

# REDUÇÃO DA ACIDEZ SUBSUPERFICIAL EM COLUNA DE SOLO<sup>1</sup>

JÚLIO C.D. CHAVES<sup>2</sup>, MARCOS A. PAVAN<sup>3</sup> e MARIO MIYAZAWA<sup>4</sup>

**RESUMO** - Foi conduzido um experimento em colunas para avaliar as influências da acidez subsuperficial de um Latossolo Roxo distrófico (LRd) no desenvolvimento vegetativo e radicular de mudas de cafeeiros. Os tratamentos foram: CaCO<sub>3</sub>-superfície, CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 60 cm, CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm, CaCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm, MgCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm, CaSO<sub>4</sub>-superfície e testemunha. O baixo teor de Ca e alto de Al diminuíram o desenvolvimento do cafeeiro. A aplicação superficial da calagem não foi eficiente para reduzir a acidez subsuperficial. As aplicações de CaCO<sub>3</sub> à 0-30, 0-60 e 30-60 e MgCO<sub>3</sub> aumentaram o pH, Ca e Mg e neutralizaram o Al trocável apenas nas camadas aplicadas. O gesso aumentou o movimento de Ca e reduziu o Al trocável em toda coluna. A calagem aumentou a mineralização do N e a lixiviação de ânions e diminuiu a dos metais pesados. O gesso aumentou a lixiviação de ânions e cátions básicos e diminuiu a dos metais pesados. A incorporação do CaCO<sub>3</sub> aumentou a absorção de Ca e diminuiu as de P, K e Mn. O efeito dos tratamentos no desenvolvimento da parte aérea obedeceu a seguinte ordem: CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 60 cm > CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm > CaSO<sub>4</sub> - superfície > CaCO<sub>3</sub> - superfície > CaCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm = MgCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm = testemunha. Com relação ao desenvolvimento radicular, a única alteração foi CaSO<sub>4</sub>-superfície > CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm, em virtude do maior crescimento das raízes em profundidade como consequência do aumento do Ca e a redução de Al trocáveis na subsuperfície do solo.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, calagem, gessagem, raiz, nutrição de plantas.

## REDUCTION OF SUBSURFACE ACIDITY IN SOIL COLUMN

**ABSTRACT** - A greenhouse experiment was conducted for a year with columns to evaluate the influence of subsurface acidity of a dystrophic Latosol Roxo (Oxisol), on the root and shoot growth of coffee. Experiment involved CaCO<sub>3</sub> - surface, CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 60 cm, CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm, CaCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm, MgCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm, CaSO<sub>4</sub> - surface and control. Low soil pH and high Al restricted root and shoot growth of coffee. Surface-applied lime was not efficient either reducing subsoil exchangeable Al or increasing Ca levels in the underlayers of soil. Liming at 0 cm - 30 cm, 0 cm - 60 cm and 30 cm - 60 cm deep, increased soil pH and exchangeable Ca and decreased exchangeable Al in the applied soil layer only. Gypsum increased the movement of Ca and reduced the exchangeable KCl-Al in the entire soil column. Liming increased N-mineralization and anions leaching and decreased heavy metals leaching. Gypsum increased anions and basic cations and decreased heavy metals leaching. Deep lime applications increased Ca uptake and decreased P, K and Mn uptake. The effects of treatments on shoot growth and leaf area were as following: CaCO<sub>3</sub> - 0 cm - 60 cm > CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm > CaSO<sub>4</sub> - surface > CaCO<sub>3</sub> - surface > CaCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm = MgCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm = control. Regarding root growth, the only difference was that CaSO<sub>4</sub> - surface > CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm. It was found that gypsum improved deeper root growth as a consequence of the increased movement of Ca and reduction of exchangeable Al in the subsurface of soil.

Index terms: *Coffea arabica*, liming, gypsum, roots, plant nutrition.

## INTRODUÇÃO

A redução da acidez do solo é necessária para o aumento da produção agrícola, em decorrência da toxidez causada por Al e Mn e baixa saturação das

bases, principalmente Ca (Coleman & Thomas 1967).

A calagem é a prática mais eficiente para elevar o pH, teores de Ca e saturação de bases e diminuir Al e Mn trocáveis no solo. Entretanto, tem sido documentado que a calagem causa pouco movimento de Ca e elevação do pH além da camada de solo onde foi aplicada (Erico-Gonzales et al. 1979, Chaves et al. 1984, Pavan et al. 1984). Esta característica da calagem pode causar problemas sérios em condições de baixo teor de Ca e elevado Al na subsuperfície do solo, pelo impedimento à

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 19 de fevereiro de 1987. Trabalho apresentado na XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Londrina, 27.7 a 1.8.86.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Fundação Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, CEP 86001 Londrina, PR.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., Ph.D., IAPAR.

