elevadas dosagens de calcário, especialmente na superfície do solo no sistema plantio direto, também pode ocorrer a reação do fósforo (acumulado ou adicionado ao solo), com o cálcio (Sample et al., 1980; Novais e Smyth, 1999), diminuindo a sua solubilidade. Isto ocorre, porque pode haver a precipitação do fosfato na forma tricálcica, $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ em um fenômeno conhecido como retrogradação (Malavolta, 1959).

A interação entre o calcário e o fósforo, na qual o aumento de um dos insumos provoca maior eficiência de utilização do outro pelas plantas, já foi verificada no Brasil em solos argilosos (Vidor e Freire, 1972; Ben e Dechen, 1996; Pöttker e Ben, 1998; Freitas et al.,

1999, Nolla, 2003), porém ainda são poucos os estudos em solos arenosos nessas condições. Este efeito interativo ocorre porque o calcário aplicado no solo, além de inativar parte do Al^{+3} devido ao aumento de pH (Salet, 1998; Novais e Smyth, 1999), proporciona diminuição na retenção de fósforo, aumentando sua disponibilidade em solução (Ernani et al., 1996). Assim, o grau de substituição entre o calcário e o fósforo (Vidor e Freire 1972; Ben e Dechen, 1996), com interação positiva nas doses mais baixas (Anghinoni e Salet, 2000), pode também ser importante para explicar a menor resposta das culturas à adição de calcário no sistema plantio direto.

Em solos arenosos, onde a adsorção específica do fósforo aos óxidos de ferro e alumínio é menor (Mello et al., 1989), espera-se que o efeito positivo da adubação fosfatada seja maior que em solos argilosos. Nesses solos, a capacidade de troca de cátions é menor que em solos argilosos, o que reduz a adsorção específica de fósforo aos óxidos de ferro e alumínio. Assim, é possível que ocorra um maior efeito da adubação fosfatada na redução de toxicidade de alumínio e na disponibilização de nutrientes em função do aumento de pH e também uma menor necessidade de calagem. Por outro lado, o acúmulo de matéria orgânica no sistema plantio direto, formada pela decomposição de restos culturais também é importante na complexação de elementos tóxicos como o alumínio (menor necessidade de calagem), e no aumento na capacidade de troca de cátions, especialmente observada em solos com teor de argila inferior a 200 g kg⁻¹.

São incipientes as pesquisas relacionadas à efetividade dos íons fosfato em reduzir o alumínio em solução e o detalhamento dos fenômenos de complexação, precipitação e adsorção que ocorrem no solo, capazes de alterar a dinâmica de íons, especialmente em solos arenosos sob plantio direto. Além disso, ainda pouco se conhece a respeito do mecanismo e dinâmica de ação dos ligantes inorgânicos e orgânicos em neutralizar o alumínio em solução.

Para isso, o estudo detalhado da relação entre calcário e fósforo em sistema plantio direto pode ser uma alternativa bastante promissora para identificar a eficiência da aplicação do fósforo na complexação/precipitação do alumínio trocável, e sua relação com os demais íons e ligantes capazes de reduzir a necessidade de calagem pela amenização do efeito fitotóxico do alumínio. Nestas condições, o uso de calcário (neutralização de acidez e fertilização cálcica e magnesiana) associado à adubação fosfatada pode resultar em maior aumento de produtividade das culturas comerciais, especialmente se estabelecidas dosagens ótimas de calcário e de fósforo para atingir a maximização de produtividade com racionalização de insumos em solos arenosos, onde o potencial produtivo é geralmente menor que nos solos argilosos.

O objetivo do trabalho foi relacionar o crescimento de plantas de milho e ervilhaca com níveis de fósforo e de acidez do solo para avaliar o efeito combinado de diferentes níveis de calcário e fósforo no sistema plantio direto em solos arenosos.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Universidade Estadual de Maringá (UEM), no *Campus Regional de Umuarama (CAU)*, no ano de 2008/2009, junto ao laboratório de análise de solos, utilizando-se como base experimental um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa (1024 m^2), sob mata natural. A caracterização química original está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico sob campo natural

pH (H ₂ O)	Ca	Mg	Al	P	K	SB	H+Al	T	V	M.O.
1 : 2,5	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-- mg dm ⁻³ --	-----	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	%	g kg ⁻¹
5,0	1,0	0,4	0,2	3,5	78	1,63	3,17	4,80	34	15

Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol L⁻¹); P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); SB = soma de bases; H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); T= CTC pH 7,0; V= Saturação por bases; M.O.= matéria orgânica(Walkley-Black).

