

PAOLA ALFONSA LO MONACO

FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIEIRO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA
LAVAGEM E DESCASCAMENTO DE SEUS FRUTOS

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do Título de "*Doctor Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M734f
2005

Lo Mônaco, Paola Alfonsa, 1974-

Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. / Paola Alfonsa Lo Mônaco. - Viçosa: UFV, 2005.
xii, 96f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Antonio Teixeira de Matos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referência bibliográfica: f. 75-81

1. Águas residuais de irrigação. 2. Águas residuais no solo. 3. Irrigação por Gotejamento. 4. Café - Nutrição. 5. Solos - Análise. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 628.3

PAOLA ALFONSA LO MONACO

FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEEIRO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA
LAVAGEM E DESCASCAMENTO DE SEUS FRUTOS

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do Título de "*Doctor Scientiae*".

APROVADA: em 15 de julho de 2005.

Hermínia Emília Prieto Martinez

(Conselheira)

Márcio Mota Ramos

(Conselheiro)

Paulo César de Lima

Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Antonio Teixeira de Matos
Orientador

Aos meus Pais

Luigi Vittorio Lo Monaco e Margarida Bee Lo Monaco,
exemplos de vida.

Dedico

Ao meu esposo

Gustavo Haddad Souza Vieira

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Aos meus pais Luigi Vittorio Lo Monaco e Margarida Bee Lo Monaco pela vida, pelo amor e por terem me ensinado a enfrentar todos os desafios.

Ao Gustavo, pelo amor, carinho, incentivo e compreensão nos momentos de impaciência.

Aos meus irmãos e cunhadas Marcelo, Silvio, Cristina e Ariane pelo amor, carinho e incentivo.

Aos meus sobrinhos Mariana, Luigi, Enzo, Isabela e Vinícius, razão de grande parte de minha alegria.

A Universidade Federal de Viçosa, berço da minha formação profissional e pessoal.

Ao professor e amigo Antonio Teixeira de Matos, pela preciosa orientação, convivência, confiança e amizade desde a graduação, além da valiosa contribuição em minha formação profissional e pessoal ao longo desses anos.

Ao CNPq CT- Hidro pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus tios e primos, em especial às tias Tata, Márcia, Tio Libório e Tia Maria, pelo carinho e incentivo.

À minha “Vovó” Ignês Savoy Bee.

Aos Professores Hilda de Fátima Tinôco, Paulo Afonso Ferreira, Márcio Mota Ramos, Everardo Chartuni Mantovani, Demétrius David Silva e Fernando Falco Pruski pela amizade e companheirismo ao longo do Doutorado e por todos os ensinamentos transmitidos.

À Professora Hermínia Martinez, pelas valiosas sugestões e esclarecimentos.

Aos amigos Nara, Cátia, Flávio (Urso), Rafa Naval, Rafa Concunhado, Júnior e Rodolfo, por toda a cumplicidade, comprometimento e pela grande amizade que nasceu dos momentos de dificuldade e alegria durante o experimento.

Aos funcionários da Área Experimental de Irrigação e Drenagem do DEA, Roberto Milagres, Carlos, Altair e Seu Antonio pelos bons momentos de “prosa” e alegria, além de todo o auxílio a mim prestado para a condução do experimento.

Às minhas irmãzinhas de Jundiaí, Patricia Cristina e Deborah pelo carinho e incentivo e por terem me presenteado com uma amizade de tantos anos.

Às minhas “amigas-irmãs” de Viçosa Viviane, Nelci, Patrícia, Roberta, Cláudia Cuíca e Soraya pela preciosa amizade, companheirismo e “crises de riso” ao longo desses anos.

Às queridas amigas, Cláudia Cabanellas, Cris Akemi, Flavinha, Fernanda, Denise e Marita pelos momentos de tanta alegria e amizade.

Aos meus amigos Gessionei, Wallison, Giovanni e Marcos Magalhães pela preciosa amizade e união nos momentos difíceis do Doutorado.

Aos amigos Mozart, Janaúba (Zé Alberto), Roberto Cecílio, Luizinho, André, Adilson, Élio, Edson, Flavinho, Cristiano Zinato e Delfran pela amizade e preciosa convivência.

Ao meu sogro José Anilton Dias Vieira, pelo carinho, incentivo e observações que enriqueceram este trabalho, à minha sogra, Fátima Haddad e às cunhadas Christina, Carolina e Larissa pelo carinho e incentivo.

Aos Laboratoristas Chicão (Hidráulica) e Simão (Qualidade de água) pelos preciosos auxílios “extraordinários”.

Aos funcionários do DEA Gallinari, Juvercino, Edna e Marcos pela disponibilidade e prestatividade.

Ao Diretor do CEFET de Januária Paulo César Pinheiro Azevedo, à Diretora de Desenvolvimento Educacional Ana Alves Neta e à Coordenadora Geral de Ensino Terezita Barroso pelo apoio e compreensão na condução final da Tese.

Aos amigos e funcionários do CEFET de Januária, em especial Ana Alves Neta, João Carneiro, Alison e Edmilson pelo carinho, apoio e incentivo.

Aos meus alunos, que compreenderam minha ausência nos momentos de comprometimento com a Tese.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PAOLA ALFONSA LO MONACO, filha de Luigi Vittorio Lo Monaco e Margarida Bee Lo Monaco, nasceu em Jundiaí, SP, em 21 de setembro de 1974.

Em agosto de 1999 graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, ingressando no mesmo mês no Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na Área de Irrigação e Drenagem, submetendo-se à defesa de tese em setembro de 2001.

Em setembro de 2002 ingressou no Programa de Doutorado em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na Área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se a defesa de tese em julho de 2005.

Em agosto de 2004, tomou posse como Docente no Centro Federal de Educação Tecnológica de Januária – MG.

ÍNDICE

	Páginas
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A importância do café no mercado nacional e internacional	4
2.2 Constituição do fruto do cafeeiro	6
2.3. Processamento dos frutos do cafeeiro	7
2.3.1. Lavagem e separação dos frutos	8
2.3.2 Processamento por via úmida	9
2.4. Resíduos gerados no processamento via úmida dos frutos do cafeeiro	10
2.4.1. Resíduos líquidos (águas residuárias)	11
2.4.1.1 Caracterização da água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro	11
2.5 Disposição de águas residuárias no solo	13
2.5.1 Fertirrigação com águas residuárias	16
2.5.1.1 Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos ...	17
2.6 Filtros orgânicos	19
2.7 A cultura do cafeeiro arábica (<i>Coffea arábica</i> L.)	20
2.7.1 Necessidades nutricionais	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Caracterização da área experimental	26

3.2 Caracterização da estrutura de pré-tratamento da água residuária	28
3.3 Fertirrigação do cafeeiro	31
3.3.1 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro	31
3.3.1.1 Distribuição das parcelas e análise estatística	35
3.3.2 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro fixando-se a dose L1 de aplicação de ARC sem e com a aplicação de irrigação complementar	36
3.3.2.1 Distribuição das parcelas e análise estatística dos dados	36
3.3.3 Avaliação das características do solo antes e após a aplicação da ARC.....	37
3.3.3.1 Análise estatística dos dados	37
3.4 Manejo da adubação do solo e da planta	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Fertirrigação do cafeeiro	39
4.1.1 Avaliação das características do solo em função da aplicação da ARC.....	39
4.1.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)	40
4.1.1.2 Condutividade elétrica	42
4.1.1.3 Fósforo	44
4.1.1.4 Potássio	47
4.1.1.5 Cálcio	49
4.1.1.6 Magnésio	51
4.1.1.7 Soma de bases	54
4.1.1.8 Zinco e Cobre	54
4.1.1.9 Ferro e Manganês	56
4.1.2 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro	58
4.1.2.1. Dinâmica das concentrações foliares de nutrientes	63

4.1.3 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro fixando-se a dose L1 de aplicação da ARC, com e sem a aplicação de irrigação complementar	71
5. RESUMO E CONCLUSÕES	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE A	82

RESUMO

LO MONACO, Paola Alfonsa, D.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005. **Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Conselheiros: Hermínia Emília Prieto Martinez, Márcio Mota Ramos e Paulo Afonso Ferreira.

As águas residuárias da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro (ARC), por serem ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, apresentam grande poder poluente para o ambiente. Em vista das condições impostas pela Legislação Ambiental para lançamento de águas residuárias em cursos d'água, torna-se necessário o desenvolvimento de novas formas de tratamento e disposição final desses resíduos no ambiente. Dentre as formas alternativas de tratamento e/ou disposição de águas residuárias ricas em material orgânico está a fertirrigação, cuja técnica prioriza o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária para substituição de parte da adubação química em áreas agrícolas cultivadas. Com o objetivo de avaliar o estado nutricional do cafeeiro Arábica e as alterações químicas no solo, após a aplicação de diferentes doses de água residuária da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro (ARC), conduziu-se um experimento na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola em área de 290 m² e cerca de 162 plantas de cafeeiro Arábica, cultivar Catuaí. A ARC utilizada no

experimento foi coletada na unidade beneficiadora de frutos do cafeeiro da UFV após passar por um processo de filtração, cujo material filtrante era o pergaminho dos frutos do cafeeiro. Com base nas análises de conteúdo de potássio da ARC filtrada, foram estabelecidas as doses de ARC a serem aplicadas ao solo. As doses foram 66,4; 99,6; 132,77; 166,0 e 199,0 gramas de K^+ , aplicadas durante dois meses. Para avaliar o estado nutricional do cafeeiro, amostras de folhas do cafeeiro foram coletadas nos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro, sendo avaliadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn. Equações de regressão polinomial foram ajustadas para a concentração dos nutrientes em função do tempo. Ao final da aplicação da ARC, 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 em solução 1:2,5, e quantificação das concentrações de N_{total} , P, K, Ca, Mg e; P, Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis e soma de bases. 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. A aplicação da ARC, além de fornecer nutrientes, proporcionou condições para maior absorção de alguns macro e micronutrientes pelas plantas e lixiviação geral de macronutrientes no perfil do solo, além de proporcionar aumento na concentração de potássio trocável até 90 cm, o que proporcionou aumento na condutividade elétrica da solução do solo cultivado com cafeeiro. O aumento na concentração de potássio no solo proporcionou deficiência de cálcio e principalmente de magnésio nas folhas do cafeeiro, tornando-se recomendável o reforço desses macronutrientes em áreas fertirrigadas com ARC. A ARC, quando aplicada em doses maiores e iguais 3,0 vezes à recomendação de potássio para a cultura, provoca sérios problemas ao cafeeiro, em razão da diminuição do potencial osmótico no solo. A ARC não pode ser aplicada em doses estabelecidas com base em requerimentos para irrigação do cafeeiro e a continuidade da aplicação de água no cafeeiro não causou efeitos fisiológicos detectáveis e nem alterou o estado nutricional do cafeeiro.

ABSTRACT

LO MONACO, Paola Alfonsa, D.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2005.
Fertirrigation of the coffee shrub with wastewaters from the washing and husking of their cherries. Adviser: Antonio Teixeira de Matos.
Committee members: Hermínia Emília Prieto Martinez, Márcio Mota Ramos and Paulo Afonso Ferreira.

The wastewaters from the washing and husking of the coffee shrub cherries (ARC) are greatly pollutant to the environment for their richness in either suspended organic material and organic and inorganic constituents in solution. Taking into account the conditions imposed by the Environmental Legislation concerning to the release of wastewaters in the watercourses, the development of new ways for the treatment and final disposition of those residues in the environment becomes a need. Among the alternative forms for the treatment and/or disposition of these organic material-rich wastewaters is the fertirrigation, from which the technique prioritizes the use of the nutrients found in the wastewater for substitution of the chemical fertilization in cropped agricultural areas. Aiming at the evaluation of the nutritional state of the Arabic coffee shrub and the chemical alterations in the soil, after applying different doses of wastewater from the washing and husking the coffee shrub cherries (ARC), an experiment was carried out in the Experimental Area for Hydraulic, Irrigation and Drainage pertaining to the Agricultural Engineering Department. A

290 m² area and 162 Arabic coffee shrubs, Catuaí cv. were used. The ARC was collected in the UFV coffee processing unit after being subjected to a filtration process, from which the pulped coffee cherries were the filtering material. Based on the potassium content analyses in the filtered ARC, the doses of ARC to be applied to the soil were established. The K⁺ doses corresponding to 66.4, 99.6, 132.77, 166.0 and 199.0 g were applied to the soil for two months. Some coffee shrub leaves were collected on May, June, July, August, and December in order to evaluate the concentration of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn in the coffee shrub. Polynomial regression equations were adjusted for nutrient concentration as a function of time. 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, and the bases total as well. The results obtained from the soil analysis were used for the adjustment of the regression equations, by looking for the obtainment of models for nutrient distribution and chemical alterations at different soil depths. Besides supplying nutrients, the ARC application provided conditions for higher absorption of some macro- and micronutrients by the coffee shrubs and general macronutrient leaching in the soil profile, as well as providing an increase in the concentration of the exchangeable potassium up to 90 cm, which provided an increased electric conductivity in the solution of the soil cropped with coffee plant. The increase in the soil potassium concentration provided some deficiency of calcium and mainly magnesium in the leaves of the coffee shrub, therefore the reinforcement of those macronutrients in the areas fertirrigated with ARC is advisable. When the ARC is applied at doses higher than 3.0 times the K recommended for this crop, it provokes serious problems to the coffee shrub because the decrease in the soil osmotic potential. The ARC fertirrigation may not be applied at established doses based on requirements for coffee shrub irrigation, as well as the continuity of the water application on the coffee shrub caused no detectable physiologic effects neither changed the nutritional state of the coffee shrub.

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade que promove a distribuição de renda e geração de empregos diretos e indiretos, tanto para as populações rurais como para as urbanas das regiões produtoras de café.

Na tentativa de conquistar mais clientes no exterior, o grande paradigma dos tempos atuais passou a ser, juntamente com o aumento da produtividade, a busca de melhoria da qualidade do produto e a preservação ambiental, uma vez que o produto adquire maior valor de mercado com a melhoria da qualidade de bebida e com o uso de técnicas na produção que proporcionem maior preservação ambiental (MATOS e Lo MONACO, 2003).

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 Rolz et al. citados por DELGADO e BAROIS (2000), no processamento via úmida tradicional, são gerados aproximadamente três toneladas de subprodutos e são necessárias quatro toneladas de água para produzir uma tonelada de grãos processados. Estudos realizados na distribuição dos macrocomponentes do fruto de cafeeiro do tipo cereja, desde o início do processamento pós-colheita até a sua infusão, permitem constatar que somente 6% do peso do fruto fresco é aproveitado na preparação da bebida. Os 94% restantes, constituídos por água e subprodutos do processo de beneficiamento, na maioria dos casos não recuperados, podem ser fonte de contaminação do meio ambiente (VASCO, 2000).

De acordo com resultados de pesquisas realizadas no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, as águas residuárias 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 pela legislação vigente, tornando-se necessário, tratar e dispor as águas residuárias da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro (ARC) de maneira adequada (MATOS e 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.

Se realizada adequadamente, a fertirrigação pode possibilitar o aumento da produtividade e da qualidade dos grãos colhidos, reduzir a poluição ambiental, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo.

Neste estudo, objetivou-se avaliar o estado nutricional do cafeeiro arábica e as alterações químicas no solo após o período de aplicação da ARC, em função das doses de ARC, aplicadas na forma de fertirrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância do café no mercado nacional e internacional

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo. De acordo com os dados do IBGE (2005), a safra brasileira fechou o ano de 2004 com uma produção total de 2.466.863 toneladas (41,1 milhões de sacas de 60 kg). Este número significa aumento de 23,53 % em relação à safra colhida em 2003, que totalizou 1.996.847 toneladas (33,28 milhões de sacas de 60 kg).

SILVA e LEITE (2000) afirmam que a América do Sul é a região de maior produção de grãos de café do mundo, com a ressalva de que o Brasil e a Colômbia, sozinhos, produziram em torno de 40% do total mundial nas últimas duas décadas.

A importância do sistema agroindustrial do café no cenário nacional e internacional tem sido objeto de diversos estudos e pesquisas. VALE (2004) salienta que a cadeia mundial de café movimenta em torno de 36 bilhões de dólares por ano (considerando-se o fluxo de produto do país de origem ao consumidor final, no país importador) e o volume de exportação mundial de café foi da ordem de 84,9 milhões de sacas em 2003, totalizando cerca de US\$ 5,6 bilhões de dólares. Além disso, é um sistema com grande capacidade de gerar empregos no país, além de ter fornecido, nos últimos anos, significativa

contribuição para a melhoria das condições de vida da população brasileira, como consequência da grande capacidade de gerar empregos. Segundo TRISTÃO (1995), o agronegócio café no Brasil emprega cerca de três milhões de pessoas, ou seja, 6% da população brasileira economicamente ativa, em sua cadeia produtiva constituída por: produção, transporte, armazenamento, comunicação, rede bancária, serviços financeiros, corretagem, bolsas, portos, embalagens, publicidade, processamento, industrialização e comercialização.

A inexistência de política interna para a sustentação do setor cafeeiro no decorrer da crise gerada a partir de 1986 e, em seguida, as mudanças no mercado externo em 1989, com o rompimento das cláusulas econômicas do Acordo Internacional do Café, resultaram na descapitalização dos cafeicultores e no declínio de parte das lavouras (MATIELLO, 1991). Esses fatos provocaram uma seleção natural dos produtores, permanecendo na atividade aqueles mais competitivos (FAEMG, 1999). Neste ambiente de mercado, a produtividade e a oferta de um produto de boa qualidade traçaram o novo perfil da cafeicultura brasileira.

O cultivo dos cafezais de forma adequada, por si só, não garante a obtenção de produto de boa qualidade e hoje sabe-se que cuidados na colheita e no processamento dos frutos devem ser, necessariamente, incluídos no processo produtivo do café (CHALFOUN, 1996). O grão de café é, dentre outros, um dos poucos produtos agrícolas cujo valor é crescente com a melhoria da qualidade, pois quando o produto é de qualidade inferior pode sofrer significativa redução no valor de comercialização (SILVA et al., 2001). O processamento pós-colheita tem influência direta sobre a qualidade final dos grãos de café e tem sido aceito que o despulpamento dos frutos, que atualmente é realizado em apenas cerca de 5% dos frutos, melhora a qualidade da bebida do café (CAFES DO BRASIL, 2001). Na busca pela melhoria na qualidade da bebida, produtores têm procurado utilizar a tecnologia de processamento do fruto, sendo a lavagem seguida do descascamento ou despulpa uma prática cada vez mais freqüente.

Na tentativa de conquistar clientes no exterior, o grande paradigma dos tempos atuais passou a ser, juntamente com o aumento da produtividade, a busca da melhoria da qualidade do produto e a preservação ambiental, uma vez que o produto adquire maior valor de mercado com a melhoria da

qualidade da bebida e com o uso de técnicas na produção que proporcionem maior preservação ambiental (MATOS e Lo MONACO, 2003).

2.2 Constituição do fruto do cafeeiro

O fruto do cafeeiro é formado pelo grão (endosperma + embrião), que é envolvido pelo pergaminho ou endocarpo, pela polpa ou mesocarpo e, finalmente, pela casca ou epicarpo, os quais podem ser visualizados na Figura 1, extraída de MATOS e Lo MONACO (2003). Embora exista uma clara distinção entre a casca (epicarpo) e a polpa (mesocarpo), por critérios práticos, tem sido denominado de polpa o conjunto constituído pela casca e pela polpa, propriamente dita.

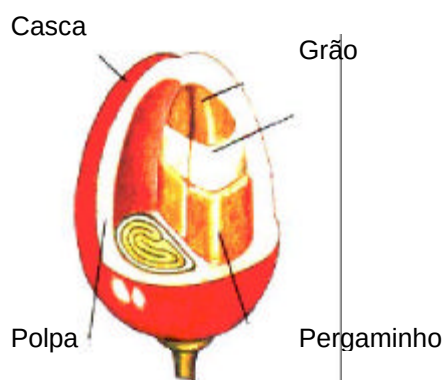


Figura 1 – Componentes do fruto do cafeeiro

De natureza celulósica, o pergaminho do fruto do cafeeiro é a parte anatômica que envolve o grão e representa cerca de 12%, em termos de matéria seca, do grão de café.

A mucilagem constitui uma capa de aproximadamente 0,5 a 2 mm de espessura que está fortemente aderida ao pergaminho, e representa cerca de 5% da matéria seca do grão. Do ponto de vista físico, ela é constituída por um sistema coloidal líquido, liofílico, sendo, portanto um hidrogel. Quimicamente é constituída por água, pectinas, açúcares e ácidos orgânicos (ELIAS, 1978) e, portanto, constitui excelente substrato para o crescimento de fungos, bactérias e outros organismos, possibilitando a deterioração dos grãos de café.

A mucilagem deve ser retirada tão logo seja possível, uma vez que o seu contato prolongado com o grão, além de possibilitar o crescimento de fungos e bactérias, aumenta os custos de secagem dos frutos do cafeeiro.

A polpa é o primeiro resíduo gerado no processamento do fruto do cafeeiro. A quantidade de polpa presente no fruto tipo cereja depende do estado de maturação, das condições climáticas dominantes durante o desenvolvimento dos frutos e da variedade de cafeeiro cultivada. Zuluaga, citado por DELGADO e BAROIS (2000), afirmou que a polpa representa cerca de 39% da massa fresca ou 28,7% da matéria seca do fruto. Segundo VASCO (2000), a polpa é constituída, predominantemente, por carboidratos, proteínas, cafeína e taninos, além de potássio, nitrogênio e sódio.

2.3. Processamento dos frutos do cafeeiro

Para se obter um produto de boa qualidade, que reúna as características de tipo e qualidade exigidas pelo mercado interno e, principalmente, pelo externo, é indispensável um adequado processamento pós-colheita do fruto e depois do grão de café. Da colheita ao produto final beneficiado, são várias as etapas envolvidas no processamento do fruto e do grão de café, as quais devem ser executadas de maneira adequada e cuidadosa (NOGUEIRA, 1986).

No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o café é constituído de uma mistura de frutos verdes, maduros (“cereja” e “verdoengos”), “passas” e secos, folhas, ramos, torrões e pedras, devendo ser limpo e separado nas suas diversas frações, para que possam ser conduzidos para a secagem em lotes separados ou para que o fruto cereja e, às vezes os verdoengos, sejam submetidos ao descascamento.

O processamento por via seca, isto é, secando-se integralmente os frutos, dá origem aos cafés denominados coco ou de terreiro. No processamento por via úmida, que consiste na secagem dos frutos sem a polpa, o fruto é submetido ao processo de descascamento ou despolpa, seguido ou não da desmucilagem, dando origem ao grão de café cereja descascado ou despulpado e desmucilado, respectivamente.

2.3.1. Lavagem e separação dos frutos

Os frutos do cafeeiro, depois de colhidos, são submetidos imediatamente aos processos de separação de impurezas, que podem ser feitos por peneiramento manual, ventilação forçada ou, ainda, por separadores de ar e peneira (máquinas de pré-limpeza). Mesmo com a retirada das impurezas (pedaços de ramos, terra, pedras, folhas, etc.), os frutos do cafeeiro devem passar pelo separador hidráulico, no qual a separação é feita pela diferença das massas específicas dos frutos, que varia de acordo com seu estágio de maturação, ou seja, separando-se os frutos tipo “bóia”, constituídos pelos secos, brocados, mal formados e verdes, dos frutos perfeitos ou “cereja”, que devem ser secados e armazenados separadamente.

De acordo com SILVA et al. (2001), a lavagem ou separação é uma operação importante, tanto para o preparo via seca como por via úmida, pois além de manter o potencial de qualidade do café recém-colhido, reduz o desgaste das máquinas durante o descascamento, a secagem e o beneficiamento. Os autores afirmaram, ainda, que a separação dos cafés “bóias” do “cereja”, além de evitar a mistura de produto de qualidade inferior, tal como os brocados e os verdes, com o “cereja”, possibilita secagem e coloração homogêneas e, conseqüentemente, a obtenção de um produto de melhor qualidade e aparência comercial.

Os lavadores utilizados na lavagem e separação dos frutos do cafeeiro são os de alvenaria, também conhecidos como lavador “Maravilha”, e os industrializados ou lavadores mecânicos.

O lavador “Maravilha” é constituído por um tanque de alvenaria e uma calha metálica com saída ramificada e provida de fundo falso, onde o material de maior massa específica (“cereja”, “verdoengos” e impurezas pesadas) se deposita. Possui ainda, um sistema de turbilhonamento (injetor de água sob pressão controlada) que separa os cafés pesados das pedras, retornando-os à superfície onde se encaminha pela calha dos “cerejas”. Uma das grandes desvantagens do lavador “Maravilha” é o consumo exagerado de água, que, dependendo do projeto e das impurezas dos frutos, poderá ser superior a cinco litros para cada litro de fruto do cafeeiro.

Havendo escassez de água na propriedade, deve-se optar por lavadores mecânicos, que consomem em média um litro de água para cada trinta litros de café. A diferença entre os consumos de água dos dois lavadores deve-se ao fato de que no lavador “Maravilha” grande parte da água é usada para o transporte dos frutos, enquanto no segundo o transporte é feito mecanicamente (SILVA et al., 2001). Além do consumo de água e menor uso de mão-de-obra, os lavadores mecânicos, por serem compactos e ocuparem menor espaço, podem ser remanejados ou comercializados em caso de desistência da atividade cafeeira por parte do produtor.

