

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO APÓS A FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIEIRO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA LAVAGEM E DESCASCAMENTO DE SEUS FRUTOS

Paola Alfonsa Lo Monaco¹; Antonio Teixeira de Matos¹; Hermínia Emília Prieto Martinez²; Paulo Afonso Ferreira¹; Marcio Mota Ramos¹

¹*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, paolalomonaco2004@yahoo.com.br*

²*Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.*

1 RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se avaliar as características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos (ARC). Com base nas determinações de concentração de potássio na ARC filtrada, foram estabelecidas as doses de ARC a serem aplicadas ao solo, que corresponderam a 0 (L0); 2,0 (L1); 3,0 (L2); 4,0 (L3); 5,0 (L4) e 6,0 (L5) vezes a necessidade de potássio para a cultura do cafeeiro, aplicadas durante 2 meses. Após o término da aplicação, amostras de solo foram coletadas, nas profundidades de 0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm e 60 a 90 cm, para obtenção do valor do pH, condutividade elétrica e quantificação das concentrações de N_{total}; K, Ca e Mg trocáveis; P, Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis. Os resultados obtidos com a análise de solo foram utilizados para o ajuste de equações de regressão, buscando-se obter modelos de distribuição dos nutrientes e de alterações químicas nas diferentes profundidades do solo. De acordo com os dados obtidos, pode-se concluir que a aplicação da ARC provocou aumento na concentração de potássio trocável, o que proporcionou aumento na CE e o pH no solo cultivado com cafeeiro, além da lixiviação de cálcio e, principalmente, de magnésio no perfil do solo; houve aumento na concentração de fósforo disponível na camada de 0 a 20 cm quando da aplicação da dose L5; houve decréscimo na concentração de zinco e tendência de aumento na concentração de cobre após a aplicação da ARC, em todos os tratamentos, na camada de 0 a 20 cm do solo, sendo que o tratamento L5 proporcionou aumento da concentração de cobre, em profundidade, no perfil do solo; houve aumento na concentração de ferro e manganês no solo submetido a todos os tratamentos com aplicação de ARC.

UNITERMOS: processamento do café, despolpa, concentração de nutrientes.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T. de; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M. CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL AFTER FERTIRRIGATION OF COFFEE SHRUBS WITH WASTEWATER FROM THE WASHING AND HUSKING OF THEIR CHERRIES

2 ABSTRACT

This work aimed to evaluate the chemical characteristics of the soil after fertirrigation of the coffee shrub with wastewaters from the washing and husking of their cherries (ARC). Based on the potassium content determinations in the filtered ARC, the doses of ARC to be applied

to the soil were established, corresponding to 0 (L0); 2.0 (L1); 3.0 (L2); 4.0 (L3); 5.0 (L4) and 6.0 (L5) times the potassium requirements for coffee plants and applied to the soil for two months. At the end of the ARC application, some soil samples were collected at depths from 0 to 20 cm; 20 to 40 cm; 40 to 60 cm and 60 to 90 cm in order to obtain the value of pH, electric conductivity in solution 1:2.5, and the quantification of N_{total}, P, K, Ca, Mg, and the available P, Fe, Cu and Mn. The results obtained from the soil analysis were used for the adjustment of the regression equations, in order to obtain models of nutrient distribution and chemical alterations at different soil depths. According to the results, it was concluded that ARC application increased the concentration of exchangeable potassium which provided an increase of electric conductivity and pH of coffee crop soil, apart from calcium leaching and, mainly, magnesium on the soil profile. There was an increase at the available phosphorus concentration at depths from 0 to 20 cm when L5 doses were applied; there was also a decrease of zinc concentration and in the copper concentration after ARC application was likely to increase in all treatments in the 0 to 20 cm layer and the L5 treatment increased copper concentration, at deep depths of soil profile; there was an increase of iron and manganese concentration in the soil submitted to all treatments with ARC application.

KEYWORDS: coffee processing, pulping, concentration of nutrients.

3 INTRODUÇÃO

Dentre as operações que desempenham papel importante na produção de grãos de café, destaca-se o processamento pós-colheita, que influencia, diretamente, o aspecto, a qualidade e o rendimento de grãos de café.

O processamento do fruto pode ser feito por via seca ou via úmida. Por via seca, atualmente a mais usada no Brasil, o fruto é seco com casca, enquanto por via úmida o fruto é descascado ou despulpado antes da secagem. Neste processo, a secagem é mais rápida, conseqüentemente há diminuição no custo, além de se obter um produto com melhor qualidade para ser comercializado no exterior, hoje um mercado cada vez mais exigente no que se refere à qualidade de bebida.

No processamento via úmida, os frutos tipo “cereja”, após serem lavados, são descascados (retirada da casca e de parte da polpa) e podem ser, posteriormente, submetidos à fermentação, para facilitar a retirada do restante da mucilagem, no processo denominado desmucilagem, dando origem ao café despulpado. Nesse processo, os frutos são colocados em tanques com água, por aproximadamente 12 horas, onde sofrem fermentação lenta, visando amolecer e soltar a mucilagem (Bártholo et al., 1989). Os grãos são, em seguida, lavados para a retirada do restante da mucilagem e de produtos decorrentes da hidrólise e fermentação, a fim de evitar a formação de sabores e odores indesejáveis na etapa de secagem e no processo de armazenamento.

A disposição dos resíduos orgânicos produzidos no processo via úmida é, no entanto, um dos principais problemas nas unidades de processamento de frutos por via úmida.

De acordo com resultados de pesquisas realizadas no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV-MG, as águas residuárias da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro (ARC) são ricas em material orgânico e inorgânico, com elevado poder poluente e, dessa forma, o seu lançamento, sem tratamento, em corpos hídricos não é permitido, de acordo com a legislação ambiental vigente, tornando-se necessário tratá-las e dispô-las de maneira adequada (Matos & Lo Monaco, 2003).

Como alternativa de tratamento e, ou, disposição dessa água no meio ambiente, tem-se a disposição no solo, na forma de fertirrigação, cuja técnica prioriza o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária sobre áreas cultivadas. Além do potássio, presente em grande quantidade na ARC, outros nutrientes também estão presentes, tal como o nitrogênio, o fósforo e o cálcio, indicando que esses resíduos constituem material de elevado valor fertilizante e que podem ser aproveitados e dispostos no solo, com o objetivo de substituir alguns fertilizantes inorgânicos utilizados no cultivo agrícola.

Se realizada de forma adequada, a fertirrigação pode possibilitar aumento na produtividade e na qualidade dos grãos colhidos, reduzir a poluição ambiental, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (Matos & Lo Monaco, 2003).