Inicialmente, procedeu-se à dessecação das espécies espontâneas e naturais da área, utilizando-se Glyfosate (Roundup) na dosagem de 5 L ha⁻¹ de produto comercial. Posteriormente, foi estabelecido o sistema de plantio direto na área experimental, aplicando-se superficialmente diferentes doses (0, 500, 1000 - necessidade de calagem para elevar V=60% com PRNT 100% e 2000 kg ha⁻¹) de calcário e de fósforo (0, 40, 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na forma de superfosfato triplo. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial de 4x4 (4 doses de calcário e 4 doses de fósforo), sendo 4 repetições, com parcelas de 4m x 4m.

Foi implantada a cultura do milho, cultivar NK Impacto, na data 07/10/2008, sob o espaçamento entre linhas de 0,9 m, de forma a obter a população de 55.000 plantas ha⁻¹. Na implantação do experimento aplicou-se 250 kg ha⁻¹ do formulado NPK (20-00-20) no sulco de semeadura. Durante o cultivo do milho foram feitas aplicações com inseticidas para o controle de pragas (*Elasmopalpus lignosellus* -lagarta elasmo e *Spodoptera frugiperda* - lagarta do cartucho). No experimento foram efetuadas capinas manuais para o controle de plantas invasoras, de acordo com a necessidade de controle.

A colheita do milho foi efetuada manualmente aos 120 dias da semeadura, avaliando-se a produção relativa de grãos nas duas linhas centrais de cada parcela, procedendo-se em

seguida à trilhagem, sendo então determinada a produção de grãos a 14% de umidade para cada parcela, com obtenção da produtividade da parcela, expressa em kg ha^{-1} . Também foram avaliadas características fenológicas do milho, tomando-se 20 plantas de cada parcela: matéria seca da parte aérea, comprimento da espiga e massa de 100 grãos (Fancelli & Dourado Neto, 2000). A matéria seca da parte aérea foi obtida após a secagem a 65°C por 72 horas. Foram determinados a umidade e o peso de grãos de milho por parcela, este corrigido para 13% de umidade.

Em março de 2009 foi efetuada a semeadura da ervilhaca, adubo verde utilizado para fertilização nitrogenada e cobertura do solo. Aos 120 dias de cultivo, a ervilhaca foi colhida, coletando-se amostras da parte aérea de cada parcela, utilizando-se um quadro vazado de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$, que foi lançado aleatoriamente por duas vezes em cada parcela. Avaliou-se a matéria fresca e seca após a secagem a 65°C por 72 horas. Os resultados foram expressos em kg ha^{-1} .

Na época de colheita do milho, foram coletadas amostras de solo de cada parcela, na camada de 0-10 cm, para avaliação dos atributos químicos, seguindo a metodologia descrita por Schlindwein (1999). Os atributos químicos analisados foram: pH-H₂O (relação 1:1), e índice SMP (todos com eletrodo de vidro), cálcio e magnésio trocáveis ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$), determinados com espectrofotômetro de absorção atômica. O alumínio foi determinado com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ por titulação com NaOH $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ e indicador de azul de bromotimol, e o potássio foi extraído pelo método Mehlich-1, e determinados com fotômetro de emissão atômica e espectrofotômetro UV-visível, respectivamente, todos conforme EMBRAPA (1999). O fósforo foi extraído pelo método Mehlich-1, e determinado com colorímetro conforme Murphy e Rilley (1962).

Todos os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa SANEST e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Através de estudos de correlação, avaliou-se o efeito de interação calcário-fósforo para os parâmetros de crescimento das culturas de milho e ervilhaca.

Resultados e Discussão

Observa-se, de modo geral, que a aplicação de calcário e de fósforo aumentou o rendimento de grãos de milho, conforme esperado (Figura 1a). Nos tratamentos onde aplicou-se 1000 e 2000 kg ha^{-1} de calcário, as diferenças de produtividade foram maiores onde aplicou-se as maiores doses de fósforo aplicadas, ou seja, a produtividade do milho foi afetada positivamente pela adubação fosfatada. Resultados semelhantes foram observados por Vidor

& Freire (1972) em sistema de plantio convencional e por Nolla & Anghinoni (2006) em sistema de plantio direto.