2.3.2 Processamento por via úmida

O processamento por via úmida dá origem aos grãos de café descascados e despulpados, bastante comuns entre os produtores da América Central, México, Colômbia, Quênia e África, alcançando boas cotações no mercado, por proporcionarem, de modo geral, a produção de bebida suave. Embora o Brasil seja conhecido como produtor de grãos de café obtidos por via seca, pois cerca de 90% da produção nacional total é processada dessa forma (LEITE e SILVA, 2000), alguns produtores começaram a fazer opção pelo processamento do fruto tipo cereja, descascando-o ou despulpando-o, principalmente em regiões montanhosas com boa disponibilidade de água.

A recepção, o processo de lavagem e separação dos frutos colhidos no processamento via úmida são iguais aos utilizados no processamento por via seca.

O processamento dos frutos do cafeeiro via úmida nada mais é do que a retirada da casca do fruto maduro, utilizando-se, para isso, um descascador mecânico e, posteriormente, caso haja interesse, um desmucilador.

Os descascadores são máquinas que pressionam os frutos contra um cilindro de chapa metálica, contendo "mamilos", e um encosto de borracha, fazendo com que as cascas saiam por um lado e os grãos envolvidos pelo pergaminho e a mucilagem, por outro (BARTHOLO e GUIMARÃES, 1997 e MATIELLO, 1999).

Após o descascamento do fruto “cereja”, o grão permanece ainda com a mucilagem, que pode também ser removida antes da secagem. A mucilagem é rica em açúcares que possibilitam o desenvolvimento de microrganismos nos grãos, podendo depreciar sua qualidade. A maior vantagem da despulpagem completa (retirada da casca, polpa e mucilagem) é evitar a fermentação e o desenvolvimento de fungos nos grãos, que prejudicam a qualidade da bebida do café (MOREIRA, 1999).

A desmucilagem pode ser executada sem ou com degomagem prévia. Optando-se pela degomagem prévia, após o descascamento, os grãos de café são conduzidos a tanques de alvenaria com água onde sofrem fermentação, por um período de 12 a 24 horas, para facilitar o desprendimento da mucilagem aderida ao grão. Em seguida, são encaminhados para os terreiros e/ou secadores. Se a desmucilagem for feita sem degomagem prévia, os grãos são conduzidos diretamente aos desmuciladores mecânicos, que são equipamentos verticais, de fluxo ascendente e possuem um helicóide movimentando o grão de café em um cilindro canelado, com pequeno fluxo de água ($150-200 \text{ L h}^{-1}$). Esse equipamento retira de 80 a 90% da goma, o que reduz o tempo de secagem.

A secagem do grão processado por via úmida pode ser realizada em terreiros, secadores, ou por meio de sistemas mistos, nos quais os grãos são submetidos à pré-secagem em condições de terreiro, completando-se o processo em secadores mecânicos. Como vantagem da secagem dos frutos de cafeeiro processados por via úmida, pode-se citar a diminuição da área do terreiro, do volume do secador e do tempo necessários à secagem (PINTO, 2001).

2.4. Resíduos gerados no processamento via úmida dos frutos do cafeeiro

Segundo PINTO (2001), os resíduos provenientes do processamento via úmida dos frutos do cafeeiro podem ser divididos em resíduos sólidos, como folhas, cascas, polpa, pergaminho, borra etc. e resíduos líquidos ou águas

residuárias, constituídos pelos efluentes gerados na lavagem, tanques de fermentação, despoldadores e desmuciladores.

A polpa pode ser aproveitada como adubo e condicionador de solo e material compostado. Já a mucilagem pode ser aproveitada para a produção de pectina e meio de cultura (VEGRO e CARVALHO, 2000).

2.4.1. Resíduos líquidos (águas residuárias)

A água residuária é, dentre todos os resíduos do processamento do fruto do cafeeiro, a que provoca maior impacto ambiental.

De acordo com Rolz et al. citados por DELGADO e BAROIS (2000), no processamento via úmida tradicional, são requeridas quatro toneladas de água para produzir 1 tonelada de grãos processados. Desse modo, a atividade de lavagem e despold de frutos do cafeeiro é geradora de grandes volumes de águas residuárias, ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, de grande poder poluente (MATOS, 2003).

2.4.1.1 Caracterização da água residuária da lavagem e despold dos frutos do cafeeiro

As águas residuárias produzidas no processamento dos frutos do cafeeiro apresentam elevada concentração de sólidos totais, dos quais a maior parte é composta por sólidos voláteis totais que podem ser removidos, em grande parte, por tratamento biológico (Lo MONACO et al., 2003).

Os autores observaram, ainda, elevados valores de DBO e DQO (Demanda Bioquímica e Química de Oxigênio), o que permitiu concluir que essas águas residuárias possuem elevada carga orgânica.

CAMPOS (1993) afirmou que as águas residuárias da lavagem e despold dos frutos do cafeeiro, quando lançadas em corpos hídricos receptores, rapidamente formam zonas anóxicas como resultado de sua

estabilização anaeróbica, gerando, como subprodutos da degradação do material orgânico, metano, fenóis e ácido sulfídrico, os quais exalam odores desagradáveis. Além disso, com o enriquecimento nutricional dessas águas, pode-se acarretar o desenvolvimento de vegetais (taboa, aguapé, salvinha, algas em geral, etc.) que podem vir a prejudicar o ecossistema aquático.

O principal efeito da poluição orgânica em um corpo d'água receptor é a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, uma vez que bactérias aeróbias consomem o oxigênio dissolvido no meio para efetuar seus processos metabólicos, tornando possível a degradação do material orgânico lançado no meio. O decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido na água pode ser fatal para peixes e outros animais aquáticos.

Lo MONACO et al. (2003) observaram que as características químicas e físicas presentes nas águas residuárias do processamento de frutos de duas espécies do gênero *coffea* indicam potencial poluente crescente à medida que se recircula a água no sistema, com o objetivo de se obter economia deste insumo. Considera-se que, em vista dos riscos de que seja afetada a qualidade de bebida dos grãos, a recirculação da água seja viável apenas se ela for submetida a tratamento preliminar seguido de tratamento primário antes de ser bombeada para recirculação no sistema.

CABANELLAS (2004) realizou estudo, em escala laboratorial, de um sistema de tratamento físico-químico para a água em recirculação na despolpa dos frutos do cafeeiro (ARDC), no qual procurou determinar a combinação tipo de coagulante-dose-pH que maximizasse a remoção de sólidos em suspensão presentes nessas águas. Além disso, estudou o desempenho do sistema floculação/sedimentação e filtração no tratamento da ARDC, além de avaliar a contaminação fúngica dos grãos e a qualidade da bebida do café proveniente do processamento com águas recirculadas, sob diferentes condições de tratamento. O autor concluiu que o extrato de semente de moringa apresentou maior remoção de sólidos suspensos na faixa de pH 4 a 5 e dose de 10 mL L^{-1} . Para os coagulantes sulfato férrico, sulfato de alumínio e cloreto férrico, a concentração de 3 g L^{-1} foi a que proporcionou melhores resultados com pH na faixa de 7 a 8. Para o sulfato ferroso clorado, a concentração mais eficiente foi de 3 g L^{-1} , com pH na faixa de 4 a 5. O extrato de semente de moringa, sulfato férrico e sulfato de alumínio proporcionaram remoções em torno de 80% de sólidos em suspensão, enquanto o cloreto férrico de, aproximadamente, 60%.

O sulfato férrico foi o coagulante mais eficiente para a remoção de DBO, DQO e CE da ARDC. Em relação à contaminação fúngica, o autor observou que o coagulante sulfato de alumínio, proporcionou significativa diminuição na quantidade de fungos presentes nos grãos processados com água em recirculação. Quanto à adição de coagulantes na ARDC, não foram observadas diferenças significativas na qualidade de bebida dos grãos de café.

De acordo com CAMPOS (1993), a Deliberação Normativa da COPAM/86 estabelece que, para o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) seja no máximo de 60 mg L^{-1} ou que a eficiência do sistema de tratamento das águas residuárias, para a remoção da DBO, seja superior a 85%, desde que não seja alterada a condição do curso d'água, de tal forma a que ele passe a não apresentar qualidade incompatível com a sua classe de enquadramento. Portanto, para atender as legislações ambientais vigentes, é preciso que haja o tratamento dessas águas residuárias, antes que elas sejam lançadas em corpos d'água.

No que se refere ao valor das águas residuárias como fertilizante agrícola, MATOS e Lo MONACO (2003) verificaram que as águas residuárias de duas espécies do gênero *coffea*, contêm elevadas concentrações de nitrogênio ($105,5 \text{ mg L}^{-1}$ para o café Conilon e 250 mg L^{-1} para o café Arábica) e, principalmente, de potássio (115 mg L^{-1} para o Conilon e $460,0 \text{ mg L}^{-1}$ para o café Arábica), confirmando os resultados de outros pesquisadores.

O valor das águas residuárias, principalmente da ARC, como fertilizante, é forte indicativo da possibilidade de sua utilização em sistemas solo-planta, como forma de tratamento/disposição dessas águas.

2.5 Disposição de águas residuárias no solo

A aplicação de resíduos orgânicos e águas residuárias no solo é uma prática comum, sendo considerada uma forma de tratamento e de disposição final (FEIGIN et al., 1991). Nos tratamentos convencionais, a energia contida nas águas residuárias é dissipada mediante a mineralização do material orgânico, sendo os nutrientes lançados nos corpos receptores (PAGANINI, 1997).

Quando águas residuárias são aplicadas de forma controlada na superfície do solo, ocorrem processos de depuração de natureza física, química e biológica no sistema solo-planta-água.

O solo, sendo um sistema vivo e dinâmico, caracterizado por apresentar superfície física e quimicamente ativa, pode reagir, interagir ou adsorver constituintes da água residuária.

Os constituintes inorgânicos podem ser adsorvidos ao complexo de troca ou à sítios de adsorção específica, quelados ou complexados pela matéria orgânica ou serem precipitados.

Por meio biológico, os compostos orgânicos devem ser decompostos em CO₂, H₂O e compostos inorgânicos. Os íons podem, então ser absorvidos pelas plantas e conseqüentemente, serem parcialmente removidos da solução do solo. Assim o solo e as plantas atuam como filtros vivos, absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes nos resíduos e nos efluentes (FEIGIN et al., 1991).

A disposição dos efluentes tratados no solo completa uma seqüência de tratamentos para reduzir a concentração de microrganismos e de vários compostos orgânicos e inorgânicos a teores aceitáveis para a renovação da água (FEIGIN et al., 1991). Ao mesmo tempo, a aplicação ao solo e a reutilização de águas residuárias tratadas tem sido solução efetiva para redução no custo de disposição, de forma harmônica e ambientalmente adequada, de águas residuárias no meio ambiente (DARWISH et al., 1999).

A agricultura utiliza maior quantidade e pode tolerar águas de qualidade mais baixa que as requeridas pela indústria e para o uso doméstico, portanto, há uma tendência crescente para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com a disposição final de águas servidas (AYERS e WESTCOT, 1991).

A aplicação de águas residuárias no solo pode ser considerada uma forma de disposição final ou de tratamento, ou ambos, sendo esta atividade considerada, por muitos, como tratamento de nível secundário, devido à atuação de mecanismos biológicos e elevada eficiência na remoção de poluentes (VON SPERLING, 1996).

O objetivo de se utilizar o solo como meio de tratamento de águas residuárias é o aproveitamento do filtro natural constituído por plantas e microrganismos que, juntamente com suas propriedades de adsorção química

e física, possibilitam a remoção de nutrientes desses efluentes (HUBBARD et al., 1987). A disposição de águas residuárias no solo é uma atividade essencialmente de reciclagem, inclusive da água, viabilizando a utilização do potencial hídrico e dos nutrientes presentes nos efluentes líquidos, empregando a natureza como receptora de resíduos e geradora de riquezas, sendo um processo que pode ser considerado como de tratamento e aproveitamento ao mesmo tempo (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

MATOS e Lo MONACO (2003) afirmaram que a aplicação de ARC no solo apresenta uma série de vantagens, podendo-se citar, dentre outras, o aproveitamento dos nutrientes presentes nos efluentes para fertilização de culturas agrícolas, o baixo custo de implantação e operação e o baixo consumo de energia no processo. Estima-se que essa forma de tratamento apresente um custo que varie entre 30 e 50% do custo dos sistemas convencionais.

De acordo com FONSECA et al. (2003), a aplicação da ARC sobre a superfície do solo, como processo de tratamento, possibilita a remoção dos poluentes por meio de mecanismos de ordem física (sedimentação, filtração, radiação, volatilização e desidratação), química (oxidação e reações químicas, precipitação, adsorção e troca iônica) e biológica (absorção, biodegradação e predação). Além do efeito depurador da água residuária, essa prática proporciona o suprimento de água para as culturas e a adição de matéria orgânica ao solo. A adição de matéria orgânica ao solo proporciona melhoria de suas condições físicas, aumenta a atividade biológica, contribui para a redução do alumínio trocável e aumenta a capacidade de retenção de água no solo, dentre outros. No entanto, MATOS (2002) alerta que a disposição de águas residuárias oriundas de atividades agroindustriais no solo, deve ser feita de tal forma que não venha a contribuir para o aumento dos problemas de qualidade ambiental, tais como contaminação de águas subterrâneas e superficiais, contaminação de plantas por metais pesados, influências negativas sobre as características físicas e químicas do solo.

O sistema de tratamento de efluentes por disposição no solo pode ser realizado por meio de vários métodos de aplicação, podendo-se citar quatro tipos principais: infiltração/percolação, escoamento superficial, fertirrigação e lançamento em “sistemas alagados construídos”.

2.5.1 Fertirrigação com águas residuárias

A fertirrigação tem sido o método mais acessível (FEIGIN et al., 1991) e eficiente (DARWISH et al., 1999) no tratamento/disposição final de águas residuárias, particularmente nos países em desenvolvimento, onde essas ações não são as prioridades dos governos locais (FRIEDEL et al., 2000).

A fertirrigação com água residuária é uma técnica, em que se prioriza o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária para substituição de parte da adubação química em áreas agrícolas cultivadas, razão suficiente para que esta técnica seja altamente recomendável para o tratamento/disposição dessas águas. Nutrientes como nitrogênio, potássio e, principalmente, fósforo são fundamentais no cultivo de solos pobres, como os que ocorrem na maior parte do Brasil. Dessa forma, acredita-se que métodos de tratamento que não contemplem a reciclagem de nutrientes estão condenados a desaparecerem em futuro próximo. O aproveitamento de águas residuárias ricas em nutrientes na fertirrigação de culturas agrícolas, possibilita o aumento da produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (MATOS e Lo MONACO, 2003).

De acordo com MATOS (2002), o uso de águas residuárias na fertirrigação de espécies vegetais perenes ou que proporcionem, em sucessão, constante remoção de nutrientes durante todo o ano é desejável. Assim, algumas capineiras de sistema radicular abundante e profundo podem ser muito úteis sob o ponto de vista ambiental, uma vez que são capazes de retirar grande quantidade de macro e micronutrientes do solo, diminuindo os riscos de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

A taxa de aplicação de águas residuárias agroindustriais deve se basear na dose de nutrientes recomendada para as culturas agrícolas e não na necessidade hídrica. Caso os níveis dos elementos atinjam valores superiores há o comprometimento da produtividade da cultura, além de provocar poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Segundo MATOS (2003), a fertirrigação constitui o sistema de disposição que requer a maior área superficial por unidade de água residuária tratada. Por outro lado, é o sistema natural com maior eficiência. As plantas

são as grandes responsáveis pela remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio dos dejetos, cabendo aos microrganismos do solo a remoção das substâncias orgânicas. O autor estima que a queda na DBO seja de 90 a 99%, a remoção de nitrogênio seja maior que 90% e que a remoção de fósforo atinja 99%.

As principais vantagens do método de disposição como fertirrigação de culturas agrícolas são: ser um método de tratamento e disposição final combinados, já que proporciona, ao mesmo tempo, a fertilização e o condicionamento do solo, com retorno financeiro advindo da venda de produtos agrícolas em maior quantidade e com melhor qualidade. As maiores desvantagens são os elevados requisitos de área, ser dependente do clima e dos requerimentos de nutrientes dos vegetais, possibilidade de contaminação dos agricultores (na aplicação por aspersão) e possibilidade de ocorrência de alterações químicas e físicas no solo.

A fertirrigação com águas residuárias pode ser feita por sulco, por aspersão, gotejamento ou com uso de “chorumeiras”. A escolha do método de aplicação deve ser feita, principalmente, em função da cultura, da suscetibilidade às doenças e da capacidade de infiltração de água no solo.

2.5.1.1 Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos

Como o potássio é o macronutriente presente em maior concentração na água residuária da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro, ele deve ser utilizado como referencial para o cálculo da dose de água residuária passível de ser aplicada na lavoura do cafeeiro, sem que haja comprometimento da qualidade ambiental e prejuízo à produtividade da cultura. Atenção especial deve ser dada quanto à disposição dessas águas residuárias no solo, pois, de acordo com Loehr e Oliveira, citados por MATOS e SEDIYAMA (1996), altas concentrações de potássio em relação às de cálcio e magnésio, podem causar dispersão da argila, promovendo a desagregação do solo e, por consequência, diminuindo sua permeabilidade. Além disso, o desequilíbrio de nutrientes poderá comprometer o desenvolvimento da cultura.

Em estudos preliminares conduzidos por MATOS et al. (2001), verificou-se que a produtividade dos cafeeiros apresentou tendência de queda com o aumento da quantidade de água residuária aplicada por planta, em comparação com as parcelas que receberam adubação química. Foi observado, entretanto, que aplicações entre 0,6 e 1,20 m³ planta⁻¹ concorreram para recuperação da produção do cafeeiro, atingindo os mesmos valores de produtividade obtidos de plantas que receberam a adubação química. Acredita-se que, caso houvesse a adição de todos os fertilizantes recomendados para a cultura, excetuando os potássicos, que já seriam fornecidos pela água residuária, a produtividade aumentaria em relação à obtida pelas plantas que receberam adubação química convencional.

De acordo com MATOS (2003), os açúcares contidos nas ARC, notadamente naquelas provenientes de frutos submetidos à desmucilagem, podem proporcionar condições ideais de desenvolvimento de pragas e doenças nas folhas se a fertirrigação for feita por aspersão. Para minimizarem-se esses riscos, recomenda-se, neste caso, o bombeamento e aplicação de água “limpa”, por pelo menos 20 minutos, após a aplicação da água residuária da lavagem e descascamento de frutos do cafeeiro, a fim de se promover a lavagem das folhas da cultura.

Para evitar os problemas causados pela aplicação por aspersão, a água residuária pode ser aplicada de forma localizada, por gotejamento ou microaspersão, métodos considerados ideais quando se tem por objetivo minimizar os riscos do desenvolvimento de pragas nas plantas e impactos ambientais. No entanto, para que a aplicação seja feita com uso de sistemas de irrigação localizada, os tratamentos preliminar e primário da ARC tornam-se necessários. É fundamental a remoção prévia dos sólidos em suspensão na água residuária, para que não ocorram problemas de entupimentos nos emissores. De acordo com LEON e CAVALLINI (1999), em sistemas de irrigação por gotejamento, a concentração de sólidos em suspensão deve ser menor que 50 mg L⁻¹ para que se minimize os riscos de obstrução dos emissores.

2.6 Filtros orgânicos

A filtração é uma das formas de tratamento primário para remoção de poluentes das águas residuárias. Além da remoção de sólidos em suspensão, o processo de filtração pode remover alguns sólidos solúveis (STEEL e MCGHEE, 1979).

A ação mecânica de retenção dos sólidos em suspensão por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores que os dos poros da camada filtrante. Ao entrar em operação, os vazios do meio filtrante vão, aos poucos, sendo obstruídos pelas partículas presentes na suspensão, proporcionando o aumento da perda de carga unitária. Com a redução do diâmetro dos poros, ocorrerá a retenção de partículas de diâmetro cada vez menor (POVINELLI e MARTINS, 1973).

A água residuária da lavagem e descascamento de frutos do cafeeiro é muito rica em sólidos em suspensão e dissolvidos, por isso o uso de filtros de areia não é recomendável, dado à sua rápida colmatção superficial e ao impedimento ao fluxo normal da água residuária, tornado-se necessária a troca continua do material filtrante. Desta forma, de acordo com BRANDÃO (1999), a utilização de materiais orgânicos capazes de absorver solutos e reter sólidos em suspensão e que sejam sub-produtos de atividades agropecuárias e industriais é opção interessante, devido a sua disponibilidade e baixo custo para aquisição.

Lo MONACO (2001), ao utilizar filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa (descascamento) dos frutos do cafeeiro, obteve remoções de sólidos totais na ordem de 60 a 75%, quando utilizou filtro constituído por serragem de madeira; no caso de filtro de bagaço de cana-de-açúcar a remoção foi menor, alcançando 40%. Em ambos os filtros, a remoção foi de 100% dos sólidos sedimentáveis, 75 a 85% do nitrogênio total e 50% do fósforo total. MAGALHÃES (2002) obteve remoções de sólidos em suspensão em águas residuárias da suinocultura da ordem de 90 a 99%, utilizando filtros de serragem de madeira, e de 81 a 96%, quando utilizou filtros de bagaço de cana-de-açúcar.

Resíduos orgânicos como o pergaminho ou mesmo a casca de café podem ser utilizados como materiais filtrantes, considerando-se suas

abundâncias na área de produção de café e, conseqüentemente, os baixos custos para sua aquisição, além das dificuldades para a disposição desses resíduos, sem tratamento, no ambiente. De acordo com BRANDÃO (1999), os benefícios de resíduos sólidos gerados no meio rural são inegáveis, pois além de proporcionar a depuração das águas residuárias, o material orgânico passa a adquirir valor econômico, uma vez que, ao ser retirado do filtro, poderá ser compostado, produzindo, ao final do processo de maturação, adubo orgânico de considerável valor fertilizante, o que pode compensar os custos com a confecção de filtros para tratamento de águas residuárias.

CABANELLAS (2004), observou que o filtro orgânico constituído de pergaminho de grãos de café beneficiado foi de fundamental importância no sistema de tratamento primário da água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro em recirculação (ARDC), utilizando diferentes coagulantes. Quando comparou as remoções de sólidos em suspensão na ARDC que recebeu agentes coagulantes com a que não os recebeu, a autora obteve remoções de 75%, 60% e 35% superiores com a adição de sulfato férrico, extrato de sementes de moringa e sulfato de alumínio, respectivamente.

Lo MONACO et al. (2004a), ao avaliarem o pergaminho dos frutos do cafeeiro como elemento filtrante no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa (descascamento) dos frutos do cafeeiro, observou que o referido material aumentou a concentração de nitrogênio, fósforo e principalmente o potássio no efluente, indicando a possibilidade de aproveitamento dessas águas para fins de fertirrigação.

2.7 A cultura do cafeeiro arábica (*Coffea arábica* L.)

2.7.1 Necessidades nutricionais

MATIELLO et al. (2002) afirmaram que a indicação das doses de adubo químico depende, basicamente: do estágio da lavoura (plantio, formação, produção), das exigências observadas no cafeeiro; da fertilidade do solo (avaliada por análise); do sistema de cultivo e dos adubos a serem usados.

No Quadro 1, estão apresentados os padrões referenciais médios para avaliação de resultados de análise de solo para a cultura do cafeeiro.

Quadro 1 – Padrões referenciais médios para avaliação de resultados de análise de solo para a cultura do cafeeiro, em fase de produção

Característica	Método	Classificação			
		Baixo	Médio	Bom	Muito bom
pH (acidez)	pH em H ₂ O 1: 2,5 TFSA	4,5 – 5,4	5,5 – 6,0	6,1 – 7,0	> 7,0
M. O. (dag.kg ⁻¹)	Walkley & Black	0,71 – 2,0	2,01 – 4,00	4,01 – 7,00	> 7,00
<i>P (mg.dm⁻³)</i>					
<i>% de argila</i>					
<i>60 - 100</i>	<i>Mehlich - 1</i>	<i>2,0 – 4,0</i>	<i>4,1 – 6,0</i>	<i>6,1 – 9,0</i>	<i>> 9,0</i>
<i>35 - 60</i>		<i>3,1 – 6,0</i>	<i>6,1 – 9,0</i>	<i>9,1 – 13,5</i>	<i>> 13,5</i>
<i>15 - 35</i>		<i>5,1 – 9,0</i>	<i>9,1 – 15,0</i>	<i>15,1 – 22,5</i>	<i>> 22,5</i>
<i>0 - 15</i>		<i>7,5 – 15,0</i>	<i>15,1 – 22,5</i>	<i>22,6 – 33,8</i>	<i>> 33,8</i>
<i>K (mg.dm⁻³)</i>	<i>Mehlich - 1</i>	<i>< 60</i>	<i>60 - 120</i>	<i>120 - 200</i>	<i>> 200</i>
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	KCl 1 mol.L ⁻¹	0,41 – 1,20	1,21-2,40	2,41 – 4,00	> 4,00
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	KCl 1 mol.L ⁻¹	0,16 – 0,45	0,46 – 0,90	0,91 – 1,50	> 1,50
<i>Zn (mg.dm⁻³)</i>	<i>Mehlich - 1</i>	<i>< 2,0</i>	<i>2,0 – 4,0</i>	<i>4,1 – 6,0</i>	<i>> 6,0</i>
<i>Cu (mg.dm⁻³)</i>	<i>Mehlich - 1</i>	<i>< 0,5</i>	<i>0,5 – 1,0</i>	<i>1,1 – 1,5</i>	<i>> 1,5</i>
Fe (mg.dm ⁻³)	Mehlich - 1	9 - 18	19 - 30	31 – 45*	> 45*
<i>Mn (mg.dm⁻³)</i>	<i>Mehlich - 1</i>	<i>< 5,0</i>	<i>5,0 – 10,0</i>	<i>10,0 – 15,0</i>	<i>> 15,0</i>

* A interpretação destas características, nestas classes, deve ser alta e muito alta no lugar de bom e muito bom.

