

**ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO, FÓSFORO E  
POTÁSSIO PARA EXPERIMENTOS COM  
CAFEIROS EM VASOS**

**SIRLEI DE OLIVEIRA**

**2005**

**SIRLEI DE OLIVEIRA**

**ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA  
EXPERIMENTOS COM CAFEEIROS EM VASOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira, Sirlei de

Adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para experimentos com  
cafeeiro em vasos / Sirlei de Oliveira. -- Lavras : UFLA, 2005.

52 p. : il.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Adubação NPK. 3. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73894

**SIRLEI DE OLIVEIRA**

**ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO PARA  
EXPERIMENTOS COM CAFEIROS EM VASOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 25 de fevereiro de 2005

Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA
Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho	UFLA
Dr. Élberis Pereira Botrel	PESQUISADOR

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

## **AGRADEÇO**

À Deus pelo dom da vida, por me guiar, proteger, iluminar e por mais uma oportunidade de viver.

## **DEDICO**

Aos meus irmãos José Antônio, Marlene, Luis Carlos, Sirlene e Mariana

Aos meus sobrinhos Luis Carlos, Amanda e João Otávio

À minha namorada Daniela

## **OFEREÇO**

Aos meus Pais, Sebastião (“*in memorian*”) e Maria, que com muito amor, carinho, confiança e compreensão sempre me incentivaram a trilhar novos caminhos.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Agricultura e ao Setor de Cafeicultura pela oportunidade de realização do curso.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes pela amizade, atenção e ajuda durante o curso de mestrado, e por ter me dado a oportunidade de crescer profissionalmente.

Ao meu coorientador prof. Dr. Rubens José Guimarães pela amizade, pelo incentivo e por sua atenção durante toda minha permanência no Setor de Cafeicultura.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Janice Guedes de Carvalho e ao pesquisador Dr. Élberis Pereira Botrel, por terem aceitado participar da banca e pelas sugestões apresentadas para o enriquecimento do trabalho.

Aos colegas de mestrado e doutorado, pela ajuda, amizade e acolhida na área de Agronomia.

Aos meus amigos de mestrado em particular Rodrigo (Diguinho), Fabinho, Alexandrino, Haroldo, César e Gustavo (bus) pela grande ajuda durante todo o curso.

Aos meus amigos Fábio (Cebola) e André Delly pela grande ajuda para que fosse possível a conclusão da minha dissertação.

À minha amiga Márcia Martins, com quem trabalhei junto e devo muito pelo incentivo e pela amizade, junto com seu esposo Alexandre e seus filhos Daniel e Diego.

Aos funcionários do Setor de Cafeicultura e meus amigos: Júlio, Fernando, Lafaiete, Marilza, José Maurício, Marcinho, Gê, Sr. Avelino e Zezinho.

Aos alunos de iniciação científica, Fábio (lacraria), Tales, Bel e Alex por toda ajuda para a avaliação do experimento.

Aos meus irmãos José Antônio, Marlene, Luis Carlos, Sirlene e Mariana , que sempre me deram força e incentivo.

A toda minha família pelo apoio.

À minha namorada Daniela, pelo grande incentivo e pelo companheirismo.

À todas as pessoas que participaram desta importante conquista.

**MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 Exigência em nutrientes pelo cafeeiro .....	3
2.2 Considerações sobre macro e micronutrientes na cultura do cafeeiro .....	4
2.2.1 Nitrogênio .....	5
2.2.2 Fósforo .....	8
2.2.3 Potássio .....	10
2.3 Análise química do solo .....	12
2.4 Análise química dos tecidos .....	13
2.5 Interação entre íons na absorção radicular .....	14
2.6 Recomendação de adubação para lavouras recém plantadas .....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1 Localização do experimento .....	16
3.2 Recipientes .....	16
3.3 Tipos de solos .....	16
3.4 Produção das mudas .....	17
3.5 Delineamento experimental e tratamentos .....	17
3.6 Instalação e condução do experimento .....	19
3.7 Características avaliadas .....	20
3.7.1 Altura de plantas .....	21
3.7.2 Diâmetro do caule .....	21
3.7.4 Massa seca .....	22
3.8 Teores médios de N, P, K, Ca, Mg, Zn .....	23
3.9 Análise estatística .....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
4.1 Avaliação das características de crescimento das mudas .....	24
4.1.1 Diâmetro de caule (terceira avaliação) .....	25
4.1.2 Diâmetro de caule (quarta avaliação) .....	27
4.2 Massa seca da raiz (MSR) .....	28
4.3 Massa seca de folhas (MSF) .....	29

