

RESPOSTAS DO CAFEIEIRO À CALAGEM¹

JULIO C.D. CHAVES², MARCOS A. PAVAN e KOZEN IGUE³

RESUMO - Experimentos de campo foram conduzidos em dois dos principais solos da região cafeeira do Paraná (LRd e LEd), por um período de 8 anos (1975-82), com o objetivo de estudar os efeitos de doses crescentes de calcário dolomítico (0, 2,5, 5,0 e 10,0 t/ha) nas propriedades químicas do solo, produção e estado nutricional do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). O pH do solo, capacidade de troca de cátions (CTC) e Ca e Mg trocáveis aumentaram, enquanto que o Al e K trocáveis diminuíram com o aumento das doses de calcário. Estes efeitos foram evidentes apenas na superfície do solo (0-30 cm). Os efeitos da calagem no estado nutricional do cafeeiro foram pronunciados, em virtude do aumento nas concentrações de Ca e Mg, redução nas de Mn (eliminou os efeitos tóxicos), Zn e K e inalteração nas de N, P e Cu nos tecidos foliares. A neutralização do Al tóxico e o ajustamento das relações entre Ca-K, Ca-Mg e Mg-K para 13:1, 4:1 e 3:1, respectivamente, aumentaram a produção do cafeeiro. As melhores produções de café foram associadas com a mais baixa dose de calcário (2,5 t/ha), sendo que as mais elevadas (5 e 10 t/ha) diminuíram sistematicamente a produção do cafeeiro.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, nutrição, calcário dolomítico, relação cátions trocáveis, alumínio, acidez.

RESPONSE OF COFFEE TO LIME

ABSTRACT - Field experiments were conducted in a established coffee plantation for 8 years (1975-82) on Brazilian Oxisols to investigate the effects of liming these soils (0.0, 2.5, 5 and 10 tons/ha) on the soil chemical properties, production and mineral nutrition of coffee (*Coffea arabica* L.) trees. The soil pH, cation exchange capacity (CEC) and exchangeable Ca and Mg increased, while exchangeable Al and K decreased with increasing dolomitic lime rates. The lime effects were limited to the top soil only (0-30 cm). Liming significantly increased leaf Ca and Mg, reduced leaf Mn (eliminated the toxic effects), Zn and K, and had no effect on leaf N, P, and Cu in the leaves. The yields of coffee were increased by reducing the exchangeable Al and by adjusting the Ca-K, Ca-Mg, and Mg-K ratios to 13:1, 4:1 and 3:1, respectively. The best coffee yields were obtained with the lowest lime rate (2.5 tons/ha). Higher lime rates (5 and 10 tons/ha) resulted in decreased yields.

Index terms: *Coffea arabica*, plant nutrition, dolomitic lime, cation ratio, aluminum, soil acidity.

INTRODUÇÃO

Os solos da região cafeeira do Paraná são, em sua maioria, potencialmente produtivos, embora apresentem algumas limitações de natureza química para o desenvolvimento normal das plantas cultivadas. Os principais fatores limitantes estão relacionados com a acidez, toxidez de Al e Mn e baixa disponibilidade de Ca e P. A calagem, nesses solos, tem sido uma prática indicada para as principais culturas, cujas recomendações básicas estão contidas no trabalho de Muzilli et al. (1978).

Para a maioria das culturas anuais, o calcário tem sido usualmente aplicado em cobertura e posteriormente incorporado com implementos agrí-

colas na camada arável, cerca de 20-30 cm de profundidade (Gonzalez-Erico et al. 1979). Em virtude do carácter perene, o cafeeiro adulto requer uma técnica de calagem diferente: o calcário é aplicado na superfície do solo entre as linhas de plantio, sendo, neste caso, impraticável a incorporação em profundidade por meios mecânicos e sem afetar o sistema radicular das plantas. O manual para o cultivo do cafeeiro, no Brasil (Instituto Brasileiro do Café 1974), apresenta recomendações de calcário com base nos teores de Ca + Mg e na quantidade de Al trocável no solo. A efetividade da aplicação superficial do calcário em lavouras cafeeiras adultas necessita ser avaliada, particularmente em relação à acidez do subsolo.

No presente estudo, procurou-se examinar os efeitos da aplicação superficial de doses crescentes de calcário dolomítico na produção e estado nutricional do cafeeiro e nas principais alterações químicas no perfil do solo, principalmente aquelas relacionadas com pH e Ca, Mg, K e Al trocáveis.

¹ Aceito para publicação em 9 de março de 1984. Trabalho apresentado em parte no IV Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Caxambu, MG, 23-26/11/1976.

² Eng.^o - Agr.^o, M.Sc., Fundação Instituto Agrônomico do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, CEP 86100 Londrina, PR.

³ Eng.^o - Agr.^o, Ph.D., IAPAR, Londrina, PR.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos de campo foram conduzidos em lavouras cafeeiras adultas no Paraná: na estação experimental da Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) em Londrina (23°23'S e 51°11'W), e na Fazenda Floresta em Florestópolis (22°54'S e 51°30'W). As principais características dos campos experimentais são apresentadas na Tabela 1.