Texto em itálico refere-se aos valores específicos para o cafeeiro.

Fonte: adaptado de CFSEMG (1999)

Uma vez conhecidos os valores dos nutrientes exigidos pelo cafeeiro, resta saber se a quantidade de adubo a ser aplicado ao solo estará disponível para sua absorção. De acordo com MARTINEZ et al. (2003), o solo é heterogêneo e nele ocorrem reações complexas, envolvendo os nutrientes adicionados pelos adubos, que, muitas vezes, embora presentes em quantidades adequadas, não estão disponíveis para absorção pelas raízes. Os tecidos da planta, por sua vez, mostram o estado nutricional da planta em dado momento, de modo que a análise dos tecidos, aliada à análise do solo, permite avaliação mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de

redirecionamento do programa de adubação. Com relação aos micronutrientes, o uso da análise de tecidos torna-se ainda mais importante, considerando-se a carência de valores de referência para interpretar suas concentrações no solo e a falta de padronização dos métodos analíticos empregados em sua determinação. No Quadro 2 estão apresentados os teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados ao cafeeiro.

Quadro 2 – Teores foliares de nutrientes considerados adequados ao cafeeiro

	Macronutriente (dag. kg ⁻¹)	Teor
N		2,64 – 3,08
P		0,22 – 0,26
K		2,18 – 2,84
Ca		1,21 – 1,45
Mg		0,34 – 0,58
S		0,10 – 0,12
	Micronutriente (mg. kg ⁻¹)	
B		28 – 52
Cu		12 – 29
Fe		62 – 88
Mn		94 – 313
Zn		6 - 12

Fonte: CFSEMG (1999)

O cafeeiro é uma planta que apresenta alta exigência em nutrientes minerais. Segundo Malavolta, citado por CHAVES (1982), as exigências do cafeeiro aumentam de acordo com a sua idade. Aos 3 anos, esta exigência duplica, em razão do início da produção de grãos. De maneira semelhante, Catani e Moraes, citados por MALAVOLTA (1986), afirmaram que entre 1 e 4 anos de idade (precisamente de 2 para 3 anos), quando a planta apresenta a primeira carga, as exigência nutricionais são multiplicadas, aproximadamente por 2 para o Ca, 3 para N, P, K e 10 para o Mg. Nesse caso, a planta começa a ter dois drenos de nutrientes: a vegetação e a safra. Nesta fase crítica, por volta dos 30 meses de idade, MATIELLO et al. (2002) alertam para a necessidade de cuidados especiais na adubação, para evitar que as plantas sofram forte desfolha e a seca de ponteiros, comuns em cafeeiros nessa idade,

em função da baixa relação de folhas/frutos. O esgotamento das plantas interrompe o seu desenvolvimento normal e a recuperação é lenta.

Para MATIELLO et al. (2002), o nitrogênio e potássio são os nutrientes mais exigidos, sendo o primeiro com maior exigência para a vegetação e o segundo para a produção. De fato, o suprimento adequado de nitrogênio é importante tanto para a formação de estruturas vegetativas (folhas, caule e raízes) quanto para o florescimento e enchimento dos frutos, influenciando de maneira marcante a produtividade (Taiz e Zeiger, citados por MARTINEZ, et al., 2003). MATIELLO et al. (2002) enfatizaram que o nitrogênio é constituinte dos aminoácidos (proteína) e se localiza, principalmente, nos cloroplastos das folhas, sendo importante na atividade fotossintética. A nutrição nitrogenada adequada evidencia-se no rápido desenvolvimento da planta, no aumento de ramos frutíferos, na formação de folhas verdes e brilhantes e no aumento de folhas e de gemas floríferas. Tal fato evidencia a necessidade de maiores cuidados com o crescimento foliar, mediante a adequada adubação nitrogenada, o que implicará maior produção de amido e outros carboidratos indispensáveis na formação e no crescimento dos frutos.

O potássio é fundamental no perfeito desenvolvimento do cafeeiro, já que se apresenta em grande concentração tanto nas partes vegetativas como nos frutos. Sua importância na produção é justificada pela influência na atividade enzimática e na síntese e transporte de carboidratos. MALAVOLTA (1986) salientou que há grande correlação entre concentração de potássio trocável no solo e produtividade da lavoura cafeeira.

A exigência de potássio aumenta com a idade, sendo particularmente intensa quando a planta atinge a maturidade. A importância do potássio na produção do cafeeiro é demonstrada, ainda, pelo fato que uma reserva suficiente desse elemento tende a diminuir a quantidade de frutos chochos. MALAVOLTA (1993) ressaltou outros importantes papéis do potássio para o cafeeiro, como o de proporcionar maior vigor e maior resistência das plantas às doenças; ser importante para a formação de açúcares e amido; aumentar a resistência dos colmos e caules, evitando o acamamento das plantas; aumentar a resistência das plantas à seca e à geada, além de melhorar a qualidade dos frutos. De acordo com MARSCHNER (1995), o potássio é um ativador enzimático, tendo papel importante na abertura e fechamento de estômatos, na osmorregulação, na síntese de proteínas e na fotossíntese.

O cálcio faz parte do mecanismo de controle de crescimento e dos processos de desenvolvimento da planta. De acordo com MARTINEZ et al. (2003), sua carência é comum no campo, dado à pobreza em bases dos solos ácidos, onde se assenta grande parte da cafeicultura brasileira, e às pesadas adubações nitrogenadas, práticas que promovem a acidificação do solo. Devido ao seu papel na divisão celular e à sua imobilidade no floema, a carência de Ca resulta em morte de meristemas, o que afeta severamente o crescimento e aprofundamento das raízes no solo.

O magnésio participa da molécula de clorofila, onde juntamente com o potássio é importante para manter o pH celular entre 6,5 e 7,5. Participa ainda da síntese de proteínas e como ativador de enzimas como fosfatases, ATPases e carboxilases, envolvidas em reações de transferências (Marschner, citado por MARTINEZ et al. (2003).

O fósforo atua na planta como elemento estrutural, ligando os ribonucleotídeos para formar DNA e RNA. É um elemento de grande importância em processos metabólicos que exigem gasto e, ou, transferência de energia, devido a sua participação na molécula de ATP. Por ser um elemento que se move no solo predominantemente por difusão, tem a maior importância na fase de formação do cafeeiro, ocasião em que o sistema radicular está pouco desenvolvido e não consegue explorar um volume de solo suficientemente grande. Assim como o N e o K, é um elemento de alta mobilidade no floema, sendo os sintomas mais evidentes em folhas mais velhas (MARTINEZ et al., 2003).

O enxofre é constituinte de aminoácidos como a cisteína, cistina e metionina. Apresenta funções estruturais em proteínas e funções metabólicas diversas. Os sintomas de carência caracterizam-se por clorose generalizada na planta. Deficiências de enxofre podem ser observadas no campo em caso de pobreza do solo em matéria orgânica e do uso continuado de fórmulas concentradas de adubos, que não contêm este nutriente em sua constituição.

Em sistemas aerados, mantidos em pH fisiológico, as concentrações de Fe^{2+} e Fe^{3+} são muito baixas. A forma Fe^{2+} é predominantemente absorvida pelas plantas, de modo que o Fe^{3+} tem que ser reduzido na superfície radicular antes da sua absorção. A formação de complexos e sua ação em sistemas redox constituem-se na principal função metabólica do ferro. Em condições de campo, a deficiência de ferro aparece quando se utilizam doses excessivas de

calcário, sendo caracterizada por clorose nas folhas jovens, que apresentam um reticulado fino de nervuras sobre um fundo amarelado.

Depois do ferro, o manganês é o micronutriente mais abundante no solo, onde pode aparecer em diversos estados de oxidação. Com pH e aeração elevados, Mn^{2+} passa a Mn^{4+} . Em condições de acidez e alagamento, predomina a forma Mn^{2+} , que é a predominantemente absorvida pelas plantas. Sua absorção é afetada pelo balanço entre cátions, sendo inibida por altas concentrações de cálcio. No cafeeiro, o manganês é o micronutriente mais acumulado após o ferro. No entanto o elevado acúmulo pode não refletir a exigência fisiológica. Os níveis críticos de manganês variam entre as espécies, em solos ácidos pode haver grande disponibilidade do elemento. É mais comum encontrarem-se problemas de toxidez que de carência de manganês em cafezais (MARTINEZ et al., 2003).

Tal como o ferro, a maior parte das funções do cobre como nutriente dizem respeito a sua participação como enzima em reações redox. O cobre é componente de proteínas e participa do metabolismo de carboidratos, da lignificação e da formação do grão de pólen e da fertilização (Marschner, citado por MARTINEZ et al., 2003).

A função do zinco na planta relaciona-se às suas propriedades como cátion bivalente com forte tendência a formar complexos tetraédricos. Age como componente metálico de enzimas ou como cofator de grande número delas. Como ativador enzimático, participa do metabolismo de carboidratos, de proteínas, de triptofano e de ácido indol-acético. De acordo com MALAVOLTA (1993), a carência de zinco em cafeeiros leva a reduções na produção da AIA, responsável pela alongação de ramos, sendo a formação de rosetas um sintoma típico de carência desse elemento. A carência afeta também a produção de frutos, haja vista o papel fundamental que o zinco exerce para a germinação do tubo polínico (MARTINEZ et al., 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

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/UFV, em área de aproximadamente 286 m² contendo cerca de 162 cafeeiros (Figura 2).



Figura 2 – Ilustração geral da área experimental.

Os cafeeiros utilizados no experimento são do gênero *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí, com quatro anos de idade, tendo a primeira produção no ano de 2004. Os mesmos 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. Para caracterizá-lo física e quimicamente, realizou-se uma amostragem, por meio de um trado tipo holandês, coletando-se 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 físicas, químicas e físico-químicas. Os resultados das análises químicas e físicas do solo antes do início do experimento estão apresentados nos Quadros 3 e 4, respectivamente.

Quadro 3 – 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	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al			
(cm)	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	SB	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
(cm)	--.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; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 – Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente.

Quadro 4 – 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

As análises químicas e físico-químicas constituíram-se na 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, o índice de saturação de bases e de alumínio foram obtidos por cálculo e a CTC pelo método da soma de bases trocáveis, sendo 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.

3.2 Caracterização da estrutura de pré-tratamento da água residuária

A água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro utilizada nos ensaios foi coletada na unidade beneficiadora da Universidade Federal de Viçosa, onde era produzida uma vazão de 0,53 L s⁻¹. O volume coletado era transportado para a área experimental com um caminhão pipa.

Considerando que, para serem evitados problemas de entupimento dos emissores no caso da aplicação de forma localizada da ARC, é necessária a remoção de parte dos sólidos e da mucilagem contida na água residuária, optou-se por efetuar sua filtragem antes da aplicação na área. Adotou-se o filtro orgânico como meio efetivo na remoção de sólidos em suspensão nessas águas (MAGALHÃES, 2002).

A água residuária proveniente da unidade beneficiadora era armazenada em uma caixa de polietileno de 1000L, posicionada a cerca de 1 m acima do nível do filtro orgânico, para permitir a alimentação do sistema de filtragem.

O filtro era constituído por um tambor, com área transversal de $0,26 \text{ m}^2$ e 1,3 m de altura, e uma válvula de gaveta na 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, de forma a se obter partículas de diâmetro entre 2 e 3 mm (Figura 3).



Figura 3 - Pergaminho peneirado dos frutos do cafeeiro peneirado

O material filtrante foi acondicionado no tambor de forma gradual, em camadas de 20 cm de espessura, sob compressão de 12.490 N m^{-2} , até ser atingida a altura de 1m. O material filtrante era trocado a cada 2000 L, aproximadamente, de ARC filtrada.

Para dar início ao processo de filtração, à válvula conectada à caixa suspensa era aberta e, por meio de uma mangueira de 37,5 mm, a água residuária era conduzida, por gravidade, até o referido filtro.

Para a filtração da ARC, inicialmente saturava-se o leito orgânico e, a partir daí, o processo passava a ser contínuo, mantendo-se uma carga hidráulica de 0,20 a 0,25 m acima da superfície filtrante. A água residuária filtrada era armazenada em tanque de 1000 L. Na Figura 4, pode-se visualizar a estrutura montada para a filtração e armazenagem da água filtrada.



Figura 4 – Vista geral da estrutura utilizada para a filtragem da água residuária.

A ARC filtrada era recalçada por 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 no Standard Methods... (APHA, 1995). Na análise física foram determinadas as concentrações de sólidos totais (ST), após secagem em estufa a 110°C, por 24 horas; sólidos fixos totais (SFT), por combustão em mufla a 550°C; sólidos voláteis totais (SVT), por diferença entre os sólidos totais e fixos; sólidos em suspensão (SS), obtidos em filtros de acetato de celulose de 0,45 µm, e condutividade elétrica (CE), por meio de um condutivímetro. A análise química consistiu nas determinações do potencial hidrogeniônico (pH), por meio de um potenciômetro, e das concentrações de nitrogênio, método Kjeldahl, fósforo, por colorimetria, e de potássio e sódio por fotometria de chama (APHA, 1995).

3.3 Fertirrigação do cafeeiro

3.3.1 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro

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 (CFSEMG, 1999), considerando a disponibilidade de 135 mg dm⁻³ de potássio trocável no solo, antes de iniciar a aplicação de ARC.

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. Essa situação ocorria quando a concentração de potássio na ARC apresentava-se muito alta, principalmente nos primeiros 1000 L de filtração da ARC. Isto acontecia porque, além da ARC possuir, originalmente, alta concentração de potássio, o material filtrante também contribuía para o enriquecimento dessas águas, uma vez que há significativa solubilização de potássio existente no próprio pergaminho, constituinte do filtro, o que tornou a ARC mais concentrada com esse nutriente.

O volume total de água “limpa” a ser aplicado no cafeeiro, para atender sua demanda hídrica foi calculada partindo-se da Equação 1:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_s \quad \text{Eq. (1)}$$

em que,

ET_c : evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

ET₀ : evapotranspiração de referência diária (mm dia⁻¹);

K_c: coeficiente da cultura, considerando 0,8 para a cultura do cafeeiro;

K_S : coeficiente de estresse hídrico.

O coeficiente de estresse hídrico foi considerado a unidade por adotar-se um manejo com irrigação de alta frequência.

O volume de água a ser aplicado no cafeeiro (V), em litros, foi calculado utilizando-se a Equação 2:

$$V = (ET_c - P_{\text{efetiva}}) \times K_L \times A_{\text{planta}} \quad \text{Eq. (2)}$$

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 3:

$$K_L = PS + 10\% \quad \text{Eq. (3)}$$

A porcentagem de área sombreada (PS) foi calculada conforme apresentado na Equação 4:

$$(PS) = \frac{\text{diâmetro da copa} \times \text{distância entre plantas}}{\text{distância entre linhas} \times \text{distância entre plantas}} \quad \text{Eq. (4)}$$

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 (segunda quinzena de maio até primeira quinzena de julho), correspondente ao de geração da ARC. A aplicação da ARC foi feita respeitando-se a velocidade de infiltração básica do solo.

Nos Quadros 5 e 6, estão apresentados, respectivamente, os valores dos atributos físicos e químicos da ARC, avaliados antes e após a filtragem da ARC, ao longo de todas as aplicações realizadas durante o experimento.

Quadro 5 – Caracterização física da ARC bruta e ARC filtrada utilizada nas aplicações durante o experimento

Aplicações	ARC	CE dS m ⁻¹	ST	SF	SV mg L ⁻¹	SS
Aplicação 1	ARC bruta	1,77	17.352,0	4.400,0	12.952,0	5.370,0
	ARC filtrada	3,53	8.626,0	1.300,0	7.326,0	3.440,0
Aplicação 2	ARC bruta	1,203	6.974,0	1.090,0	5.884,0	-
	ARC filtrada	1,712	6.426,0	1.408,0	5.018,0	-
Aplicação 3	ARC bruta	1,535	7.420,0	1.750,0	5.670,0	2.227,0
	ARC filtrada	1,962	6.578,0	1.872,0	4706,0	960,0
Aplicação 4	ARC bruta	1,157	14.840,0	3.280,0	11.560,0	3.960,0
	ARC filtrada	2,800	7.460,0	760,0	6.700,0	640,0
Aplicação 5	ARC bruta	0,941	4.752,0	710,0	4.042,0	2.260,0
	ARC filtrada	1,859	8.288,0	1.590,0	6.698,0	66,7
Aplicação 6	ARC bruta	0,831	2.406,0	630,0	1.776,0	880,0
	ARC filtrada	1,457	4.156,0	1.168,0	2.988,0	343,3
Aplicação 7	ARC bruta	0,782	1.768,0	244,0	1.524,0	486,7
	ARC filtrada	4,56	26.758,0	6.362,0	20.396,0	533,3
Aplicação 8	ARC bruta	1,383	4016,0	1018,0	2.998,0	100,0
	ARC filtrada	1,512	3.708,0	800,0	2.908,0	23,3
Aplicação 9	ARC bruta	0,644	3.524,0	278,0	3.246,0	3400,0
	ARC filtrada	4,160	17.300,0	5.368,0	11.932,0	933,3
Aplicação 10	ARC bruta	0,644	3.524,0	278,0	3.246,0	3400,0
	ARC filtrada	1,018	31.516,0	29.214,0	2.302,0	236,7
Aplicação 11	ARC bruta	0,769	-	-	-	-
	ARC filtrada	1,333	-	-	-	-
Aplicação 12	ARC bruta	1,722	3.234,0	32,0	3.202,0	1900,0
	ARC filtrada	2,360	3.918,0	486,0	3.432,0	746,7

Quadro 6 - Caracterização química da ARC bruta e ARC filtrada nas aplicações durante o experimento

Aplicações	ARC	pH	K-total	Na-total	N-total	P-total	Matéria orgânica*
			-----mg L ⁻¹ -----				dag L ⁻¹
Aplicação 1	ARC bruta	4,38	619,7	7,8	24,4	33,3	1,29
	ARC filtrada	4,24	1750,0	8,0	38,4	77,4	0,73
Aplicação 2	ARC bruta	4,06	443,2	7,6	34,5	-	0,58
	ARC filtrada	4,15	667,0	5,6	36,9	-	0,50
Aplicação 3	ARC bruta	4,77	500,0	11,2	60,5	38,9	0,56
	ARC filtrada	4,52	625,0	8,6	47,0	27,9	0,47
Aplicação 4	ARC bruta	4,15	456,3	18,03	20,7	15,5	1,15
	ARC filtrada	4,47	1401,9	13,01	26,1	50,0	0,67
Aplicação 5	ARC bruta	4,28	300,0	2,7	13,9	15,9	0,40
	ARC filtrada	4,17	700,0	2,5	15,5	26,7	0,66
Aplicação 6	ARC bruta	4,47	200,0	40,0	5,4	10,2	0,17
	ARC filtrada	4,30	700,0	32,5	9,0	18,9	0,29
Aplicação 7	ARC bruta	4,56	206,3	6,8	4,5	8,0	0,15
	ARC filtrada	5,00	2500,0	5,2	28,3	98,7	2,03
Aplicação 8	ARC bruta	4,95	360,0	15,0	11,1	14,4	0,29
	ARC filtrada	4,46	383,0	5,5	8,6	92,5	0,29
Aplicação 9	ARC bruta	4,66	129,0	54,0	12,4	-	0,32
	ARC filtrada	4,52	2002,5	22,5	26,7	-	1,19
Aplicação 10	ARC bruta	4,66	129,0	54,0	12,4	-	0,32
	ARC filtrada	4,61	259,0	30,0	9,6	-	0,23
Aplicação 11	ARC bruta	4,24	222,5	4,6	8,1	10,2	-
	ARC filtrada	4,44	350,0	3,9	6,5	16,5	-
Aplicação 12	ARC bruta	4,31	675,0	4,1	19,5	19,9	0,32
	ARC filtrada	4,42	922,5	3,6	17,2	49,0	0,34

* Estimativa com base nos valores de sólidos voláteis (SV).

A grande variação na relação ARC bruta/ARC filtrada para a condutividade elétrica (Quadro 5) e concentração de K-total (Quadro 6), se deve ao aumento dos íons solubilizados (principalmente potássio) do próprio material filtrante, contribuindo para o aumento da CE, principalmente nas aplicações 1, 4, 7 e 9, onde houve troca do material.

Para avaliar o estado nutricional do cafeeiro nos diferentes tratamentos, folhas foram coletadas nos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro, sendo este último mês, o mais importante para avaliar o estado nutricional do cafeeiro, uma vez que é a fase que antecede o enchimento dos frutos.

A amostragem foliar consistiu-se nas coletas do 3º e 4º pares de folhas a partir do ápice de ramos produtivos, situados na porção mediana das plantas. Para cada parcela (constituídas de 6 plantas), coletava-se, em média, 10 folhas e, após a coleta, as mesmas foram secas em estufa, por 72 horas, e, imediatamente moídas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas, do Departamento de Fitotecnia da UFV. As análises de folhas consistiram na quantificação das concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês, seguindo-se as recomendações da EMBRAPA (1999).

3.3.1.1 Distribuição das parcelas e análise estatística

O experimento foi realizado no delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo constituído por seis tratamentos, referentes às doses estudadas (L0, L1, L2, L3, L4 e L5) e três repetições, com parcelas experimentais contendo 6 plantas de cafeeiro.

Os dados de concentração de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro, obtidos a cada mês de cultivo, foram submetidos à análise de variância, com a aplicação do teste F a 10% de probabilidade. Quando houve significância da variável, foi realizado o teste de Duncan para comparação entre as médias, a 10% de probabilidade.

Equações de regressão polinomial foram ajustadas para concentração dos macro e micronutrientes como função do tempo, sendo os coeficientes avaliados pelo teste t, com 10% de probabilidade.

A primeira coleta foliar foi feita em 15 de maio; as demais coletas foram realizadas aos 30, 60, 90 e 210 dias após a primeira coleta.

Com base nas equações de regressão ajustadas para cada tipo de dose, procedeu-se à estimação da resposta de cada elemento químico, avaliado nos dias 1, 30, 60, 90 e 210 dias após a primeira aplicação de ARC.

3.3.2 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro fixando-se a dose L1 de aplicação de ARC sem e com a aplicação de irrigação complementar

Neste ensaio, fixou-se a dose de ARC (L1), ou seja, correspondente à aproximadamente duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro, aplicando-se dois tratamentos: no primeiro, aplicou-se a dose L1 de ARC nos meses de maio, junho e julho, tal como realizado para o experimento anterior e, no segundo tratamento, realizou-se o mesmo procedimento (L1*), porém prosseguindo-se com a irrigação até o dia 1 de dezembro (início do período chuvoso na região).

De maneira idêntica ao que foi estabelecido no experimento anterior, caso a dose L1 fosse inferior à demanda evapotranspirométrica da cultura do cafeeiro no período entre aplicações, em ambos os tratamentos, ela era completada com água até se chegar à dose de água demandada pela cultura.

A amostragem de folhas foi feita da mesma forma que no experimento anterior, analisando-se os mesmos elementos químicos e seguindo-se metodologia apresentada pela EMBRAPA (1999).

3.3.2.1 Distribuição das parcelas e análise estatística dos dados

Este experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (aplicação de ARC seguida ou não de período de irrigação das plantas de agosto à dezembro) com seis repetições e, da mesma forma que o experimento anterior, cada parcela experimental era constituída por 6 plantas.

Os dados de concentração de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro, obtidos a cada mês de cultivo, foram submetidos à análise de variância com a aplicação do teste F, a 10% de probabilidade. Posteriormente, equações de regressão polinomial foram ajustadas para concentração de macro e micronutrientes como função do tempo, sendo os coeficientes avaliados pelo teste t, com 10% de probabilidade.

3.3.3 Avaliação das características do solo antes e após a aplicação da ARC.

Após o término da aplicação da ARC, em todas as parcelas experimentais, de ambos os experimentos, 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 a determinação do pH em água, das concentrações de P disponíveis, das concentrações trocáveis de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, além da determinação da soma de bases trocáveis, seguindo-se metodologia citada anteriormente.

3.3.3.1 Análise estatística dos dados

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.

3.4 Manejo da adubação do solo e da planta

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.

A adubação do solo consistiu na aplicação de calcário (PRNT de 83%), sob a copa, no dia 23/10/04. A adubação convencional nitrogenada consistiu na aplicação de uréia, dividida em três doses semanais, sendo a primeira dose no dia 23/10/04; a segunda, no dia 30/10/04 e a terceira no dia 07/11/04. A adubação convencional de fósforo, consistiu na aplicação de superfosfato simples aplicado de uma só vez, em cova única, de 0,15 m de profundidade, na projeção da copa das plantas, no dia 23/10/04. Considerando-se uma produtividade esperada de 50 a 60 sacas ha^{-1} , foi estabelecida, seguindo-se o critério da CFSEMG (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, realizada no dia 16/11/04, consistiu na pulverização com ácido bórico, sulfato de zinco e oxicloreto de cobre, numa concentração de 3 g L^{-1} de cada um. Para fixar os adubos foliares pulverizados, aplicou-se também espalhante adesivo, numa concentração de 0,5 g L^{-1} , de acordo com a recomendação da CFSEMG (1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fertirrigação do cafeeiro

4.1.1 Avaliação das características do solo em função da aplicação da ARC.

O monitoramento das características químicas de um solo receptor de águas residuárias é fundamental para que se possa prevenir os riscos de sua salinização ou de contaminação de águas subterrâneas. Por essa razão, as alterações químicas e físico-químicas ocorridas no solo serão discutidas nos tópicos subseqüentes e, para isso, torna-se importante comparar os resultados obtidos com padrões referenciais para concentração de macro e micronutrientes no solo, para o cultivo do cafeeiro, os quais estão apresentados no Quadro 1.