4.6 Influência dos tratamentos no teor foliar .....	31
4.6.1 Nitrogênio .....	32
4.6.2 Fósforo.....	33
4.6.3 Potássio.....	35
4.6.4 Cálcio.....	37
4.6.5 Magnésio.....	38
4.6.6 Zinco.....	40
5 CONCLUSÕES .....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
ANEXOS.....	47

## RESUMO

OLIVEIRA, Sirlei de. **Adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para experimentos com cafeeiros em vasos.** Lavras: UFLA, 2004. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras\*.

Este trabalho objetivou identificar a adubação adequada para o cultivo de cafeeiro na fase inicial de formação, em vasos, partindo-se de teores de 100 mg dm<sup>-3</sup> no solo para fósforo e 400 mg dm<sup>-3</sup> no solo para nitrogênio e potássio. O experimento foi instalado e conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no período de junho a dezembro de 2004. As avaliações foram feitas por meio de métodos para se medir altura de planta, diâmetro de caule e número de pares de folhas. Na instalação do experimento, fez-se a primeira adubação com N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mo, Zn, Mn e Fe. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial 7 x 2, sendo utilizados sete níveis de adubação (0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2 vezes em relação à dose de NPK recomendada para o campo pela Comissão... (1999)) e dois tipos de solo (argiloso e arenoso). Utilizou-se duas plantas por parcela, sendo 28 parcelas. Foram colocados 56 vasos para o solo argiloso e 56 vasos para o solo arenoso. Para o cultivo de cafeeiros em vasos, em pesquisas científicas, solos mais arenosos potencializaram o efeito negativo do excesso de adubação. Para a adubação de cafeeiros em vasos 200 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo foram insuficientes para o desenvolvimento desses. A dose 200 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio e potássio na adubação de cafeeiros em vasos foi excessiva, prejudicando a nutrição com cálcio e magnésio e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas.

---

\* Comitê Orientador: Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes - UFLA (Orientador).

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Sirlei de. **Fertilization of coffee plants in vase with nitrogen, phosphorus and potassium**. Lavras: UFLA, 2004. 52 p. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Phytotechny) - Federal University of Lavras, Lavras\*.

This work aimed at to identify the appropriate fertilization for coffee plants in its initial formation phase using vases. The initial amount of phosphorus in the soil was  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  and  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  for nitrogen and potassium. The experiment was performed at the Coffee Section of the Agricultural Department from the Federal University of Lavras, from June to December/2004. The parameters evaluated were plant height, stem diameter and number of pairs leaves. In the installation of the experiment was accomplished the first fertilization with N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mo, Zn, Mn and Fe. The experimental design used was randomized blocks with four repetitions in factorial scheme  $7 \times 2$ . Seven levels of fertilization were used (0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2 times in relation to the NPK dose recommended by Commission...(1999)) and two soil types (clayey and sandy). Two plants per parcel were used in a total of 28 parcels. Fifty-six vases were used for the clayey soil and fifty-six for sandy soil. The results showed that the cultivation of coffee plants in sandy soil using vases increased the negative effect of the excess of fertilization. For cultivation of coffee plants in vases the amount of  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  of phosphorus were insufficient for the development of the plants. The dose  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  of nitrogen and potassium were excessive and may affect the nutrition by calcium and magnesium, and consequently the development of the coffee plants.

---

\* Guidance Committee: Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes - UFLA (Orientador).