Em ambos os locais, os tratamentos consistiram na aplicação de calcário dolomítico (30,6% CaO, 20,1% MgO e PRNT 95%) nas seguintes quantidades: 0, 2,5, 5,0 e 10,0 t/ha. O calcário foi adicionado em uma única aplicação, espalhado uniformemente na superfície do solo. Durante a condução do experimento, as ervas daninhas foram controladas com herbicidas, procurando-se evitar a remoção física das camadas superficiais do solo com implementos agrícolas. O controle das principais pragas e doenças foi realizado de acordo com o manual de recomendações para o cafeeiro (Instituto Brasileiro do Café 1974). Nas adubações para produção do cafeeiro, utilizaram-se os fertilizantes sulfato de amônio (21% N), superfosfato simples (20% P₂O₅) e cloreto de potássio (60% K₂O), que foram aplicados manualmente na projeção da "saia" dos cafeeiros, nas seguintes doses por cova e por ano: 200 g de N, 50 g de P₂O₅ e 150 g de K₂O. As adubações anuais de P foram realizadas em uma única aplicação (Outubro) e as de N, e K parceladas, no período de outubro a abril, em quatro e duas vezes, respectivamente.

Amostras de solo foram coletadas nos campos experimentais antes do início dos tratamentos: em Florestópolis, aos 3, 6, 9, 12 e 24 meses; e em Londrina, aos 3, 6, 9, 12, 36 e 48 meses após a aplicação do calcário. Os solos foram coletados com trados, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, amostrados na projeção da "saia" dos cafeeiros, em seis locais por parcela. O pH do solo foi determinado em água, na relação 1:2,5 (solo: água). Os cátions trocáveis: Ca, Mg e Al, foram extraídos com uma solução neutra de KCl 1M e analisados por espectrofotometria de absorção atômica; os teores de P e K foram extraídos com uma solução de ácidos clorídrico e sulfúrico, sendo o P determinado colorimetricamente pelo método do azul-de-

-molibdênio; e o K, por fotometria de chama. O carbono orgânico do solo foi determinado pelo método de Walkley & Black. Detalhes dos métodos analíticos citados podem ser obtidos na publicação de Jackson (1958).

Amostras de folhas dos cafeeiros foram coletadas anualmente, com exceção do ano agrícola 75/76, em Londrina, para análise química em três períodos fisiológicos da planta: florescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos. A técnica de amostragem consistiu na coleta dos terceiros pares de folhas dos ramos laterais produtivos, localizados na altura média das plantas. Foram coletados quatro pares de folhas por cova das plantas centrais, totalizando 36 pares de folhas por parcela. As amostras de folhas foram lavadas em água deionizada, secadas a 70°C, moídas, e armazenadas em frascos de vidro. Amostras duplicadas do material vegetal moído foram digeridas em ácidos nítrico e perclórico, para análise química de Ca, Mg, K, Zn, Mn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica e P pelo método colorimétrico com azul-de-molibdênio. Amostras do material moído foram preparadas para análise de N total, pelo método de Kjeldahl (Jackson 1958).

As colheitas de café no experimento de Londrina foram realizadas nos anos de 1975, 1977, 1978, 1979; e as de Florestópolis, nos anos de 1980 e 1981. Em face da ocorrência de geadas nos invernos de 1975 e 1981, que afetaram de forma severa os cafeeiros do norte do Paraná, não houve produção nos anos de 1976 em Londrina e 1982 em Florestópolis. O café da "roça" foi derriçado no chão e pesado, e uma amostra de 2,0 kg foi retirada de cada tratamento. As amostras de café foram secadas ao sol em bandejas de madeira com fundo de tela, beneficiadas e pesadas, procedendo-se, após, os cálculos das quantidades de café beneficiado por área de plantio.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições. Cada parcela consistiu de 25 covas (5 x 5 covas), sendo as centrais utilizadas para as avaliações dos efeitos dos tratamentos. O teste de Tukey foi utilizado para avaliar as diferenças significativas entre os tratamentos. Este estudo de calagem para o cafeeiro em dois solos importantes do Paraná levou oito anos para ser realizado.

TABELA 1. Descrição dos locais utilizados para o experimento da calagem em cafeeiros.

Local	Cultivar	Espaçamento (m)	Número de plantas/cova	Período experimental		Unidade de solo
				Início	Término	
Londrina	Bourbon Amarelo	4,0 x 4,0	Sistema Moita*	1974	1979	LRd
Florestópolis	Mundo Novo	4,0 x 2,5	2	1979	1982	LEd

* Várias plantas por cova.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Efeito da calagem no pH, CTC e Ca, Mg, K e Al trocáveis no solo

Os efeitos da aplicação superficial do calcário, em algumas propriedades químicas do perfil de um LRd (Londrina), aos 12 e 24 meses, e de um LEd (Florestópolis) aos 6 e 12 meses após a aplicação do corretivo, são apresentados nas Fig. 1 e 2, respectivamente. Para melhor entendimento das Fig. 1 e 2, não foram apresentados os dados referentes ao tratamento com 5,0 t/ha de calcário, cujos efeitos refletiram as mesmas tendências e ocuparam posições intermediárias entre os tratamentos com 2,5 e 10,0 t/ha de calcário.