4.1.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

De acordo com o que está apresentado na Figura 5, 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 (Quadro 6). 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.

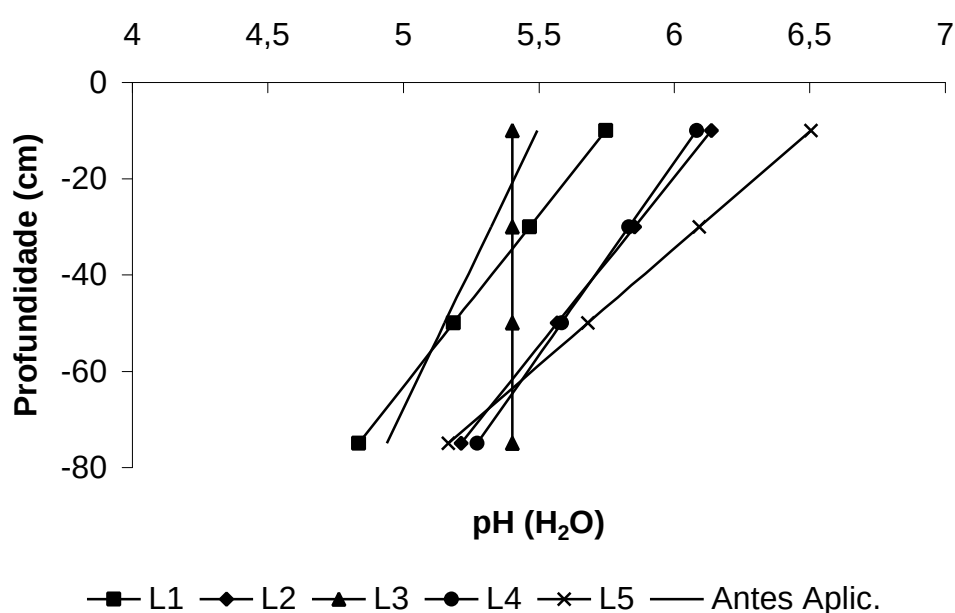


Figura 5 – Variação do pH no perfil do solo em função da profundidade antes e após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

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 a produção de CO_2 e ácidos orgânicos (Bouwer & Chaney, citados por FONSECA (2001). QUEIROZ (2000), ao aplicar águas residuárias da suinocultura por escoamento superficial em rampas cultivadas com gramíneas

forrageiras, observou, ao final do experimento, aumento do pH nas parcelas de solo que receberam “água limpa” e decréscimo do pH nas parcelas que receberam água residuária da suinocultura. Porém, segundo YAN et al. (1996), a adição de resíduos orgânicos pode proporcionar aumento do pH do solo, devido, principalmente, a dois diferentes processos: descarboxilação de ânions orgânicos, consumindo H^+ e liberando CO_2 ($R-CO-COO^- + H^+ \rightarrow R-CHO + CO_2$) 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.

Tem sido observada em sistemas agrícolas de pastagem (QUIN e WOODS, citados por FONSECA, 2001) e floresta (CROMER et al., citados por FONSECA, 2001) incrementos no valor de pH do solo mediante a fertirrigação com águas residuárias. Este aumento de pH tem sido atribuído ao pH alto do afluente, adição de cátions trocáveis e de ânions oriundos do efluente; à alteração na ciclagem de nutrientes mediante a adição de efluente, levando à redução do NO_3^- para NH_4^+ e à desnitrificação do NO_3^- , cujos processos produzem íons OH^- e podem consumir prótons (SCHIPPER et al., citados por FONSECA, 2001).

Neste trabalho, acredita-se que, 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^+ . Como o KOH é uma base forte, dissocia-se facilmente, formando 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.

Outra alternativa a ser considerada para explicar o aumento do pH do solo é a de que, como a L5 proporcionou, na maioria das vezes, ambiente de reduzida oxigenação, decorrente da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbios, suspeita-se que o aumento do pH esteja associado à ocorrência de desnitrificação no solo, processo sabidamente realizado na ausência de oxigênio, e com o qual são produzidos íons OH^- . Ou seja, em condições anaeróbias, o pH do solo tendeu a aumentar tendo em vista que nas reações de redução há consumo de íons H^+ .

GARCIA (2003) também observou aumento do pH em solos do tipo Aluvial, Argissolo e Latossolo com a aplicação de cinco concentrações crescentes de ARC, tendo seu valor passado de 4,89 (0% ARC) para 6,07

(100% ARC). O autor atribuiu esse aumento à conversão de íons H^+ presentes no solo em água e dióxido de carbono (CO_2), o que proporcionou elevação nos valores do pH nesses solos, provavelmente em decorrência das citadas reações de redução.

De acordo com KUPPER (1981), o cafeeiro se desenvolve bem em solo com pH entre 5,0 e 6,5, e mesmo em valores de pH mais baixos, tal como 4,2, o crescimento não é afetado pela concentração de íons hidrogênio, em si, mas sim pela presença de determinados íons, como o alumínio e o manganês, em concentração excessivamente alta em solos com pH abaixo de 5.

4.1.1.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica expressa a atividade de íons presentes em solução. Como a condutividade elétrica em uma 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 condutividade elétrica e 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 condutividade elétrica em solução (Lo MONACO et al., 2004b).

De acordo com os dados apresentados no Quadro 5, a condutividade elétrica da ARC durante todo o período de sua aplicação no solo, apresentou valores similares aos observados por PINTO (2001), apresentando altos valores, isto é, chegando a superar $2,25 \text{ dS m}^{-1}$.

Na Figura 6, 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 condutividade elétrica no solo neste 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 de saturação do solo e, nesse caso, a proporção é geralmente 1:1, o que proporciona valores maiores que os obtidos nesta pesquisa.

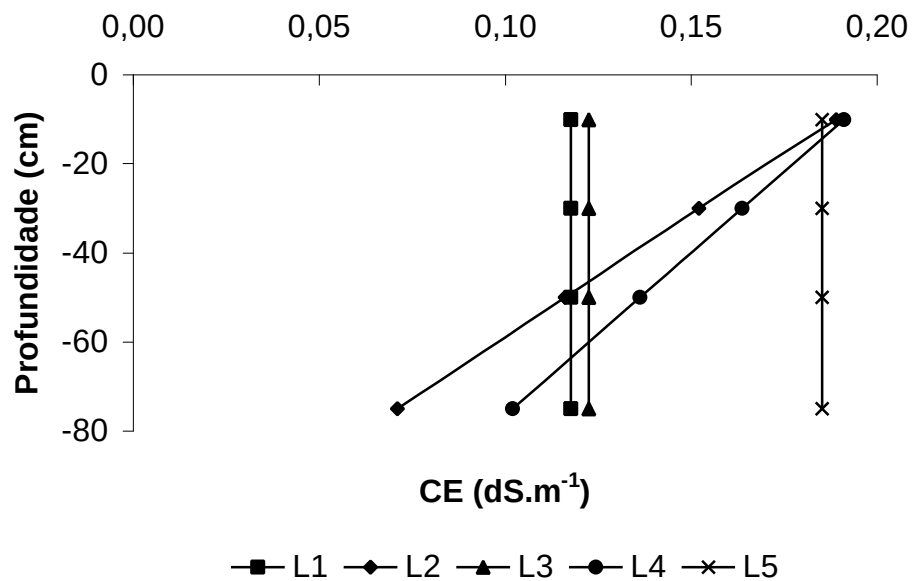


Figura 6 – Variação da Condutividade Elétrica no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Conforme se pode verificar na Figura 6, a condutividade elétrica 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 da condutividade elétrica 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 6, que a condutividade elétrica 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 e 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.

GARCIA (2003), ao aplicar concentrações crescentes de ARC em três diferentes tipos de solo (Aluvial, Argissolo e Latossolo) também observou que a condutividade elétrica no Argissolo e Latossolo aumentou linearmente com as concentrações, enquanto no Aluvial, a relação foi quadrática. No entanto, FERREIRA (2001) adverte que a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, em si mesma, não é suficiente para expressar o estado de salinidade

do solo, num dado instante, pois, ela mede unicamente a atividade dos íons em solução, a qual pode ser afetada pela presença de certos ânions, formando pares iônicos e íons complexos.

PINTO (2001) alertou que o uso da ARC na irrigação de culturas deve ser cauteloso, sendo recomendado realizá-lo somente em solos de boa drenagem, fazendo uso de práticas especiais de controle da salinidade e empregando culturas, cuja tolerância aos sais seja de razoável a alta.

4.1.1.3 Fósforo

Conforme apresentado na Figura 7, 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 3). 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.

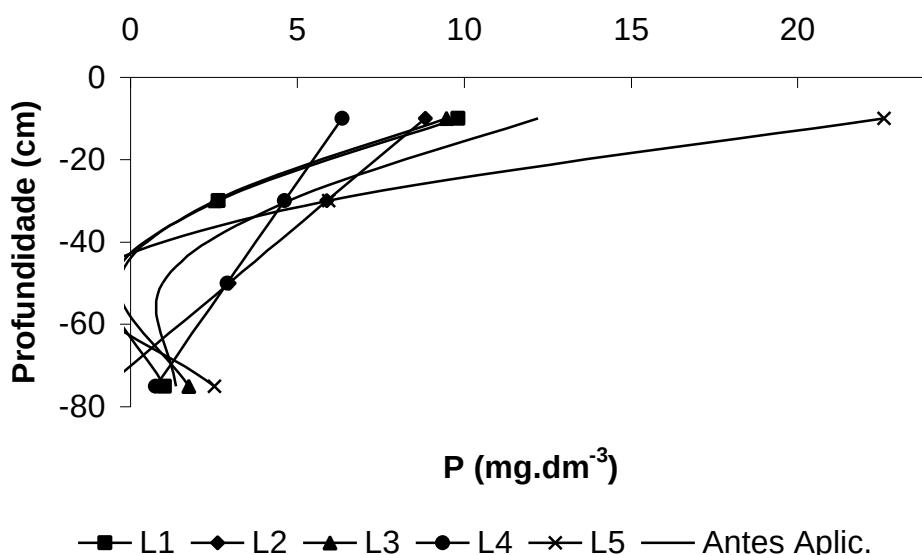


Figura 7 – Variação do fósforo perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

A disponibilidade de fósforo também é dependente do pH do solo. Sabe-se que o valor de pH que proporciona maior disponibilidade de fósforo no solo está na faixa de 6,0 a 6,5. Conforme pode-se observar 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. Suspeita-se que o efeito do pH tenha predominado 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), contribuindo com o aumento muito maior de hidroxilas, favorecendo a disponibilidade do fósforo, superando o efeito de indisponibilização do elemento, que poderia ser provocado pelo material orgânico adicionado ao meio.

Outra suspeita relacionada com a maior disponibilidade de fósforo pela dose L5, pode estar associada ao extrator Mehlich. Provavelmente, a acidez do extrator pode ter solubilizado as ligações P-Ca, contando como fósforo disponível.

LOURES (2002), ao aplicar esgoto doméstico, por escoamento superficial, em rampas cultivadas com capim coastcross, observou decréscimo na concentração do fósforo disponível nas taxas de 0,24 e 0,48 m³.h⁻¹.m⁻¹. A menor taxa, com a qual houve menor aporte de matéria orgânica ao solo proporcionou grande competição do P-disponível entre plantas, solo (adsorção) e microrganismos, razão porquê foi detectado seu decréscimo no solo. No caso da maior taxa, o autor suspeitou ser o grande conteúdo de material orgânico aportado ao solo, o responsável pela quelação/complexação do P-disponível. Analisando os resultados obtidos por LOURES (2002), acredita-se que a grande quantidade de matéria orgânica aportada, decorrente da maior taxa aplicada, tenha proporcionado maior indisponibilização do fósforo no solo do que as quantidades de bases incorporadas com a aplicação do esgoto doméstico, que, sabidamente, contribuiriam para o aumento do pH do solo e, portanto, disponibilizando maior quantidade de fósforo no meio. Como o potássio está em grande quantidade na ARC e, além disso, não está associado à matéria orgânica, conclui-se que neste trabalho, o efeito dos íons no aumento

do pH, e portanto na disponibilidade de fósforo, foi muito maior em relação ao fato de maiores taxas de ARC (grande quantidade de matéria orgânica), favorecerem a quelação/complexação do fósforo.

PINTO (2001), ao aplicar águas residuárias da lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro por escoamento superficial em rampas cultivadas com gramíneas forrageiras, observou que a concentração de fósforo disponível no solo, após o período de condução do experimento, foi exclusivamente influenciada ($P < 0,05$) pela qualidade da água aplicada nas parcelas experimentais, registrando-se maior concentração de fósforo disponível no solo, ao final do período experimental, nas parcelas experimentais que receberam água da rede de abastecimento (AA) complementada por adubação convencional e menor concentração de fósforo nas parcelas que receberam apenas ARC. Neste caso, independente da taxa ou dose aplicada, os resultados de PINTO (2001) apresentam semelhança aos obtidos neste trabalho, pois apontam ter sido a matéria orgânica adicionada com a ARC, a responsável pela quelação/complexação do fósforo, principalmente nas doses inferiores a L4. De forma diferente, o aumento do fósforo disponível nas parcelas que receberam AA complementada por adubação convencional foi atribuído à pronta disponibilidade do fósforo possibilitada pela adubação convencional.

Na Figura 8 estão apresentadas as curvas de concentração de fósforo trocável nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, como função da dose de potássio aplicada via ARC.

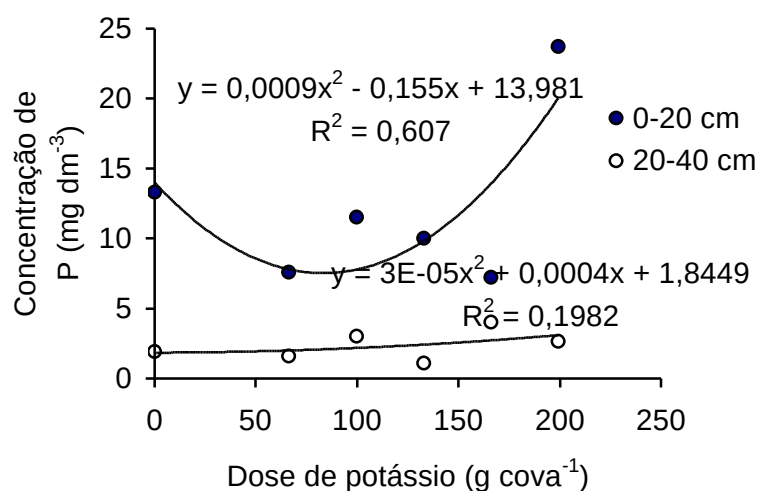


Figura 8 – Variação da concentração de fósforo em função das diferentes doses potássicas via ARC, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm no perfil do solo.

Observa-se que na camada de 0 a 20 cm, a aplicação da dose L5, pelas razões já explicadas, proporcionou maiores concentrações de fósforo disponível.

4.1.1.4 Potássio

A concentração de potássio trocável aumentou consideravelmente nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, proporcionalmente às doses de ARC aplicadas (Figura 9), ficando muito acima dos valores da concentração média de potássio trocável citada por MARTINEZ et al. (2004), para a camada de 0 a 20 cm, avaliada em cafezais da região de Viçosa por dois anos consecutivos, que foi de $104,22 \text{ mg dm}^{-3}$. De acordo com a CFSEMG (1999), solos com concentração de potássio trocável superior a 120 mg dm^{-3} são considerados solos de muito boa fertilidade. Assim, todos os tratamentos, ficaram enquadrados como solos de muito boa fertilidade.

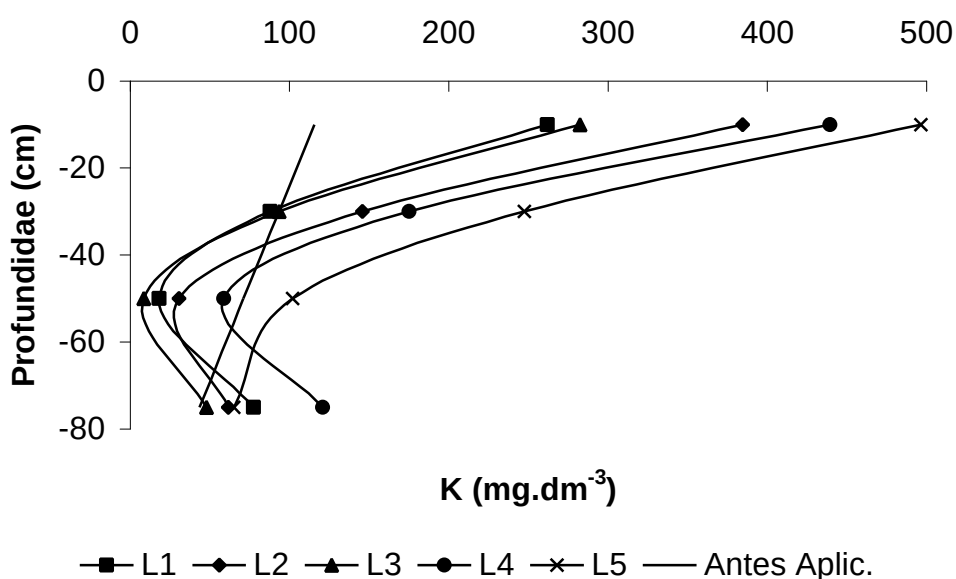


Figura 9 – Variação da concentração do potássio no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Observando, ainda, a Figura 9, nota-se que houve lixiviação do potássio para as camadas mais profundas do solo, ocasionada pela aplicação de todas as doses de ARC. De acordo com MARTINEZ et al. (2004), a concentração de potássio trocável em solo cultivado com cafeeiro, na profundidade de 20 a 50 cm, na região de Viçosa, com produtividades médias superiores a 30 sacas de café beneficiado por hectare (média de dois anos consecutivos), foi de $68,65 \text{ mg dm}^{-3}$, valor inferior ao obtido pelas doses L4 e L5 nas mesmas profundidades. 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} , como pode ser observado no Quadro 3, e que esses valores foram muito superados com a aplicação da ARC, ficou evidente a necessidade de monitoramento da concentração de potássio trocável no solo quando da disposição dessas águas residuárias, como fertirrigação, no solo, 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. Quando não houver adequada lixiviação, como ocorre em solo de baixa permeabilidade e capacidade de drenagem, pode haver problemas de salinização do solo. Sais de sódio e de potássio são considerados os maiores contribuintes para a salinidade 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.

PINTO (2001), ao avaliar os efeitos da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro (ARC) nas características químicas do solo de rampas de tratamento cultivadas com diferentes espécies forrageiras, observou que as maiores concentrações de potássio apareceram

na menor profundidade, ou seja, na camada de 0 a 0,10 m do solo. O autor argumentou que, apesar do potássio ser considerado um cátion relativamente móvel no solo, o pequeno período de tempo de aplicação de ARC no solo, coincidente com o período de poucas chuvas, mostrou-se insuficiente para proporcionar maior lixiviação do cátion no perfil do solo, o que foi considerado um aspecto positivo, do ponto de vista de controle da contaminação de águas subterrâneas.

Na Figura 10 estão apresentadas as curvas de concentração de potássio trocável nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, como função da dose de potássio aplicada via ARC. Observando a Figura, comprova-se, de acordo com o que já foi discutido, que as maiores doses proporcionaram lixiviação do elemento.

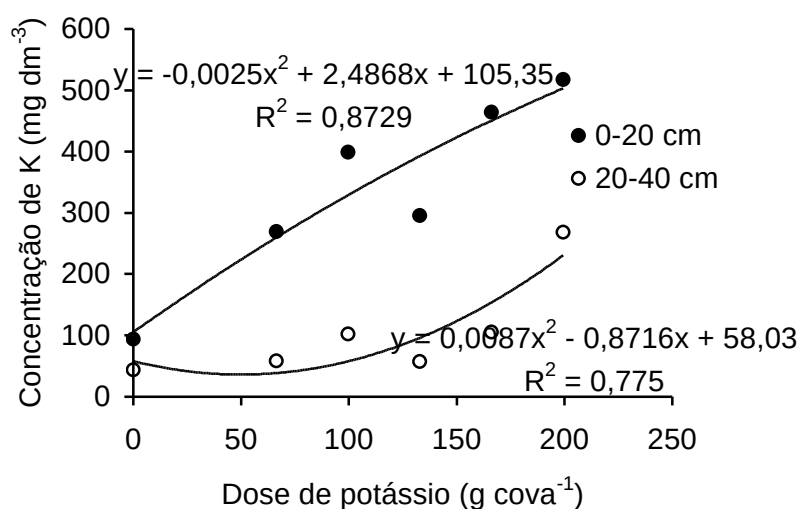


Figura 10 – Variação da concentração de potássio em função das diferentes doses potássicas via ARC, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm no perfil do solo.

4.1.1.5 Cálcio

O solo apresentou, após o período de aplicação da ARC, baixas concentrações de cálcio trocável no solo, notadamente em profundidades maiores que 40 cm (Figura 11).

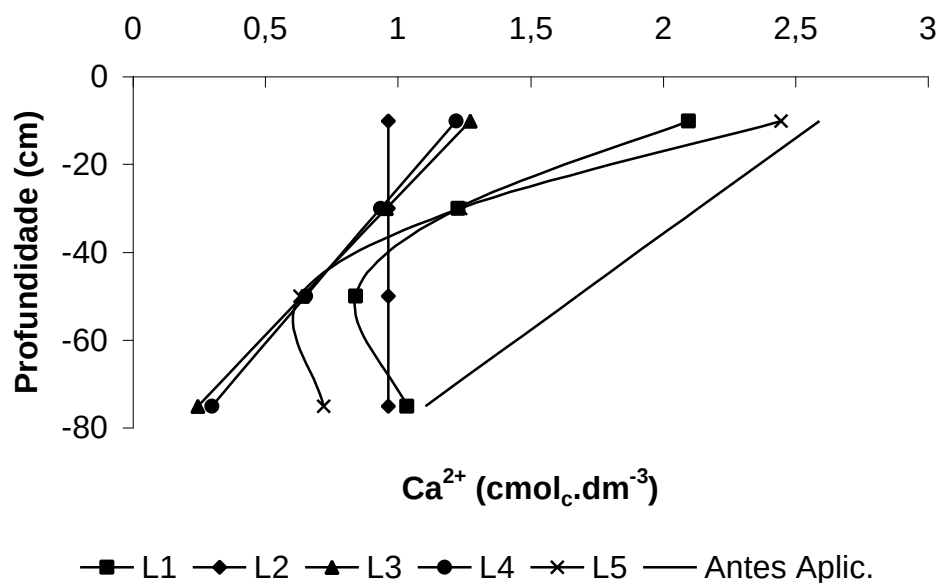


Figura 11 – Variação da concentração de cálcio no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

De acordo com os dados apresentados no Quadro 3, 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 o solo considerado de fertilidade média, para esse nutriente (CFSEMG, 1999). Estes valores estão superiores aos encontrados por MARTINEZ et al. (2004), que verificou 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.

A grande quantidade de potássio aplicada por meio da ARC proporcionou a substituição de íons de cálcio do complexo de troca do solo. 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. Teme-se, ainda, que a substituição do cálcio pelo potássio, ocasionada pela aplicação em excesso da ARC no solo, possa afetar a estrutura do mesmo, acarretando problemas de infiltração da água no solo, além de lixiviar o cálcio no perfil do

solo, como pode ser observado na Figura 12. Na camada de 20 a 40 cm, observa-se uma tendência do cálcio ser lixiviado no perfil do solo, pela maior dose aplicada.

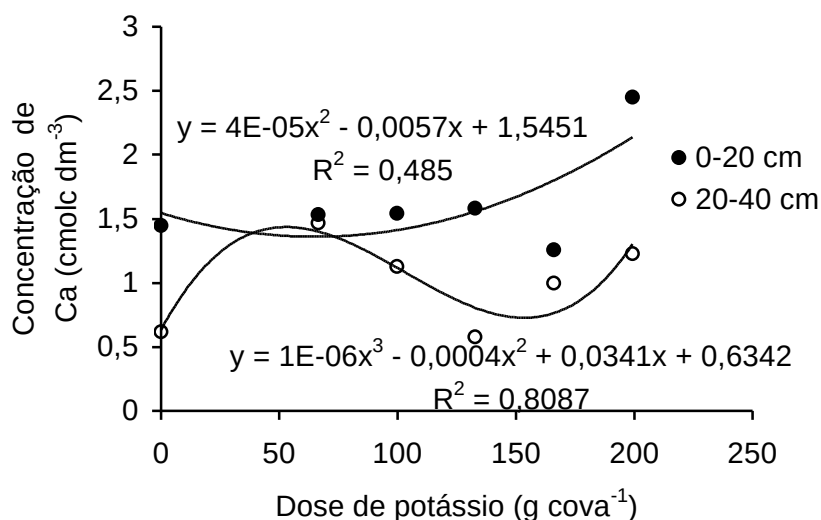


Figura 12 – Variação da concentração de cálcio em função das diferentes doses potássicas via ARC, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm no perfil do solo.

4.1.1.6 Magnésio

De acordo com o que está apresentado na Figura 13, as concentrações de Mg trocável diminuíram nas camadas de 0 a 20 cm em todos os tratamentos em que foi aplicada ARC ao solo, exceto na parcela que recebeu L5. A partir dos 20 cm de profundidade aproximadamente, a parcela que recebeu a L5 também proporcionou decréscimo da concentração de magnésio no solo.

