

EFEITO DA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA LAVAGEM DOS FRUTOS DE CAFÉ SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

GEORGE B. SILVA¹, MÁRIO M. ROLIM², ELVIRA M. R. PEDROSA³,
FELIZARDA V. BEBÉ⁴, ENIO F. F. SILVA⁵

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações químicas de solos tratados com água residuária de café (ARC). O experimento foi conduzido em colunas de PVC, onde foram avaliadas quatro doses de ARC (0; 174; 522 e 870 t ha⁻¹), em dois Argissolos Amarelos subdivididos em quatro camadas, para dois períodos de incubação (30 e 60 dias). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, e as variáveis analisadas foram cálcio, magnésio, potássio, sódio, pH e condutividade elétrica do extrato da pasta saturada. As doses de ARC alteraram as propriedades químicas dos solos nos dois períodos de incubação estudados, aumentando os teores de Ca⁺⁺, Na⁺ e, principalmente, K⁺ nos dois solos. A dose de aplicação de 174 t ha⁻¹ de ARC elevou a concentração de K⁺ no solo para a faixa ideal, de acordo com as exigências nutricionais da cultura. A camada superficial apresentou maior concentração de K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺ e, conseqüentemente, maior CE_{es}.

PALAVRAS-CHAVE: reúso, qualidade ambiental, *Coffea* sp.

EFFECT OF THE APPLICATION OF COFFEE FRUIT WASHING AND PULPING WASTEWATER ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES

ABSTRACT: The objective of the present study was to evaluate chemical changes of soils treated with coffee fruit washing and pulping wastewater (CWW). The experiment was carried out in PVC columns, where it was applied four doses of CWW (0, 174, 522, and 870 t ha⁻¹) in two Yellow Argisols split into four layers in two incubation periods (30 and 60 days). The experimental design was completely randomized in a factorial arrangement, and it was analyzed calcium, magnesium, potassium, sodium, pH and electric conductivity of the saturated paste extract. The CWW doses affected chemical soil properties in both incubation periods evaluated increasing Ca⁺⁺, Na⁺ and mainly K⁺ in both soils. The CWW dose of 174 t ha⁻¹ increased K⁺ concentration in soil to the recommended level according to nutrition necessity of the crop. The surface layer presented higher concentration of K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺ and, consequently, higher EC_{es}.

KEYWORDS: reuse, environmental quality, *Coffea* sp.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador mundial de café. As exportações brasileiras representaram cerca de 29,15% do total mundial em 2007 (CONAB, 2008). Apesar do declínio de sua participação na composição da balança comercial brasileira, o café ainda é um importante produto agrícola de exportação (RIGUEIRA et al., 2007).

Apesar de a safra nacional de 2007 ter sido de 33.740.000 sacas beneficiadas (IBGE, 2008), a abertura de novos mercados e a participação competitiva dos produtos agrícolas em uma economia globalizada exigem melhor qualidade dos produtos. Dessa forma, a estratégia do setor cafeeiro para

¹ Eng^o Agrônomo, Doutorando do Programa Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife - PE, silvagb@hotmail.com.

² Prof. Associado, Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE, Recife - PE, Fone (0XX81) 3320.6276, rolm@dtr.ufrpe.br.

³ Prof. Associado, Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE, Recife - PE, Fone (0XX81) 3320.6276, elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br.

⁴ Eng^o Agrônomo, Doutorando do Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRPE, Recife - PE, felizvb@hotmail.com.

⁵ Prof. Adjunto, Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE, Recife - PE, Fone (0XX81) 3320.6279, enio.silva@dtr.ufrpe.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 11-7-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 5-1-2011

recuperar as vendas no Brasil e no exterior é garantir e divulgar a qualidade do café brasileiro. Nesse sentido, tornou-se necessária a busca por alternativas para maior produção e, principalmente, a melhoria da qualidade do grão (AFONSO JÚNIOR, 2004).

Uma tecnologia que vem sendo adotada para obtenção de cafés de qualidade é a preparação por via úmida, que consiste no processo de lavagem, separação dos verdes e despulpagem (BORGES et al., 2009). Na lavagem, o café é separado das impurezas, então passa por um cilindro perfurado com mamilos de borracha, que através do movimento giratório e pela pressão, os frutos maduros são esmagados retirando sua casca, já os verdes passam inteiros pelos furos.