Os testes de solo resultantes das amostras coletadas em Londrina aos 3, 6 e 9 meses, e em Florestópolis aos 3 meses após a aplicação do calcário (dados não apresentados) mostraram um aumento gradual do pH, CTC, e Ca e Mg trocáveis e uma diminuição nos teores de Al e K trocáveis, principalmente nas camadas superiores do solo (0-30 cm). As máximas evidências desses parâmetros, analisados no solo, ocorreram aos 12 e 6 meses, respectivamente para um LRd e LEd (Fig. 1 e 2). Após este período, observou-se a tendência de um retorno gradual dos parâmetros estudados (pH, CTC, Ca, Mg, K e Al) aos níveis originais. Em face, principalmente, da limitada solubilidade do carbonato de cálcio e magnésio, os efeitos no pH, CTC e Ca e Mg trocáveis foram maiores nos horizontes superficiais do solo. Estes resultados são consistentes com aqueles publicados por Rajj et al. (1982), que observaram, para um PVA, uma insignificante neutralização da acidez do solo abaixo da camada arável após aplicação superficial de calcário dolomítico.

O aumento da CTC com o pH evidenciou um caráter conhecido para Latossolo no Brasil (Rajj & Peech 1972, Moraes et al. 1976, Pavan et al. 1982). O aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis abaixo dos 30 cm de profundidade do solo sem alteração na CTC, foi devido principalmente à diminuição do K e Al trocáveis. Este efeito foi mais evidente na mais alta dose de calcário (10 t/ha). Se a adubação de K for adequada, a calagem em doses moderadas (2,5 t/ha) pode minimizar os efeitos negativos do corretivo na disponibilidade de K para as

plantas. Os efeitos de altas doses de calcário na diminuição dos teores de K no solo foram descritos também por Adams & Pearson (1967). Como o movimento de um cátion no solo depende de ânion "carregador", o aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis no perfil do solo esteve, provavelmente, associado com ânions componentes dos fertilizantes utilizados para suprir as necessidades do cafeeiro em NPK. Neste aspecto, os íons SO_4^{2-} , componentes do superfosfato simples (25 kg/ha/ano de S como $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) e sulfato de amônio (240 kg/ha/ano de S), provavelmente contribuíram para a ocorrência do fenômeno, com formação de complexos iônicos solúveis neutros, como $CaSO_4^0$ e $MgSO_4^0$, e portanto, móveis em solos com excesso de cargas negativas. Ritchey et al. (1980) demonstraram, em um experimento de campo, que a calagem associada com superfosfato simples ocasionou um aumento nos teores de Ca + Mg no subsolo, na região central do Brasil. Como a formação de pares de íons entre os cátions polivalentes com os ânions HCO_3^- , NO_3^- e Cl^- é insignificante na solução do solo (Adams 1971, Pavan et al. 1982), seria pouco provável que o movimento de Ca e Mg, proveniente da dissolução do carbonato de cálcio e magnésio, observado no presente estudo, teria ocorrido sem adição do superfosfato simples e sulfato de amônio. Reeves & Sumner (1972) não observaram alterações no pH e teores de Ca trocável no subsolo após aplicação de CaO sem adição de fertilizantes.

O tratamento com 10 t/ha de calcário dolomítico neutralizou todo o Al trocável na camada superficial do solo (0-5 cm) e reduziu-o significativamente até aos 30 cm de profundidade. Como era de esperar, a neutralização do Al acompanhou a curva dos valores de pH. A diminuição nos teores de Al trocável abaixo dos 30 cm de profundidade do solo, sem alteração no pH, esteve provavelmente associado com a formação de polímeros insolúveis de Al (Pavan et al. 1984). O Al, trocado pelos íons de Ca e Mg no subsolo (30 - 100 cm), provavelmente formou complexos insolúveis com os íons de SO_4^{2-} (presentes na solução do solo e portanto não extraídos com uma solução KCl 1M). Chang & Thomas (1963) demonstraram que a redução no Al trocável (KCl-Al) pelos íons de sulfato foi devida à indução da polimerização do Al^{3+} .