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade de grande importância econômica e social para o Brasil. O parque cafeeiro brasileiro é formado por 6,084 bilhões de plantas em 2,616 milhões de hectares (Anuário Estatístico do Café, 2002-2003). A cultura do café abrange 12 estados e cerca de 1.850 municípios. Nos últimos 5 anos, houve um aumento de 2,5 bilhões de plantas, grande parte dessas cultivadas com alta tecnologia de produção e plantadas em regiões marginais.

Minas Gerais é o estado brasileiro que possui a maior área plantada com café (15,9 milhões de sacas na safra 2000/2001) com, aproximadamente, 50% do total cultivado no Brasil, sendo a quase totalidade da produção obtida com a espécie arábica. A área plantada, nos últimos anos, teve crescimento anual a um ritmo entre 7% e 10%, o que fez com que o parque cafeeiro se renovasse significativamente (Agrianual, 2002).

A pesquisa com cafeeiros em casa de vegetação é de fundamental importância para a solução de diversos problemas da cultura nas áreas da fitopatologia, entomologia, nutrição mineral, irrigação e manejo, entre outras.

Para algumas culturas, como milho e feijão, já se tem recomendação de adubação para o cultivo em vasos, para trabalhos em casa de vegetação, porém, para estudos com o cafeeiro as informações ainda são escassas. Os pesquisadores da cultura do café têm utilizado recomendações de adubação em campo, para adaptação na adubação de vasos, como, por exemplo, aquelas constantes na recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), porém, há necessidade de se adequar para trabalhos em vasos.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo identificar a adubação adequada para o cultivo de cafeeiro na fase inicial de formação, em vasos, partindo-se de doses de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio no solo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Exigência em nutrientes pelo cafeeiro**

O cafeeiro, assim como outras culturas em geral, necessita de dezesseis nutrientes essenciais para completar o seu ciclo de vida, sendo três (C, H e O) vindos do ar e da água, que compõem aproximadamente 95% do total do peso de uma planta. Os treze restantes são divididos em macro e micronutrientes. Os solos tropicais são caracterizados pela baixa fertilidade e a nutrição de plantas com esses nutrientes deve ser realizada por meio da adubação.

Esses nutrientes são de grande importância, devido ao fato de exercerem funções específicas na planta e podem ser divididos em função estrutural, constituintes de enzimas e ativadores enzimáticos, que garantem um adequado crescimento, desenvolvimento e produção e também favorecem o aumento de resistência ao ataque de pragas e doenças. Nas plantas deficientes ou com toxidez de algum nutriente, tem-se um comprometimento no desenvolvimento de todas as estruturas de crescimento da parte aérea (vegetativas e reprodutivas) e das raízes (Prado, 2003).

Em estudos realizados em grãos de café por Malavolta (1993), utilizando-se uma média de três cultivares, verificou-se a quantidade de macro e micronutrientes contidas em uma saca de café. Notou-se que o N e o K são os nutrientes mais exportados pelo cafeeiro. O mesmo autor comenta sobre o efeito positivo da interação N e K, quando esses nutrientes são aplicados juntos.

De acordo com Melotto (1987), a principal fonte de carboidratos para os botões florais é a fotossíntese e não as reservas contidas nas folhas e nos ramos. Segundo Rena et al. (1996), isso sugere elevado grau de dependência do estado nutricional da planta e da relação funcional entre folha e fruto. A dependência do cafeeiro em relação a esta relação funcional deve-se à característica da espécie de não regular a carga de frutos que, quando em grande quantidade em relação à área foliar, provoca distúrbios fisiológicos, como a “seca de ponteiros”.

Segundo Rossi (1994), foram conduzidos dois experimentos simultaneamente em casa de vegetação, em vasos com 3 dm<sup>3</sup> de solo, sendo um com feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca-MG) e outro com milho (*Zea mays* L., híbrido cargill C-701), no qual foram utilizados cinco níveis de adubação: 1, 2, 4, 8, 12 vezes a dose de NPK recomendada para o campo, e dois tipos de solos, sendo um Latossolo Vermelho Amarelo (LV) e o outro Latossolo Roxo (LR), ambos de baixa fertilidade. Os resultados mostraram grande resposta em crescimento do milho e do feijoeiro à aplicação de NPK, em ambos os solos.