O processamento via úmida é recomendado para produção de grãos de café de qualidade em regiões de clima úmido, pois nessas condições o processamento via seca aumenta o tempo de secagem e a probabilidade de fermentação do grão, prejudicando sua qualidade e aceitação no mercado internacional (MATOS et al., 2007). Entretanto, no processamento via úmida, há um gasto elevado de água, que pode ser recirculada para diminuir o volume final do resíduo.

O sistema é bastante utilizado na Colômbia e em outros países produtores de café arábica, com boas cotações no mercado (LEITE, 1998). Por outro lado, a tecnologia é geradora de grandes volumes de águas residuárias que, pela elevada concentração de íons, principalmente o potássio, podem ser utilizadas como fertilizante (MATOS et al., 2006). Além disso, a matéria orgânica contida na água residuária do café (ARC) pode alterar positivamente as características físico-químicas do solo.

De acordo com MÔNACO et al. (2009), o volume de águas residuárias aplicado na agricultura deve ser baseado na dose de nutrientes recomendada para as culturas agrícolas e não na necessidade hídrica, uma vez que, se os teores dos nutrientes atingirem valores elevados, podem ocasionar poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

GARCIA et al. (2008), trabalhando com diluições diferentes de água residuária da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro conilon em três solos (Neossolo, Argissolo, Latossolo), verificaram aumento nos valores da CTC efetiva, soma de bases, saturação por bases, além da redução da saturação do alumínio.

Por sua vez, MÔNACO et al. (2009), aplicando doses crescentes de água residuária do descascamento/despulpa do fruto do cafeeiro, referentes à adição de doses, semelhantes ao presente estudo, em covas de cafeeiro com 4 anos de idade, observaram aumentos significativos nos valores da condutividade elétrica, em função das doses de ARC aplicadas ao longo do perfil do solo.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de água residuária da lavagem e despulpa de frutos de café arábica sobre as propriedades químicas de dois solos, durante dois períodos de incubação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os materiais de solo, característicos da região produtora de café, foram coletados em distintos locais da Estação Experimental de Brejão, situada na Fazenda Vista Alegre - PE, km 8, Brejão - PE.

A água residuária de lavagem e despulpa de frutos de café arábica (ARC) foi adquirida numa propriedade particular do Município de Barra do Choça, sudoeste da Bahia, cuja caracterização química encontra-se na Tabela 1.

Os materiais dos solos foram coletados de dois solos: Argissolo Amarelo Distrófico úmbrico (PAd 1) e Argissolo Amarelo distrófico abrupto (PAd 2), nas camadas de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (2 mm), para análises físicas e químicas (Tabela 2).

TABELA 1. Características químicas da amostra de ARC aplicada nos solos. **Chemical characteristics of CWW samples applied in the soils.**

Características	Valor
DBO (mg L ⁻¹) ⁽¹⁾	6.840,00
DQO (mg L ⁻¹) ⁽²⁾	15.286,62
SDT (mg L ⁻¹) ⁽³⁾	2.034,00
CE (dS m ⁻¹) ⁽⁴⁾	4,68
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5 (5)}	4,50
Potássio (mg L ⁻¹)	1551,38
Sódio (mg L ⁻¹)	104,90
Cálcio (mg L ⁻¹)	27,66
Magnésio (mg L ⁻¹)	8,20

⁽¹⁾ demanda bioquímica de oxigênio; ⁽²⁾ demanda química de oxigênio; ⁽³⁾ sólidos dissolvidos totais; ⁽⁴⁾ condutividade elétrica; ⁽⁵⁾ relação de adsorção de sódio.

As unidades experimentais foram dispostas em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, sendo dois solos (PAD 1 e PAD 2), quatro doses de ARC (zero, uma vez, três vezes e cinco vezes a dose recomendada de K⁺ para a cultura do café, correspondendo a 0; 174; 522 e 870 t ha⁻¹), dois tempos de incubação (30 e 60 dias) e quatro camadas de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, conduzidas com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de uma coluna de PVC com 0,20 m de diâmetro e 1,00 m de altura, preenchida com solo em camadas semelhantes aos horizontes até 0,80 m, reproduzindo a densidade e a espessura dos horizontes do solo em campo (Tabela 2). As colunas foram preenchidas em camadas de 0,02 m, utilizando um compactador de madeira, quando necessário, com diâmetro inferior ao da coluna. Após o acondicionamento do solo, procedeu-se à saturação por capilaridade para expulsar o ar presente nos poros e evitar caminhos preferenciais.