<sup>4</sup> Químico, IAPAR.

penetração das raízes e conseqüente limitação à utilização de água e nutrientes pelas plantas.

Erico-Gonzales et al. (1979) recomendaram a incorporação física do calcário no solo para formar um meio químico favorável ao desenvolvimento das culturas anuais.

Para o cafeeiro, a incorporação física do calcário só é viável antes da implantação da lavoura no campo. Após o plantio, esta operação é extremamente difícil e apresenta problemas de ordem fisiológica pela destruição parcial das raízes superficiais das plantas e fitossanitária pela disseminação de patógenos do solo. Nestas condições, o calcário tem que ser aplicado na superfície do solo e a correção da acidez subsuperficial depende da lixiviação do corretivo.

Atualmente, há um grande interesse em estudar os modos de reduzir a acidez subsuperficial visando aumentar a penetração de raízes e melhorar a utilização de água e nutrientes para diminuir os freqüentes efeitos dos veranicos na produção agrícola. As informações a este respeito são extremamente limitadas para o cafeeiro. Alguns trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o gesso pode aumentar o movimento de bases no solo pela formação de pares iônicos neutros ( $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$ ) e a redução do Al trocável pelos seguintes fatores: 1) formação de complexos solúveis ( $\text{AlSO}_4^+$ ) não absorvidos pelas raízes (Pavan et al. 1982); 2) formação de hidróxidos de sulfato de alumínio (Sposito 1985), ou 3) polimerização do Al induzida pela troca do sulfato pelos grupos hidroxílicos (Reeve & Sumner 1972).

Os objetivos do presente estudo foram caracterizar os efeitos da calagem e da gessagem nas propriedades químicas das camadas subsuperficiais de um Latossolo Roxo distrófico e avaliar as influências da acidez subsuperficial no estado nutricional e no desenvolvimento vegetativo e radicular do cafeeiro.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado um Latossolo Roxo distrófico (LRd) do centro de experimentação da Fundação Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) em Londrina. O solo foi coletado separadamente nas profundidades de 0 cm - 30 cm e 30 cm - 60 cm e transferido para casa de vegetação para caracterização química e física (Tabela 1) e estudos em colunas de PVC.

TABELA 1. Algumas características químicas e físicas do solo.

Características analisadas	Profundidade (cm)	
	0 - 30	30 - 60
pH ( $\text{CaCl}_2$ 0,01 M)	4,6	4,4
Al meq/100 g	1,2	1,4
Ca meq/100 g	1,68	0,7
Mg meq/100 g	0,41	0,24
K meq/100 g	0,22	0,10
CO (%)	0,88	0,35
Argila (%)	80	79
Silte (%)	15	14
Areia (%)	5	7
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	0,90	0,94
Porosidade total (%)	58,8	42,6

Os tratamentos utilizados foram os seguintes: ( $T_1$ ) sem calagem e sem gessagem (testemunha); ( $T_2$ )  $\text{CaCO}_3$  pH 6,0 na superfície do solo em quantidade equivalente ao tratamento  $T_4$ ; ( $T_3$ )  $\text{CaCO}_3$  pH 6,0 em toda a coluna (0 cm - 60 cm); ( $T_4$ )  $\text{CaCO}_3$  pH 6,0 na camada 0 cm - 30 cm; ( $T_5$ )  $\text{CaCO}_3$  pH 6,0 na camada 30 cm - 60 cm; ( $T_6$ )  $\text{MgCO}_3$  pH 6,0 na camada 30 cm - 60 cm e ( $T_7$ )  $\text{CaSO}_4$  na superfície do solo em quantidade quimicamente equivalente ao Ca aplicado como  $\text{CaCO}_3$  pH 6,0.

A necessidade de calagem ( $\text{CaCO}_3$  pH 6,0) foi determinada através de um experimento preliminar de incubação do solo com doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$ , por um período de 90 dias, com a umidade mantida próxima à capacidade de campo (Fig. 1). Os corretivos utilizados nos tratamentos  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  e  $T_6$  foram misturados com o solo e transferidos para as colunas em camadas, obedecendo a mesma seqüência com que foram retiradas, procurando-se manter as densidades a valores próximos às determinadas no campo. Os tratamentos  $T_2$  e  $T_7$  foram aplicados na superfície do solo sem incorporação física. A seguir, as colunas foram mantidas com a umidade próxima à capacidade de campo por um período de seis semanas.