Além de aumentar a produtividade do milho com a aplicação de doses crescentes de calcário e de fósforo (efeito simples), ocorreu, também, interação entre ambos os fatores. Por exemplo, nos tratamentos onde aplicou-se 1 Mg ha⁻¹ de calcário e 160 kg ha⁻¹ de fósforo, a produtividade foi de 4890 kg ha⁻¹, semelhante aos 4913 kg ha⁻¹ obtido quando aplicou-se apenas 2 Mg ha⁻¹ de calcário e 80 kg ha⁻¹ de fósforo (Figura 1a). Este efeito interativo positivo entre calcário e fósforo, na produtividade do milho, também foi observado por Silva et al. (1993).

Observando-se a massa seca de 100 grãos nos diversos tratamentos, percebe-se que a aplicação de doses crescentes de fósforo proporcionou um incremento significativo no tamanho e no acúmulo de massa dos grãos de milho (Figura 1b). Isso ocorreu porque o fósforo é um nutriente fundamental para o incremento do tamanho e na qualidade dos grãos de milho produzidos (Bull, 1993). Wetzel et al. (1979) observaram que a deficiência do fósforo durante o ciclo da cultura evidenciou-se na redução do tamanho da semente e no vigor e potencial de germinação. Da mesma forma como observado para a produtividade, a aplicação de doses crescentes de calcário e fósforo aumentaram a massa dos grãos de milho, notando-se semelhança nos resultados dos tratamentos onde aplicou-se 80 e 160 kg ha⁻¹ de P, indicando que seria possível atingir grãos pesados mesmo com a aplicação da metade (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅) da dosagem máxima de P testada. Para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, solos que apresentam teores de fósforo no nível “muito baixo” (Tabela 1), a necessidade de P é de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Comissão..., 2004). Isto indica que para o experimento testado, é possível obter uma boa qualidade dos grãos com uma aplicação de fósforo inferior ao recomendado para a cultura do milho nas condições testadas.

Ocorreu um incremento no comprimento das espigas de milho com a aplicação de doses crescentes de calcário. Isso ocorreu, porque o calcário além de aumentar o pH, proporciona incremento na concentração de cálcio e magnésio em solução, nutrientes capazes de melhorar a fisiologia das plantas de milho (Pavan, 1984; Malavolta, 1980). É importante observar também que a aplicação de doses crescentes de fósforo em diferentes níveis de