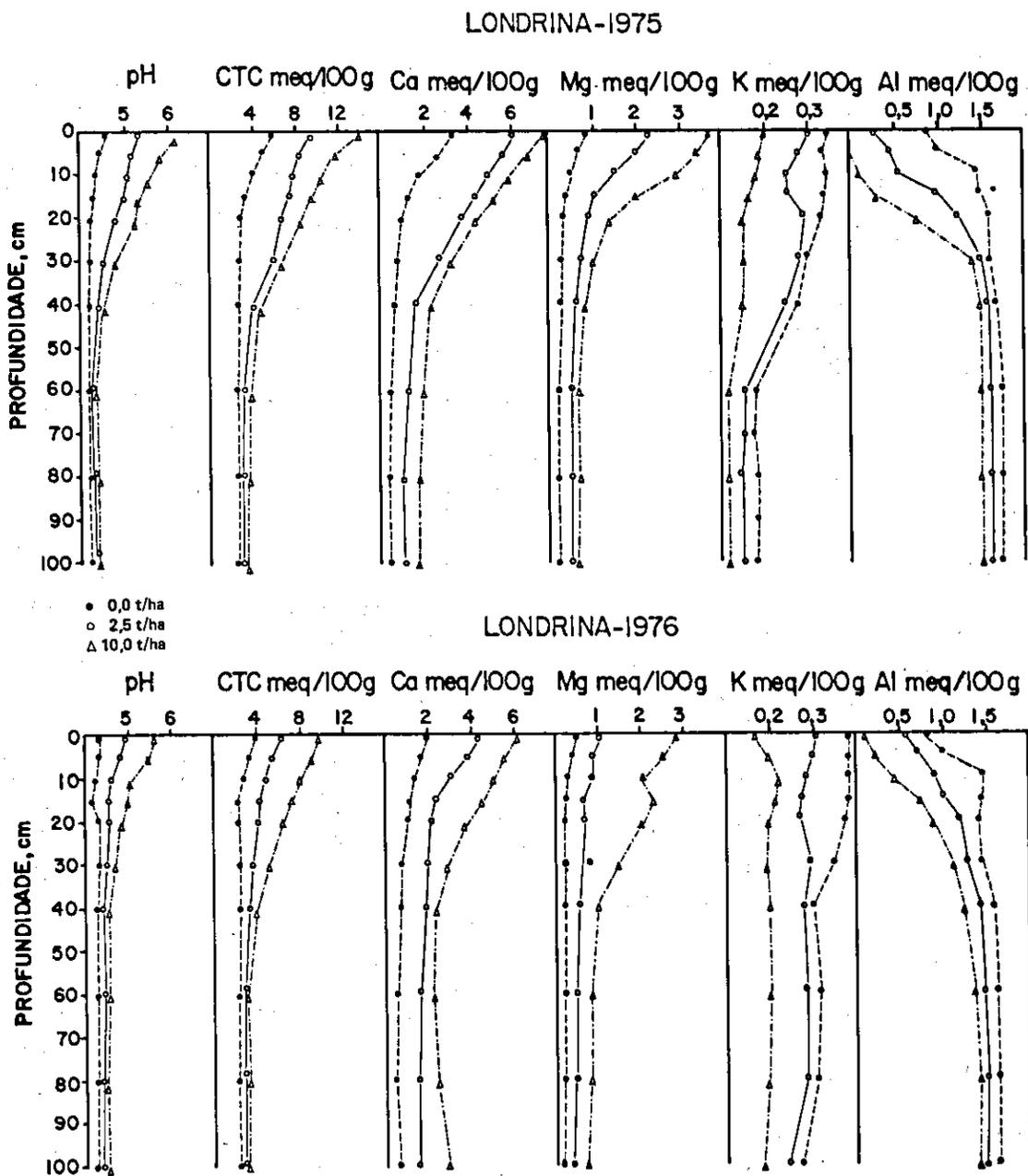
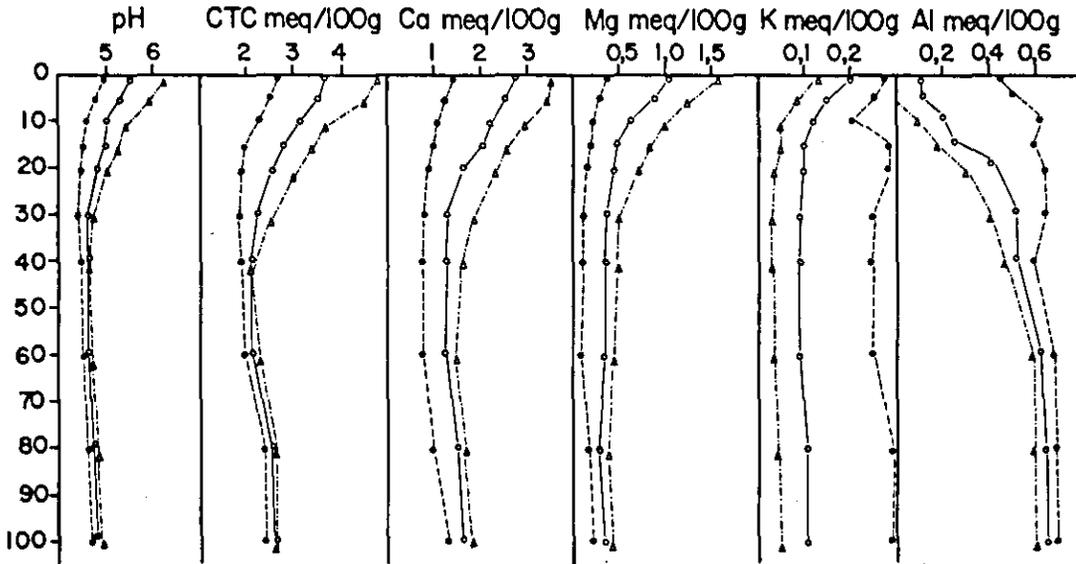


FIG. 1. Efeito da aplicação superficial de calcário dolomítico no pH, CTC e Ca, Mg, K e Al trocáveis no perfil de um Latossolo Roxo distrófico (Londrina).