Foram utilizadas colunas de PVC com 60 cm de altura por 30 cm de diâmetro, vedadas na base, com drenos para a coleta da solução efluente através de uma bomba a vácuo. A solução drenada foi utilizada para análise química. A umidade das colunas foi controlada através de tensiômetros colocados horizontalmente a 10 cm e 50 cm de profundidade (Fig. 2).

Os controles da irrigação e drenagem das colunas foram realizados com o auxílio de uma equação representativa da curva de retenção de água, válida para intervalos de tensões de 50 cm a 700 cm col.água (5 cbar - 70 cbar), determinada em um LRd em condições de campo (Faria & Caramori 1986). As irrigações foram realizadas sempre que os tensiômetros colocados a 10 cm de profundidade indicavam 500 cm col.água (39,7 cm Hg), com adições de

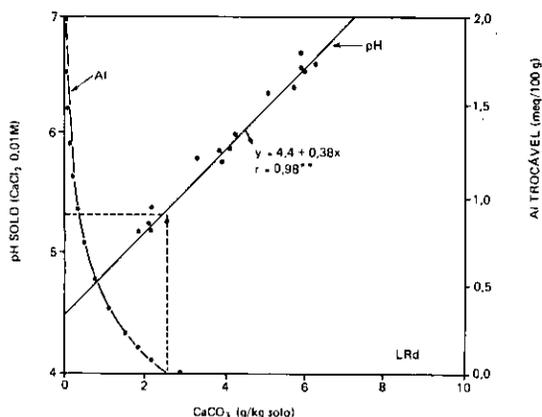


FIG. 1. Efeitos da incubação do solo com  $\text{CaCO}_3$  no pH e Al trocável.

água em quantidades necessárias para atingir a capacidade de campo (110 cm col.água ou 8,7 cm Hg) na camada de solo 0 cm - 20 cm. A drenagem foi realizada com uma

bomba a vácuo, sempre que os tensiômetros colocados a 50 cm de profundidade atingiam valores a 50 cm col.água (4 cm Hg) (ponto de saturação). O volume de água aplicado foi calculado através da fórmula:

$$V = (\theta_{110} - \theta_{500}) \cdot A \cdot H.$$

sendo:

V = volume de água em litros

$\theta_{110}$  = umidade do solo em  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ,  $\Psi$  de 110 cm col.água

$\theta_{500}$  = umidade do solo em  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ,  $\Psi$  de 500 cm col.água

A = área da coluna em  $\text{cm}^2$

H = profundidade em cm do solo irrigado.

Após um período de seis semanas da aplicação dos tratamentos, foram transferidas para o centro de cada coluna, uma muda de cafeeiro da cultivar Catuaí Vermelho (H 2077-2-5-81) em estágio de "palito de fósforo". As plantas foram mantidas nas colunas por um período de aproximadamente doze meses, durante o qual procedeu-se a irrigações periódicas com a solução nutritiva de Hoagland menos Ca. No final do experimento, procedeu-se a abertura lateral das colunas para coletas separadas da parte aérea