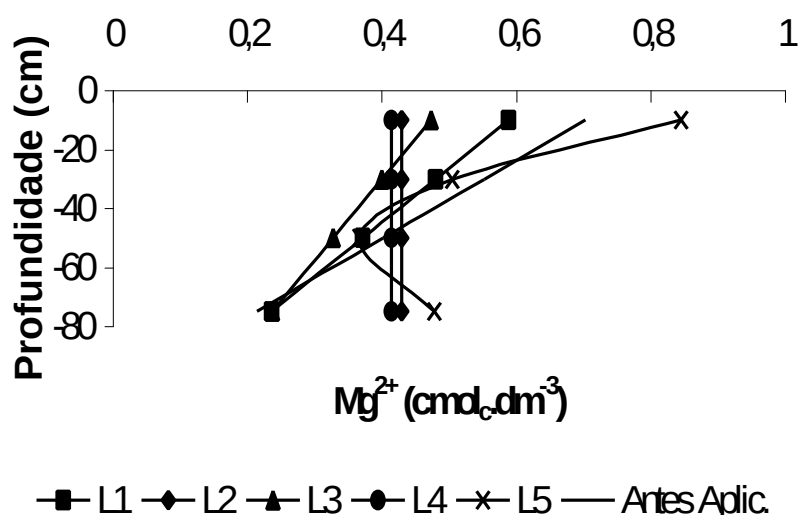


Figura 13 – Variação da concentração de magnésio no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

De acordo com o Quadro 3, 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 o Quadro 1.

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, conhecido 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 desse macronutriente na camada de 0 a 20 cm (Figura 14), 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.

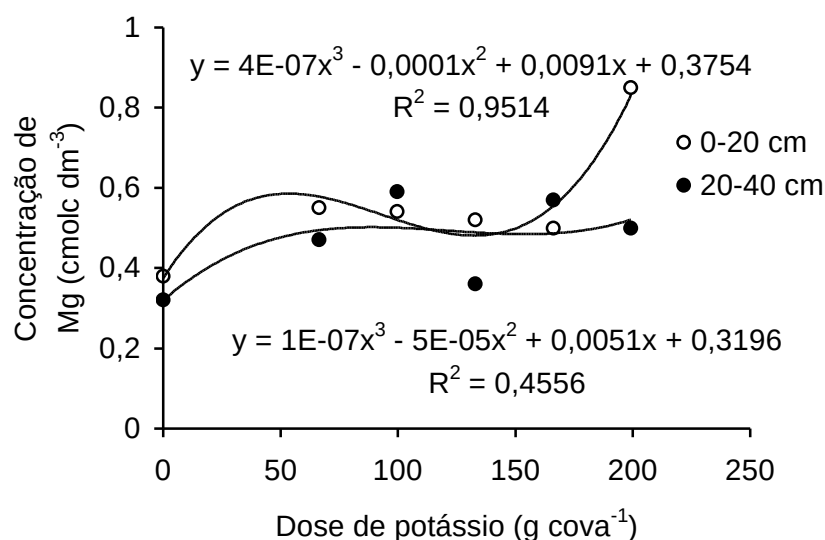


Figura 14 – Variação da concentração de magnésio em função das diferentes doses potássicas via ARC, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm no perfil do solo.

Segundo PRATT, citado por OLIVEIRA (1993), o acúmulo de potássio pelo uso de grandes quantidades de águas residuárias, aplicados por longos períodos de tempo, podem causar desbalanço de nutrientes no solo podendo provocar além de efeitos tóxicos, pela presença de alguns íons em excesso, a competição na 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, as concentrações trocáveis de potássio ficaram em torno de duas vezes menor que as de Ca e superaram as de Mg em cerca de 40%. Nesse caso, a relação foi de 2:0,7:1, totalmente inadequada para o cafeeiro.

4.1.1.7 Soma de bases

Verifica-se, na Figura 15, que o tratamento correspondente à dose L5 proporcionou o maior valor de soma de bases, nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. O principal fator para que isso tenha ocorrido foi o grande aporte de potássio proporcionado pela aplicação da ARC. Nas doses inferiores a L5, onde haviam quantidades inferiores de potássio, porém suficientes para deslocar outras bases do complexo de troca, houve decréscimo no valor da soma de bases. Nesse caso, acredita-se que as quantidades de potássio incorporadas contribuíram para a lixiviação de outras bases, principalmente cálcio e magnésio.

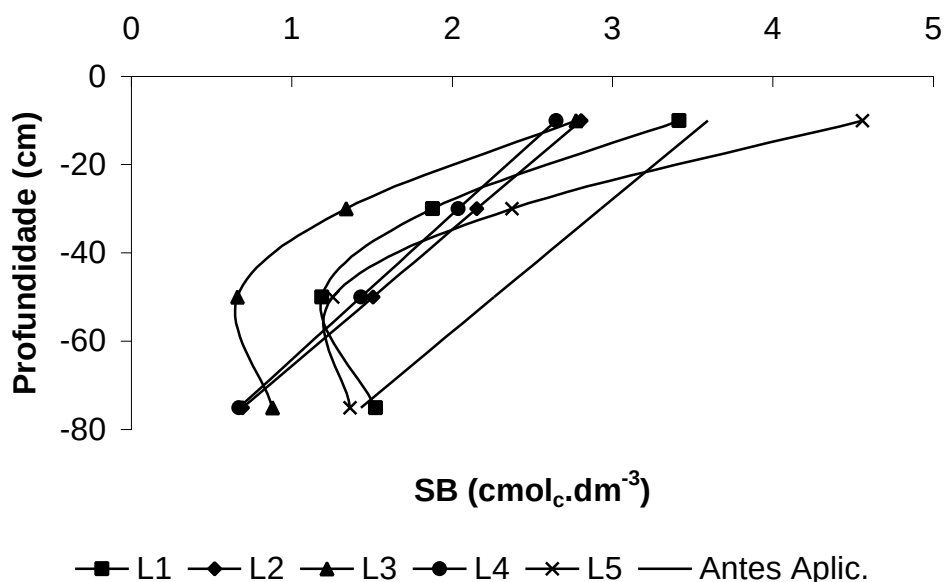


Figura 15 – Variação da soma de bases no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

4.1.1.8 Zinco e Cobre

Observando-se os dados apresentados na Figura 16, 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.

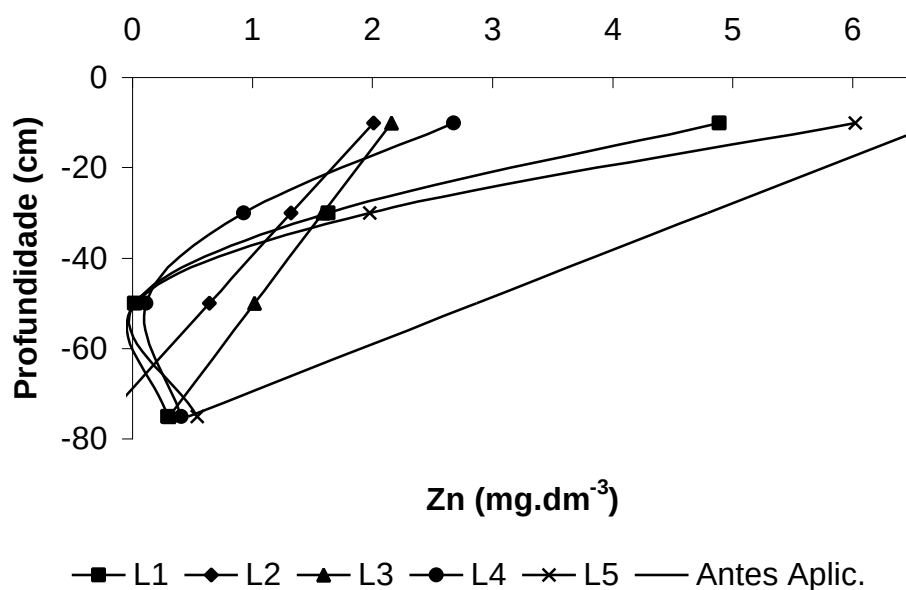


Figura 16 – Variação da concentração de zinco no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Analisando-se a Figura 17, 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.

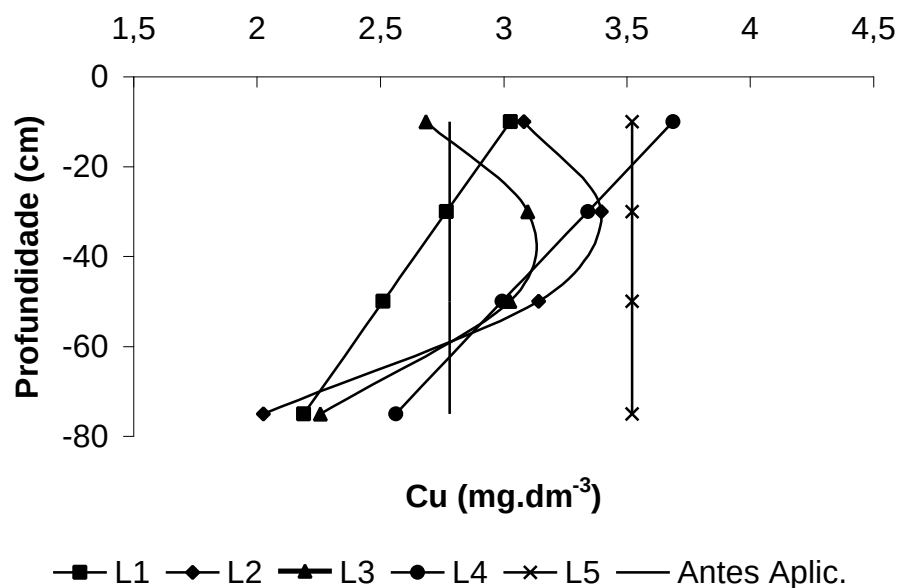


Figura 17 – Variação da concentração de cobre no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Ainda que o cobre seja reconhecidamente um micronutriente de baixa mobilidade no solo, o tratamento L5 proporcionou seu aumento 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.

4.1.1.9 Ferro e Manganês

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 18. 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 para haver diminuição na disponibilidade de oxigênio no meio, em razão do seu consumo na decomposição dessa matéria orgânica e ocupação dos poros com água. 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.

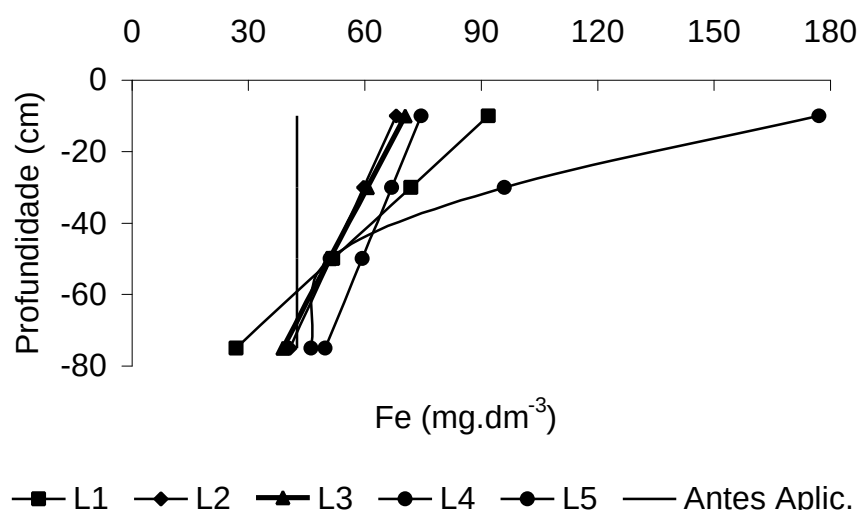


Figura 18 – Variação da concentração de ferro no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

Comportamento semelhante foi verificado para o manganês (Figura 19), 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 $30,60 \text{ mg dm}^{-3}$, 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.

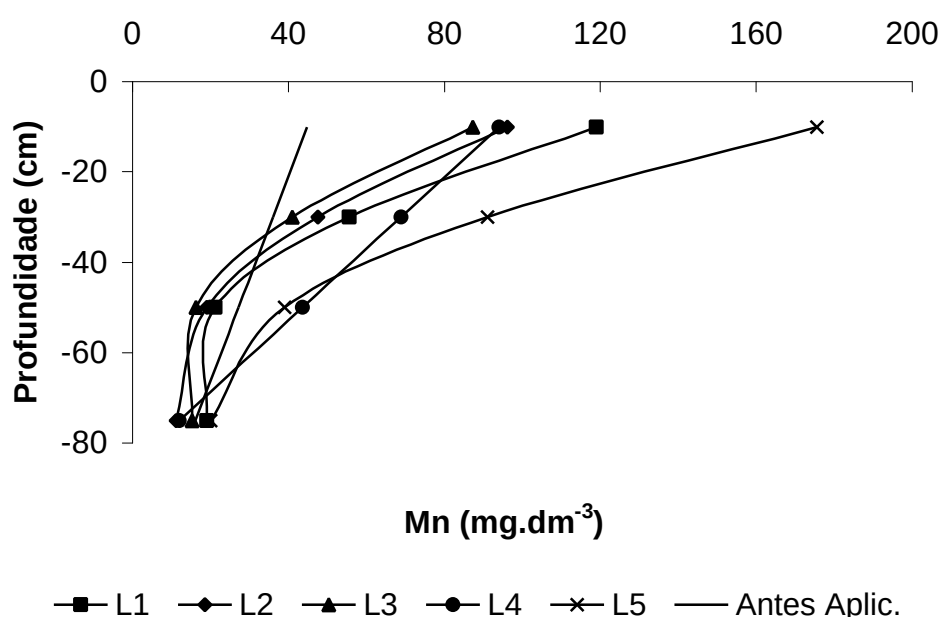


Figura 19 – Variação da concentração de manganês no perfil do solo em função da profundidade após a aplicação de diferentes doses de ARC: L1 (duas vezes as necessidades de potássio pelo cafeeiro), L2 (1,5 vezes a dose L1), L3 (2 vezes a dose L1), L4 (2,5 vezes a dose L1) e L5 (3 vezes a dose L1).

4.1.2 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro

No Quadro 7 estão apresentados os valores das concentrações médias de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro e épocas em que não houve efeito da dose de ARC aplicada.

Nos meses de julho e agosto (período coincidente com a fase de repouso do cafeeiro) ocorreu efeito dos tratamentos apenas na concentração

de nitrogênio, tendo sido, por esta razão, efetuado o teste de Duncan para comparação entre as médias, estando os resultados apresentados no Quadro 8. Pode-se verificar que o tratamento correspondente à dose L0 proporcionou maior concentração de nitrogênio na folha no mês de julho, porém não diferindo dos tratamentos que receberam as doses L1 e L5. No mês de agosto, o tratamento correspondente à dose L0 também proporcionou maior concentração de nitrogênio, porém, além de não ter diferido dos tratamentos que receberam as doses L1 e L5, não diferiu também do tratamento que recebeu L4.

No mês de dezembro, as concentrações de nitrogênio, potássio e zinco nas folhas do cafeeiro coletadas foram influenciadas pelos tratamentos aplicados, por esta razão, foi feito teste de Duncan para comparação entre as médias, estando os resultados de concentração na folha apresentados nos Quadros 8 (nitrogênio) e 9 (potássio e zinco), discriminados por tratamento aplicado. A concentração de nitrogênio na folha do cafeeiro, obtida com a aplicação da dose L1 de ARC foi maior que a obtida nos outros tratamentos. Acredita-se que o maior equilíbrio de disponibilidade dos nutrientes seja a principal razão para o ocorrido.

Quanto ao potássio, as maiores concentrações foram obtidas nos tratamentos que receberam as doses L2, L3 e L4 de ARC, tendo o tratamento correspondente à dose L3 proporcionado maior concentração. A redução concentração de potássio nas folhas do cafeeiro da L5 pode estar associada a problemas de desequilíbrio nutricional na planta e, ou, problemas associados ao decréscimo no potencial osmótico no solo. Acredita-se que o tratamento correspondente à dose L3 tenha proporcionado o máximo da absorção, ainda que possam ter havido interferências relacionadas com desequilíbrio nutricional e/ou decréscimo do potencial osmótico no solo.

No caso do zinco, acredita-se que a maior concentração obtida no tratamento correspondente à L2, tenha sido casual, estando na faixa de erro do método de sua quantificação.

Quadro 7 – Valores médios de concentração de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro, em amostras coletadas nos meses de maio (antes do início da aplicação da ARC), junho, julho, agosto e dezembro*

Mês	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- dag.kg ⁻¹ -----					----- mg.kg ⁻¹ -----			
Maio	2,14±0,36	0,12±0,02	1,74±0,30	0,69±0,13	0,17±0,05	105±118	7,4±1,27	8,6	397±182
junho	2,14±0,32	0,10±0,02	1,21±0,24	1,96±1,19	0,13±0,05	69±33	4,5±0,6	7,7±1,2	270±127
Julho		0,11±0,02	1,23±0,26	3,02±0,89	0,11±0,03	61±12	4,9±1,0	7,6±2,3	321±155
agosto		0,12±0,03	1,04±0,26	3,15±0,71	0,11±0,03	104±24	5,4±3,1	8,2±2,7	368±88
dezembro		0,25±0,04		0,69±0,10	0,18±0,03	62±53		26,7±4,5	240±92

* Valores de concentração não constantes neste Quadro, por terem sido significativamente influenciados pelos tratamentos, estão apresentados em quadros apresentados a seguir.

Quadro 8– Valores médios de concentração de nitrogênio em função da dose de ARC aplicada, em coleta efetuada nos meses de julho, agosto e dezembro

Doses	Mês de julho	Mês de agosto	Mês de dezembro
	Concentração (dag kg ⁻¹)		
L0	2,517 A	2,645 A	3,735 B
L1	2,296 A B	2,413 A B C	4,560 A
L2	2,260 B	2,170 C	4,034 A B
L3	1,983 C	2,225 B C	3,870 B
L4	1,939 C	2,474 A B C	3,807 B
L5	2,380 A B	2,547 A B	3,623 B
CV (%)	7,11	8,66	8,34

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P > 0,10).

Quadro 9 – Valores médios de concentração de potássio e zinco nas folhas do cafeeiro, coletadas no mês de dezembro

Mês: Dezembro	Variáveis resposta			
	K		Zinco	
Doses	-----dag.kg ⁻¹ -----		-----mg.kg ⁻¹ -----	
L0	1,9167	D	9,917	B
L1	2,4792	C	9,517	B
L2	2,9792	A B C	16,800	A
L3	3,3750	A	10,617	B
L4	3,0834	A B	9,700	B
L5	2,6042	B C	10,250	B
CV (%)	13,58		30,48	

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan (P > 0,10).

As concentrações foliares de nitrogênio consideradas normais pela CFSEMG (1999) estão na faixa de 2,9 a 3,2 dag, kg⁻¹. Nota-se que as concentrações de nitrogênio na folha, para o mês de dezembro, estão em quantidades consideradas excessivas para todas as doses aplicadas (Quadro 8). No caso do potássio (Quadro 9), somente as parcelas que receberam as doses L0 e L1 (ainda que os níveis tenham sido levemente superados, conforme CFSEMG, 1999) proporcionaram níveis adequados na folha (1,8 a 2,2 dag, kg⁻¹). As parcelas que receberam as doses L2, L3, L4 e L5 estão, entretanto, em concentrações excessivas.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 7, as concentrações de Ca nas folhas estavam abaixo das consideradas adequadas para o cafeeiro (1,00 – 1,30 dag. kg⁻¹), uma vez que ainda não havia disponibilidade de água para absorção de cálcio. No entanto, nos meses de junho, julho e agosto, esses valores passaram a ser superiores aos considerados adequados, pois a disponibilidade da água ocasionada pela aplicação da ARC permitiu maior eficiência de sua absorção.

No mês de dezembro também não houve diferença significativa entre tratamentos quanto à concentração de cálcio e magnésio na folha, porém, em todos os tratamentos, esses valores estiveram abaixo do considerado adequado. Acredita-se que o excesso de K⁺ no solo pode ter concorrido, por competição, para menor absorção de outros cátions. Neste caso, mesmo tendo sido realizada a calagem no final do mês de outubro, o tempo decorrido não foi

suficiente para a recuperação na concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} na planta. De acordo com MALAVOLTA (1986), excesso de potássio pode induzir carência de magnésio e, em menor grau, de cálcio, causando desfolha na planta. Segundo MATIELLO (1991), 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 e, como citado anteriormente, a relação Ca:Mg:K obtidos neste trabalho foi de 2:0,7:1.

A parcela que recebeu a dose L5 não mostrou resultados discrepantes em relação às doses L2, L3 e L4, quanto à indução de deficiência de Ca e Mg pelas doses crescentes de potássio. Entretanto, na prática, a dose L5 (aproximadamente 6,0 vezes a dose potássica necessária) mostrou-se inadequada para ser disposta no cafeeiro Arábica, pois no lote que continha a repetição 1, quatro das seis plantas, ficaram totalmente secas. Além do lote da repetição 1, três das seis plantas do lote da repetição 3 também sofreram o mesmo efeito, conforme já pode ser visto na Figura 20.



Figura 20 – Efeito da aplicação da dose L5 no cafeeiro

O desfolhamento nas parcelas que receberam a dose L5 pode ser atribuído à grande quantidade de íons, (principalmente o potássio) presentes

na água residuária da lavagem e depolpa dos frutos do cafeeiro. A presença desses íons proporcionou a diminuição do potencial osmótico no solo e conseqüente comprometimento da absorção de água pelo cafeeiro, ou seja, a planta começou a apresentar um dispêndio maior de energia para absorver água e, conseqüentemente, os nutrientes. De acordo com FERREIRA (2001), com o tempo podem aparecer sintomas como a paralisação do crescimento, necrose nas folhas e lesão nos tecidos.

4.1.2.1. Dinâmica das concentrações foliares de nutrientes

Analisando-se as curvas apresentadas na Figura 21, referentes à dinâmica da concentração foliar do nitrogênio nas plantas do cafeeiro, não se observaram grandes influências dos tratamentos de aplicação da ARC na flutuação estacional da concentração desse nutriente na folha do cafeeiro.

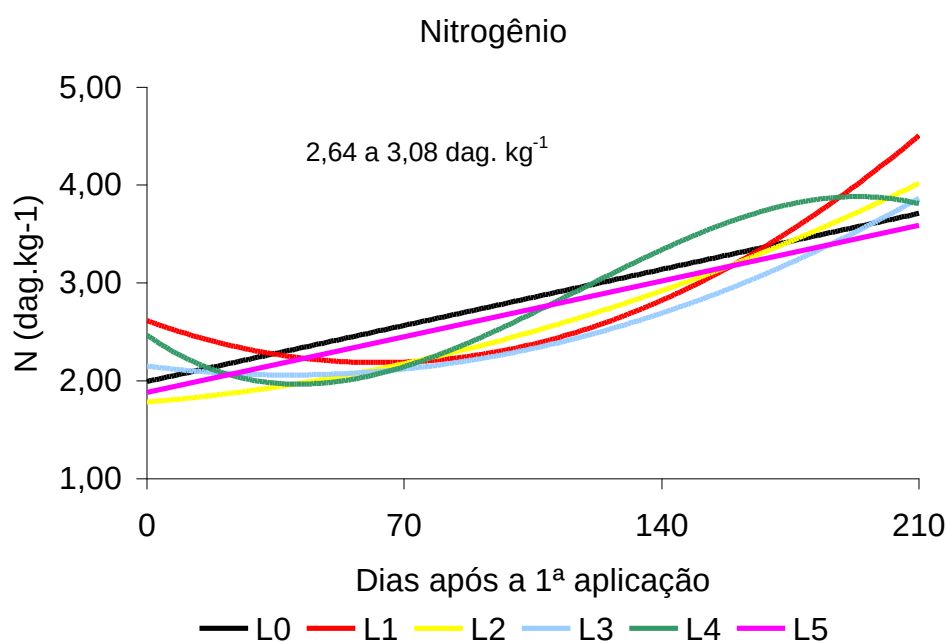


Figura 21 – Dinâmica da concentração foliar do nitrogênio a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

Como já discutido anteriormente, ao final dos 210 dias após o início das aplicações com ARC, o tratamento correspondente à dose L1 proporcionou os maiores valores de concentração foliar de nitrogênio, seguido do tratamento

correspondente à L2. Neste caso, acredita-se que o maior equilíbrio de disponibilidade dos nutrientes, proporcionados pelo L1 e L2, em relação aos outros tratamentos, seja a principal razão para o ocorrido.

Observando-se a Figura 22, pode-se verificar que a dinâmica da concentração foliar do fósforo foi similar para todos os tratamentos, indicando que as diferentes doses de ARC aplicadas não a alterou.

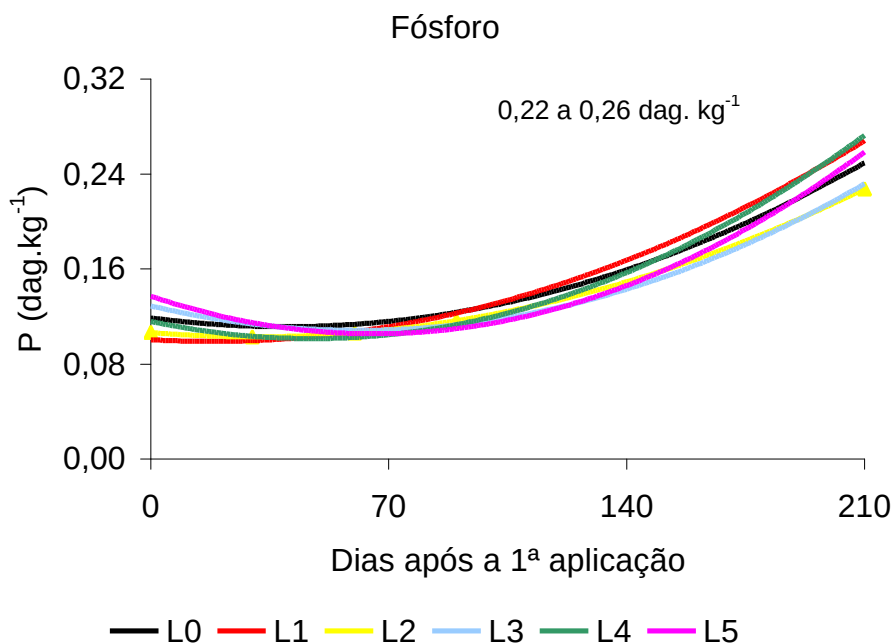


Figura 22 – Dinâmica da concentração foliar de fósforo a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

De um modo geral, o nitrogênio e o fósforo apresentaram-se acima da faixa adequada para todos os tratamentos ao final dos 210 dias. Acredita-se que, no mês de dezembro, com o crescimento foliar suspenso, os efeitos de diluição e concentração estariam minimizados.