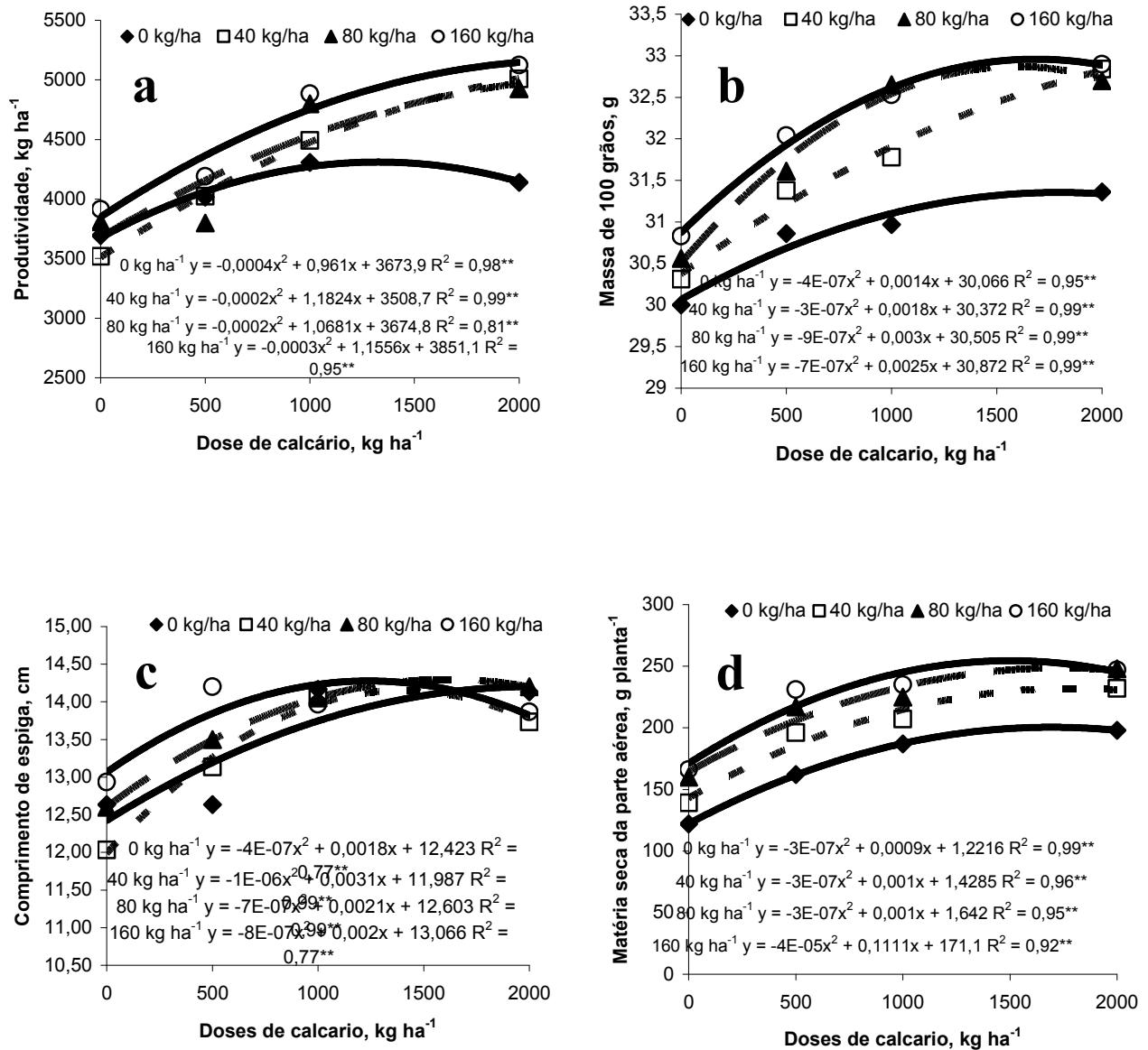


Figura 1. Produtividade de grãos de milho (a), massa de 100 grãos (b), comprimento de espiga (c) e matéria seca da parte aérea (d) afetados pela aplicação de diferentes doses de calcário e fósforo em um Latossolo Vermelho distrófico psamítico sob sistema de plantio direto.

calcário propiciou a obtenção de combinações que resultaram em resultados semelhantes para o comprimento das espigas de milho. No tratamento onde aplicou-se 1000 kg ha⁻¹ de calcário e 80 kg ha⁻¹ de fósforo, o comprimento de espiga foi de 14,1 cm, semelhante aos 14,2 cm obtido quando aplicou-se 500 kg ha⁻¹ de calcário e 160 kg ha⁻¹ de fósforo (Figura 1c). Entretanto, vale lembrar que a aplicação da metade da dosagem recomendada de calcário (500

kg ha⁻¹), apesar de aumentar o comprimento das espigas (Figura 2c) não foi o suficiente para proporcionar a máxima produtividade (Figura 1a).

A matéria seca da parte aérea das plantas de milho aumentou com aplicação de doses crescentes de calcário e fósforo. Observando-se os resultados dos tratamentos onde aplicou-se fósforo, percebe-se que as maiores diferenças no acúmulo de matéria seca ocorreu entre o tratamento testemunha e os tratamentos com aplicação de 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Este maior acúmulo de matéria seca das plantas contribuiu para o incremento de produtividade, pois plantas com maior área foliar são capazes de captar com maior eficiência a energia luminosa (Ferri, 1985).