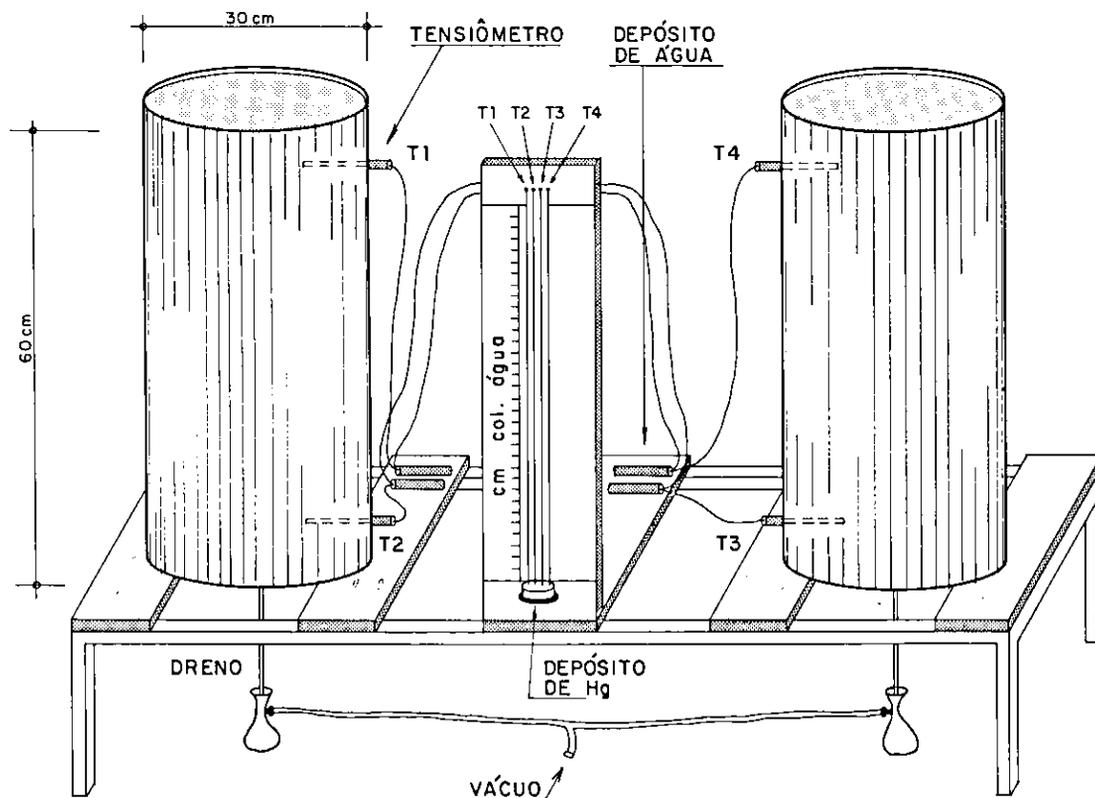


FIG. 2. Representação esquemática das colunas de solo com os tensiômetros utilizados para o controle da irrigação e drenagem.

e raízes. Imediatamente após a coleta das plantas, foram determinados a aérea foliar utilizando-se um medidor foto-eletrônico (AAC-400) e o volume radicular (Pinkas 1964). A seguir, os materiais foram secos a 70°C por 48 horas, pesados, moídos e armazenados para análise química.

Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 cm - 5 cm, 5 cm - 10 cm, 10 cm - 20 cm, 20 cm - 30 cm e 30 cm - 60 cm de profundidade e preparadas para análise química. Os métodos de extração e determinação dos elementos foram semelhantes aos descritos por Pavan et al. (1984). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades químicas do solo

A aplicação superficial do  $\text{CaCO}_3$  proporcionou aumentos aproximados de 2,5 unidades no pH e de 12,5 meq/100 g nos teores de Ca e neutraliza-

ção do Al trocável, principalmente nas camadas superiores do solo (0 cm - 10 cm) (Fig. 3). Como era esperado, a aplicação de  $\text{CaCO}_3$  à 0 cm - 60 cm, elevou o pH a valores próximos a 6,0, neutralizou o Al e aumentou os teores de Ca trocável em toda a camada aplicada. As aplicações de  $\text{CaCO}_3$  à 0 cm - 30 cm e 30 cm - 60 cm e  $\text{MgCO}_3$  à 30 cm - 60 cm, causaram alterações nas características químicas do solo apenas nas camadas onde os corretivos foram aplicados. O gesso causou pequenas alterações no pH, aumentou os teores de Ca diminuiu os de Al em toda a coluna. Estes resultados foram semelhantes aos publicados anteriormente por Reeve & Sumner (1972) e Pavan et al. (1984). Os efeitos insignificantes dos tratamentos com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSO}_4$  nos teores de Mg e K, foram conseqüentes às aplicações periódicas desses elementos na solução nutritiva de Hoagland.