No que se refere ao potássio (Figura 23), verificou-se as menores concentrações foliares finais nos tratamentos correspondentes à L0, L1 e L5. No caso da L0, a menor concentração pode dever-se à menor disponibilidade, enquanto para L5, é possível que resulte de efeitos do menor potencial osmótico do solo, prejudicial à absorção e ao desenvolvimento das plantas. Nas doses L2 e L3, resultaram em maiores concentrações foliares pelas condições de maior disponibilidade, ainda sem efeitos deletérios por problemas osmóticos.

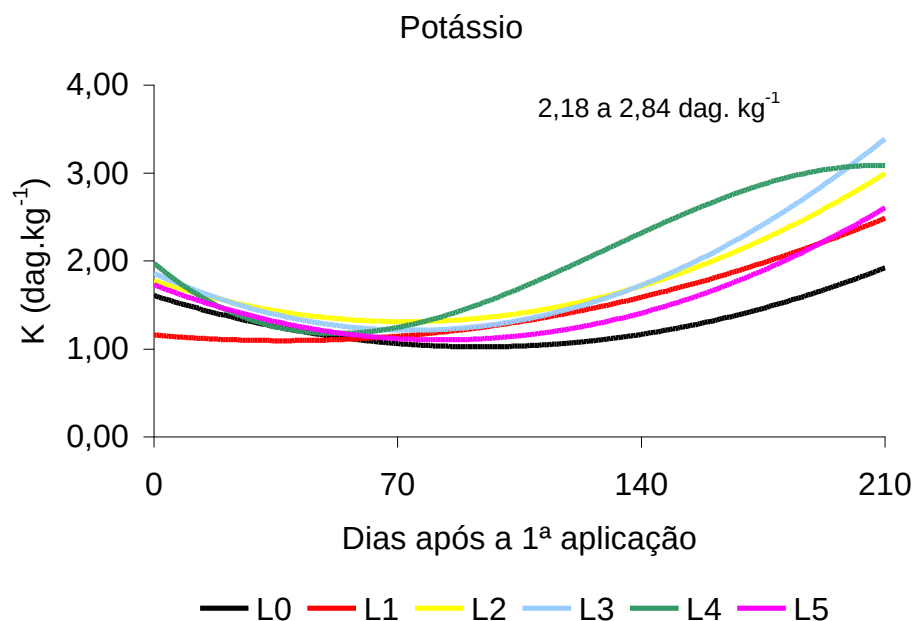


Figura 23 – Dinâmica da concentração foliar de potássio a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

De acordo com o que está apresentado na Figura 23, aos 210 dias após aplicação da ARC (mês de dezembro), a planta do cafeeiro acumulou mais potássio no tratamento que recebeu a dose L3, porém não ficando muito além dos tratamentos que receberam as doses correspondentes às doses L2 e L4. A dose L5 só não teve o mesmo comportamento, pela dificuldade da planta absorver o potássio devido ao excesso de salinidade (íons) contida na L5, conforme explicado anteriormente.

No que se refere à dinâmica da concentração foliar de cálcio (Figura 24), elemento cuja mobilidade na planta depende do fluxo transpiratório, o aumento da concentração, deve-se, inicialmente, à maior disponibilidade de água pela aplicação de ARC, até aproximadamente 100 dias (embora deva se ressaltar que a aplicação de ARC tenha sido feita até os 70 dias) após o início da aplicação da ARC (início de setembro). A partir dessa época, quando se iniciou intenso crescimento, o aumento da demanda não foi atendido pelo solo, ainda que tenha sido realizada uma calagem no mês de outubro. Se forem observados os dados referentes à concentração de nutrientes no solo, percebe-se alta concentração de potássio no solo com o emprego da dose L1, o que sugere forte efeito competitivo do potássio na absorção de cálcio e magnésio, tal como discutido anteriormente. No caso da dose L5, seu efeito na

dinâmica da concentração foliar do cálcio se manifestou por volta de 70 dias, quando o acúmulo de potássio no solo, já era maior do que o proporcionado pelas outras doses aplicadas.

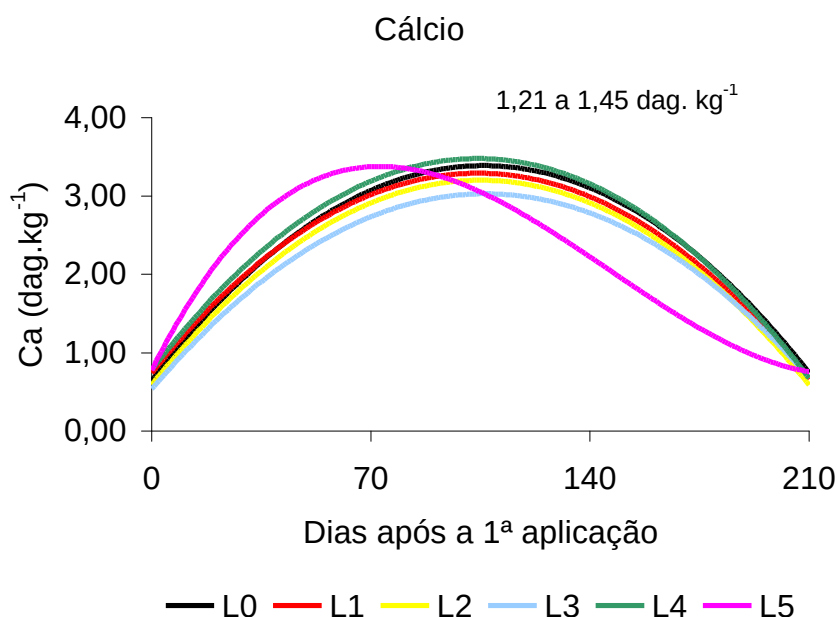


Figura 24 – Dinâmica da concentração foliar de cálcio a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

Apesar da dinâmica da concentração foliar de magnésio obtida com a aplicação da L5 não ter se mostrado similar às outras doses, o restante delas foi similar (Figura 25). Há de se destacar, no entanto, que o decréscimo na concentração de Mg ocorreu logo no início da aplicação da ARC, ou mesmo no tratamento que recebeu água (L0).

Analisando-se as curvas apresentadas na Figura 25, observa-se que, embora a planta tenha absorvido magnésio, principalmente ao final dos 210 dias, a concentração do macronutriente (Quadro 7) estava muito abaixo do considerado adequado para a folha do cafeeiro (Quadro 2).

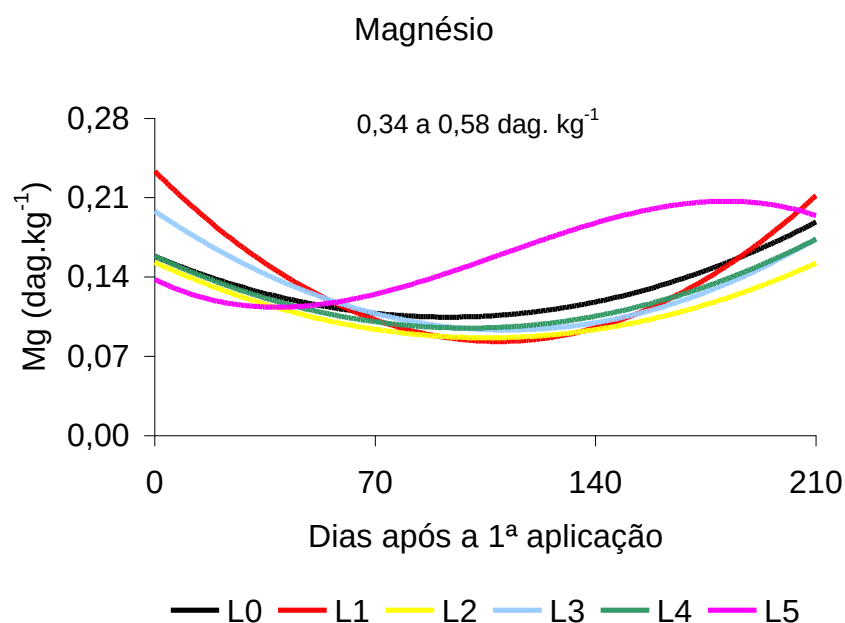


Figura 25 – Dinâmica da concentração foliar de magnésio a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

Acredita-se que as doses acima de L2 não sejam adequadas à fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos, uma vez que o excesso de alguns íons e lixiviação de outros, causou comprometimento na absorção de nutrientes. A dose L1 (duas vezes a concentração de potássio necessária ao cafeeiro) poderia ser aplicadas, caso haja fornecimento suplementar de cálcio e magnésio, antes do início da aplicação da ARC, para que haja decréscimo da força iônica do potássio.

MORAES (1981), sugere que a correção da carência de magnésio em cafeeiro seja feita por aplicação do sulfato de magnésio no solo em pulverizações foliares, na concentração de sulfato a 1%. Acredita-se que a pulverização foliar seja mais adequada, para não haver concorrência com o potássio trocável, em grande quantidade no solo.

De acordo com KUPPER (1981), somente depois que o cálcio e o magnésio estiverem em níveis de bom a ótimo no solo é que se deve pensar em adubações mais pesadas de potássio e nitrogênio.

A dinâmica da concentração foliar de ferro foi similar para L0, L3 e L4, diferindo da proporcionada por L2, sendo que os tratamentos correspondentes às doses L1 e L5, não obtiveram significância dos dias após o início da aplicação de ARC. Ainda assim, todos os tratamentos indicaram baixa concentração desse micronutriente nas folhas (Figura 26).

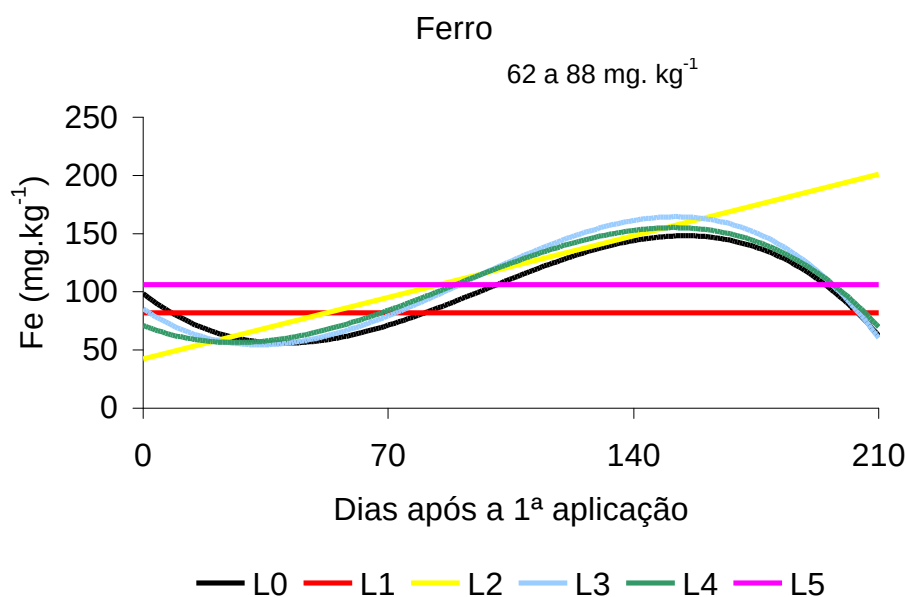


Figura 26 – Dinâmica da concentração foliar de ferro na folha do cafeeiro a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

Verifica-se que houve uma tendência de diminuição na concentração do ferro nas folhas ao final dos 210 dias de aplicação da ARC. De acordo com os dados apresentados no Quadro 2, a concentração adequada de ferro na folha no mês de dezembro deve estar na faixa de 70 a 180 mg kg⁻¹ e, de acordo com o que está apresentado no Quadro 8, a concentração de ferro, nas plantas de todos os tratamentos, ficou em torno de 60 – 70 mg kg⁻¹.

Embora não tenha havido significância da dinâmica da concentração foliar de manganês em função dos dias após a aplicação da ARC, em todos os tratamentos, foram obtidos os maiores valores de concentração de manganês nos tratamentos que receberam água e a dose L5 de ARC (Figura 27). De acordo com MARSCHNER (1995), em condições de acidez e ambientes redutores, a forma predominante de manganês é Mn²⁺, a qual é predominantemente absorvida pelas plantas. No caso do tratamento L0, que recebeu água, os menores valores de pH no solo foram os responsáveis por esta maior disponibilização do Mn e, no caso do tratamento que recebeu a dose L5 de ARC, o efeito do baixo potencial redox (condições de redução no meio) pode ser o principal responsável pela maior disponibilização do Mn no meio e, por consequência, por sua maior absorção pelas plantas. As mesmas argumentações servem para a disponibilização do Fe no meio, porém, a tendência de diminuir a concentração desse micronutriente na folha do cafeeiro

deve estar associada à competição proporcionada pelo Mn, que sabidamente dificulta a sua absorção pela planta.

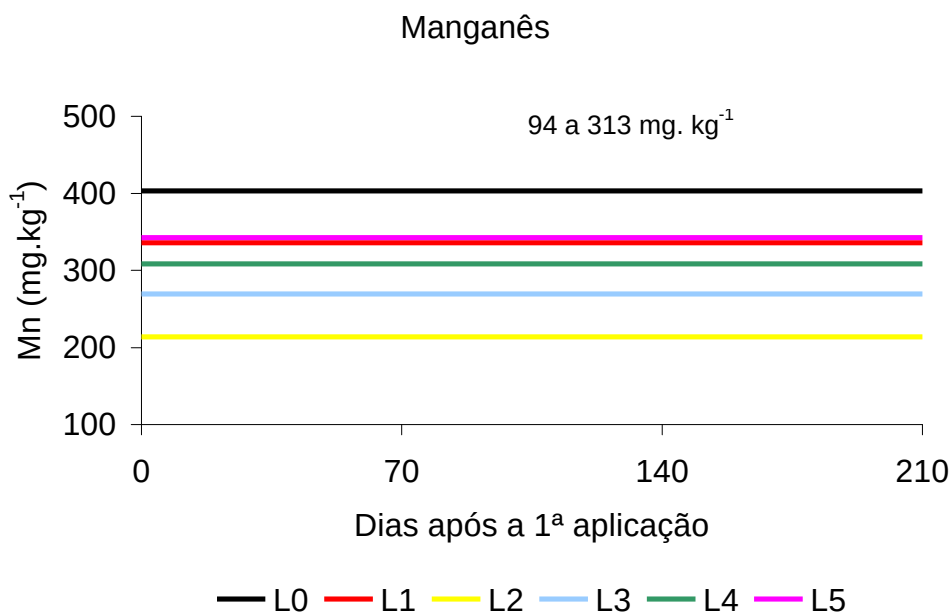


Figura 27 – Dinâmica da concentração foliar de manganês na folha do cafeeiro a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

A dinâmica de concentração foliar do zinco foi influenciada pelos tratamentos (Figura 28). O tratamento correspondente à dose L5 apresentou, entre os meses de agosto e setembro (130 dias após a aplicação de ARC), as maiores concentrações de zinco na folha. Ao final de 210 dias (mês de dezembro), todos os tratamentos proporcionaram concentrações foliares de Zn em quantidades consideradas adequadas na planta.

De acordo com o que está apresentado na Figura 29, pode-se verificar que a dinâmica da concentração foliar do cobre foi similar para todos os tratamentos. Os tratamentos correspondentes às doses L2 e L3 proporcionaram aumentos lineares na concentração de cobre na folha do cafeeiro, em contrapartida, os tratamentos correspondentes às doses L0, L1, L4 e L5, apresentaram aumentos quadráticos.

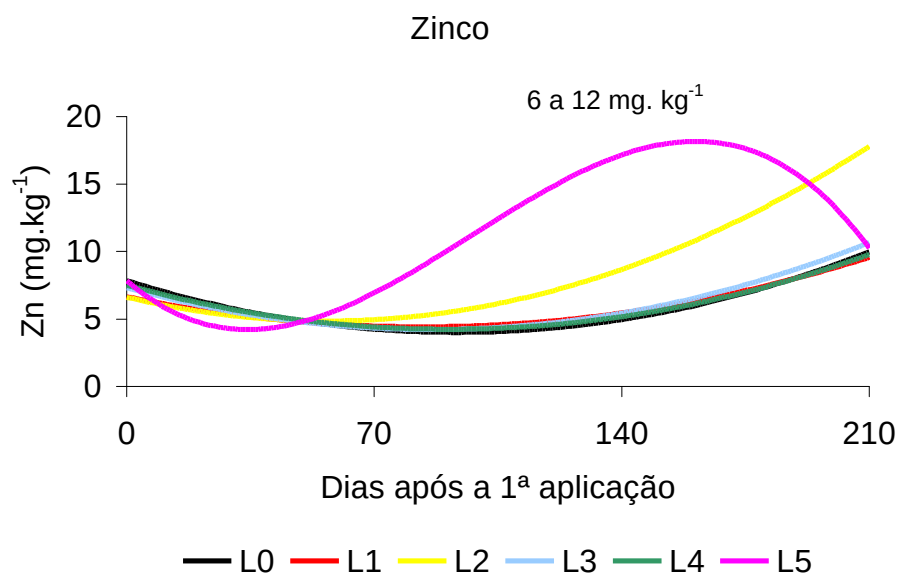


Figura 28 – Dinâmica da concentração foliar do zinco na folha do cafeeiro a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

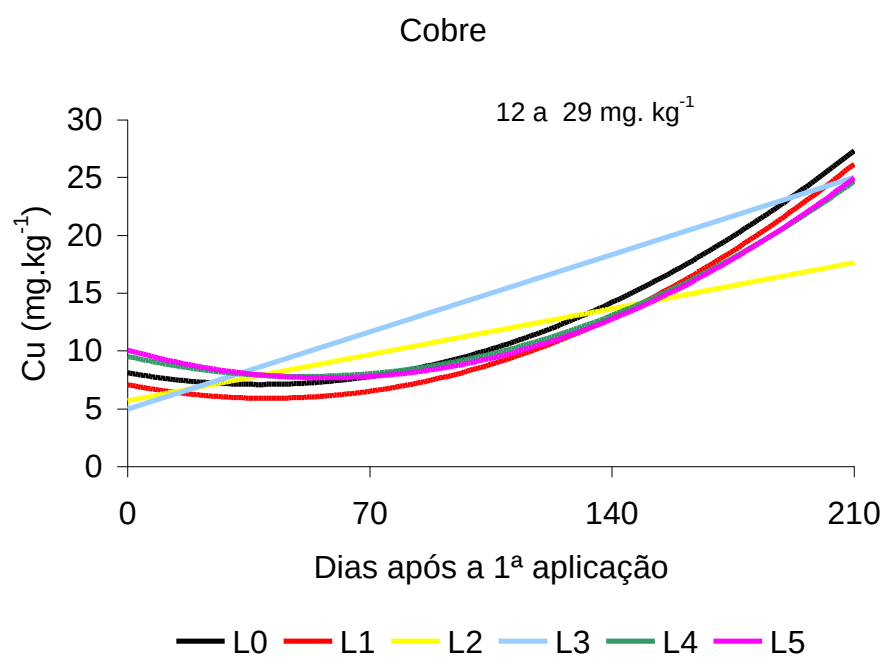


Figura 29 – Dinâmica da concentração foliar do cobre na folha do cafeeiro a partir do 1º dia de aplicação da ARC.

4.1.3 Avaliação do estado nutricional do cafeeiro fixando-se a dose L1 de aplicação da ARC, com e sem a aplicação de irrigação complementar

Como a análise de variância não indicou efeito dos tratamentos nas concentrações de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro, ao longo do período de monitoramento, estão apresentados apenas os valores das concentrações médias no Quadro 10. Como houve efeito dos tratamentos na concentração de cobre nas folhas do cafeeiro coletadas em dezembro, no Quadro 11 está apresentado o resultado do teste de médias.

Acredita-se que, a continuidade da irrigação depois do solo ter recebido ARC, possa ter proporcionado maior degradação do material orgânico já presente e incorporado com a ARC no solo. Sabe-se que o cobre forma complexos e quelatos com o material, ficando dessa forma não disponível às plantas. Quando da degradação do material orgânico, poderá ser, então, disponibilizado para as plantas, razão porque da sua concentração ter aumentado na folha do cafeeiro.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a continuidade da aplicação de água no cafeeiro não provocou efeitos fisiológicos detectáveis e nem alterou o estado nutricional do cafeeiro, a não ser o aumento da concentração de cobre na folha.

Comparando-se os valores considerados adequados no cafeeiro (Quadro 2) com os resultados obtidos no Quadro 11, observou-se que o tratamento correspondente à dose L1* proporcionou uma concentração de cobre considerada excessiva na planta. Segundo LOPES (1998), quantidades excessivas de cobre diminuem a atividade do ferro e podem fazer com que sintomas de deficiência de ferro apareçam nas plantas.

Quadro 10 – Concentrações médias de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro nos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro*

Meses	Variáveis Resposta								
	nitrogênio	fósforo	potássio	cálcio	magnésio	ferro	zinco	cobre	manganês
	-----dag.kg ⁻¹ -----					-----mg.kg ⁻¹ -----			
Maio	2,27±0,29	0,13±0,03	1,35±0,40	0,65±0,17	0,24±0,07	96±61	7,2±0,8	8,7±1,3	353±138
Junho	2,37±0,38	0,10±0,02	1,04±0,28	1,30±1,19	0,17±0,08	51±19	6,2±2,2	8,2±1,0	257±100
Julho	2,34±0,19	0,11±0,01	1,02±0,27	3,19±1,11	0,12±0,03	57±12	4,8±0,8	6,9±0,8	287±99
Agosto	2,49±0,26	0,12±0,02	1,08±0,33	2,67±1,14	0,13±0,05	83±14	5,0±0,7	8,4±1,7	337±115
dezembro	3,88±0,56	0,27±0,02	2,60±0,38	0,70±0,05	0,22±0,03	64±12	11,3±2,2		340±121

* Valores de concentração não constantes neste Quadro, por terem sido significativamente influenciados pelos tratamentos, estão apresentados em quadros apresentados a seguir.

Quadro 11 – Quadro ANOVA para as concentrações médias de cobre na folha do cafeeiro no mês de dezembro, em resposta à aplicação apenas de ARC (L1) e aplicação de ARC seguido de irrigação das plantas até dezembro (L1*)

Tratamentos	Concentração (mg.kg ⁻¹)
L1	26,02 b
L1*	48,18 a
CV (%)	19,46

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P > 0,10).

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar o estado nutricional do cafeeiro Arábica e as alterações químicas no solo após a aplicação de diferentes doses de água residuária da lavagem e descascamento dos frutos do cafeeiro (ARC), conduziu-se um experimento na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do DEA em área de 290 m² e cerca de 162 cafeeiros do gênero *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí.

A ARC utilizada no experimento foi coletada na unidade beneficiadora da UFV e passou por processo de filtragem, cujo material filtrante utilizado foi o pergaminho dos frutos do cafeeiro, antes de sua aplicação no solo das parcelas experimentais. Com base nas análises de concentração de potássio na ARC filtrada, foram estabelecidas as doses de ARC a serem aplicadas ao solo. As doses corresponderam a aproximadamente 0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,0 vezes a necessidade de potássio para a cultura do cafeeiro (80 g de K₂O. cova⁻¹), que foram aplicadas durante 2 meses. Para avaliar o estado nutricional do cafeeiro, amostras de folhas foram coletadas nos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro, sendo avaliadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn. Equações de regressão polinomial foram ajustadas para a concentração dos nutrientes em função do tempo. Após o término da aplicação da ARC, 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 em solução 1:2,5, e quantificação das concentrações de N_{total} ; K, Ca e Mg trocáveis; P, Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis e soma de bases. 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, além de fornecer nutrientes, proporcionou condições para maior absorção de alguns macro e micronutrientes pelas plantas e lixiviação geral de macronutrientes no perfil do solo;
- 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;
- o aumento na concentração de potássio no solo proporcionou deficiência de cálcio e principalmente de magnésio nas folhas do cafeeiro.
- a ARC quando aplicada em doses iguais ou maiores que 3 vezes a necessidade de potássio pela cultura, provocou sérios problemas ao cafeeiro;
- a ARC não pode ser aplicada em doses estabelecidas com base em requerimentos para irrigação do cafeeiro.
- a continuidade da aplicação de água após ser aplicada ARC ao cafeeiro não provocou efeitos fisiológicos detectáveis e nem alterou o estado nutricional do cafeeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington D.C.: 1995. 1000p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, PB: UFPB, 1991. (Estudos FAO irrigação e drenagem – Boletim 29).

BÁRTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**; qualidade do café, v.18, n.187, p. 33-42, 1997.

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, v.14, n.162, p. 33-44, 1989.

BRANDÃO, V. S., **Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos**. Viçosa: UFV, 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, 1999.