FLORESTÓPOLIS - 1980



FLORESTÓPOLIS - 1981

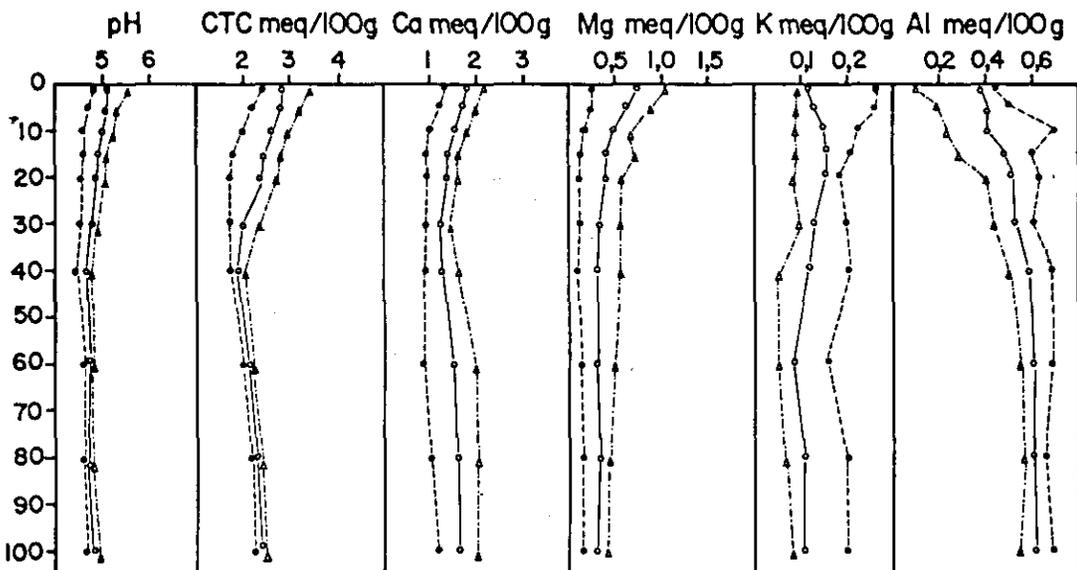


FIG. 2. Efeito da aplicação superficial de calcário dolomítico no pH, CTC e Ca, Mg, K e Al trocáveis no perfil de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (Florestópolis).

Portanto, se for considerada a acidez do subsolo do ponto de vista de pH, Al trocável e falta de Ca, os tratamentos com carbonato de cálcio e magnésio de per si seriam inefetivos. A combinação do corretivo com fertilizantes (particularmente o superfosfato simples) seria um tratamento adequado para os solos com problemas principalmente de Ca e Mg no subsolo. A extensão da efetividade desta combinação de tratamentos na neutralização do Al trocável no subsolo foi bastante limitada, e nula para corrigir o pH do subsolo.

Balanco de cátions trocáveis no solo

A proporção entre os cátions trocáveis no solo é de interesse, dado o papel que desempenha na absorção dos íons pelas plantas (Bear & Toth 1948). Os efeitos da calagem nas relações entre Ca-Mg, Ca-K e Mg-K na camada superficial do solo (0-30 cm), para os dois locais estudados e em dois períodos, são apresentados na Tabela 2. Bear & Toth (1948) sugeriram que um solo "ideal" deva ter as relações entre Ca-Mg, Ca-K e Mg-K de 6,5:1, 13,0:1 e 2,0:1, respectivamente. Os dados da Tabela 2 mostram que os dois solos, quando não tratados com o corretivo, apresentavam relações, entre os cátions, menores do que aquelas sugeridas para um solo ideal. As relações entre Ca-K foram mais baixas e diminuíram com o passar dos anos de cultivo, principalmente em virtude da diminuição do Ca trocável (absorvido pelas plantas, perdi-

do por erosão, lixiviação etc.) e do aumento de K trocável (adubação de KCl, 150 kg K₂O/ha/ano). O baixo teor de Ca trocável, presente originalmente nos solos estudados, não permitiu um ajustamento adequado na relação Ca-K, principalmente após as adubações anuais de K. Conclusões semelhantes podem ser obtidas da relação entre Mg-K nos solos não tratados com o corretivo. A relação entre Ca-Mg nos solos não tratados aumentou principalmente por causa da acentuada diminuição de Mg trocável na camada superficial do solo (Fig. 1 e 2).

A adição de 2,5 t/ha de calcário dolomítico proporcionou, em ambos os solos, um aumento nas relações estudadas. A relação entre Ca-K nos dois solos esteve bem próxima à sugerida para um solo ideal. Apesar do aumento da relação entre Ca-Mg pela calagem (2,5 t/ha), a mesma ficou sempre abaixo da sugerida para um solo ideal. A relação entre Mg-K tendeu a ser sempre superior à de um solo ideal.

Como resultado da adição de 10 t/ha de calcário dolomítico em solos contendo baixa capacidade de troca de cátions, houve um aumento relativamente alto nas proporções entre os cátions no solo. O aumento nas relações entre Ca-K e Mg-K com altas doses de calcário dolomítico deveu-se principalmente ao Ca e Mg, que passaram a ocupar um maior número de posições nos sítios trocáveis do solo anteriormente ocupados com H, Al e K.