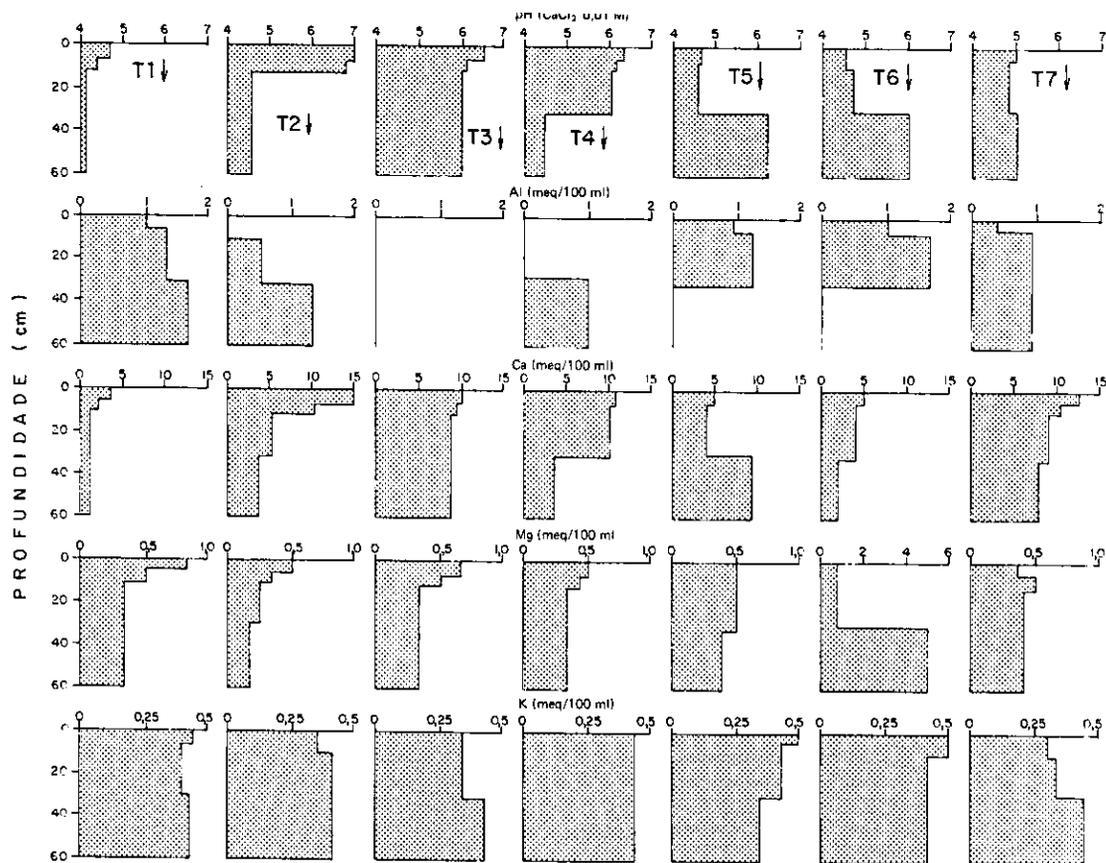


FIG. 3. Influência dos tratamentos com  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  e  $\text{CaSO}_4$ , em algumas características químicas do solo.

**Características químicas da água de drenagem**

Os tratamentos causaram alterações pronunciadas na composição química da água de drenagem (Tabela 2). As aplicações de  $\text{CaCO}_3$  na superfície e incorporado a 0 cm - 30 cm, não causaram alterações substanciais no pH e nos teores de  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Cl em relação à testemunha. Este resultado demonstra a limitada capacidade da calagem em alterar as propriedades químicas abaixo do local de aplicação. Por outro lado, as aplicações de  $\text{CaCO}_3$  0 cm - 60 cm e 30 cm - 60 cm, causaram elevações pronunciadas no pH e teores de  $\text{NO}_3$ , Ca,  $\text{SO}_4$  e Cl e diminuições nos de  $\text{NH}_4$ , Cu, Zn e Mn.

O gesso causou pequenas alterações no pH, elevações nas concentrações de  $\text{NO}_3$ , Ca, Mg,  $\text{SO}_4$  e Cl e diminuições nas de Cu, Zn e Mn. É importante salientar que estes resultados representam a composição da solução retirada da parte inferior da coluna com o auxílio de uma bomba a vácuo e, portanto, não representam necessariamente as características químicas da água gravitacional drenada abaixo desta camada de solo. Embora a concentração total de Ca na água de drenagem fosse semelhante nos tratamentos  $\text{CaCO}_3$  0 cm - 60 cm e 30 cm - 60 cm e  $\text{CaSO}_4$  - superfície, provavelmente ocorreu variação nas formas de Ca: o  $\text{Ca}^{2+}$  foi a espécie predominante nos tratamentos com o calcário e a  $\text{CaSO}_4^0$  no gesso.