A aplicação de doses crescentes de calcário levou a um aumento do pH H₂O de forma significativa, podendo ser observado que não existe diferença significativa dos valores de pH entre os tratamentos com 1000 e 2000 kg ha⁻¹ de calcário (Tabela 2). Nas parcelas onde foram aplicadas as duas menores dosagens de fósforo (0 e 40 kg ha⁻¹), percebe-se que um aumento de pH quando aplicou-se 1000 e 2000 kg ha⁻¹ de calcário. Quando foram aplicadas as duas maiores dosagens de fósforo (80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅), o efeito da calagem foi mais expressivo. Nessas condições a aplicação de apenas a metade da dose recomendada (500 kg ha⁻¹ de calcário) proporcionou pH (H₂O) do solo estatisticamente igual às duas maiores dosagens de calcário (Tabela 2). Isto demonstra um efeito de interação entre calcário e fósforo, onde o mesmo resultado de pH foi obtido com a aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário + 40 kg ha⁻¹ de fósforo, e também nos tratamentos onde aplicou-se 80 kg ha⁻¹ de fósforo e 500 kg ha⁻¹ de calcário. Assim, é possível inferir que o aumento de produtividade e o efeito de interação entre calcário e fósforo quanto aos dados fenológicos de milho (Figura 1) provavelmente estão associados à maior eficácia da calagem quanto ao aumento de pH nos tratamentos onde aplicou-se fósforo nas maiores dosagens (80 e 160 kg ha⁻¹) – (Tabela 2). Este efeito interativo positivo entre calcário e fósforo, na produtividade do milho, também foi observado por Vidor e Freire (1972) e por Silva et al. (1993).

Da mesma forma como para o pH, a aplicação de calcário reduziu a concentração de alumínio trocável. Nas parcelas onde foi aplicado fósforo (40, 80 e 160 kg ha⁻¹), também verificou-se que a eficiência da calagem foi maior que nos tratamentos sem a aplicação de fósforo. Por exemplo, no tratamento com aplicação de 160 kg ha⁻¹ de fósforo e 500 kg ha⁻¹ de calcário, a concentração de alumínio trocável foi semelhante (0,3 cmol_c kg⁻¹) ao tratamento sem fósforo e com a aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário, novamente caracterizando o

Tabela 2. Valores de pH em água, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo e saturação por bases em um Latossolo Vermelho distrófico psamítico sob sistema de plantio direto submetido a aplicação de doses crescentes de calcário e fósforo

Dose de calcário (kg ha ⁻¹)	Dose de fósforo (kg ha ⁻¹)			
	0	40	80	160
pH H ₂ O				
0	5,1 Ba	4,9 Ba	5,0 Ba	5,1 Ba
500	5,2 Ba	5,2 Ba	5,4 ABa	5,3 ABa
1000	5,8 Aa	5,8 Aa	5,6 Aa	5,5 ABa
2000	5,7 Aa	5,9 Aa	5,7 Aa	5,8 Aa
Al, cmol _c kg ⁻¹				
0	0,5 Aab	0,7 Aa	0,5 Aab	0,6 Aa
500	0,5 Aa	0,4 Bab	0,6 Aa	0,3 Bab
1000	0,3 Bb	0,4 Ba	0,3 Bb	0,2 Bb
2000	0,2 Ba	0,2 Ca	0,2 Ba	0,1 Ca
Ca ⁺² , cmol _c kg ⁻¹				
0	0,4 Bb	1,3 Ba	1,2 Ba	0,5 Bb
500	1,2 Ba	1,7 Ba	1,6 Ba	2,1 ABa
1000	2,8 Aa	3,0 ABa	2,6 ABa	2,7 ABa
2000	2,9 Aa	4,2 Aa	3,8 Aa	3,6 Aa
Mg ⁺² , cmol _c kg ⁻¹				
0	0,4 Ba	0,4 Ba	0,3 Ba	0,4 Aa
500	0,3 Ba	0,5 Aa	0,5 Aa	0,5 Aa
1000	0,7 Aa	0,5 Aa	0,5 Aa	0,4 Aa
2000	0,6 Aa	0,6 Aa	0,6 Aa	0,5 Aa
P, mg kg ⁻¹				
0	3,2 Ad	4,9 Ac	7,3 ABb	14,6 Aa
500	2,9 Ab	7,3 Ab	11,0 ABb	21,3 Aa
1000	2,7 Ac	6,7 Abc	6,7 Bb	18,4 Aa
2000	3,0 Ab	5,4 Ab	14,2 ABa	18,0 Aa
V %				
0	16,5 Ba	25,5 Ba	21,9 Ba	16,4 Ba
500	25,1 Ba	30,6 ABa	29,7 ABa	38,7 Ba
1000	42,7 Aa	40,6 Aa	33,8 ABa	37,4 Ba
2000	42,0 Ab	50,3 Aa	45,0 Aa	45,4 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula/minúscula, não diferem estatisticamente entre si na coluna/linha, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

efeito de interação entre calcário e fósforo (Tabela 2). A maior eficiência da calagem pode estar relacionada com a formação de fosfatos de alumínio, compostos estáveis [AlPO₄; Al(OH)₂H₂PO₄], e de baixa solubilidade, que precipitam (Novais & Smyth, 1999).