Neste estudo, objetivou-se avaliar as características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado e conduzido nos meses de janeiro a dezembro de 2004, na Área Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em área de aproximadamente 286 m², contendo cerca de 162 cafeeiros do gênero *Coffea arábica* L., cultivar Catuaí, com quatro anos de idade, tendo a primeira produção no ano de 2004. Os cafeeiros estão espaçados de 0,8 entre plantas e 2,2 m entre linhas.

O solo onde os cafeeiros foram plantados e cultivados é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo e, para caracterizá-lo física e quimicamente, realizou-se uma amostragem, utilizando-se um trado tipo holandês, para coleta de amostras em seis pontos aleatórios e em quatro camadas no perfil: 0 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 90 cm.

Após secagem ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas em peneira de 4 mm, sendo, em seguida, encaminhadas ao Laboratório de Análises de Rotina do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, a fim de se procederem as caracterizações químicas e físicas. Os resultados das análises químicas e físicas do solo, antes do início do experimento, estão apresentados nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

As análises químicas foram constituídas pela determinação do pH em água, com o uso de potenciômetro; acidez potencial (H + Al), por titulometria; P disponível, por colorimetria; K trocável, por fotometria de chama; Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn trocáveis por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997). A soma de bases trocáveis, a CTC efetiva e potencial (método da soma de bases trocáveis), e os índices de saturação por bases e por alumínio foram obtidos por cálculo. A quantificação do conteúdo de matéria orgânica obtida pelo método de Walkley-Black (Embrapa, 1997).

A análise física limitou-se à análise granulométrica, sendo realizada segundo o Método da Pipeta (Embrapa, 1997), e à classificação textural, definida com base nos critérios da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS.

A água residuária da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro utilizada nos ensaios foi coletada na unidade beneficiadora da Universidade Federal de Viçosa, cujo volume, era coletado e transportado para a área experimental com um caminhão pipa. Em seguida, a ARC era submetida ao processo de filtração.

O filtro era constituído por um tambor, com área transversal de 0,26 m² e 1,3 m de altura, e uma válvula de gaveta, posicionada na sua parte inferior, para permitir a saída da

água filtrada. Como material filtrante da ARC, foi utilizado o pergaminho de grãos de café, seco ao ar e passado em peneira, com partículas de diâmetro entre 2 e 3 mm.

A ARC filtrada era recalçada, utilizando-se uma motobomba de 0,5 cv, para outro reservatório, distante 20 metros do tanque armazenador do efluente do filtro e a 4 metros de altura do solo, para permitir a aplicação da água residuária por gravidade.

A cada 2000 L de filtragem, amostras da ARC bruta e filtrada eram coletadas e encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, para serem analisadas, seguindo-se metodologia apresentada pela APHA (2005). A análise química consistiu nas medições do potencial hidrogeniônico (pH), por meio de um potenciômetro, e quantificação das concentrações de nitrogênio, método Kjeldahl, fósforo, por colorimetria ($\lambda = 725$ nm), e de potássio e sódio por fotometria de chama (APHA, 2005).

Quadro 1. Características químicas do solo nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm e 60 a 90 cm

Camadas (cm)	pH		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
	H ₂ O	-----							
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				
0-20	5,51	12,30	135,00	-	2,68	0,73	0	3,10	
20-40	5,28	4,50	77,00	-	2,06	0,53	0	2,60	
40-60	5,19	1,20	51,00	-	1,57	0,37	0	2,50	
60-90	4,93	1,30	61,00	-	1,19	0,24	0	2,00	

Camadas (cm)	SB	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
	---	cmol _c dm ⁻³	---	---	---	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	-----	mg dm ⁻³	-----	-----
0-20	3,76	3,76	6,86	54,80	0	2,91	23,70	7,51	42,00	45,30	2,75
20-40	2,79	2,79	5,39	51,08	0	1,90	17,70	4,09	42,30	37,40	2,95
40-60	2,07	2,07	4,57	45,30	0	1,52	16,90	2,05	49,10	23,50	2,82
60-90	1,59	1,59	3,59	44,30	0	1,01	10,60	1,18	36,40	18,00	2,60

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P – Na – K – Fe – Zn – Mn – Cu – Extrator Mehlich 1; Ca – Mg – Al – Extrator: KCl – 1 mol.L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol.L⁻¹ – pH 7,0; B – Extrator água quente; S – Extrator – Fósforo monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 ou potencial; V = Índice de Saturação por Bases; m = Índice de Saturação por Alumínio; ISNa – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 – Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente.

Quadro 2. Resultado da análise física do solo

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
	----- dag kg ⁻¹ -----				
0-20	16	10	22	52	Argila
20-40	16	9	22	53	Argila
40-60	13	8	21	58	Argila
60-90	14	6	22	58	Argila

Com base nas análises de conteúdo de potássio da ARC filtrada, nutriente contido em maior concentração nessas águas, foram estabelecidas as doses de ARC a serem aplicadas ao solo. As doses corresponderam à aplicação de 0; 66,4; 99,6; 132,8; 166; 199,2 g cova⁻¹ de potássio; o que correspondeu a aproximadamente a 0; 2; 3; 4; 5 e 6 vezes a necessidade de potássio recomendada (80 g de K₂O cova⁻¹), para aplicação anual, na cultura do cafeeiro

(Ribeiro et al, 1999), considerando a disponibilidade de 135 mg dm^{-3} de potássio trocável no solo, antes de ser iniciada a aplicação de ARC na área de cafeeiro.

A dose zero correspondeu ao volume de água “limpa” evapotranspirado pelo cafeeiro no período entre aplicações. Caso as doses de ARC calculadas para aplicação no cafeeiro fossem inferiores às relativas à de evapotranspiração pelo cafeeiro no período, estas eram completadas com água “limpa”, até se chegar à dose de água evapotranspirada pela cultura. Neste caso, considerou-se o coeficiente da cultura com o valor de 0,8 e o coeficiente de estresse hídrico foi considerado a unidade, por ser adotado um manejo de irrigação de alta frequência.

O volume de água a ser aplicado no cafeeiro (V), em litros, foi calculado utilizando-se a Equação 1:

$$V = (ET_c - P_{\text{efetiva}}) \times K_L \times A_{\text{planta}} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que,

P_{efetiva} : precipitação efetiva (mm);

A_{planta} : área da planta (m^2);

K_L : coeficiente de localização.