Os teores de  $\text{NO}_3$  mais elevados nos tratamentos em que houve elevação do pH próximo a 6,0, podem ser conseqüentes aos efeitos da calagem na mineralização do N-orgânico e N- $\text{NH}_4$ . A maior concentração de  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  e Cl na água efluente dos tratamentos que causaram elevações no pH,

foi provavelmente em decorrência da menor adsorção de ânions com a elevação do pH. Neste caso, é esperada maior lixiviação de ânions após a aplicação de calcário em condições de campo. A menor concentração de Cu, Zn e Mn na água de drenagem nos tratamentos  $\text{CaCO}_3$  0 cm - 60 cm e 30 cm - 60 cm e  $\text{MgCO}_3$  30 cm - 60 cm foi em função ao efeito do pH na solubilidade destes metais. Os aumentos nas concentrações de Cl e  $\text{NO}_3$  e diminuições nas de Cu, Zn e Mn na solução drenada do tratamento com  $\text{CaSO}_4$ , foram decorrentes da maior competição do  $\text{SO}_4$  com os outros ânions pelos sítios de troca e pela menor complexação iônica do  $\text{SO}_4$  com os metais pesados, respectivamente.

**Respostas das plantas**

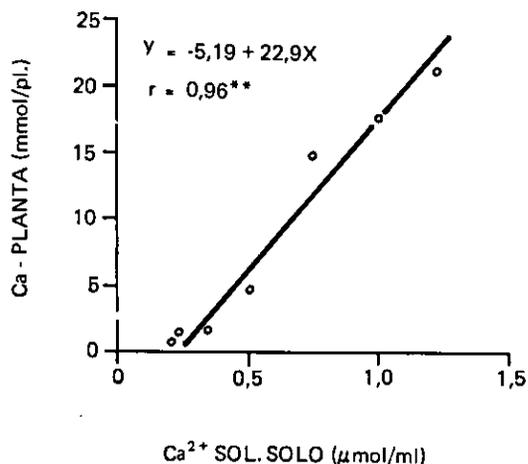
A aplicação superficial de calcário elevou a concentração de Ca e não alterou as de N, P, K, Mg, Cu, Zn e Mn nos tecidos das mudas de cafeeiros, em relação à testemunha (Tabela 3). As aplicações de  $\text{CaCO}_3$  0 cm - 60 cm e 0 cm - 30 cm causaram elevações pronunciadas nos teores de Ca e diminuições nos de P, K e Mn nos tecidos das plantas. Este último efeito pode ser em função da menor solubilidade de P e Mn com a elevação do pH e a maior competição do Ca com a absorção de K pelas raízes. A maior concentração de Ca nos tecidos das plantas, onde foi incorporado o  $\text{CaCO}_3$ , pode ser explicada pela maior absorção do elemento presente como  $\text{Ca}^{2+}$  na zona radicular (Fig. 4). A presença de  $\text{Ca}^{2+}$  na zona de crescimento das raízes é de suma importância prática pois este elemento não é translocado das partes superiores da planta para as inferiores em quantidades suficientes para promover o crescimento radicular em con-

**TABELA 2.** Características químicas da água de drenagem.

Tratamento	pH	$\text{NO}_3$ mmol/l	$\text{NH}_4$ mmol/l	Ca mmol/l	Mg mmol/l	$\text{SO}_4$ mmol/l	Cl mmol/l	Mn mmol/l	Cu μmol/l	Zn μmol/l
Testemunha	4,1	25,40	2,07	3,05	1,98	0,05	2,20	2,01	5,3	9,2
$\text{CaCO}_3$ - superfície	4,0	26,35	1,93	3,15	2,06	0,06	1,97	2,49	6,3	7,6
$\text{CaCO}_3$ 0 - 60 cm	6,4	60,55	0,06	32,07	1,73	0,92	4,57	0,01	1,6	1,8
$\text{CaCO}_3$ 0 - 30 cm	4,2	26,49	2,02	3,60	1,98	0,35	2,06	1,98	5,0	7,9
$\text{CaCO}_3$ 30 - 60 cm	6,2	57,98	0,13	30,63	1,89	1,00	4,43	0,00	1,4	2,0
$\text{MgCO}_3$ 30 - 60 cm	6,4	58,98	0,04	1,93	32,96	0,85	4,17	0,00	0,8	1,5
$\text{CaSO}_4$ - superfície	4,3	34,77	1,78	32,00	3,71	5,05	3,67	1,14	5,0	4,9

TABELA 3. Influência de tratamentos na composição química das mudas de cafeeiros.