A calagem aumentou os teores de cálcio e magnésio, como esperado, em função da concentração destes nutrientes na composição do produto aplicado (Tabela 2). A dosagem de 1000 kg ha⁻¹ de calcário apresentou uma concentração de cálcio e magnésio acima dos níveis considerados críticos (1,5 e 05, cmol_c kg⁻¹ de cálcio e magnésio, respectivamente) – (Ribeiro et al., 1999), o que indica a eficiência do produto disponibilizar estes dois nutrientes para as plantas.

A aplicação de fósforo aumentou os teores deste nutriente em solução, como o esperado (Tabela 2). Percebe-se, de um modo geral, que a aplicação de calcário propiciou um incremento nos teores de fósforo disponível, principalmente no tratamento onde aplicou-se a maior dosagem de fósforo (160 kg ha⁻¹). Segundo Anghinoni e Bissani (2004), a calagem além de elevar o pH de um solo ácido, aumenta a disponibilidade de fósforo nativo e do fósforo aplicado ao solo. Isto ocorre porque com o aumento de pH a carga superficial de partículas do solo torna-se mais negativa, aumentando a repulsão entre o fosfato e a superfície de adsorção (Haynes, 1984; Barrow, 1985).

A saturação por bases apresentou um incremento com aplicação de doses crescentes calcário, como o esperado (Tabela 2). Entretanto, a calagem não foi capaz de aumentar a saturação por bases até o valor ideal (60%), o que parece indicar que em solos arenosos do noroeste paranaense, a prática de calagem se faz necessária principalmente para elevar os teores de nutrientes e com menor relevância para neutralizar a acidez do solo. Isto ocorre, provavelmente, porque em solos arenosos com menor CTC, doses menores que a necessária aumentam o pH até o nível desejado, porém sem tornar disponível os nutrientes de forma ideal para o desenvolvimento das culturas. Isso indica a necessidade de associar práticas capazes de aumentar a capacidade de adsorção de cátions dos solos arenosos, como a aplicação de restos culturais ou animais (estercos), capazes de aumentar a CTC do solo.

Em relação ao cultivo de inverno com ervilhaca em sistema de plantio direto, pode ser observado (Figura 2), que não ocorreu diferença significativa de produção de matéria seca entre os tratamentos de calcário e fósforo. Diferenças foram obtidas somente quando comparados os tratamentos com e sem a aplicação de fósforo (Figura 2). Uma possível explicação para isso seria o clima desfavorável da região para o cultivo da cultura, sendo que a ervilhaca é uma cultura de regiões com menor temperatura, condição distinta do clima da região noroeste do Paraná. Aliado a isso, é importante mencionar que na fase de emergência e desenvolvimento inicial das plantas de ervilhaca, ocorreu um período de estiagem, o que pode ter contribuído para o baixo (até 536 kg ha⁻¹) acúmulo de matéria seca

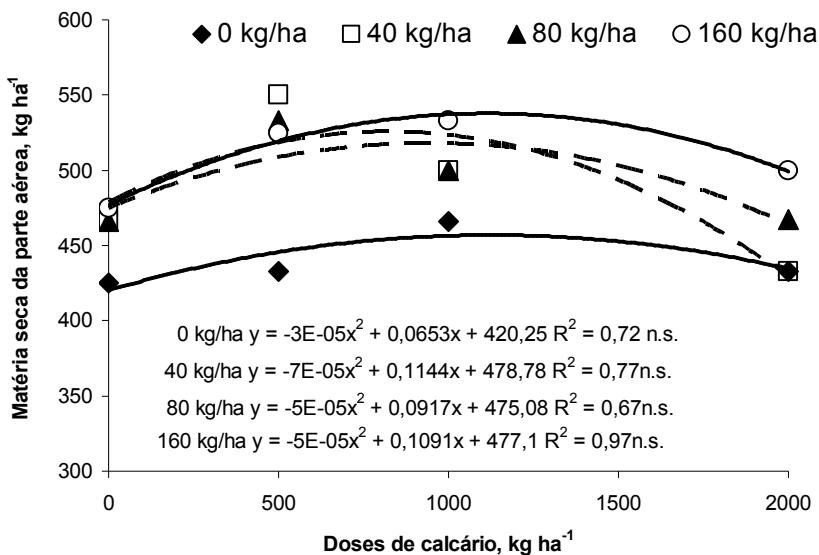


Figura 2. Acúmulo de matéria seca de ervilhaca afetada pela aplicação de diferentes doses de calcário e fósforo em um Latossolo Vermelho distrófico psamítico sob sistema de plantio direto.

das plantas, uma vez que são consideradas espécies pouco resistentes a secas prolongadas (Costa, 1993).