O coeficiente de localização (K_L) foi calculado conforme apresentado na Equação 2:

$$K_L = PS + 10\% \quad \text{Eq. (2)}$$

A porcentagem de área sombreada (PS) foi calculada conforme apresentado na Equação 3:

$$(PS) = \frac{\text{diâmetro da copa} \times \text{distância entre plantas}}{\text{distância entre linhas} \times \text{distância entre plantas}} \quad \text{Eq. (3)}$$

As demais doses aplicadas foram assim definidas: L1 – dose correspondente à disponibilização de duas vezes a necessidade de potássio pela cultura do cafeeiro; L2 – dose correspondente a 3 vezes; L3 – dose correspondente a 4,0 vezes; L4 – dose correspondente a 5,0 vezes e L5 - correspondente a 6,0 vezes a necessidade da cultura.

A aplicação da ARC foi feita, parceladamente, de forma a subdividir a aplicação da dose total num período de dois meses, correspondente ao de geração da ARC.

Após o término da aplicação da ARC, em todas as parcelas experimentais, foram feitas coletas de amostras de solo, a fim de se investigarem os possíveis efeitos da aplicação da água residuária da lavagem descascamento de frutos do cafeeiro nas características químicas do solo.

As amostras foram retiradas com auxílio de um trado holandês, coletando-se duas amostras de solo por parcela e obtendo-se, com a mistura delas, uma amostra composta, para serem efetuadas as análises. As camadas amostradas foram as mesmas das realizadas antes da aplicação da ARC, de 0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm e 60 a 90 cm.

As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Rotina de Análises de Solo da UFV, sendo que para a medição do pH em água e quantificação, das concentrações de P disponível e de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn trocáveis, além da determinação da soma de bases trocáveis, seguiu-se a metodologia citada anteriormente.

De acordo com a análise de solo, referente à coleta realizada imediatamente após o término das aplicações de ARC, procedeu-se às adubações complementares àquela proporcionada pela aplicação de ARC: aplicação de calcário (PRNT de 83%), uréia, dividida em três doses semanais e de superfosfato simples, aplicado de uma só vez. Considerando-se uma produtividade esperada de 50 a 60 sacas ha^{-1} , foi estabelecida, seguindo-se o critério de Ribeiro et al. (1999), a recomendação de aplicação de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio. No caso da adubação fosfatada, a aplicação de P_2O_5 foi baseada na quantidade de fósforo no solo das parcelas experimentais e na porcentagem de argila do solo da área (52%). A adubação foliar consistiu na pulverização das folhas das plantas com ácido bórico, sulfato de zinco e oxiclreto de cobre, numa concentração de 3 g L^{-1} de cada um, segundo a recomendação de Ribeiro et al. (1999).

Os resultados obtidos com a análise de solo foram utilizados para o ajuste de equações de regressão, buscando-se identificar o comportamento dos nutrientes de interesse, cujas concentrações foram quantificadas nas diferentes profundidades de solo. As análises de regressão foram realizadas utilizando-se o Programa SAEG 8.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o que está apresentado na Figura 1, os tratamentos com aplicação de maiores doses de ARC proporcionaram significativos aumentos no pH do solo, embora a média do valor de pH na ARC, nas 12 aplicações efetuadas no solo, fosse de aproximadamente 4,4. O tratamento correspondente à maior dose (L5) proporcionou as maiores elevações no valor de pH do solo atingindo 6,5, notadamente nas camadas mais superficiais.

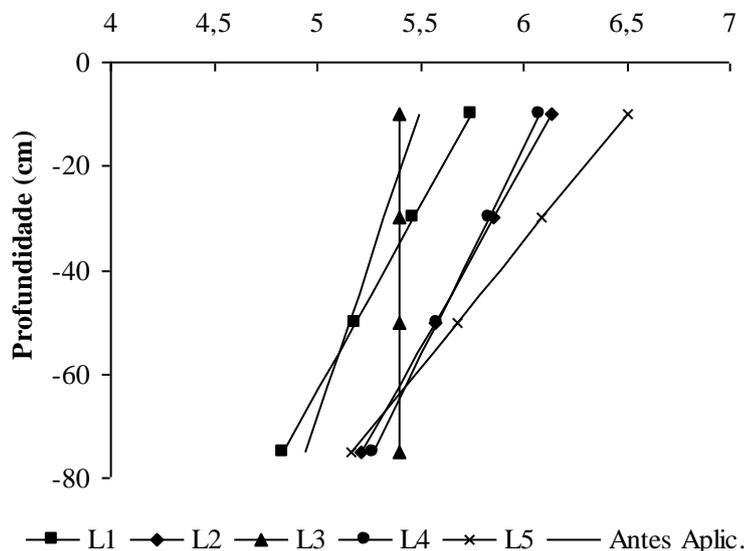


Figura 1. Variação do pH no perfil do solo em função da profundidade antes e após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

O efeito da adição de matéria orgânica sobre o pH do solo tem sido controvertido e bastante discutido na literatura. Em solos tratados com resíduos biodegradáveis (como águas

residuárias), mediante a degradação destes materiais pelos microrganismos, pode haver diminuição no valor do pH do solo, devido à produção de CO_2 e de ácidos orgânicos (Bouwer & Chaney, citados por Fonseca, 2001). Queiroz et al. (2004), ao aplicar águas residuárias da suinocultura por escoamento superficial em rampas cultivadas com gramíneas forrageiras, observou, ao final do experimento, aumento no valor do pH nas parcelas de solo que receberam “água limpa” e decréscimo nas parcelas que receberam água residuária da suinocultura. Porém, segundo Yan et al. (1996), a adição de resíduos orgânicos também pode proporcionar aumento no valor do pH do solo, devido, principalmente, a dois diferentes processos: descarboxilação de ânions orgânicos, consumindo H^+ com liberação de CO_2 ($\text{R-CO-COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{R-CHO} + \text{CO}_2$) e desaminação de aminoácidos.

A aplicação da ARC nas maiores doses proporcionou, por exemplo, o aporte de cerca de 1,0 a 1,2 kg de matéria orgânica por cova o que pode ser uma das razões para o observado aumento de pH no solo. Além disso, como a ARC é muito rica em potássio, cátion de reação alcalina no solo, houve quebra da molécula de água formando KOH e íons H^+ . Sabendo-se que o KOH é uma base forte, dissociando-se facilmente, pode formar íons K^+ e OH^- , assim, os íons hidrogênio (H^+) ficam adsorvidos no complexo de troca e as hidroxilas (OH^-) ficam na solução do solo, aumentando o pH do meio.