CABANELLAS, C. F. G. **Tratamento da água sob recirculação, em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa – MG: UFV, 2004, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2004. 103p.

CAFÉS DO BRASIL, 2001. Pesquisado em: <http://www.cafesdobrasil.com.br> (extraído em março de 2001).

CAMPOS, J. M. C. **Contaminación del agua em Costa Rica por residuos del procesamiento del café y de la porcicultura**. In: —. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Santiago: FAO, 1993. p.113-124. (Informe sobre temas hídricos, n.1).

CERVELLINI, G. S. Micronutrientes na adubação do cafeeiro. In: **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fósforo. Instituto Internacional da Potassa, 1981. p. 91-101.

CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** (5ª aproximação). Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. 359 p.

CHALFOUN, S. M. **O café (Coffea arabica L.) na região Sul de Minas - Relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos**. Lavras: UFLA, 1996, 125 p. (Dissertação - Doutorado em Fitotecnia).

CHAVES, J. C. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (Coffea arabica L. CV. Catuai)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Piracicaba, SP: ESALQ, 1982. 131p.

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; NOUR, E. A.; ANDREOLI, F. D. N.; SOUZA, H. N.; MONTEGGIA, L. O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M. M.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R. Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial. In: —. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 357-407.

DARWISH, M. R.; EL-AWAR, F. A.; SHARARA, M.; HAMDAR, B. Economic-environmental approach for optimum wastewater utilization in irrigation: a case study in Lebanon. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 15, p41-48, 1999.

DELGADO, E. A.; BAROIS, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.335-343.

ELIAS, L. G. Composición química de la pulpa de café, y otros subproductos. **Pulpa de café: composición, tecnología y utilización**. Ed. Braham, J. E.; Bressani, R. CII D, 1978. p. 19-29.

EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p. (EMBRAPA- CNPS, Documentos, 1).

EMBRAPA – **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária; organizador Fábio César

da Silva – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FAEMG. Internet:<http://www.faemg.org.br/cafe.html>. 3p. 1999.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent**: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FERREIRA, P.A. **Manejo de água planta em solos salinos**. 2001, 110f. Apostila Acadêmica (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação e Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Piracicaba: ESALQ, 2001. 126p.

FONSECA, S. P. P.; FREIRE, A. O.; RESENDE, J. M.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; LOURES, A. P. S. Tratamento de efluentes domésticos conciliados a fertirrigação de culturas. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAIS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3, Viçosa, 2003. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2003. p.312-338.

FRIEDEL, J. K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of long term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biology and Fertility Soils**, v. 31, p. 414-421. 2000

GARCIA, G. O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons do solo decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro Conilon**. Viçosa – MG: UFV, 2003, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2003. 101p.

HUBBARD, R. D.; THOMAS, D. L.; LEONARD, R. A.; BUTLER, J. L. Surface runoff and shallow ground water quality as affected by center pivot applied dairy cattle waste. **Transaction of the ASAE**, v.30, n.2, p.430-437, 1987.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geo Estatística, 2005. Acessado em <<http://www.ibge.gov.br>> (Acesso em: em junho de 2005).

KUPPER, A. Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fósforo. Instituto Internacional da Potassa, 1981.

LEITE, C. A. M.; SILVA, O. M. A demanda de cafés especiais. In: — **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p. 50-74.

LEON, S. G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de: Treatment and use of wastewater. Campina Grande, UFPB, 1999. 110 p.

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

Lo MONACO, P. A. **Influencia da granulometria do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias**. Viçosa – MG: UFV, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001. 115p.

Lo MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; GARCIA, G. O.; LIMA, C. R. C.; FAZENARO, F. L. Avaliação do pergaminho dos frutos do cafeeiro como elemento filtrante no tratamento de águas residuárias da lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, RS: 2004a. (CD-ROM).

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 despulpa dos frutos do cafeeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, RS: 2004b. (CD-ROM).

Lo MONACO, P. A.; GARCIA, G. O.; MATOS, A. T. Caracterização da água residuária da lavagem e despulpa dos frutos dos cafeeiros Arábica e Conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Porto Seguro, BA: [s.n.], 2003 (CD-ROM).

LOPES, S. **Manual Internacional de Fertilidade do solo**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. 177p.

LOURES, A. P. **Modelos de remoção de parâmetros qualitativos em sistema para tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial utilizando o capim-coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.)**. Viçosa – MG: UFV, 2002, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2002. 144p.

MAGALHÃES, M. A. **Parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Viçosa – MG: UFV, 2002, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2002. 115p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas máximas econômicas. Editora Agronômica Ceres, 1993. 210p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 165-274.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V. Diagnóstico do Estado Nutricional do Cafeeiro. In: **Produção Integrada de café**. ZAMBOLIM, L. (ed). Viçosa: UFV; DFP, 2003, p. 397- 441.
- 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**. 2ed., Belo Horizonte, 2004. 60p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 72).
- MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p. (Coleção do Agricultor. Grãos).
- MATIELLO, J. B. Quentes como o café: indicações de uso de equipamentos, produtos e serviços para a cafeicultura. Rio de Janeiro: MAA/ PROCAFÉ, 1999. p. 124-140.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNÁNDEZ, D. R. **Cultura de café no Brasil - Novo Manual de Recomendações**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento – SARC/PROCAFÉ – SPC/DECAF. Fundação PROCAFÉ, 2002. 386p.
- MATOS, A. T. Tratamento de resíduos agroindustriais. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 2, Viçosa, 2002. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2002. p.105-157.
- MATOS, A. T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. **Produção Integrada de Café**. ZAMBOLIM, L. (ed.). Viçosa: UFV; DFP, 2003. p. 647-705.
- MATOS, A.T.; FIA, R.; Lo MONACO, P.. Fertirrigação da cultura do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e despulpa de seus frutos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória-ES. **Anais...** Vitória, ES, 2001 (CD-ROM).
- MATOS, A. T.; Lo MONACO, P. A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro**. (Engenharia na Agricultura. Boletim técnico, 7). Viçosa: UFV, 2003. 68p.
- MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: Freitas, R.T.F. e Viana, C.F.A. I Seminário mineiro sobre manejo e utilização de dejetos de suínos, **Anais....**, EPAMIG, 1996. EMATER, UFV, ASSUVAP. p.45-54.
- MORAES, F. R. P. Adubação do cafeeiro. In: **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fósforo. Instituto Internacional da Potassa, 1981. p. 77-89.

- MOREIRA, A.C. O tesouro redescoberto. **Revista Panorama Rural**, v.1, n.6, 1999. p.16-41
- NOGUEIRA, V. S. Preparo do café. In: **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA M.; YAMADA T. eds. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. 447p. 423-432.
- OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia, EMBRAPA/CNPQA, 1993. 188p. (EMBRAPA/CNPQA, Documentos, 27).
- PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232 p.
- PINTO, A.B. **Avaliação de gramíneas forrageiras com uso de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa – MG: UFV, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001. 108p.
- POVINELLI, J., MARTINS, F. Pesquisa sobre eficiência de filtros lentos em unidades piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7, 1973, Salvador – BA. **Separata**. São Carlos: EESC – USP, 1973. 20p.
- QUEIROZ, F. M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias da suinocultura**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- SILVA, O. M.; LEITE, C. A. M. Competitividade e custos do café no Brasil. In: **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p. 27-50.
- SILVA, J. S; SAMPAIO, C. P.; MACHADO, M. C.; Lo MONACO, P. A. Preparo, Secagem e Armazenagem. **Secagem e armazenagem de café: tecnologia e custos** – Viçosa: UFV, CBP&D – Café, 2001.
- STEEL, E. W., MCGHEE, T. J. **Water supply and sewerage**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Book company, 1979. 665p.
- TRISTÃO, J. Perspectivas do mercado interno brasileiro de café. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ, 2,1995, Vitória. **Anais...** Vitória: CETCAF, 1995. p.36-42.
- VALE, S. M. L. R. A cadeia agroindustrial do café e seus desafios gerenciais. In: **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. ZAMBOLIM, L. (ed.). Viçosa: UFV, 2004. p1-30.
- VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFÓS, 1981. 142p.

VASCO, J. Z. Procesamiento de frutos de café por vía húmeda y generación de subproductos. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.345-355.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. Potencialidade de uso de resíduos e subprodutos do processamento agroindustrial do café. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3, 2000, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR/IRD, 2000. p. 357-359.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFGM, 1996. V. 1, 243p.

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

APÊNDICE A

Quadro A1 – Condutividade elétrica em diferentes profundidades do solo, em função das doses de ARC aplicadas.

Doses	L0	L1	L1*	L2	L3	L4	L5
Repetição/Profundidade	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)						
R1 (0 – 20 cm)	120,3	156,8	113,4	308,0	248,0	237,0	239,0
R1 (20 – 40 cm)	69,8	85,2	114,5	63,7	72,9	103,4	257,0
R1 (40 – 60 cm)	100,9	25,9	144,2	111,4	148,5	102,8	250,0
R1 (60 – 90 cm)	25,7	223,0	132,4	151,1	136,8	121,5	184,0
R2 (0 – 20 cm)	25,9	185,9	139,7	123,6	127,7	225,0	211,0
R2 (20 – 40 cm)	25,7	100,6	137,6	94,9	127,3	136,7	168,0
R2 (40 – 60 cm)	25,9	146,6	88,8	94,2	137,2	210,0	171,2
R2 (60 – 90 cm)	180,3	140,7	78,7	54,8	119,0	164,9	179,0
R3 (0 – 20 cm)	65,3	25,7	122,5	242,0	138,1	190,2	182,2
R3 (20 – 40 cm)	71,8	82,6	118,0	155,0	115,2	149,3	134,6
R3 (40 – 60 cm)	92,2	134,0	97,0	126,6	73,5	74,7	153,3
R3 (60 – 90 cm)	69,2	104,5	77,0	61,9	26,5	63,9	94,0

Quadro A2 – Volume de água residuária e massa de material orgânico aplicados por planta nas diferentes doses de ARC

Aplicações	Volume de ARC (litros)				
	L1	L2	L3	L4	L5
1	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50
2	3,70	5,55	7,40	9,25	11,10
3	7,84	11,76	15,68	19,6	23,52
4	7,04	10,56	14,08	17,6	21,12
5	3,50	5,25	7,00	8,75	10,5
6	8,77	13,16	17,55	21,93	26,32
7	6,37	9,55	12,74	15,92	19,11
8	3,20	4,80	6,40	8,00	9,60
9	4,92	7,36	9,82	12,28	14,73
10	4,74	7,12	9,48	11,88	14,25
11	3,50	5,26	7,02	8,76	10,52
12	5,34	8,00	10,68	13,34	16,00
Matéria orgânica (dag cova ⁻¹)					
1	2,55	3,83	5,11	6,38	7,66
2	1,85	2,77	3,70	4,62	5,55
3	3,68	5,52	7,36	9,21	11,05
4	4,71	7,07	9,43	11,79	14,15
5	2,34	3,51	4,69	5,86	7,03
6	2,54	3,81	5,08	6,35	7,63
7	12,74	19,1	25,48	31,84	38,22
8	0,32	1,39	1,85	2,32	2,78
9	5,85	8,75	11,68	14,61	17,52
10	1,09	1,63	2,18	2,73	3,27
11	-	-	-	-	-
12	1,81	2,72	3,63	4,53	5,44

Quadro A3 - Equações estimadas para análise de solo antes da aplicação da ARC

Atributos	Equação de regressão	R ² (%)
pH	$\hat{Y} = 5,57951 + 0,00853369^{**}P$	97,90
Fósforo	$\hat{Y} = 17,3058 + 0,555279^{*}P + 0,00456962^{*}P^2$	99,83
Potássio	$\hat{Y} = 126,898 + 1,11267^{+}P$	67,83
Cálcio	$\hat{Y} = 2,8183 + 0,0228679^{**}P$	97,43
Magnésio	$\hat{Y} = 0,777709 + 0,00752022^{**}P$	97,81
Alumínio	$\bar{Y} = 0$	–
H_Al	$\hat{Y} = 3,20377 + 0,0158491^{*}P$	95,48
SB	$\hat{Y} = 3,92431 + 0,0332561^{*}P$	95,91
t	$\hat{Y} = 3,92431 + 0,0332561^{*}P$	95,92
T	$\hat{Y} = 7,12809 + 0,0491051^{**}P$	97,36
V	$\hat{Y} = 56,2326 + 0,174124^{*}P$	91,01
m	$\bar{Y} = 0$	–
Zinco	$\hat{Y} = 7,6735 + 0,0961456^{*}P$	90,29
Ferro	$\bar{Y} = 42,45$	–
Manganês	$\hat{Y} = 49,2534 + 0,441294^{*}P$	95,93
Cobre	$\bar{Y} = 2,78$	–

Em que : ** – significativo pelo teste t (P < 0,01); * – significativo pelo teste t (P < 0,05); + – significativo pelo teste t (P < 0,10); ns – não significativo

Quadro A4 - Equações ajustadas para valor de diferentes atributos analisados no solo, submetido à aplicação de diferentes doses de ARC, em função da profundidade

Atributos	Equação de regressão	R ² (%)
pH	L1 $\hat{Y} = 5,88574 + 0,014018^{+}P$	62,31
	L2 $\hat{Y} = 6,2783 + 0,0142013^{*}P$	79,36
	L3 $\bar{Y} = 5,4017$	–
	L4 $\hat{Y} = 6,20535 + 0,0124528^{+}P$	97,40
	L5 $\hat{Y} = 6,70889 + 0,0205588^{**}P$	85,00
Fósforo	L1 $\hat{Y} = 14,9106 + 0,559021^{**}P + 0,0049822^{*}P^2$	94,26
	L2 $\hat{Y} = 10,3085 + 0,147278^{*}P$	68,89
	L3 $\hat{Y} = 14,4653 + 0,550088^{+}P + 0,00507435^{+}P^2$	93,05
	L4 $\hat{Y} = 7,20054 + 0,0860737^{*}P$	77,94
	L5 $\hat{Y} = 34,3882 + 1,29654^{+}P + 0,0116211^{+}P^2$	93,84
Potássio	L1 $\hat{Y} = 387,762 + 13,8944^{**}P + 0,130068^{*}P^2$	87,51
	L2 $\hat{Y} = 550,183 + 18,1312^{**}P + 0,154839^{**}P^2$	95,38
	L3 $\hat{Y} = 415,364 + 14,6008^{**}P + 0,129316^{**}P^2$	94,26
	L4 $\hat{Y} = 627,02 + 20,6093^{**}P + 0,184816^{**}P^2$	86,60
	L5 $\hat{Y} = 659,232 + 17,5876^{**}P + 0,128842^{*}P^2$	93,72

Quadro A4 - Continuação

Cálcio	L1	$\hat{Y} = 2,70806 + 0,067405*P + 0,000600869^+P^2$	89,45
	L2	$\bar{Y} = 0,9625$	–
	L3	$\hat{Y} = 1,43075 + 0,0158365*P$	66,41
	L4	$\hat{Y} = 1,36013 + 0,0141851^{**}P$	85,22
	L5	$\hat{Y} = 3,27399 + 0,0905566^{**}P + 0,000753157*P^2$	99,99
Magnésio	L1	$\hat{Y} = 0,641743 + 0,00541599^{**}P$	77,09
	L2	$\bar{Y} = 0,4292$	–
	L3	$\hat{Y} = 0,509119 + 0,00363522^+P$	78,69
	L4	$\bar{Y} = 0,4142$	–
	L5	$\hat{Y} = 1,09143 + 0,027158*P + 0,000253009*P^2$	99,97
SB	L1	$\hat{Y} = 4,50222 + 0,119365^{**}P + 0,00106214*P^2$	98,27
	L2	$\hat{Y} = 3,12839 + 0,0324613*P$	84,95
	L3	$\hat{Y} = 3,76991 + 0,109406^{**}P + 0,000945175*P^2$	95,50
	L4	$\hat{Y} = 2,95108 + 0,0304059^{**}P$	84,15
	L5	$\hat{Y} = 6,051413 + 0,162696^{**}P + 0,00133569^{**}P^2$	99,18
Zinco	L1	$\hat{Y} = 7,12729 + 0,244602^{**}P + 0,00204677^{**}P^2$	97,33
	L2	$\hat{Y} = 2,34923 + 0,0341833*P$	79,89
	L3	$\hat{Y} = 2,44048 + 0,0284762*P$	71,43
	L4	$\hat{Y} = 3,89952 + 0,134049^{**}P + 0,00116565^{**}P^2$	91,95
	L5	$\hat{Y} = 8,83354 + 0,307319^{**}P + 0,0026231*P^2$	95,72
Ferro	L1	$\hat{Y} = 101,744 + 0,998239^{**}P$	94,30
	L2	$\hat{Y} = 72,308 + 0,421204^{**}P$	64,05
	L3	$\hat{Y} = 75,3128 + 0,485966^{**}P$	91,29
	L4	$\hat{Y} = 78,368 + 0,381851^+P$	78,26
	L5	$\hat{Y} = 231,235 + 5,87089^{**}P + 0,045365^{**}P^2$	94,24
Manganês	L1	$\hat{Y} = 161,545 + 4,62159^{**}P + 0,0362722*P^2$	95,88
	L2	$\hat{Y} = 127,878 + 3,42052^{**}P + 0,0248557^{**}P^2$	98,46
	L3	$\hat{Y} = 118,316 + 3,37688^{**}P + 0,0267129^{**}P^2$	95,10
	L4	$\hat{Y} = 106,701 + 1,26225*P$	69,23
	L5	$\hat{Y} = 230,116 + 5,85915^{**}P + 0,0407668*P^2$	93,02
Cobre	L1	$\hat{Y} = 3,15586 + 0,0128895^{**}P$	78,93
	L2	$\hat{Y} = 2,71158 - 0,0441073^{**}P - 0,000709845*P^2$	96,12
	L3	$\hat{Y} = 2,29711 - 0,0448097^{ns}P - 0,000604788^+P^2$	81,23
	L4	$\hat{Y} = 3,85942 + 0,0172992*P$	76,65
	L5	$\bar{Y} = 3,5200$	–
CE	L1	$\bar{Y} = 117,625$	-
	L2	$\hat{Y} = 1,81606*P + 207,179$	
	L3	$\bar{Y} = 122,558$	-
	L4	$\hat{Y} = 1,37269*P + 204,907$	
	L5	$\bar{Y} = 185,28$	-

Em que : ** – significativo pelo teste t (P < 0,01); * – significativo pelo teste t (P < 0,05); + – significativo pelo teste t (P < 0,10); ns – não significativo

Quadro A5 – Equações ajustadas para concentração de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro como função da dose de ARC (D) aplicada

Nitrogênio		
Dose	Equações ajustadas	R² (%)
L0	$\hat{Y} = 1,99399 + 0,00817166^{**}D$	99,48
L1	$\hat{Y} = 2,61454 - 0,0135686^{**}D + 0,000107515^{**}D^2$	99,26
L2	$\hat{Y} = 1,78381 + 0,00309431^{**}D + 0,0000358756^{+}D^2$	97,71
L3	$\hat{Y} = 2,15149 - 0,00474574^{**}D + 0,0000614541^{*}D^2$	98,19
L4	$\hat{Y} = 2,46595 - 0,0260536^{**}D + 0,000382883^{*}D^2 - 0,00000108752^{+}D^3$	98,97
L5	$\hat{Y} = 1,8831 + 0,00811682^{**}D$	99,10
Fósforo		
Dose	Equações ajustadas	R² (%)
L0	$\hat{Y} = 0,11875 - 0,000373765^{**}D + 0,00000473871^{*}D^2$	99,80
L1	$\hat{Y} = 0,100439 - 0,000164166^{**}D + 0,00000458439^{*}D^2$	99,58
L2	$\hat{Y} = 0,106488 - 0,000238086^{**}D + 0,00000387635^{**}D^2$	98,61
L3	$\hat{Y} = 0,128868 - 0,000676324^{**}D + 0,00000554948^{**}D^2$	93,09
L4	$\hat{Y} = 0,115859 - 0,000613837^{**}D + 0,00000647924^{**}D^2$	99,17
L5	$\hat{Y} = 0,137079 - 0,000965598^{**}D + 0,00000735303^{**}D^2$	98,78
Potássio		
Dose	Equações ajustadas	R² (%)
L0	$\hat{Y} = 1,60642 - 0,0124386^{*}D + 0,0000663616^{**}D^2$	95,91
L1	$\hat{Y} = 1,15778 - 0,00344001^{**}D + 0,0000464565^{*}D^2$	99,63
L2	$\hat{Y} = 1,77401 - 0,012845^{**}D + 0,0000887641^{**}D^2$	98,12
L3	$\hat{Y} = 1,85662 - 0,0174232^{**}D + 0,000117732^{**}D^2$	96,89
L4	$\hat{Y} = 1,97231 - 0,0333136^{**}D + 0,000399122^{**}D^2 - 0,00000102533^{+}D^3$	99,16
L5	$\hat{Y} = 1,72858 - 0,0151931^{**}D + 0,0000921765^{**}D^2$	99,21
Cálcio		
Dose	Equações ajustadas	R² (%)
L0	$\hat{Y} = 0,642884 + 0,0517474^{**}D - 0,000244171^{**}D^2$	99,86
L1	$\hat{Y} = 0,741719 + 0,0488617^{ns}D - 0,00023443^{**}D^2$	89,54
L2	$\hat{Y} = 0,590243 + 0,0496915^{ns}D - 0,000236681^{**}D^2$	99,34
L3	$\hat{Y} = 0,534757 + 0,0467377^{ns}D - 0,000219268^{**}D^2$	90,49
L4	$\hat{Y} = 0,780452 + 0,0518209^{ns}D - 0,000249179^{**}D^2$	99,28
L5	$\hat{Y} = 0,773645 + 0,0802625^{*}D - 0,000733414^{**}D^2 + 0,00000167066^{+}D^3$	96,80
Magnésio		
Dose	Equações ajustadas	R² (%)
L0	$\hat{Y} = 0,158181 - 0,00114788^{ns}D + 0,00000615139^{*}D^2$	91,84
L1	$\hat{Y} = 0,233235 - 0,00275347^{ns}D + 0,0000126278^{**}D^2$	81,52
L2	$\hat{Y} = 0,152843 - 0,00126343^{ns}D + 0,00000600394^{*}D^2$	97,07
L3	$\hat{Y} = 0,198048 - 0,00187414^{ns}D + 0,00000837463^{**}D^2$	93,63
L4	$\hat{Y} = 0,158398 - 0,00127645^{ns}D + 0,00000641815^{**}D^2$	96,76

Quadro A5 - Continuação			
L5	$\hat{Y} = 0,137842 - 0,0013588^{**}D + 0,0000212546^{*}D^2 - 0,0000000643258^{+}D^3$		
Ferro			
Dose	Equações ajustadas		R ² (%)
L0	$\hat{Y} = 98,4943 - 2,30604^{ns}D + 0,0360367^{ns}D^2 - 0,000123201^{+}D^3$		99,68
L1	$\bar{Y} = 82,1300$		—
L2	$\hat{Y} = 42,2336 + 0,756621^{*}D$		94,02
L3	$\hat{Y} = 85,3854 - 1,99361^{ns}D + 0,0364587^{ns}D^2 - 0,00013107^{*}D^3$		99,99
L4	$\hat{Y} = 71,2539 - 1,1974^{ns}D + 0,0267788^{**}D^2 - 0,000100496^{**}D^3$		78,43
L5	$\bar{Y} = 106,04$		—
Zinco			
Dose	Equações ajustadas		R ² (%)
L0	$\hat{Y} = 7,83083 - 0,081954^{**}D + 0,000438705^{**}D^2$		95,50
L1	$\hat{Y} = 6,64543 - 0,053501^{**}D + 0,000320633^{**}D^2$		97,38
L2	$\hat{Y} = 6,60629 - 0,0621764^{**}D + 0,000549101^{*}D^2$		99,40
L3	$\hat{Y} = 7,30707 - 0,0719123^{**}D + 0,000418173^{**}D^2$		97,75
L4	$\hat{Y} = 7,48877 - 0,0713855^{*}D + 0,000391472^{**}D^2$		88,03
L5	$\hat{Y} = 7,83046 - 0,227327^{ns}D + 0,00402263^{ns}D^2 - 0,0000137393^{+}D^3$		99,99
Cobre			
Dose	Equações ajustadas		R ² (%)
L0	$\hat{Y} = 8,12052 - 0,0526609^{**}D + 0,000686688^{**}D^2$		99,08
L1	$\hat{Y} = 7,08598 - 0,0573908^{**}D + 0,000706394^{**}D^2$		99,76
L2	$\hat{Y} = 5,71301 + 0,0568417^{**}D$		90,85
L3	$\hat{Y} = 10,2853 - 0,103167^{**}D + 0,000897567^{**}D^2$		99,66
L4	$\hat{Y} = 9,54161 - 0,0680158^{**}D + 0,000666986^{**}D^2$		99,74
L5	$\hat{Y} = 10,0897 - 0,0844289^{**}D + 0,000739483^{**}D^2$		99,79
Manganês			
Dose	Equações ajustadas		R ² (%)
L0	$\bar{Y} = 402,7833$		—
L1	$\bar{Y} = 335,5333$		—
L2	$\bar{Y} = 213,9167$		—
L3	$\bar{Y} = 269,2500$		—
L4	$\bar{Y} = 308,3167$		—
L5	$\bar{Y} = 342,5500$		—

Em que : ** – significativo pelo teste t (P < 0,01); * – significativo pelo teste t (P < 0,05); + – significativo pelo teste t (P < 0,10); ns – não significativo.