## **2.2 Considerações sobre macro e micronutrientes na cultura do cafeeiro**

Devido a interações existentes entre nutrientes, torna-se importante fazer considerações em relação a cada um daqueles que serão avaliados no presente trabalho.

### 2.2.1 Nitrogênio

A quantidade de nitrogênio disponível no solo é pequena. Muito pouco é encontrado nas rochas e nos minerais que formam o solo. Quase todo nitrogênio do solo é proveniente da atmosfera da terra, a qual contém um suprimento quase ilimitado. O elemento precisa ser combinado com outros elementos, antes que as plantas possam usá-lo. O nitrogênio ocorre no solo em três partes principais: N orgânico, que não está disponível para a planta; N amoniacal, que é disponível para as plantas de forma lenta e íons de amônio, nitrato ou compostos solúveis, que representam somente 2 a 3% do total e é o nitrogênio que as plantas usam (Lopes 1989).

Segundo Malavolta (1986), a maior parte do nitrogênio orgânico no solo parece estar ligado à lignina (um derivado de carboidrato) como um complexo ligno protéico. Este mesmo autor relata que um hectare de solo brasileiro possui na profundidade de 30 cm, entre 1000 a 1500 kg de nitrogênio total. Quase todo esse nitrogênio encontra-se na forma orgânica e a fração mineral corresponde a somente 25 kg.

As plantas superiores são capazes de absorver o nitrogênio de diferentes formas:  $N_2$ , aminoácidos, uréia,  $NH_4^+$  e, predominantemente nas condições naturais, como  $NO_3^-$ . O nitrogênio é transportado no xilema e redistribuído no floema; tanto o transporte como a redistribuição são relativamente rápidos (Malavolta, 1980).

Segundo Lopes (1989), dentro da planta, o nitrogênio é convertido a aminoácidos, que são as unidades de formação das proteínas. Esses aminoácidos são usados para a formação do protoplasma. O N é um componente necessário para a estrutura e as funções da célula, uma vez que o protoplasma é o local de divisão celular e, portanto, de crescimento das plantas. Assim sendo, o nitrogênio é necessário para todas as reações enzimáticas nos vegetais. Segundo

Moraes et al. (1976), na maioria das regiões produtoras de café no Brasil, com frequência, o nitrogênio é o fertilizante que mais influencia a produtividade.

Haag & Malavolta (1960), trabalhando com solução nutritiva, verificaram que as massas secas das folhas e do caule e pares de folhas de mudas de cafeeiros foram mais afetadas pela ausência do nitrogênio do que dos demais macronutrientes.

Carvalho (1975), estudando a atividade da nitrato redutase em mudas de cafeeiro sob a forma nítrica (salitre do Chile) e amoniacal (sulfato de amônio) de adubação nitrogenada, concluiu que, mesmo não havendo diferenças significativas, a forma nítrica apresentou melhor resultado, estando a atividade da nitrato redutase relacionada com a utilização do nitrogênio e desenvolvimento das mudas.

Malavolta (1986) verificou que quando a adubação nitrogenada é fornecida adequadamente, e não havendo outros fatores limitantes, ocorre um crescimento rápido das plantas e a formação de folhas verdes e brilhantes. O mesmo autor comenta sobre o efeito positivo da interação N e K, quando esses nutrientes são aplicados juntos e que o auto-sombreamento limita a capacidade fotossintética, diminuindo, assim, a necessidade de adubos, particularmente o nitrogênio.

É um nutriente difícil de ser armazenado no solo na quantidade total necessária a uma boa produção de café e praticamente impossível dessa estocagem ser regulada, para que libere a quantidade correta na época de alta taxa de exigência do cafeeiro em produção (Malavolta, 1983).