TABELA 2. Características físicas e químicas das amostras dos solos utilizadas no experimento. **Physical and chemical characteristics of soil samples used in the experiment.**

Camada (cm)	Ds ⁽¹⁾ (g dm ⁻³)	Dp ⁽²⁾ (%)	Pt ⁽³⁾ (%)	Areia	Argila	Silte	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al	Al + H	T ⁴	CE _{es} ⁵ (dS m ⁻¹)
PAD 1															
0-20	1,42	2,55	44,41	69,93	22,91	7,17	4,20	0,18	0,34	3,28	0,99	0,41	6,93	11,7	0,46
20-40	1,45	2,54	42,72	58,19	35,81	6,00	3,40	0,22	0,35	1,15	0,08	1,22	5,61	7,4	0,28
40-60	1,44	2,56	43,75	48,52	39,81	11,67	4,50	0,18	0,28	2,23	0,18	1,50	7,76	10,6	0,18
60-80	1,59	2,50	36,52	39,52	45,48	15,00	4,00	0,24	0,27	1,09	0,03	1,80	8,42	10,1	0,23
PAD 2															
0-20	1,49	2,55	41,37	66,52	28,15	5,33	4,50	0,31	0,41	1,59	0,36	0,40	6,44	9,1	0,84
20-40	1,45	2,50	41,88	47,85	28,15	24,00	4,60	0,20	0,23	1,04	0,05	1,70	10,9	12,4	0,14
40-60	1,40	2,53	44,62	41,85	46,15	12,00	3,90	0,24	0,22	0,99	0,02	2,00	8,91	10,4	0,14
60-80	1,37	2,54	45,90	38,85	52,15	9,00	4,20	0,26	0,21	1,06	0,03	1,95	7,10	8,7	0,26

⁽¹⁾ densidade do solo; ⁽²⁾ densidade de partícula; ⁽³⁾ porosidade total; ⁽⁴⁾ T - capacidade de troca de cátions a pH 7,0; T - Ca+Mg+K+Na+(H+Al); ⁽⁵⁾ condutividade elétrica do extrato de saturação.

A aplicação da ARC foi realizada de modo a impedir qualquer dano à superfície do solo. Após a aplicação, os solos mais a ARC foram incubados com suas respectivas doses por um período de 30 e 60 dias nas colunas, sendo no final de cada período aplicada uma lâmina de 120 mm, com base nas máximas precipitações registradas durante 39 anos, na microrregião de Garanhuns-PE (LIRA et al., 2006), onde se encontra o Município de Brejão.

Após os períodos, foram coletadas subamostras de solos nas diversas camadas de cada coluna, secas ao ar, destorroadas e peneiradas (2 mm), para análises químicas de cálcio (Ca⁺⁺) e magnésio (Mg⁺⁺) trocáveis, no espectrômetro de absorção atômica, potássio (K⁺) e sódio (Na⁺) trocáveis, no fotômetro de chama, extraídos em acetato de amônio 1mol L⁻¹ e pH em água (1:2,5), conforme

metodologias descritas em EMBRAPA (1997). A condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CE_{es}) foi determinada mediante metodologia descrita por RICHARDS (1954).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com desdobramentos das interações significativas, sendo os efeitos dos tratamentos comparados pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, tem-se a análise de variância com desdobramentos das interações. Quando verificado efeito significativo pelo teste F, realizou-se a comparação de médias, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Não ocorreram interações significativas de segunda e terceira ordens para as variáveis estudadas, exceto a interação solo \times tempo \times camada, significativa para o Mg^{++} (Tabela 3). Em relação às interações de primeira ordem, destacam-se tempo \times camada e solo \times camada, significativas para K^+ e CE_{es} , respectivamente; solo \times tempo, significativa para Ca^{++} e Mg^{++} , tempo \times dose significativa para Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e pH; e dose \times camada para Mg^{++} , K^+ , Na^+ e CE_{es} . Ao contrário do solo, que não alterou as variáveis estudadas, nas diferentes camadas, os teores de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , pH e CE_{es} foram influenciados significativamente. Tal diferenciação deve-se ao fato de a ARC ter sido aplicada na camada superficial e ao volume não permitir homogeneização a partir da lixiviação dos íons.