Tratamento	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (ppm)		
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
	Folha							
Testemunha	3,6	0,14	3,3	0,38	0,18	17	36	400
CaCO <sub>3</sub> - superfície	3,4	0,13	3,4	0,87	0,21	18	34	490
CaCO <sub>3</sub> 0 - 60 cm	3,5	0,11	1,9	2,88	0,20	10	33	54
CaCO <sub>3</sub> 0 - 30 cm	3,4	0,11	2,0	2,77	0,18	10	34	45
CaCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	3,5	0,13	3,2	1,06	0,20	11	32	420
MgCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	3,4	0,11	2,8	0,52	0,42	11	42	218
CaSO <sub>4</sub> - superfície	3,2	0,12	2,8	1,05	0,20	17	57	434
	Caule e ramos							
Testemunha	1,51	0,11	1,6	0,34	0,14	11	24	650
CaCO <sub>3</sub> - superfície	1,54	0,11	1,8	0,41	0,11	20	36	100
CaCO <sub>3</sub> 0 - 60 cm	1,84	0,06	1,2	1,47	0,13	16	22	73
CaCO <sub>3</sub> 0 - 30 cm	1,84	0,09	1,4	1,29	0,16	14	26	133
CaCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	1,54	0,10	1,6	0,48	0,14	10	30	500
MgCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	1,60	0,10	1,6	0,36	0,34	10	23	510
CaSO <sub>4</sub> - superfície	1,94	0,10	1,6	1,00	0,19	27	39	615
	Raiz							
Testemunha	1,60	0,08	1,8	0,17	0,13	20	26	830
CaCO <sub>3</sub> - superfície	1,70	0,10	2,3	0,64	0,15	20	29	900
CaCO <sub>3</sub> 0 - 60 cm	3,35	0,11	1,0	2,50	0,16	14	15	170
CaCO <sub>3</sub> 0 - 30 cm	2,04	0,10	1,2	1,79	0,16	16	14	280
CaCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	1,87	0,10	1,8	0,20	0,08	28	21	920
MgCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	1,95	0,11	1,8	0,19	0,33	22	24	810
CaSO <sub>4</sub> - superfície	1,90	0,11	1,9	1,50	0,20	29	31	990

FIG. 4. Influência da concentração de Ca<sup>2+</sup> na solução do solo no total do elemento absorvido pelas mudas de café.

dições de acidez subsuperficial (Howard & Adams 1965).

A aplicação de gesso proporcionou maiores teores de Ca nos tecidos em relação à testemunha e menores em relação ao CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 60 cm e 0 cm - 30 cm, em parte, em decorrência da complexação iônica do Ca com o SO<sub>4</sub> na solução do solo (CaSO<sub>4</sub><sup>0</sup>), diminuindo a absorção do nutriente pelas raízes do cafeeiro (Pavan et al. 1982). A formação do par iônico, CaSO<sub>4</sub><sup>0</sup>, e a diminuição do Ca<sup>2+</sup> na solução do solo, contribuíram para minimizar a competição na absorção radicular de K e, conseqüentemente, aumentar a concentração de K nos tecidos em relação aos tratamentos CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 60 cm 0 cm - 60 cm e 0 cm - 30 cm.

As alterações no desenvolvimento das mudas de cafeeiros (Tabela 4) refletiram os efeitos dos tratamentos nas características químicas do solo. A diminuição nos teores de Al trocável e aumentos nos de Ca, proporcionaram maior desenvolvimento

TABELA 4. Influência dos tratamentos no desenvolvimento das mudas de cafeeiros\*.

Tratamento	Peso matéria seca (g/pl.)		Volume radicular (ml/pl.)	Área foliar (cm <sup>2</sup> /pl.)
	Parte aérea raízes			
Testemunha	0,77 d	0,21 c	1,15 d	133,4 c
CaCO <sub>3</sub> - superfície	7,66 c	1,73 b	7,50 c	1.082,4 b
CaCO <sub>3</sub> 0 - 60 cm	29,69 a	7,96 a	45,00 a	2.900,3 a
CaCO <sub>3</sub> 0 - 30 cm	20,24 b	6,67 a	31,70 b	2.638,5 a
MgCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	0,22 d	0,14 c	0,90 d	42,2 d
CaCO <sub>3</sub> 30 - 60 cm	0,94 d	0,28 c	1,00 d	178,9 c
CaCO <sub>4</sub> - superfície	19,22 b	7,23 a	33,52 b	2.476,0 a

\* Teste de Tukey ao nível de 5%.