TABELA 2. Efeito da calagem na relação entre os cátions trocáveis no solo.

Calagem t/ha	Relação entre os cátions trocáveis no solo					
	Ca:Mg	Ca:K	Mg:K	Ca:Mg	Ca:K	Mg:K
		Londrina - 1975			Florestópolis - 1980	
0,0	2,8:1	4,3:1	1,4:1	5,2:1	4,0:1	0,7:1
2,5	4,1:1	14,0:1	4,6:1	3,6:1	14,0:1	4,3:1
10,0	2,4:1	23,6:1	10,3:1	3,1:1	30,0:1	10,4:1
		Londrina - 1976			Florestópolis - 1981	
0,0	5,2:1	2,7:1	0,5:1	5,4:1	3,0:1	0,6:1
2,5	3,9:1	12,7:1	3,1:1	3,4:1	11,0:1	3,2:1
10,0	2,2:1	20,4:1	7,3:1	2,5:1	20,0:1	7,8:1
Solo ideal ¹	6,5:1	13,0:1	2,0:1	6,5:1	13,0:1	2,0:1

¹ Bear & Toth (1948).

As relações entre Ca-K obtidas em Londrina e Florestópolis aos 12 e 6 meses, respectivamente, após a aplicação do calcário, foram aproximadamente o dobro do que a relação sugerida para um solo ideal. Em geral, as relações tenderam a ser mais estreitas nos anos subseqüentes. A relação entre Mg-K para o tratamento com 10 t/ha foi de, aproximadamente, 3,6 a 5,2 vezes superior à de um solo ideal. O mesmo tratamento proporcionou relações entre Ca-Mg menores do que os demais tratamentos, principalmente por causa do aumento significativo nos teores de Mg trocável.

Efeito da calagem no estado nutricional do cafeeiro

As concentrações de Ca, Mg, K, Mn, e Zn nos tecidos dos cafeeiros, em Londrina e Florestópolis, após aplicações do calcário, são apresentadas na Fig. 3. Os resultados analíticos durante os outros períodos de condução do experimento não foram apresentados, pois mostraram tendências semelhantes. Como não foi observado qualquer efeito dos tratamentos nas concentrações de N, P e Cu nas folhas, os dados também não foram apresentados. Em ambos os locais, o aumento da quantidade de calcário aplicado resultou em aumento na concentração de Ca e Mg nas folhas. Em relação ao Ca, observou-se um acúmulo progressivo do elemento nas folhas a partir do período de florescimento até maturação dos frutos. Como seria esperado, este fato mostrou baixa redistribuição do Ca internamente na planta. Com relação ao Mg, observou-se, no entanto, uma redistribuição do elemento durante a formação e maturação dos frutos.

A menor concentração de K nos tecidos foliares com o aumento das doses de calcário foi resultante da redução de K disponível no solo (Fig. 1 e 2) e do aumento nas relações entre Ca-K e Mg-K no solo (Tabela 2). Na mais alta dose de calcário (10 t/ha) houve uma diminuição na concentração de K nas folhas durante a formação e maturação dos frutos (< 1,8%), a qual provavelmente contribuiu para diminuir a produção de café. As interações entre os íons de Ca e Mg com os de K têm sido freqüentemente documentadas na literatura. Uma revisão recente sobre o assunto foi realizada por Usherwood (1982). O rápido declínio na con-

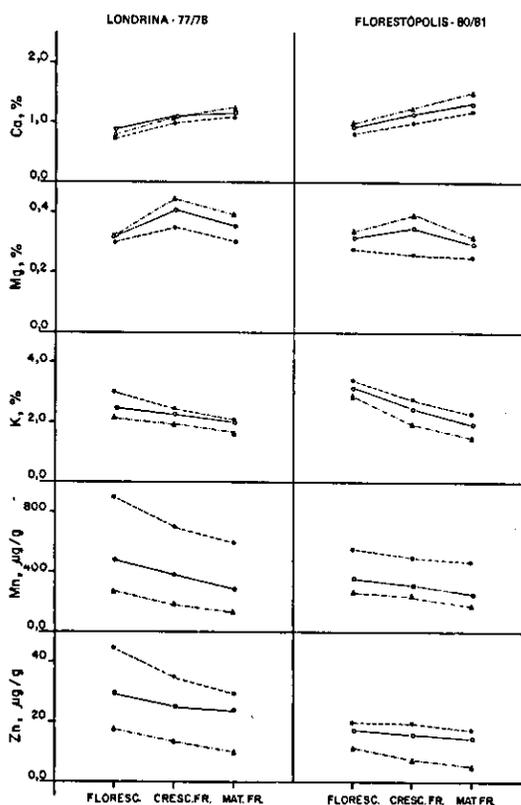


FIG. 3. Efeito da aplicação superficial de calcário dolomítico na composição química das folhas de cafeeiros. Os círculos fechados e abertos e os triângulos referem-se aos tratamentos com calcário dolomítico nas doses de 0,0; 2,5 e 10 t/ha, respectivamente.

centração de K nas folhas do cafeeiro durante o crescimento e maturação dos frutos mostrou a alta mobilidade do elemento na planta.