Verifica-se que, em relação ao solo, não diferiram significativamente o Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , pH e CE_{es} (Tabela 3). Como constatado por MATOS et al. (2005) para o K^+ , as elevadas concentrações iônicas na ARC proporcionaram a saturação do complexo catiônico e, para os solos estudados, a variação da quantidade de argila não foi suficiente para possibilitar diferenciações.

TABELA 3 Efeito dos fatores solo, tempo, dose, camada e suas interações, nos teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio, pH e CE, aos 30 e 60 dias após a aplicação de água residuária de café. **Effect of soil factors: time, dose, layer and their interactions on calcium, magnesium, potassium, sodium, pH and EC levels at 30 and 60 days after coffee residual water application.**

Fonte de Variação	GL	Nível de Significância					
		Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	pH	CE_{es}
S	1	0,36	0,28	0,16	0,19	0,24	0,29
T	1	<0,01	<0,01	0,02	0,02	0,23	0,60
D	3	<0,01	0,15	<0,01	0,03	0,06	<0,01
C	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01
S * T	1	0,02	<0,01	0,80	0,53	0,70	0,16
S * D	3	0,13	0,82	0,15	0,50	0,71	0,63
S * C	3	0,68	0,78	0,91	0,14	0,12	0,04
T * D	3	<0,01	<0,01	0,02	0,57	<0,01	0,52
T * C	3	0,17	0,08	<0,01	0,77	0,14	0,15
D * C	9	0,60	<0,01	<0,01	0,04	0,41	0,03
S * T * D	3	0,35	0,22	0,81	0,30	0,12	0,24
T * D * C	9	0,88	0,89	0,09	0,08	0,21	0,26
S * D * C	9	0,67	0,50	0,41	0,09	0,77	0,53
S * T * C	3	0,62	0,01	0,64	0,58	0,70	0,07
S * T * D * C	9	0,71	0,63	0,13	0,89	0,10	0,09
Resíduo	128						

GL - graus de liberdade; Ca - cálcio; Mg - magnésio; K - potássio; Na - sódio; pH - potencial hidrogeniônico; CE_{es} - condutividade elétrica; S - solo; T - tempo, D - dose, C - camada.

Com relação ao Ca^{++} , a aplicação das doses de água residuária de café (ARC) proporcionou acréscimo significativo na concentração em relação à testemunha, aos 60 dias de incubação, a despeito da significativa redução da concentração desse nutriente no referido período de incubação, nas doses de 522 e 870 t ha⁻¹ aplicadas (Tabela 4). Provavelmente, essa redução apenas aos 60 dias foi devida à alta concentração de K^+ na ARC, que promoveu substituição aos íons Ca^{++} no complexo de troca, corroborando MONACO et al. (2009), o que mostra a influência do tempo de incubação no equilíbrio iônico.

Por outro lado, não houve diferença entre os solos aos 30 e 60 dias (Tabela 4), embora ocorresse maior concentração de Ca^{++} trocável na camada de 0-20 cm (Tabela 5). Provavelmente, independentemente dos solos e das doses, quando foi aplicada a lâmina de lixiviação, aos 30 dias, o Ca^{++} foi sendo solubilizado e distribuído ao longo do perfil, não evidenciando diferença entre as camadas.

TABELA 4. Valores médios de cálcio trocável para as interações tempo \times solo e tempo \times dose. **Means of exchangeable calcium for the interactions time \times soil and time \times dose.**

Tempo	Solo		Dose (t ha ⁻¹)			
	PAd 1	PAd 2	0	174	522	870
	Ca ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)		Ca ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)			
30	2,49aA	2,59aA	2,34aA	2,60aA	2,52aA	2,70aA
60	1,99bA	1,71bA	1,38aC	2,25aA	2,03bA	1,75bBC

Para a mesma variável, médias seguidas da mesma letra minúscula entre os tempos e maiúscula dentro dos tempos não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 5. Valores médios de cálcio trocável em função da camada de solo. **Means of exchangeable calcium in function of soil layers.**