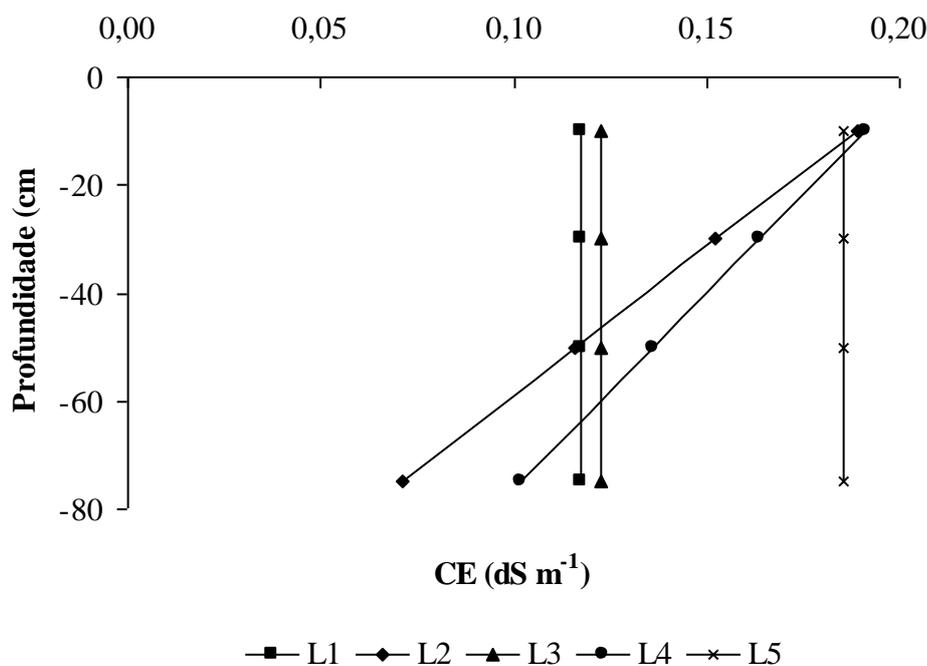


Figura 2. Variação da Condutividade Elétrica (CE) no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

A condutividade elétrica (CE) expressa a atividade de íons presentes em solução. Como a condutividade elétrica em solução é proporcional à concentração iônica presente no meio, já que indica a capacidade de um meio ionizado em conduzir corrente elétrica, existe relação de proporcionalidade entre o valor da CE e a atividade iônica. O potássio é um elemento químico que não está associado à matéria orgânica, permanecendo em solução e contribuindo, de forma acentuada, para a CE da solução (Lo Monaco et al., 2004). Na Figura

2, estão apresentados os valores de CE, em função da profundidade de solo e das doses de ARC aplicadas. Porém, ao se comparar os resultados obtidos para CE no solo deste trabalho com o de outros autores, é necessário lembrar que nesta determinação utilizou-se água destilada na proporção 1:2,5, enquanto que em outros trabalhos utilizou-se o extrato da pasta saturada do solo e, nesse caso, a proporção é geralmente 1:1, o que proporciona valores maiores que os obtidos nesta pesquisa.

Conforme se pode verificar, a CE no solo foi alterada, ao longo do seu perfil, com a aplicação das doses L2 e L4 de ARC, sendo que, juntamente com a dose L5, foram obtidos maiores valores de CE no solo, nos primeiros 20 cm de profundidade. Isto pode ser atribuído à grande quantidade de potássio incorporada ao solo com a aplicação da ARC. Verifica-se, ainda, na Figura 2, que a CE decresceu linearmente com o aumento da profundidade nos tratamentos correspondentes às doses L2 e L4 e foi constante com a aplicação das doses L1, L3 L5. Disso, pode-se afirmar que os efeitos das doses L2 e L4 foram mais superficiais enquanto que, com a aplicação da L5, as concentrações foram altas em todo o perfil, ou seja, a quantidade de íons adicionados foi suficiente para causar significativa lixiviação, acredita-se que predominantemente catiônica, no solo.

Conforme apresentado na Figura 3, o tratamento correspondente à maior dose de ARC (L5) proporcionou maior aumento relativo na concentração de fósforo disponível, comparativamente aos valores obtidos antes da aplicação da ARC, nas camadas de 0 a 20 cm do solo, que era de $12,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Quadro 1). Na mesma camada, os demais tratamentos correspondentes às doses L1, L2, L3 e L4 tiveram a concentração de fósforo disponível diminuída, o que pode ser atribuído, em parte, ao grande aporte de matéria orgânica, favorecendo a quelação/complexação do P-disponível.

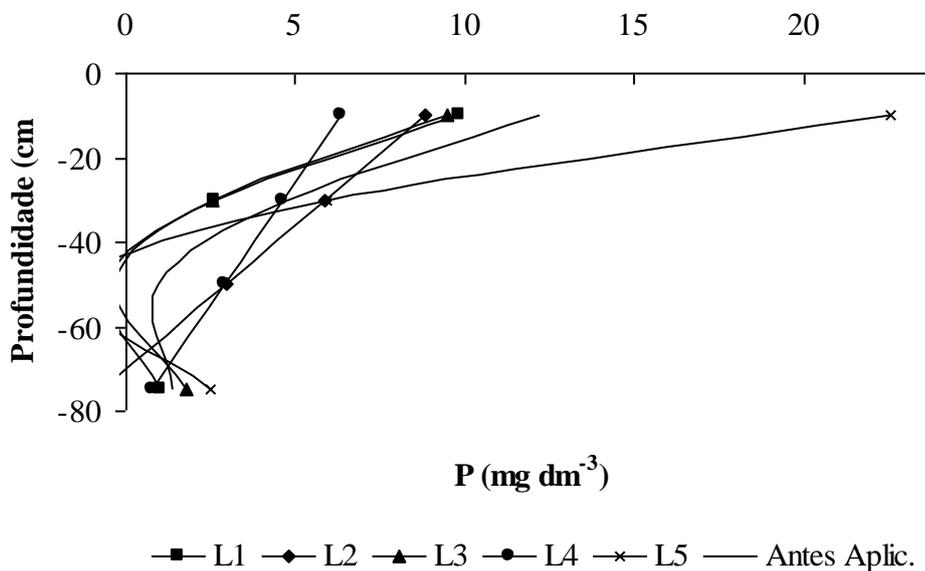


Figura 3. Variação do fósforo perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

A disponibilidade de fósforo também é dependente do pH do solo e sabe-se que valores de pH que proporcionam maior disponibilidade de fósforo no solo estão na faixa de

6,0 a 6,5. Conforme pode ser observado na Figura 5, no tratamento em que foi aplicada a maior dose de ARC (L5), o solo apresentou valores de pH próximos de 6,5, o que proporcionou maior concentração de P-disponível para as plantas.

Embora a dose L5 de ARC tenha proporcionado a aplicação de grande quantidade de material orgânico, não foi verificada a quelação/complexação do P-disponível no solo. Possivelmente o efeito do pH predominou em relação ao efeito da adição da matéria orgânica, ou seja, a grande quantidade de potássio adicionada com esta dose favoreceu a formação de bases dissociáveis (KOH), proporcionando aumento na concentração de hidroxilas, e, com isso, favorecendo a disponibilidade do fósforo. Esse efeito pode ter superado o de indisponibilização do elemento, que poderia ser provocado pelo material orgânico adicionado ao meio.