vegetativo e radicular das plantas. Os efeitos dos tratamentos no peso da matéria seca da parte aérea e área foliar obedeceram a seguinte ordem: CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 60 cm > CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm > CaSO<sub>4</sub> - superfície > CaCO<sub>3</sub> - superfície > CaCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm = MgCO<sub>3</sub> 30 cm - 60 cm = testemunha. Para o sistema radicular (peso matéria seca e volume), a única alteração foi a maior influência do CaSO<sub>4</sub> - superfície em relação ao CaCO<sub>3</sub> 0 cm - 30 cm. Este resultado foi, sem dúvida, em função da maior movimentação do Ca e diminuição nos teores de Al trocável com a aplicação do gesso (Fig. 3), possibilitando condições químicas mais favoráveis para o desenvolvimento radicular em toda a coluna de solo (Fig. 5). Por outro lado, a incorporação, do CaCO<sub>3</sub> à 0 cm - 30 cm propor-

cionou melhores condições químicas apenas na camada aplicada (Fig. 3), limitando a penetração das raízes a maiores profundidades devido à acidez subsuperficial não corrigida.

### CONCLUSÕES

1. A acidez superficial e subsuperficial do solo afetaram o desenvolvimento vegetativo e radicular das mudas de cafeeiros.

2. Os aumentos nos crescimentos das partes aérea e radicular foram proporcionais às profundidades de incorporação do CaCO<sub>3</sub>: T<sub>3</sub> > T<sub>4</sub> > T<sub>2</sub>.

3. A incorporação do CaCO<sub>3</sub> próximo à zona de crescimento radicular causou maior absorção de Ca.

4. O gesso aplicado na superfície proporcionou aumentos nos teores de Ca e diminuição nos de Al trocável em toda a coluna de solo e conseqüentemente favorecendo o crescimento radicular em profundidade.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Christian H. Roth, pela contribuição nos procedimentos de instalação dos tensiômetros nas colunas de solo.

### REFERÊNCIAS

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. *Pesq. agropec. bras.*, 19(5):573-82, 1984.

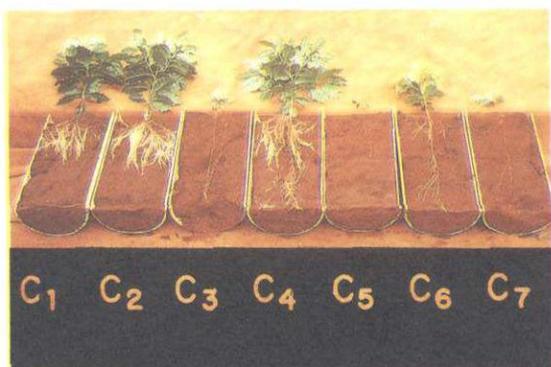


FIG. 5. Desenvolvimento radicular e da parte aérea das mudas de café nas colunas após um ano da aplicação dos tratamentos C<sub>1</sub> = CaCO<sub>3</sub> 0-30 cm; C<sub>2</sub> = CaCO<sub>3</sub> 0-60 cm; C<sub>3</sub> = testemunha; C<sub>4</sub> = CaSO<sub>4</sub> - superfície; C<sub>5</sub> = CaCO<sub>3</sub> 30-60 cm; C<sub>6</sub> = CaCO<sub>3</sub> = superfície e C<sub>7</sub> = MgCO<sub>3</sub> 30-60 cm.

- COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., ed. *Soil Acidity and liming*. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.
- ERICO-GONZALES, E.; KAMPRATH, J.; NADERMAN, G.C.; SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on Oxisols of Central Brazil. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, 4:1155-8, 1979.
- FARIA, R.T. de & CARAMORI, P.H. Caracterização físico-hídrica de um Latossolo Roxo Distrófico do município de Londrina, PR. *Pesq. agropec. bras.*, 21(12):1303-11, 1986.
- HOWARD, D.R. & ADAMS, F. Calcium requirements for penetration of subsoils by primary cotton roots. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 29:588-61, 1965.
- 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.*, 48:33-8, 1984.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *J. Soil Sci. Soc. Am.*, 46:1201-7, 1982.
- PINKAS, L.L.H. A method of measuring the volume of small root systems. *Agron. J.*, Madison, 56:90-1, 1964.
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. *Agrochemophysica*, Pretória, 4: 1-6, 1972.
- SPOSITO, G. Chemical model of weathering in soils. In: DREVER, J.I., ed. *The chemistry of weathering*. New York, D. Reidel, 1985. p.1-18.