Quadro A6 - Resultados das análises químicas do solo, coletado ao longo do seu perfil, submetido á aplicação de diferentes doses de ARC e água “limpa”

Amostra	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + AL	SB	(t)	(T)	V	m	Zn	Fe	Mn	Cu
			-- mg.dm ⁻³ --	-- mg.dm ⁻³ --	----- cmol _c .dm ⁻³ -----				-----			----- % -----	-----	----- mg.dm ⁻³ -----			
L0R1	0-20	5,07	3,8	83	1,09	0,47	0	4,05	1,77	1,77	5,82	30,44	0,00	2,42	102,9	76,2	3,19
L0R1	20-40	5,34	0,9	25	0,65	0,42	0	1,95	1,13	1,13	3,08	36,77	0,00	0,55	69,8	32,1	3,57
L0R1	40-60	4,9	0,5	31	0,22	0,3	0	2,1	0,60	0,60	2,70	22,20	0,00	0,17	53,6	14,3	3,36
L0R1	60-90	4,84	1	28	0,12	0,23	0	1,95	0,42	0,42	2,37	17,78	0,00	0,18	47,9	11	2,39
L0R2	0-20	4,96	22,5	161	1,11	0,31	0,09	4,5	1,83	1,92	6,33	28,93	1,42	3,65	71,7	76,8	3,63
L0R2	20-40	4,66	1,6	86	0,26	0,18	0,28	4,05	0,66	0,94	4,71	14,01	5,94	0,98	58,6	42	3,73
L0R2	40-60	4,38	8,8	149	0	0,1	0,74	4,95	0,48	1,22	5,43	8,86	13,63	0,36	36,6	25,6	4,01
L0R2	60-90	4,67	1,2	125	0,33	0,16	0,09	2,55	0,81	0,90	3,36	24,10	2,68	0,15	33,4	19,7	2,39
L0R3	0-20	5,46	13,7	39	2,15	0,35	0,09	3,3	2,60	2,69	5,90	44,07	1,53	6,22	79,3	73,7	3,36
L0R3	20-40	5,06	3,3	22	0,96	0,35	0,09	3,9	1,37	1,46	5,27	25,94	1,71	2,13	93,9	64,9	3,04
L0R3	40-60	4,47	1,1	32	0,22	0,2	0,65	4,65	0,50	1,15	5,15	9,74	12,62	1,1	57,2	38	4,19
L0R3	60-90	5,12	1	24	0,25	0,37	0,9	2,85	0,68	1,58	3,53	19,30	25,49	0,41	51,3	20,8	3,5
L1R1	0-20	6,29	17,4	351	2,84	0,72	0	2,1	4,46	4,46	6,56	67,98	0,00	5,04	61	132,2	2,93
L1R1	20-40	6,89	1,6	61	1,8	0,56	0	1,5	2,52	2,52	4,02	62,65	0,00	1	52,9	41,9	2,88
L1R1	40-60	5,33	1,2	137	0,84	0,29	0	2,1	1,48	1,48	3,58	41,35	0,00	0,32	48,8	22,9	2,5
L1R1	60-90	4,89	1,1	137	1,15	0,26	0	2,1	1,76	1,76	3,86	45,60	0,00	0,14	40,8	16,1	1,55
L1R2	0-20	5,15	7,9	316	1,16	0,37	0,09	4,95	2,34	2,43	7,29	32,08	1,23	3,71	103	152,5	2,7
L1R2	20-40	5,28	0,7	28	1,23	0,42	0,09	2,85	1,72	1,81	4,57	37,66	1,97	0,75	59,7	42,7	2,44
L1R2	40-60	4,19	0,3	21	0,17	0,15	0,74	4,35	0,37	1,11	4,72	7,91	15,67	0,34	55,9	50,6	2,83
L1R2	60-90	4,86	0,4	29	1,04	0,31	0,19	2,7	1,42	1,61	4,12	34,53	4,61	0,13	35,4	22,3	2,25
L1R3	0-20	5,48	5,6	169	2,04	0,81	0	4,2	3,28	3,28	7,48	43,87	0,00	6,38	127,4	84,5	3,1
L1R3	20-40	5,28	1,4	29	1,35	0,45	0,09	2,7	1,87	1,96	4,57	40,97	1,97	1,78	92,9	46,4	3,08
L1R3	40-60	4,96	0,5	28	0,88	0,33	0,09	2,85	1,28	1,37	4,13	31,02	2,18	0,61	26,7	22	2,95

Quadro A6 -Continuação

L1R3	60-90	5,09	0,5	30	1,08	0,35	0,09	2,84	1,51	1,60	4,35	34,66	2,07	0,28	22,3	9,7	2,28
L1R4	0-20	5,01	4,7	173	1,64	0,5	0,19	6,6	2,58	2,77	9,18	28,12	2,07	18,98	107,6	100,7	3,05
L1R4	20-40	4,88	2,1	92	1,34	0,48	0,19	2,7	2,06	2,25	4,76	43,22	4,00	44,07	220,6	80,1	3,6
L1R4	40-60	5,25	0,4	48	1,17	0,65	0,09	2,25	1,94	2,03	4,19	46,34	2,15	32,46	56,6	37,6	3,01
L1R4	60-90	5,47	0,3	36	1	0,48	0,19	5,7	1,57	1,76	7,27	21,62	2,61	10,1	37,5	23,8	3,15
L1R5	0-20	5,22	6	316	1,14	0,59	0	3,6	2,54	2,54	6,14	41,35	0,00	4,82	133,3	158,6	3,22
L1R5	20-40	4,93	2,8	30	2,58	0,61	0	4,65	3,27	3,27	7,92	41,26	0,00	3,01	71,4	68,9	3,08
L1R5	40-60	4,84	0,5	30	1,06	0,37	0,19	3,3	1,51	1,70	4,81	31,35	3,95	0,56	40,9	44	3,25
L1R5	60-90	5,42	0,4	7	1,44	0,46	0	2,55	1,92	1,92	4,47	42,93	0,00	3,09	70,1	69,1	3,13
L1R6	0-20	4,63	3,7	286	0,39	0,28	0,47	5,85	1,40	1,87	7,25	19,33	6,48	9,17	148,4	87,1	3,23
L1R6	20-40	4,48	1,2	106	0,52	0,26	0,56	5,25	1,05	1,61	6,30	16,68	8,89	4,16	107,4	74,7	3,14
L1R6	40-60	5,37	0,4	24	1,1	0,29	0	2,1	1,45	1,45	3,55	40,87	0,00	0,44	37,6	19,8	2,61
L1R6	60-90	5,41	0,7	25	0,86	0,17	0	1,8	1,09	1,09	2,89	37,80	0,00	0,39	44,3	15,7	2,39
L1R1*	0-20	5,78	11,1	129	2,72	0,62	0	4,05	3,67	3,67	7,72	47,54	0,00	5,79	95,7	180,4	2,66
L1R1*	20-40	5,86	5,4	51	2,56	0,55	0	3,15	3,24	3,24	6,39	50,71	0,00	2,87	99,3	81,9	2,91
L1R1*	40-60	5,74	1,3	40	1,62	0,32	0	2,25	2,04	2,04	4,29	47,58	0,00	1,21	66,5	55,3	4,39
L1R1*	60-90	5,81	0,8	36	1,59	0,24	0	1,95	1,92	1,92	3,87	49,64	0,00	0,6	63	29,6	3,84
L1R2*	0-20	5,48	5	176	2,09	0,66	0	4,5	3,20	3,20	7,70	41,56	0,00	5,21	106,8	102,5	3,56
L1R2*	20-40	4,93	2,3	57	1,68	0,54	0,09	5,1	2,37	2,46	7,47	31,69	1,21	2,85	77,8	55,6	2,41
L1R2*	40-60	5,09	1,1	41	1,81	0,68	0,19	3,9	2,59	2,78	6,49	39,95	2,93	2,29	85,4	37,5	2,71
L1R2*	60-90	5,19	1,2	26	1,17	0,47	0	3,3	1,71	1,71	5,01	34,09	0,00	2,01	73,8	36,1	3,03
L1R3*	0-20	5,68	19,7	181	2,65	0,77	0,09	4,8	3,88	3,97	8,68	44,72	1,04	4,56	72,9	99,9	2,93
L1R3*	20-40	5,17	4,3	29	1,92	0,53	0,19	4,35	2,52	2,71	6,87	36,72	2,76	2,37	44,5	55,5	2,22
L1R3*	40-60	5,4	0,7	19	1,59	0,47	0	2,7	2,11	2,11	4,81	43,85	0,00	0,84	42,1	33,6	3,32
L1R3*	60-90	5,61	0,6	23	1,36	0,37	0	2,1	1,79	1,79	3,89	46,00	0,00	0,33	29,2	15	2,64
L1R4*	0-20	5,55	14,7	356	1,84	0,62	0,09	5,4	3,37	3,46	8,77	38,43	1,03	5,99	86,8	142,8	4,28
L1R4*	20-40	4,97	9,6	86	1,53	0,57	0,28	5,85	2,32	2,60	8,17	28,40	3,43	4,84	82,3	102,8	3,63

Quadro A6 -Continuação

L1R4*	40-60	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu	perdeu
L1R4*	60-90	5,28	0,9	33	1,05	0,39	0	2,55	1,52	1,52	4,07	37,41	0,00	0,6	57,5	29,6	4,00
L1R5*	0-20	6,07	26,1	201	3,24	0,96	0	3,45	4,71	4,71	8,16	57,74	0,00	6,51	97,5	146	3,01
L1R5*	20-40	5,88	4,6	59	1,74	0,57	0,09	3,9	2,46	2,55	6,36	38,69	1,41	3,02	98,7	64	3,26
L1R5*	40-60	5,14	1,4	93	1,14	0,42	0	3,3	1,80	1,80	5,10	35,27	0,00	1,33	82,8	32,7	3,07
L1R5*	60-90	5,02	1,2	38	1,33	0,43	0,09	3,15	1,86	1,95	5,01	37,09	1,80	0,95	98,9	30,5	2,97
L1R6*	0-20	5,89	26,3	261	2,51	0,9	0	3,45	4,08	4,08	7,53	54,17	0,00	5,15	214,8	186,5	4,09
L1R6*	20-40	5,11	5	91	1,99	0,77	0,19	3,3	2,99	3,18	6,29	47,56	3,02	2,97	159,5	86,7	3,7
L1R6*	40-60	5,14	1,4	41	1,37	0,62	0	3,15	2,09	2,09	5,24	39,94	0,00	1,68	86,1	36,6	4,03
L1R6*	60-90	5,19	1,1	31	1,16	0,54	0	2,85	1,78	1,78	4,63	38,44	0,00	0,87	55,4	22,5	3,92
L2R1	0-20	6,05	1,4	481	0,27	0,34	0	1,65	1,84	1,84	3,49	52,72	0,00	0,85	71,3	106,9	3,4
L2R1	20-40	5,69	0,9	157	0,28	0,24	0	1,65	0,92	0,92	2,57	35,84	0,00	0,24	50,8	34,9	3,35
L2R1	40-60	4,89	1,2	79	0,28	0,23	0,19	2,25	0,71	0,90	2,96	24,04	6,41	0,18	68,4	27,2	3,17
L2R1	60-90	4,64	1,4	61	0,32	0,27	0	1,8	0,75	0,75	2,55	29,30	0,00	0,14	34	12,6	1,97
L2R2	0-20	6,33	20,9	356	2,77	0,7	0	2,85	4,38	4,38	7,23	60,58	0,00	4,13	73,7	103,1	2,49
L2R2	20-40	6,07	3	87	1,52	0,48	0	1,8	2,22	2,22	4,02	55,25	0,00	1,19	43,4	38,7	2,96
L2R2	40-60	5,62	1,1	36	1,03	0,37	0	2,1	1,49	1,49	3,59	41,54	0,00	0,33	48,9	22,1	3,48
L2R2	60-90	5,52	1,2	33	0,78	0,29	0	1,5	1,15	1,15	2,65	43,49	0,00	0,24	32,8	9,3	2,4
L2R3	0-20	5,97	12,3	361	1,57	0,58	0	2,25	3,07	3,07	5,32	57,73	0,00	2,39	65	84,6	3,51
L2R3	20-40	6,34	5,1	63	1,6	1,04	0	1,2	2,80	2,80	4,00	70,01	0,00	1,25	57,7	51,6	3,43
L2R3	40-60	5,37	1,1	94	0,4	0,31	0,09	1,8	0,95	1,04	2,75	34,56	3,27	0,23	70,4	23,6	3,18
L2R3	60-90	5,82	1,2	58	0,73	0,3	0	1,2	1,18	1,18	2,38	49,54	0,00	0,1	42,8	7,2	1,6
L3R1	0-20	5,16	2,5	377	0,51	0,3	0,19	3,6	1,77	1,96	5,37	33,01	3,54	2,23	85,5	104,1	3,42
L3R1	20-40	5,4	1	32	0,37	0,28	0	2,25	0,73	0,73	2,98	24,54	0,00	0,71	61,3	29,8	3,37
L3R1	40-60	4,67	1	47	0,13	0,2	0,28	2,55	0,45	0,73	3,00	15,01	9,33	0,17	47	25,7	2,91
L3R1	60-90	4,79	1,8	66	0,37	0,3	0,09	1,8	0,84	0,93	2,64	31,79	3,41	0,26	40	17,8	1,72
L3R2	0-20	5,87	5,8	171	2,17	0,68	0	2,25	3,29	3,29	5,54	59,37	0,00	2,77	64,7	76,1	2,2

Quadro A6 - Continuação

L3R2	20-40	5,04	0,8	35	0,82	0,42	0	2,25	1,33	1,33	3,58	37,14	0,00	1,43	51,6	36,5	2,63
L3R2	40-60	4,9	0,7	43	0,84	0,36	0,19	2,1	1,31	1,50	3,41	38,42	5,57	0,25	47,6	26,3	3,48
L3R2	60-90	5,6	1,5	37	0,9	0,41	0	1,5	1,40	1,40	2,90	48,36	0,00	1	41,8	9,9	2,34
L3R3	0-20	6,5	21,6	337	2,07	0,58	0	1,8	3,51	3,51	5,31	66,11	0,00	2,82	73,5	91,2	2,67
L3R3	20-40	5,85	1,5	104	0,55	0,38	0	1,8	1,20	1,20	3,00	39,92	0,00	0,47	53	28,7	2,61
L3R3	40-60	5,62	1,1	35	0,55	0,27	0	1,8	0,91	0,91	2,71	33,57	0,00	2,98	55,7	22,1	3,3
L3R3	60-90	5,42	0,9	13	0,05	0,13	0	1,65	0,21	0,21	1,86	11,44	0,00	0,1	41,5	11,3	2,54
L4R1	0-20	5,98	5	513	0,95	0,37	0	1,8	2,63	2,63	4,43	59,39	0,00	2,8	71	92,4	3,61
L4R1	20-40	5,68	8,4	113	0,84	0,29	0,09	1,8	1,42	1,51	3,22	44,08	2,80	0,22	43,2	20,7	3,75
L4R1	40-60	5,68	2,2	42	0,73	0,28	0	1,5	1,12	1,12	2,62	42,69	0,00	0,11	41,3	15,3	2,77
L4R1	60-90	5,16	1,8	49	0,72	0,28	0	1,5	1,13	1,13	2,63	42,86	0,00	0,11	38,5	9,2	1,76
L4R2	0-20	5,76	11,6	497	1,27	0,4	0,09	3,3	2,94	3,03	6,24	47,12	1,44	3,55	77,1	159,5	2,84
L4R2	20-40	5,35	1,6	77	1,01	0,42	0	2,25	1,63	1,63	3,88	41,96	0,00	0,59	63,6	46,4	3,53
L4R2	40-60	5,02	0	206	0,38	0,25	0,09	3	1,16	1,25	4,16	27,83	2,17	0,86	91	94,9	4,05
L4R2	60-90	4,81	1,5	133	0,32	0,25	0	4,05	0,91	0,91	4,96	18,35	0,00	0,38	55,9	43,2	3,09
L4R3	0-20	6,56	5,1	381	1,57	0,72	0	1,35	3,26	3,26	4,61	70,74	0,00	2,11	89,8	98,4	3,89
L4R3	20-40	6,52	2,7	125	1,16	0,99	0	1,2	2,47	2,47	3,67	67,30	0,00	0,72	69,7	44,4	3,36
L4R3	40-60	5,8	1,6	117	0,12	0,35	0,09	2,1	0,77	0,86	2,87	26,81	3,14	0,49	52,1	14,6	2,92
L4R3	60-90	5,98	2,3	129	0,23	0,37	0	1,2	0,93	0,93	2,13	43,66	0,00	0,41	58,2	16,6	2,18
L5R1	0-20	6,67	53,3	489	3,46	1,06	0	2,1	5,77	5,77	7,87	73,32	0,00	7,75	162,9	204,4	4,81
L5R1	20-40	6,42	3	246	1,15	0,55	0	1,35	2,33	2,33	3,68	63,31	0,00	0,88	73,5	92,3	3,66
L5R1	40-60	5,73	2	141	0,63	0,45	0,09	1,5	1,44	1,53	2,94	48,99	3,06	0,64	76,1	86,6	3,68
L5R1	60-90	5,88	2,2	49	0,89	0,75	0,09	1,2	1,77	1,86	2,97	59,53	3,04	0,55	48,8	18,4	2,21
L5R2	0-20	6,8	6,1	673	1,51	0,58	0	1,95	3,81	3,81	5,76	66,15	0,00	3,04	216,4	184,6	3,87
L5R2	20-40	6,46	1,2	201	1,04	0,46	0,09	1,2	2,01	2,10	3,21	62,66	2,80	0,31	55,9	36,9	2,93
L5R2	40-60	5,49	1,3	226	0,65	0,33	0	1,8	1,56	1,56	3,36	46,40	0,00	0,29	60	26,3	4,11
L5R2	60-90	5,25	1,6	75	0,64	0,35	0,09	1,65	1,18	1,27	2,83	41,73	3,18	0,2	35,9	10,6	2,31

Quadro A6 - Continuação

L5R3	0-20	6,29	11,8	391	2,37	0,9	0	2,85	4,27	4,27	7,12	59,97	0,00	8,01	171	162,1	3,52
L5R3	20-40	5,62	3,7	110	1,49	0,49	0	2,1	2,26	2,26	4,36	51,85	0,00	2,62	103,2	73,7	3,48
L5R3	40-60	4,77	1,5	106	0,63	0,33	0,56	3,75	1,23	1,79	4,98	24,72	11,24	1,05	66,9	67,5	4,83
L5R3	60-90	4,95	1,3	25	0,62	0,33	0,19	2,7	1,01	1,20	3,71	27,30	5,12	0,35	40	13,7	2,83

Quadro A7 – Valores médios de concentração de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro, coletadas no mês de junho

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	dag.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹			
L0	2,25	0,11	1,17	1,93	0,15	57	4,9	8,5	355
L1	2,19	0,09	1,06	1,92	0,11	59	4,8	6,4	318
L2	2,01	0,09	1,32	1,96	0,13	67	4,1	7,3	205
L3	2,23	0,09	1,17	1,15	0,17	55	4,9	7,6	223
L4	2,09	0,09	1,22	1,94	0,14	69	4,3	7,9	280
L5	2,07	0,11	1,29	2,85	0,11	108	4,3	8,6	240
CV (%)	14,82	22,42	20,09	61,05	34,83	48,64	13,34	16,12	47,09

CV (%) = coeficiente de variação.

Quadro A8 - Valores médios de concentração de nitrogênio em função da dose de ARC aplicada e de concentração média dos demais nutrientes na folha do cafeeiro, em coleta efetuada no mês de julho

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	dag.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹			
L0	2,52	0,12	1,17	2,94	0,10	65	4,7	7,3	420
L1	2,30	0,10	1,08	3,46	0,12	61	4,7	5,5	321
L2	2,26	0,12	1,30	2,81	0,10	62	4,5	8,1	188
L3	1,98	0,11	1,30	2,83	0,10	69	4,8	8,2	261
L4	1,94	0,11	1,29	3,11	0,10	60	5,2	8,5	320
L5	2,38	0,12	1,23	2,97	0,12	51	5,7	8,0	418
CV (%)	7,11	14,28	21,09	29,58	27,24	20,22	19,56	30,42	48,28

CV (%) = coeficiente de variação.

Quadro A9 – Valores médios de concentração de nitrogênio em função da dose de ARC aplicada e de concentração média dos demais nutrientes na folha do cafeeiro, em coleta efetuada no mês de agosto

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	dag.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹			
L0	2,65	0,12	1,03	3,29	0,11	92	4,3	8,4	467,17
L1	2,41	0,121	1,05	2,76	0,14	109	5,3	7,5	418,08
L2	2,17	0,11	1,43	3,03	0,08	113	4,0	9,1	248,25
L3	2,23	0,12	1,32	3,03	0,10	106	4,4	7,8	283,33
L4	2,47	0,11	1,42	3,42	0,10	113	4,5	8,4	355,17
L5	2,55	0,10	1,07	3,42	0,14	93	9,9	8,1	437,42
CV (%)	8,66	22,07	25,12	22,50	31,17	23,33	57,80	32,95	23,93

CV (%) = coeficiente de variação.

Quadro A10 – Valores médios de concentração de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro, coletadas no mês de dezembro

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	dag.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹			
L0	3,74	0,25	1,92	0,7432	0,1887	63	9,9	27,4	307
L1	4,56	0,27	2,48	0,7037	0,2090	56	9,5	26,2	284
L2	4,03	0,23	2,98	0,6008	0,1530	207	16,8	18,7	181
L3	3,87	0,23	3,38	0,6580	0,1742	61	10,6	28,2	215
L4	3,81	0,27	3,08	0,6702	0,1735	70	9,7	24,7	223
L5	3,62	0,26	2,60	0,7532	0,1942	62	10,3	25,0	230
CV (%)	8,34	16,00	13,58	14,56	14,32	85,40	30,48	16,98	38,47

CV (%) = coeficiente de variação.

Quadro A-11 - Análise de variância das médias de concentração de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro coletadas no mês de maio, quando submetido à aplicação da dose de aplicação da ARC correspondente às necessidades de adubação potássica do cafeeiro (L1) e da mesma dose, seguida, porém, de irrigação do cafeeiro (L1*)

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	dag kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹			
L1	2,36 a	0,12 a	1,35 a	0,65 a	0,23 a	106,81 a	7,08 a	7,74 b	388,04 a
L1*	2,19 a	0,14 a	1,35 a	0,66 a	0,25 a	85,55 a	7,22 a	9,58 a	318,21 a
CV (%)	12,66	21,48	29,70	26,47	30,06	63,65	10,49	14,95	39,13

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P > 0,10).

Quadro A-12 - Análise de variância das médias de concentração de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro coletadas no mês de junho, quando submetido à aplicação da dose de aplicação da ARC correspondente às necessidades de adubação potássica do cafeeiro (L1) e da mesma dose, seguida, porém, de irrigação do cafeeiro (L1*)

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- dag kg ⁻¹ -----					----- mg.kg ⁻¹ -----			
L1	2,29 a	0,09 a	1,01 a	1,58 a	0,13 a	52,11 a	4,93 b	7,18 b	290,92 a
L1*	2,45 a	0,11 a	1,07 a	1,02 a	0,20 a	50,40 a	7,55 a	9,31 a	224,17 a
CV (%)	16,18	19,83	27,38	91,33	44,13	37,99	35,92	11,88	38,78

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P > 0,10).

Quadro A-13 - Análise de variância das médias de concentração de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro coletadas no mês de julho, quando submetido à aplicação da dose de aplicação da ARC correspondente às necessidades de adubação potássica do cafeeiro (L1) e da mesma dose, seguida, porém, de irrigação do cafeeiro (L1*)

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- dag kg ⁻¹ -----					----- mg.kg ⁻¹ -----			
L1	2,31 a	0,11 a	0,97 a	3,18 a	0,12 a	57,80 a	4,42 a	6,07 b	314,83 a
L1*	2,38 a	0,12 a	1,07 a	3,21 a	0,11 a	56,37 a	5,17 a	7,65 a	259,96 a
CV (%)	8,33	10,19	26,39	34,68	28,61	21,51	15,67	12,07	34,30

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P > 0,10).

Quadro A-14 - Análise de variância das médias de concentração de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro coletadas no mês de agosto, quando submetido à aplicação da dose de aplicação da ARC correspondente às necessidades de adubação potássica do cafeeiro (L1) e da mesma dose, seguida, porém, de irrigação do cafeeiro (L1*)

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- dag kg ⁻¹ -----					----- mg.kg ⁻¹ -----			
L1	2,47 a	0,12 a	1,06 a	2,35 a	0,14 a	95,03 a	5,11 a	8,16 a	389,04 a
L1*	2,51 a	0,12 a	1,10 a	2,99 a	0,12 a	71,52 b	4,82 a	8,63 a	284,83 a
CV (%)	10,45	14,34	30,90	42,86	37,89	17,08	14,58	20,85	34,10

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P > 0,10).

Quadro A-15 - Análise de variância das médias de concentração de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro coletadas no mês de dezembro, quando submetido à aplicação da dose de aplicação da ARC correspondente às necessidades de adubação potássica do cafeeiro (L1) e da mesma dose, seguida, porém, de irrigação do cafeeiro (L1*)

Doses	Variáveis Resposta								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- dag kg ⁻¹ -----					----- mg.kg ⁻¹ -----			
L1	4,05 a	0,26 a	2,68 a	0,69 a	0,22 a	62,34 a	10,45 a	26,02 b	317,96 a
L1*	3,71 a	0,27 a	2,51 a	0,70 a	0,21 a	66,40 a	12,18 a	48,18 a	362,71 a
CV (%)	14,40	9,19	14,51	7,87	14,74	18,78	19,59	19,46	35,68

CV (%) = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra para cada mês, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P > 0,10).