A concentração de potássio trocável aumentou consideravelmente nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, proporcionalmente às doses de ARC aplicadas (Figura 4), ficando muito acima dos valores da concentração média de potássio trocável, citados por Martinez et al. (2004), quantificados, por dois anos consecutivos, na camada de 0 a 20 cm do solo, em cafezais da região de Viçosa, que foi de $104,22 \text{ mg dm}^{-3}$. De acordo com Ribeiro et al. (1999), solos com concentração de potássio trocável superior a 120 mg dm^{-3} são considerados solos de muito boa fertilidade, no que se refere especificamente à disponibilidade deste nutriente. Assim, todos os tratamentos, ficaram enquadrados como solos de muito boa fertilidade em relação à potássio.

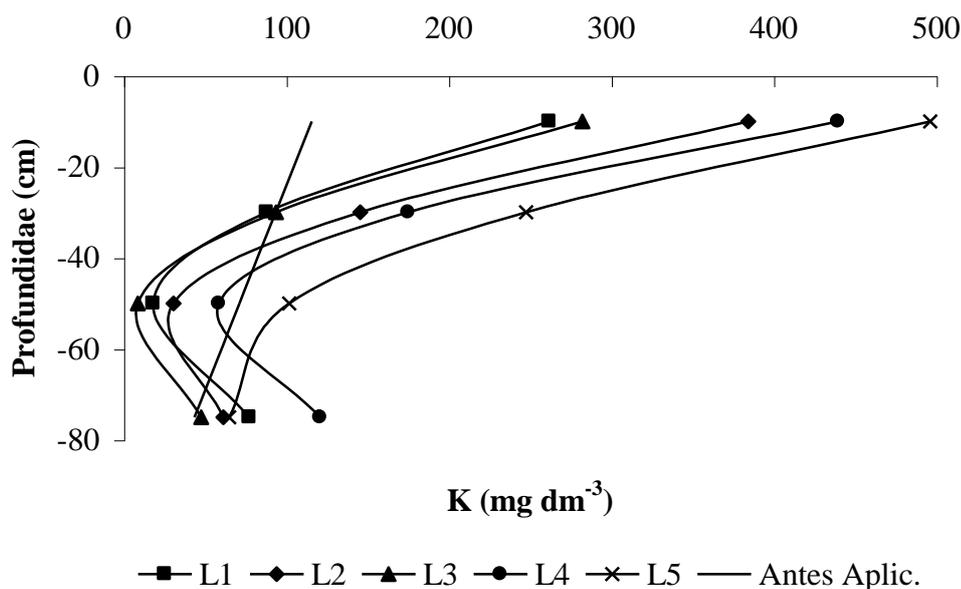


Figura 4. Variação da concentração do potássio no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Observando-se, ainda, a Figura 4, nota-se que houve lixiviação do potássio para as camadas mais profundas do solo, o que foi ocasionado pela aplicação de todas as doses de ARC. Houve, também, tendência de aumento nas concentrações de potássio trocável em profundidades maiores que 60 cm, notadamente no solo que recebeu as maiores doses de ARC, como a L4, tendo sido obtidos valores de concentração tão altos como de 130 mg dm^{-3} . Considerando-se que a concentração de potássio trocável antes do início do experimento era,

na camada de 60 a 90 cm, de 61 mg dm^{-3} (Quadro 1) e que esses valores foram significativamente aumentados com a aplicação da ARC, ficou evidente a necessidade de monitoramento da concentração de potássio trocável no solo, quando da aplicação dessas águas residuárias como fertirrigação, já que, em vista de sua alta mobilidade no perfil do solo, principalmente quando da aplicação de maiores doses de ARC (L4 e L5), o elemento pode proporcionar problemas de contaminação das águas do lençol freático.

De acordo com Van Raij (1981), sais de potássio apresentam, em geral, alta solubilidade e as concentrações de K na solução do solo podem também atingir concentrações bastante elevadas. Isto confere ao potássio maior mobilidade, permitindo movimentação na forma de sais e lixiviação através do solo. Entretanto, quando não houver adequada lixiviação, como ocorre em solo de baixa permeabilidade e capacidade de drenagem, pode haver problemas de salinização do solo. Evidentemente, a lixiviação de K está diretamente relacionada à CTC do solo. Quanto maior a CTC, menor será a lixiviação de K, uma vez que este cátion fica adsorvido às cargas negativas do solo. Como o solo estudado apresenta relativamente baixa CTC, pode-se esperar grande lixiviação de cátions no perfil.

O solo apresentou, após o período de aplicação da ARC, baixas concentrações de cálcio trocável, notadamente em profundidades maiores que 40 cm (Figura 5). De acordo com os dados apresentados no Quadro 1, antes de se iniciar a aplicação de ARC, o solo continha $2,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio trocável na camada de 0 a 20 cm e $2,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 20 a 40 cm, cujos valores se enquadram em níveis considerados satisfatórios para a cultura do cafeeiro, sendo considerado de fertilidade média em relação especificamente a esse nutriente (Ribeiro et al., 1999). Estes valores estão superiores aos encontrados por Martinez et al. (2004), que obteve uma concentração média de $0,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio trocável na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em solos cultivados com cafeeiro, na região de Viçosa-MG.

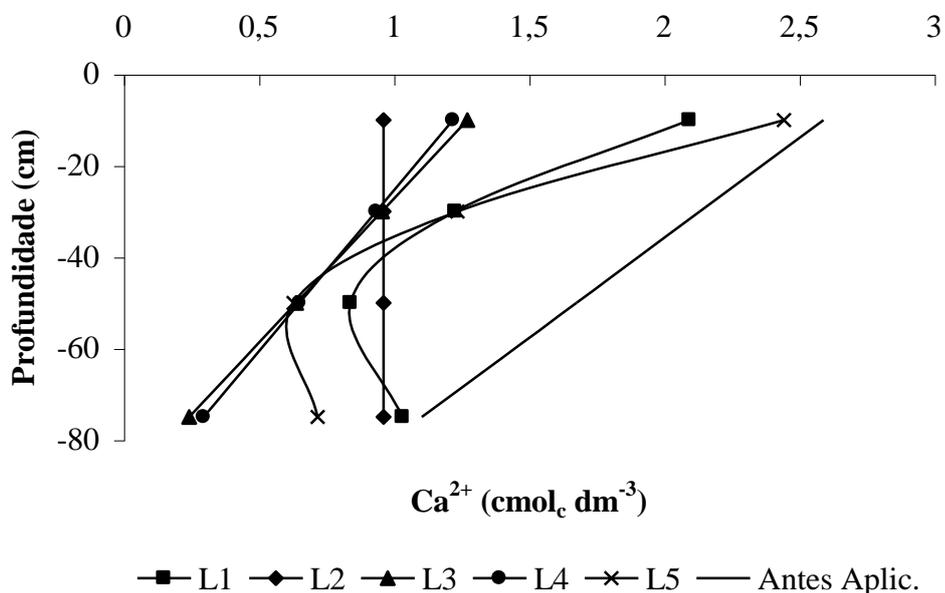


Figura 5. Variação da concentração de cálcio no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