Camada (cm)	Ca ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)
0-20	2,49a
20-40	2,09b
40-60	1,99b
60-80	2,22ab

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As doses de ARC não alteraram os teores de Mg^{++} nos tempos, devido à baixa concentração do íon na ARC (8,2 mg L⁻¹ de Mg^{++}), exceto a maior dose que apresentou redução aos 60 dias (Tabela 6). Por outro lado, as maiores concentrações de Mg^{++} no solo foram verificadas na camada superficial (Tabelas 6 e 7). Esse resultado pode estar associado ao maior teor de Mg^{++} na primeira camada da testemunha, sem aplicação de ARC. Entretanto, GARCIA et al. (2008) verificaram maior aporte de Mg^{++} na camada superficial devido à aplicação de ARC. De maneira geral, os solos tiveram comportamento semelhante em relação às concentrações de Mg^{++} , exceto na camada superficial do PAd 1, em que a concentração desse íon aumentou significativamente aos 60 dias de incubação (Tabela 7).

Os teores de K^+ trocável, independentemente da dose aplicada e do tempo de incubação, foram superiores na camada de 0-20 cm, em relação às demais camadas, devido ao maior contato entre a ARC aplicada e os colóides do solo (Tabela 8). Em solos sob aplicação de vinhaça, BEBÉ et al. (2009) encontraram o incremento de K^+ disponível na camada 0-10 e 10-20 cm. Vários autores (MATOS et al., 2005; MEDEIROS et al., 2005; RIBEIRO et al., 2009) evidenciaram incremento de K^+ trocável no solo, destacando o potencial de uso das águas residuárias como fornecedoras de nutrientes ao solo. Em estudo com aplicação de manipueira contendo 583 mg L⁻¹ de K^+ , MÉLO et al. (2005) também verificaram aumento de K^+ trocável em diferentes solos, em função das doses de 200; 400 e 600 m³ ha⁻¹.

TABELA 6. Valores médios de magnésio trocável para as interações dose \times tempo e dose \times camada. **Means of exchangeable magnesium for the interactions dose \times time and dose \times layers.**

Dose (t ha ⁻¹)	Tempo (dias)		Camada (cm)			
	30	60	0-20	20-40	40-60	60-80
	Mg ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)		Mg ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)			
0	0,48abA	0,38aA	0,85bA	0,37aB	0,26aB	0,25aB
174	0,51abA	0,50aA	1,07aA	0,41aB	0,28aB	0,25aB
522	0,43bA	0,48aA	0,73bA	0,50aB	0,32aBC	0,28aC
870	0,57aA	0,40aB	0,64bA	0,56aAB	0,39aBC	0,34aC

Para a mesma variável, médias seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e maiúscula dentro das doses não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 7. Valores médios de magnésio trocável para a interação solo \times tempo \times camada. **Means of exchangeable magnesium for the interaction soil \times time \times layers.**

Camada (cm)	Solo			
	PAd 1		PAd 2	
	Tempo (dias)		Tempo (dias)	
	30	60	30	60
	Mg ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)		Mg ⁺⁺ (cmol _c dm ⁻³)	
0-20	0,71aB	0,93aA	0,90aAB	0,75aAB
20-40	0,50aA	0,44bA	0,54 bA	0,35bA
40-60	0,35bA	0,32bA	0,34bcA	0,24 bA
60-80	0,35bA	0,26bA	0,28cA	0,23 bA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula entre as camadas e maiúscula dentro das camadas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 8. Valores médios de potássio trocável para as interações camada \times tempo e camada \times dose. **Means of exchangeable potassium for the interactions layers \times time and layers \times dose.**

Camada (cm)	Tempo (dias)		Dose (t ha ⁻¹)			
	30	60	0	66,4	199,2	332
	K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)		K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)			
0-20	1,07aA	0,67aB	0,34aB	0,70aB	1,29aA	1,14aA
20-40	0,47bA	0,41bA	0,27aB	0,32bAB	0,51bA	0,66bA
40-60	0,34bA	0,39bA	0,28aA	0,28bA	0,42bA	0,47bA
60-80	0,29bA	0,34bA	0,28aA	0,26bA	0,33bA	0,39bA

Para a mesma variável, médias seguidas da mesma letra minúscula entre as camadas e maiúscula dentro das camadas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Segundo MALAVOLTA (1986), a faixa ideal de K⁺ no solo para cafeeiro é de 0,3 a 0,4 cmol_c dm⁻³; portanto, no presente estudo, 174 t ha⁻¹ foi adequado para manter as concentrações nesta faixa, enquanto 522 e 870 t ha⁻¹ promoveram concentrações de K⁺ superiores ao dobro da faixa ideal (Tabela 8).