Os sintomas de toxidez de Mn em cafeeiros têm sido descritos na literatura (Instituto Brasileiro do Café 1974; Moraes et al. 1979, Pavan & Bingham 1981). Concentrações de Mn nos tecidos foliares de cafeeiros variando de 400 a 500 µg/g e de 700 a 800 µg/g podem causar sintomas de toxidez nas cultivares Bourbon e Mundo Novo, respectivamente (Instituto Brasileiro do Café 1974). Para a cultivar Catuaí Vermelho os teores tóxicos de Mn nas folhas foram associados com uma concentração superior a 1.200 µg/g (Pavan & Bingham 1981). Os resultados da concentração de Mn nas folhas

dos cafeeiros (Fig. 3) indicaram um provável envolvimento da toxidez de Mn na cultivar Bourbon, indicadora do experimento em Londrina, onde os níveis de Mn nas folhas das plantas que não foram tratadas com calcário foram sempre superiores a 600 µg/g. Para o caso de cultivar Mundo Novo, indicadora do experimento em Florestópolis, não poderia ser incluído a possibilidade da toxidez de Mn, já que os teores deste elemento nas folhas das plantas não tratadas com o calcário foram sempre inferiores a 600 µg/g. A diminuição na concentração de Mn nas folhas com o aumento das doses de calcário foi, provavelmente, devida à oxidação do Mn no solo e a um estado de maior valência com o aumento dos valores de pH.

Os dados da Fig. 3, referentes ao Zn, mostram uma diminuição na absorção deste elemento com o aumento das doses de calcário. O tratamento com 10 t/ha diminuiu a concentração de Zn nas folhas abaixo do nível limiar (< 10 µg/g).

Efeito da calagem na produção do cafeeiro

O efeito da calagem na produção de café em um LRd (Londrina) e LEd (Florestópolis) é representada na Tabela 3. Em ambos os solos houve um aumento significativo nas produções anuais de café e acumuladas apenas com a mais baixa dose de calcário (2,5 t/ha). As maiores doses (5 e 10 t/ha) diminuíram sistematicamente a produção. Para o LEd, a redução na produção de café foi maior com o tratamento de 10 t/ha de calcário do que aquela devida à acidez. O efeito negativo na produção agrícola proporcionado por altas doses de calcário aplicado em solos com baixa CTC foi anteriormente descrito por Kamprath (1971).

A redução da produção de café no tratamento sem calcário foi devida principalmente ao pH ácido, altos teores de Al tóxicos no solo, excessivas concentrações de Mn nas folhas, baixo teor de Ca no solo e um balanço inadequado de cátions no complexo de troca do solo. As relações entre Ca-Mg, Ca-K e Mg-K variando de 2,8 a 5,2:1; 2,7 a 4,3:1 e 0,5 a 1,4:1 em um LRd e de 5,2 a 5,4:1; 3,0 a 4,0:1 e 0,6 a 0,7:1 em um LEd, respectivamente, podem ser consideradas inadequadas para a produção do cafeeiro.

A adição de 2,5 t/ha de calcário dolomítico aumentou o pH do solo para 5,0 - 5,6, neutralizou grande parte de Al e Mn potencialmente tóxico na superfície do solo (0-30 cm), diminuiu Mn nas folhas a nível não tóxico, aumentou os teores de Ca e Mg no perfil do solo (0-100 cm) e nos tecidos foliares das plantas a níveis adequados, diminuiu K trocável no solo mas não diminuiu K e Zn nas folhas a níveis críticos (> 1,8% K e > 10 µg/Zn/g), e proporcionou um balanço de cátions trocáveis no solo mais próximo daqueles sugeridos para um solo ideal. A associação desses fatores contribuiu para melhorar a produção de café nos solos estudados. As relações entre Ca-Mg, Ca-K e Mg-K (obtidos dos valores absolutos da Fig. 1 e 2), variando de 3,9 a 4,1:1; 12,7 a 14,01:1 e 3,1 a 4,6:1 em um LRd e de 3,4 a 3,6:1; 11,0 a 14,0:1, 14,0:1 e 3,2 a 4,3:1 em um LEd, respectivamente, foram considerados satisfatórias para a produção do cafeeiro.

A adição de 10 t/ha, apesar de proporcionar um aumento do pH do solo (> 6,0), e CTC neutralizar todo o Al trocável na camada superficial (0-5 cm), aumentar os teores de Ca e Mg em todo perfil do solo (0-100 cm) e diminuir a concentração de Mn

TABELA 3. Efeito da calagem na produção média de café beneficiado.