A grande quantidade de potássio aplicada via ARC proporcionou a substituição de íons de cálcio do complexo de troca do solo, notadamente nas camadas mais superficiais. Por

essa razão, suspeita-se que a aplicação de calcário deva ser antecipada à época de aplicação de ARC (realizada nos meses de maio, junho e julho), de modo a diminuir a saturação de potássio no complexo de troca. A substituição do cálcio pelo potássio, ocasionada pela aplicação em excesso da ARC, pode, também, afetar a estrutura do solo, acarretando problemas de infiltração da água, além de possibilitar intensiva lixiviação de cálcio no perfil.

De acordo com o que está apresentado na Figura 6, as concentrações de Mg trocável diminuíram nas camadas de 0 a 20 cm, em todos os tratamentos em que foi aplicada ARC no solo, exceto na parcela que recebeu a dose L5. A partir dos 20 cm de profundidade aproximadamente, também na parcela que recebeu a dose L5 houve decréscimo da concentração de magnésio no solo.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 1, antes de se iniciar a aplicação de ARC, o solo continha $0,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de magnésio trocável na camada de 0 a 20 cm e $0,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 20 a 40 cm, cujos valores se enquadram em níveis considerados satisfatórios para a cultura do cafeeiro, segundo Ribeiro et al. (1999).

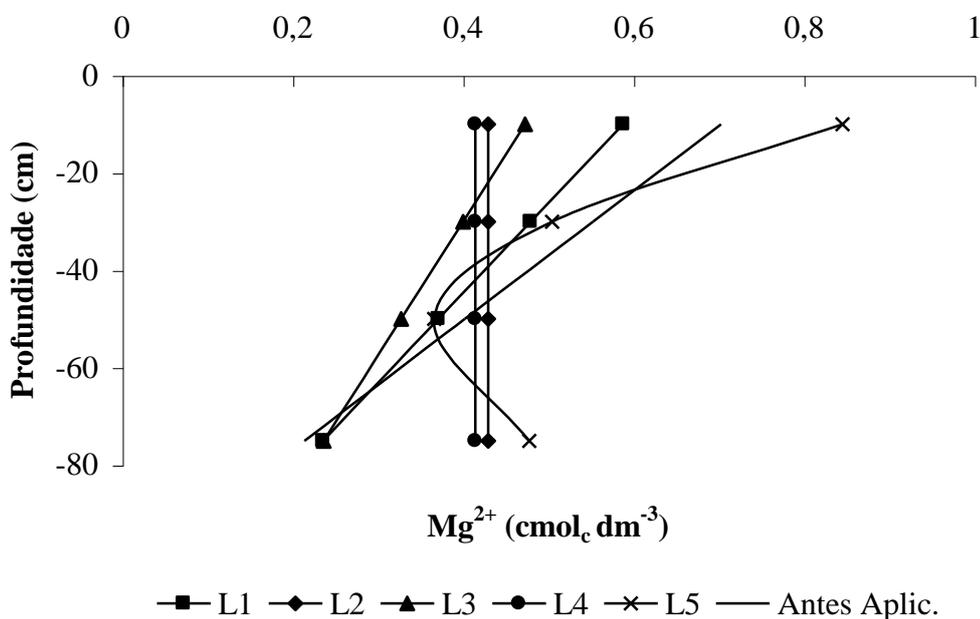


Figura 6. Variação da concentração de magnésio no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Mesmo estando em níveis considerados satisfatórios para a cultura do cafeeiro, antes da aplicação da ARC, acredita-se que a concentração disponível de magnésio no solo possa ter sido insuficiente para satisfação das necessidades da cultura, devido ao grande aporte de potássio, reconhecidamente grande competidor com o magnésio na absorção pela planta, e a sua lixiviação no perfil do solo. Ainda que a aplicação da dose L5 de ARC tenha proporcionado aumento na concentração deste macronutriente na camada de 0 a 20 cm, esse aumento pode não ter sido suficiente para nutrição do cafeeiro. Em vista disso, o Mg pode ter sido um dos nutrientes que, estando em baixa disponibilidade no solo, devido à presença de excesso de potássio, foi determinante na deficiência deste elemento na planta.

Segundo Pratt, citado por Oliveira (1993), o acúmulo de potássio decorrente da aplicação de grandes quantidades de águas residuárias, aplicados por longos períodos de

tempo, pode causar desbalanço de nutrientes no solo, podendo provocar, além de efeitos tóxicos, pela presença de alguns íons em excesso, a competição na sua absorção pelas plantas, como é o caso do sintoma de deficiência de magnésio em plantas devido ao excesso de potássio no solo.

Para que não haja problemas nutricionais ao cafeeiro por desbalanço de nutrientes no solo, a relação Ca:Mg:K trocáveis no solo deve estar entre 9:3:1 e 25:5:1 (Matiello, 1991). Neste experimento, as análises de solo apresentaram grande desvio dessa relação, tendo em vista que os valores de potássio, notadamente nas camadas mais superficiais do solo e nos tratamentos em que foram aplicadas as maiores doses de ARC,. Nos tratamentos em que foram aplicadas as maiores doses de ARC, as concentrações trocáveis de potássio ficaram cerca de duas vezes menores que as de Ca e superaram as de Mg em cerca de 40%. Com isso, a relação Ca:Mg:K foi de 2:0,7:1, considerada inadequada para a nutrição do cafeeiro.

Observando-se os dados apresentados na Figura 7, verifica-se que houve decréscimo na concentração de zinco após a aplicação da ARC no solo. A diminuição do zinco em todos os tratamentos pode ser atribuída à complexação do zinco pela matéria orgânica, à absorção pela cultura e possivelmente a sua lixiviação, uma vez que o zinco pode ter sido também deslocado do complexo de troca pelo excesso de potássio. Observa-se, ainda, que as doses L2 e L3 proporcionaram decréscimo linear na concentração de zinco ao longo da profundidade do solo, enquanto as demais doses proporcionaram decréscimo quadrático.