Conclusões

A aplicação de calcário e fósforo aumentou o crescimento e produtividade do milho.

Verificou-se efeito de interação entre calcário e fósforo para a produtividade, massa de 100 grãos e comprimento de espiga do milho.

A aplicação de calcário foi eficiente em aumentar o pH $-H_2O$, o cálcio e magnésio trocáveis e a saturação por bases. O efeito da calagem foi mais expressivo nos tratamentos onde foram aplicadas as doses mais altas de fósforo, o que configurou uma interação entre os dois insumos estudados.

A produção de matéria seca de ervilhaca não foi alterada pela aplicação de calcário e fósforo, provavelmente ocasionado pelo clima desfavorável.

Referências

- ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (Ed.). **Uso de corretivos da acidez do solo na plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p.41- 59. (Boletim Técnico, 4).

ANGHINONI, I. BISSANI, C.A. Fósforo e adubos fosfatados. In.: Bissani, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis. 2004. p. 117-138.

BARROW, N.J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Avances in Agronomy**, v.38, n.2, p.183-230, 1985.

BEN, J.R.; DECHEN, A.R. Comportamento de genótipos de trigo em relação a fósforo no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n.1, p.77- 82, 1996.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In.: BÜLL, L.T.; CANTRELLA, H.(Eds.) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos. 1993. p. 63-122.

COSTA, M.B.B. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro:AS-PTA, 1993. 346 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.R.A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J.A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.159- 162, 1996.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n.3, p. 537- 544, 2000.

FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. 362 p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FREITAS, J.G. de; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C.E. de O. Efeito do calcário e do fósforo na produtividade de grãos e seus componentes nos cultivares de trigo. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.2, p.1- 8, 1999.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, v. 37, n.2, p.249-315, 1984.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Ceres, 1959. 487p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MELLO, F. de A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C. do; ARZOLLA, S. **Fertilidade do solo.** 3.ed. Piracicaba: Nobel, 1989. 400p.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 95-102, 1983.

NOLLA, A. **Critérios para a calagem no sistema plantio direto.** 2003. 168 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** , v.30, n.3, p.475 - 483, 2006.

NOVAIS, R.F. de; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399p.

PAVAN, M.A. O cálcio com nutriente para as culturas. In: SILVA, M.C. (Coord.) SEMINÁRIO SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES; SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, São Paulo, 1984. São Paulo. **Anais.** São Paulo, Manah S.A.. p. 82-91.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto.** Lages: SBCS/NRS, 1998. p. 77- 92.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, 1991. 344p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.; V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação.** Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

MURPHY, J.; RILLEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v.27, n.1, p. 31-36, 1962.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPEZ, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G.; CARVALHO, J.G. (Eds.). **Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Lavras: SBCS, 1999. p. 267- 319.

SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto.** 1998. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Eds.) **The role of phosphorus in agriculture.** Madison: American Science of Agriculture, 1980. p. 263- 310.

SCHLINDWEIN, J.A. **Variabilidade da fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto.** 1999. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SILVA, D.J.; ALVARENGA, R.C.; ALVAREZ V.; V.H. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 203-209, 1993.

VIDOR, C.; FREIRE, J.R.J. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja. **Agronomia Sul riograndense**, Porto Alegre, v.8, p.181-190, 1972.

WETZEL, M.; POPINIGIS, F.; CAMARGO, C.P.; LOBATO, E. Efeito da adubação em solos de cerrado sobre a qualidade da semente de milho. 1. Fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES. 1, 1979, Curitiba. **Resumos**. Curitiba: ABRATES, 1979. p.23.

WIETHÖLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2000. 104p.

WIETHÖLTER, S. Histórico e perspectivas da prática de calagem no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD ROM).

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5, 2002, Guarapuava. **Resumos**. Guarapuava: Cooperativa Agrária, 2002. p. 14- 53.