Em relação ao teor de Na⁺ trocável, houve tendência de maior concentração do íon nas camadas superficiais, entretanto diferença significativa foi constatada apenas na camada de 20-40 cm com acúmulo do íon nas parcelas que receberam as duas maiores doses (Tabela 9). Por outro lado, o tempo de incubação, isoladamente, aumentou significativamente a concentração do Na⁺ trocável de 0,18 para 0,22 cmol_c dm⁻³, dos 30 aos 60 dias, respectivamente.

TABELA 9. Valores médios de sódio trocável para a interação camada \times dose. **Means of exchangeable sodium for the interaction layers \times dose.**

Camada (cm)	Dose (t ha ⁻¹)			
	0	174	522	870
	Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)			
0-20	0,18aA	0,28aA	0,28aA	0,27aA
20-40	0,17aAB	0,15bB	0,28aA	0,26aA
40-60	0,18aA	0,16bA	0,16bA	0,18aA
60-80	0,17aA	0,16bA	0,16bA	0,20aA

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula entre as doses e minúscula dentro das doses, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Segundo os limites estabelecidos por AYERS & WESTCOT (1999), a ARC não apresenta grau de restrição para o uso de irrigação em função da CE e da RAS encontradas. Entretanto, deve ser realizado estudo em longo prazo para verificar se o incremento de Na trocável poderá afetar as características físicas do solo.

A ARC aplicada não promoveu elevação significativa nos valores de pH durante os dois períodos de incubação, exceto aos 60 dias, quando a dose de 522 t ha⁻¹ reduziu meia unidade em relação a 30 dias de incubação (Tabela 10). Entretanto, GARCIA et al. (2008) observaram elevação linear nos valores do pH à medida que aumentaram as doses de ARC. Vários estudos com aplicação de vinhaça, em diferentes solos, evidenciaram o aumento do pH do solo devido ao incremento de bases trocáveis.

TABELA 10. Valores médios de pH para a interação dose \times tempo. **Means of pH for the interaction dose \times time.**

Tempo (dias)	Dose (t ha ⁻¹)			
	0	174	522	870
30	4,6aA	4,59aA	5,08aA	4,85aA
60	4,6aAB	4,76aAB	4,41bB	4,95aA

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula entre doses e minúscula dentro da dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A ARC não afetou significativamente a CE_{es} nos tempos estudados. Observaram-se maiores valores de CE_{es} na camada 0-20cm, embora PAd 1 apresentasse maior valor de CE_{es} do que PAd 2 (Tabela 11). Por outro lado, a despeito dos maiores valores de CE_{es} na camada 0-20cm, a aplicação de 332 g de K⁺ induziu aumentos significativos de CE_{es} em relação à testemunha e à aplicação de 66,4 g de K⁺. Não foram observadas variações em CE_{es} nas demais camadas, evidenciando a baixa lixiviação de sais nos solos estudados.

TABELA 11. Valores médios de CE_{es} para as interações camada \times solo e camada \times dose. **Means of ECes for the interaction layers \times soil and layers \times dose.**

Camada (cm)	Solo		Dose (t ha ⁻¹)			
	PAd 1	PAd 2	0	174	522	870
	CE _{es} (dS m ⁻¹)					
0-20	2,17aA	1,65aB	1,54aB	1,64aB	1,84aAB	2,62aA
20-40	0,99bA	0,88bA	0,46bA	1,13abA	1,11abA	1,03bA
40-60	0,59bA	0,76bA	0,63bA	0,64bA	0,73bA	0,70bA
60-80	0,72bA	0,80bA	0,74bA	0,73bA	0,75bA	0,81bA