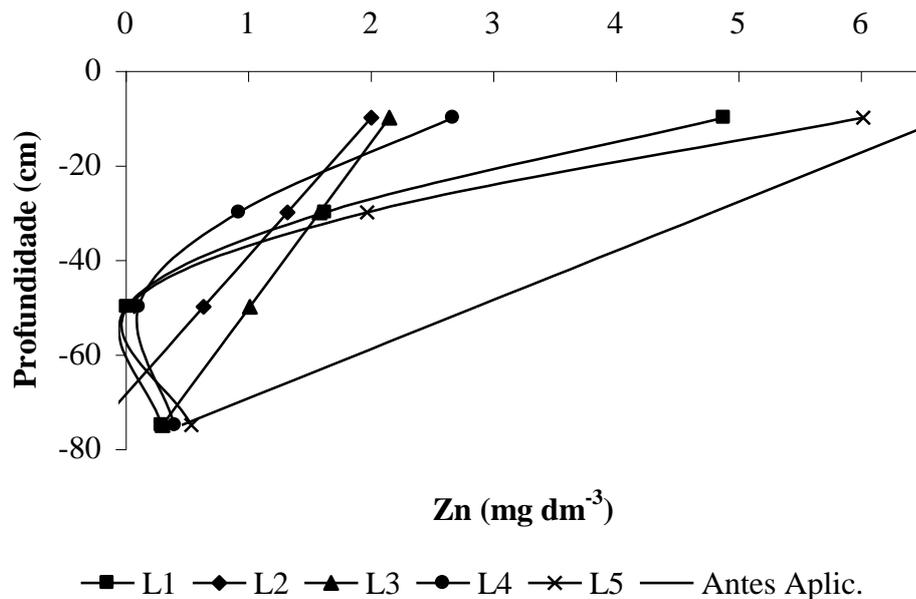


Figura 7. Variação da concentração de zinco no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Analisando-se a Figura 8, verifica-se que houve tendência de aumento da concentração de cobre em todos os tratamentos, principalmente nos primeiros 20 cm, sendo esse aumento menor com o aumento da profundidade do solo. Acredita-se que esse aumento na concentração de cobre na camada de 0 a 20 cm possa ser atribuído à mineralização da matéria orgânica do solo, disponibilizando o cobre que nela estava quelado/complexado ou advindo da própria água residuária. Da mesma forma, como citado anteriormente, as doses L4

e L1 proporcionaram decréscimo linear na concentração de cobre com o aumento da profundidade do solo.

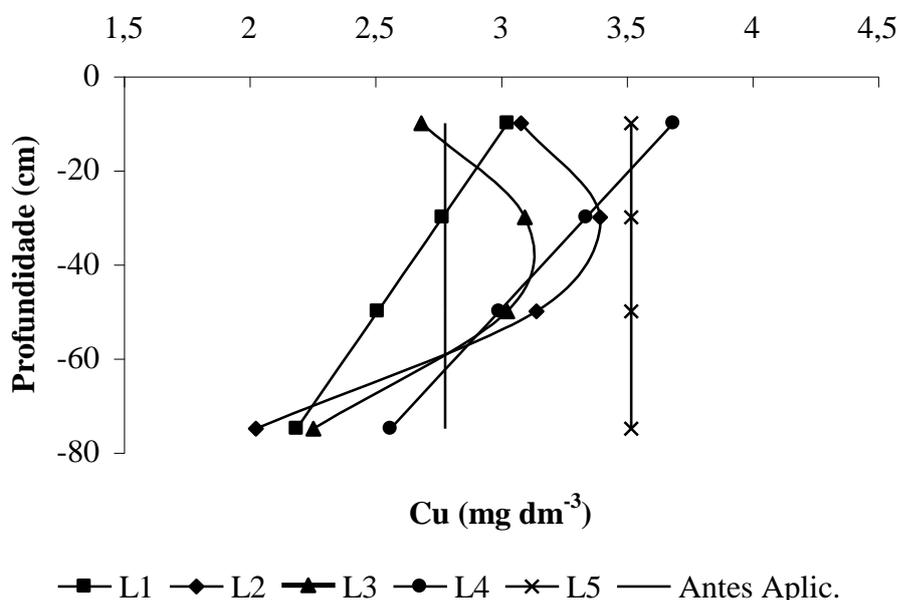


Figura 8. Variação da concentração de cobre no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Ainda que o cobre seja reconhecidamente um micronutriente de baixa mobilidade no solo, o tratamento L5 proporcionou aumento de sua concentração, em profundidade, no perfil. Acredita-se que isso se deva ao transporte do elemento na forma quelada/complexada pela matéria orgânica, já que, desta forma, o cátion fica protegido e menos sujeito à retenção por forças eletrostáticas na matriz do solo.

Houve aumento na concentração de ferro em todos os tratamentos após a aplicação de ARC, mas principalmente no tratamento que recebeu a maior dose de ARC (L5), como pode ser verificado na Figura 9. De acordo com Lindsay (1979), a solubilidade do ferro no solo é fortemente governada pelo potencial hidrolítico e de complexação dos óxidos e pelo potencial redox do meio. Em ambientes redutores, ocorre disponibilização de ferro na solução do solo, uma vez que ele assume a forma reduzida Fe^{2+} , mais solúvel e, portanto, passível de extração pelas plantas. Isto pode ter ocorrido com a aplicação de grande quantidade de matéria orgânica, presente na ARC, notadamente nos tratamentos que receberam maiores doses de dessa água residuária. No tratamento L5, em razão da aplicação de maior quantidade de material orgânico e água, pode ter ocorrido diminuição na disponibilidade de oxigênio no meio, em razão do seu consumo na decomposição dessa matéria orgânica. Sendo o meio redutor, pela menor disponibilidade de oxigênio, ocorreu a redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} , o que proporcionou sua maior disponibilização para as plantas. Além disso, a aplicação de maiores doses de ARC pode ter provocado problemas de baixa aeração no solo, em função do grande aporte de água ao solo, propiciando a formação de ambiente redutor e, de forma a também aumentar a disponibilização do ferro na solução do solo.