Calagem (t/ha)	Produção café beneficiado (kg/ha)							
	Londrina					Florestópolis		
	1975	1977	1978	1979	ΣPROD.	1980	1981	ΣPROD.
0,0	677b	749ab	1049 ^{n.s.}	244b	2719b	809 ^{n.s.}	215b	1024ab
2,5	1178a	841a	1636 ^{n.s.}	338a	3993a	856 ^{n.s.}	400a	1256a
5,0	673b	825ab	1091 ^{n.s.}	290ab	2879b	768 ^{n.s.}	293ab	1061ab
10,0	836ab	686b	1164 ^{n.s.}	250b	2936b	650 ^{n.s.}	264b	914b

Comparação de médias pelo teste de Tukey (5%) n.s. = não-significativo.

nas folhas abaixo do nível tóxico, ocasionou uma diminuição sensível nos teores de K e Zn nas folhas abaixo do mínimo requerido para o bom desenvolvimento do cafeeiro (< 1,8% de K e < 10 g de Zn/g), e um completo desbalanceamento nas proporções entre os cátions trocáveis no solo. Estes parâmetros observados contribuíram para diminuir a produção de café. A relação entre Ca-K e Mg-K (valores absolutos nas Fig. 1 e 2) variando de 20 a 23,6:1 e 7,3 a 10,3:1 em um LRd e de 20 a 30,0:1 e 7,8 a 10,4:1 em um LEd, respectivamente, foi considerada como excessiva para a produção do cafeeiro.

Os dados discutidos mostraram que o índice requerido de calagem para o cafeeiro parece estar relacionado não apenas com o pH e teores tóxicos de Al e Mn, mas também com a proporção entre os cátions trocáveis no solo. A produção de café aumentou nos dois solos estudados, quando a relação entre Ca-K foi ajustada próxima a 13:1. Esta relação também proporcionou teores de K nas folhas sempre acima do mínimo requerido (> 1,8%) para uma boa produção do cafeeiro.

CONCLUSÕES

1. A adição de calcário dolomítico na superfície dos solos proporcionou um aumento no pH, CTC e Ca e Mg trocáveis e diminuição nos teores de K e Al trocáveis, principalmente nos horizontes superficiais do solo (0-30 cm).

2. A adição de 2,5 t/ha de calcário dolomítico, proporcionou teores adequados de Ca, Mg e K trocáveis e ajustou as relações entre Ca:K, Ca:Mg e Mg:K próximas às sugeridas para um solo ideal: 13:1, 6,5:1 e 2:1, respectivamente. A adição de 10 t/ha de calcário dolomítico proporcionou altos teores de Ca e Mg trocáveis, baixo teor de K trocável e relações entre os cátions trocáveis excessivamente altas para a produção do cafeeiro.

3. Tratamentos com 2,5 t/ha de calcário dolomítico proporcionou teores de N, P, Ca, Mg, Mn, K, Cu, e Zn nas folhas a níveis adequados para a produção do cafeeiro. O tratamento com 10 t/ha de calcário dolomítico aumentou Ca e Mg, manteve N, P, Cu e Mn em níveis adequados, e diminuiu K e Zn nas folhas abaixo dos níveis críticos, principalmente durante a formação e maturação dos frutos.

4. A produção do café aumentou com a dosagem de 2,5 t/ha de calcário dolomítico; maiores doses do corretivo (5 e 10 t/ha) diminuíram progressivamente a produção do cafeeiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Técnico Agrícola Ailton C. Silva pela colaboração na condução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F. Ionic concentrations and activities in soil solutions. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 35: 420-26, 1971.
- ADAMS, F. & PEARSON, R.W. Crop response to lime in the southern United States and Puerto Rico. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F. ed. *Soil acidity and liming*. Madison, Am. Soc. Agron., 1967. p.131-206. (Agronomy, 12).
- BEAR, F.E. & TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of other soil cations. *Soil Sci.*, Baltimore, 65:69-75, 1948.
- CHANG, M.L. & THOMAS, G.W. A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 27:281-83, 1963.
- GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of central Brazil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 43:1155-58, 1979.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, Rio de Janeiro, RJ. *Cultura do café no Brasil*. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1974. 251p.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. Englewood, Prentice-Hall, 1958. 498p.
- KAMPRATH, E.J. Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. *Proc. Soil Crop. Sci. Soc. Flor.*, Deleon Spring, 31:200-3, 1971.
- MORAES, F.I.; PAGE, A.L. & LUND, L.J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 40:521-27, 1976.
- MORAES, F.R.P. de; GALLO, J.R.; IGUE, T. & FIGUEREDEDO, J.R.P. Efeito de três fertilizantes acidificantes sobre a concentração de alumínio e de manganês em folhas e raízes de cafeeiros. *Bragantia*, Campinas, 38:7-17, 1979.
- MUZILLI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A.; CHAVES, J.C.D. & ZOCOLER, D.C. *Análise de solo interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná*. Londrina, IAPAR, 1978. p.38-36. (IAPAR. Circular, 9).

- PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 16: 815-21, 1981.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 48:33-8, 1984.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 46:1201-7, 1982.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. de & SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 6:33-37, 1982.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and Alfisols of the tropics. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 36:587-97, 1972.
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface applied amendments. *Agrochimophysics*, Pretoria, 4:1-6, 1972.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisol. *Agr. J.*, Madison, 72:40-4, 1980.
- USHERWOOD, N.R. Interações do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R. ed. *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba, Inst. Potassa & Fosfato, 1982. p.227-47.