O nitrogênio, comparado aos demais nutrientes, é muito mais difícil de ser mantido no solo ao alcance das raízes, devido ao seu acentuado dinamismo no sistema solo. Devido à sua grande exigência pela cultura e seu baixo efeito residual, a adubação nitrogenada precisa ser feita em maior quantidade e constantemente, em relação aos demais nutrientes (Furtini Neto et al., 2001).

Viana (1967) estudou diferentes doses de adubação nitrogenada e fosfatada no substrato, com posterior irrigação com sulfato de amônio no desenvolvimento de mudas de cafeeiro. O autor concluiu que a adição de nitrogênio via irrigação, bem como as adições de superfosfato simples ao substrato, foi positiva.

Em trabalho sobre efeito da omissão de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em solução nutritiva, na composição química das folhas e no crescimento do cafeeiro, Haag & Malavolta (1960) verificaram que a ausência de N foi a que mais afetou o peso seco das folhas e do caule e o número de folhas.

As perdas de nitrogênio no solo ocorrem por erosão, lixiviação ou volatilização. A lixiviação de N se dá, na maioria dos casos (99%), na forma de nitratos, sendo que menos de 1% na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e somente traços na de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Os solos de textura arenosa facilitam a perda de nitratos devido à maior percolação da água (Coelho, 1973).

Apesar do nitrogênio ter uma ação positiva, quando aplicado em cobertura no desenvolvimento de mudas de cafeeiro, essa pode, por outro lado, afetar a relação raiz/parte aérea, que é uma característica de extrema importância para um bom estabelecimento das mudas no campo (Falco, 1999).

Teores de N nas folhas abaixo de  $23 \text{ g kg}^{-1}$  de N geralmente estão associados à presença de sintomas visuais de deficiência desse nutriente e, acima de  $35 \text{ g kg}^{-1}$ , a sintomas de toxidez, em folhas de ramos produtivos (Malavolta, 1993). Esses dados referem-se a lavouras em produção.

Guimarães (1994) encontrou teores de N de  $16,1 \text{ g kg}^{-1}$  no caule e  $31,4 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas, trabalhando com mudas formadas em substrato padrão, que se encontravam com 6 pares de folhas verdadeiras.

De acordo com Malavolta et al. (1997), para plantas de café em produção, a faixa crítica dos teores de nitrogênio situa-se entre 2,90 e 3,20 dag kg<sup>-1</sup> no terceiro ou quarto pares de folhas. Já Matiello (1997) recomenda teores entre 3,00 e 3,50 dag kg<sup>-1</sup> como sendo a faixa crítica; para Malavolta (1993), entre 2,70 e 3,20 dag kg<sup>-1</sup>; para Mills & Jones (1996), entre 2,30 e 3,00 dag kg<sup>-1</sup>; para Wilson (1985) 2,60 e 3,40 dag kg<sup>-1</sup> e, para Reuter & Robson (1988), entre 2,50 e 3,00 dag kg<sup>-1</sup>.

### **2.2.2 Fósforo**

Em termos quantitativos, o fósforo é o macronutriente menos exigido pelo cafeeiro, para o seu crescimento vegetativo e produção (Malavolta, 1980).

Nas folhas do cafeeiro, a concentração de fósforo corresponde, aproximadamente, a 5% do teor de nitrogênio, sendo esse valor um pouco mais elevado nos frutos (Moraes, 1982).

O cafeeiro apresenta alta capacidade de extração de fósforo do solo, não sendo, por isso, muito freqüente, encontrar respostas a doses desse nutriente nos experimentos de campo, a não ser quando instalados em solos muito deficientes (May, 1984). O cafeeiro consegue extrair o fósforo com certa facilidade, tanto de fertilizantes industriais mais solúveis como de vários fosfatos naturais.

Alguns fertilizantes fosfatados solúveis são também bem assimilados via foliar. Moraes et al. (1976), conduzindo cafeeiros novos cultivados em vasos contendo solo pobre de cerrado, obtiveram bons resultados com praticamente todas as fontes de fósforo estudadas.