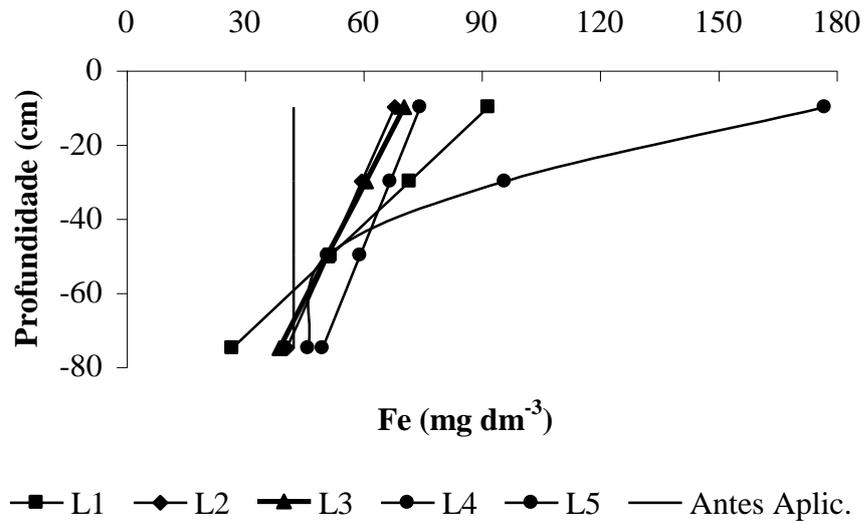


Figura 9. Variação da concentração de ferro no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

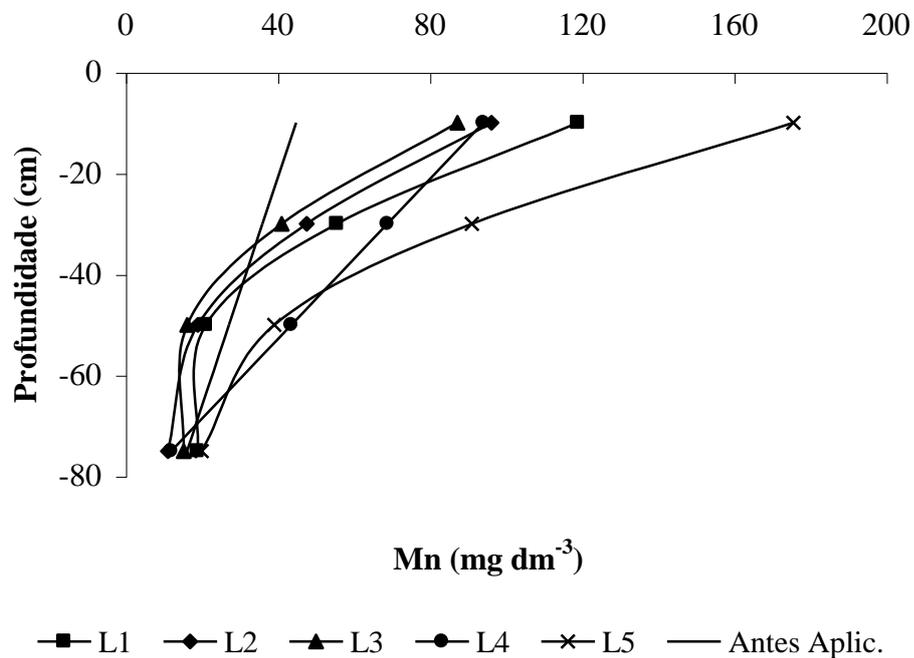


Figura 10. Variação da concentração de manganês no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Comportamento semelhante foi verificado para o manganês (Figura 10), tendo a dose L5 proporcionado aumento da concentração do micronutriente na solução do solo. Tal como já discutido para o ferro, em ambientes redutores há a redução do Mn e, como consequência, sua maior disponibilização no meio. De acordo com Martinez et al. (2004), a concentração média de manganês na camada de 0 a 20 cm de profundidade em solos cultivados com cafeeiro, na região de Viçosa, é de 30,60 mg dm⁻³, valor compatível com o que foi encontrado no solo da área experimental, antes de se iniciar a pesquisa (Figura 29). Porém, a concentração deste micronutriente foi consideravelmente aumentada com a aplicação da ARC, em todos os tratamentos, principalmente no tratamento correspondente à L5 (passando a ficar entre 150 e 180 mg dm⁻³). Segundo Cervellini (1981), níveis tóxicos de manganês induzem à deficiência de ferro e também de zinco nas plantas. Quanto à correção da toxicidade, o autor recomenda aumentar o pH com aplicação de calcário no solo.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos, pode-se concluir que:

- a aplicação da ARC, além de fornecer nutrientes, proporcionou lixiviação geral de macronutrientes e aumento do pH no perfil do solo, em todas as doses avaliadas;
- houve aumento na concentração de fósforo disponível na camada de 0 a 20 cm quando da aplicação da dose L5;
- a aplicação da ARC provocou aumento na concentração de potássio trocável até 90 cm, o que proporcionou aumento na CE no solo cultivado com cafeeiro;
- a aplicação da ARC quando aplicadas em doses iguais ou maiores que 3 vezes a necessidade de potássio pela cultura, deve ser monitorada, em vista deste elemento proporcionar risco de contaminação das águas do lençol freático ou de salinização de solos de baixa permeabilidade;
- o excesso de potássio no solo proporcionou lixiviação de cálcio e, principalmente, de magnésio no perfil do solo, proporcionando menor disponibilidade desses nutrientes para o cafeeiro.
- houve decréscimo na concentração trocável de zinco, após a aplicação da ARC no solo, em todos os tratamentos;
- houve aumento na concentração de cobre trocável na camada de 0 a 20 cm, para todos os tratamentos avaliados, sendo que a aplicação da dose L5 proporcionou aumento na concentração desse micronutriente, em profundidade, no perfil do solo;
- Houve aumento na concentração de ferro e manganês após a aplicação de todas as doses de ARC avaliadas, principalmente com a aplicação da maior dose (L5);
- a ARC não pode ser aplicada em doses estabelecidas com base em requerimentos para irrigação do cafeeiro, sob pena de promover o desequilíbrio químico e a salinização do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268 p.

BÁRTHOLO, G. F.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita e preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**. Café: Normas e coeficientes técnicos, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.

CERVELLINI, G. S. Micronutrientes na adubação do cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. (Eds.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato. Instituto Internacional da Potassa, 1981. p. 91-101.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

LINDSAY, W.L. **Chemical Equilibria in Soils**. New York: John Wiley and Sons, 1979. 449 p.

Lo MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; SILVA, N. C. L.; LIMA, C. R. C.; MOREIRA, R. M. G. Estimativa da concentração de potássio a partir da condutividade elétrica em águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2004. (CD-ROM).

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ, V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. 2. ed., Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2004. 60 p. (Boletim Técnico, 72).

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p. (Coleção do Agricultor: Grãos).

MATOS, A. T.; Lo MONACO, P. A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 68 p. (Engenharia na Agricultura: Boletim Técnico, 7).

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, 1993. 188 p. (Documentos, 27).

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A.; LEMOS, A. L. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.12, n.2, 2004, pp. 77-90.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFÓS, 1981. 142 p.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, L. Soil pH increase due to biological decarboxilation of organic anions. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 617-624, 1996.