Para a mesma variável, médias seguidas da mesma letra, minúscula entre as camadas e maiúscula dentro das camadas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Provavelmente, a elevada quantidade de K^+ aplicada resultou em maiores valores de CE_{es} concordando com MONACO et al. (2009). A elevada CE da ARC aplicada ($4,68 \text{ dS m}^{-1}$), de acordo com as diretrizes propostas por AYERS & WESTCOT (1999), apresenta severo grau de restrição para uso contínuo na irrigação, entretanto; observando os valores de CE_{es} na Tabela 11, verifica-se que o incremento dessa variável deu-se na camada superficial do solo e de forma crescente com as doses, alertando a possibilidade de acúmulo de sais solúveis com uso de doses mais elevadas.

CONCLUSÕES

As doses de ARC alteraram as propriedades químicas dos solos nos dois tempos estudados, aumentando os teores de Ca^{++} , Na^+ e principalmente K^+ nos dois solos.

A dose de aplicação de 174 t ha^{-1} de ARC elevou a concentração de K^+ no solo, para a faixa ideal, de acordo com as exigências nutricionais da cultura.

A camada superficial apresentou maior concentração de K^+ , Na^+ , Ca^{++} e, conseqüentemente, maior CE_{es} .

REFERÊNCIAS

- AFONSO JÚNIOR, P.C. Contribuição das etapas do pré-processamento para a qualidade do café *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, n.8, p.46-53, 2004. Especial Café.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO irrigação e drenagem - Boletim 29).
- BEBÉ, F.V.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R.; SILVA, G.B.; OLIVEIRA, V.S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.6, p.782-788, 2009.
- BORGES, A.C.; PEREIRA, P.A.; MATOS, A.T. Partida de um reator anaeróbico horizontal para tratamento de efluentes do processamento de frutos do cafeeiro. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal v.29, n.4, p.661-669, 2009.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira*. Café - Safra 2008, Brasília. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso: 8 fev. 2008.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de análises de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T.; RUIZ, H.A.; MARTINS FILHO, S. Alterações químicas em três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa-MG, v.16, n.4, p.416-427, 2008.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasília. 2007. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 fev. 2008.
- LEITE, C.A.M. Desafios da cafeicultura no final do Século XX. In: AGUIAR, D.D.R.; PINHO, J.B. *O agronegócio brasileiro: desafios e perspectivas*. Brasília: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1998. 186 p.
- LIRA, V.M.; OLIVEIRA, F.M.; DANTAS, R.T.; SOUZA, W.M. Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v.3, n.1, p.52-61, 2006.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. *Cultura do cafeeiro*. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p.165-275.
- MATOS, A.T.; CABANELLAS, C.F.G.; CECON, P.R.; BRASIL, M.S.; MUDADO, C.S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.544-551, 2007.

- MATOS, A.T.; EMMERICH, I.N.; BRASIL, M.S. Tratamento por escoamento superficial de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro em rampas cultivadas com azevém. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa-MG, v.13, n.4, p.240-246, 2005.
- MATOS, A.T.; MAGALHÃES, M.A.; FUKUNAGA, D.C. Remoção de sólidos em suspensão na água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro em filtros constituídos por pergaminho de grãos de café submetido a compressões. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.610-616, 2006.
- MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G.; BARROS, F.M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.3. p.406-412, 2005.
- MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; NEVES, J.C.L.; MATOS, A.T.; SOUZA, J.A.A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- MÉLO, R.F.; FERREIRA, P.A.; RUIZ, H.A.; MATOS, A.T.; OLIVEIRA, L.B. Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca. *Irriga*, Botucatu, v.10, n.4, p.383-392, 2005.
- MONACO, P.A.L.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, H.E.P.; FERREIRA, P.A.; RAMOS, M.M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. *Irriga*, Botucatu, v.14, p.348-364, 2009.
- RIBEIRO, M.S.; LIMA, L.A.; FARIA, F.H.S.; REZENDE, F.C.; FARIA, L.A. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.4, p.569-577, 2009.
- RIGUEIRA, R.J.A.; LACERDA FILHO, A.F.; SILVA, J.S.; CECON, P.R.; PALACIN, J.J.F. Caracterização da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes condições de secagem e armazenagem. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa-MG, v.15, n.2, p.151-167, 2007.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).