A pulverização foliar é também uma forma eficiente de fornecer fósforo ao cafeeiro, principalmente na recuperação de plantas deficientes, logo após o período da seca. Nessa época a absorção de fósforo pela planta é prejudicada devido à redução das radículas do cafeeiro, fenômeno que ocorre com maior ou

menor intensidade após a colheita e principalmente em anos de maior incidência de seca (Malavolta, 1983).

Neves et al. (1990) relatam que o fósforo é de extrema importância para o desenvolvimento de mudas. Trata-se do nutriente que mais limita a produção vegetal no Brasil e a elevação de sua disponibilidade, de forma a vencer as barreiras que são impostas pela “fome do solo” por este nutriente, é um dos grandes desafios para a fertilidade do solo. A “fome do solo” pelo fósforo será tão maior quanto mais ácido for o solo (Furtini Neto et al., 2001).

Segundo Franco (1983), a translocação do fósforo na planta é baixa, porém, a adubação fosfatada influencia muito no desenvolvimento das raízes do cafeeiro.

A perda de fósforo no solo pode se dar por erosão ou por lixiviação, podendo a lixiviação ser desprezível, mesmo em condições de solo arenoso. Pode ser importante no desenvolvimento do sistema radicular, favorecendo seu crescimento e formação. Em relação a outros nutrientes, contribui para o melhor aproveitamento do K pelas plantas e controla efeitos que podem produzir excesso de N e Ca no solo (Coelho, 1973).

Para a produção de mudas de cafeeiro com qualidade superior, certamente, a fertilização do substrato é um dos mais importantes fatores, pois, além de promover o crescimento e desenvolvimento das mudas no viveiro, pode influenciar o seu desenvolvimento no campo (Melo, 1999). Na fertilização do substrato, destaca-se a importância do fósforo. O sistema radicular apresenta-se pouco desenvolvido, especialmente as raízes secundárias, quando esse nutriente encontra-se ausente no substrato ou não é fornecido na adubação em quantidades suficientes (Malavolta, 1980).

As mudas parecem ser pouco eficientes na absorção de fósforo, por apresentar sistema radicular reduzido ou, mesmo, por ter pequena capacidade de absorver esse nutriente. A disponibilidade de P é reduzida pela

fixação ao ferro, ao alumínio e ao cálcio que insolubilizam o P, reduzindo sua difusão até as raízes (Malavolta, 1980).

Apesar do P formar uma série de compostos orgânicos e estar presente em processos metabólicos de vital importância para a planta, sua ação na resistência às doenças é variável e não parece ser muito evidente (Kiraly, 1976). No entanto, no solo, o P pode reduzir a disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Ca, muito envolvidos no mecanismo de resistência das plantas às doenças. Assim, o excesso de P poderia afetar a sanidade de mudas (Yamada, 1995).

Segundo Malavolta (1993), quando teores de P são encontrados em níveis abaixo de  $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ , em folhas de ramos produtivos são visíveis os sintomas de deficiência nutricional e, em valores acima de  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$ , são comuns os sintomas de toxidez.

De acordo com Malavolta et al. (1997), para cafeeiros em produção, foi encontrado teor de fósforo entre  $0,16$  e  $0,19 \text{ dag kg}^{-1}$ , no terceiro ou quarto par de folhas, sendo esses valores considerados ideais. Já Matiello (1997) e Mills & Jones (1996) encontraram teores entre  $0,12$  e  $0,20 \text{ dag kg}^{-1}$  como sendo a faixa crítica; para Malavolta (1993), entre  $0,15$  e  $0,20 \text{ dag kg}^{-1}$ , valores semelhantes aos encontrados por Reuter & Robson (1988) e Wilson (1985). Gontijo (2004), trabalhando com mudas de café, encontrou valores entre  $0,33$  a  $0,38 \text{ dag kg}^{-1}$  como sendo os ideais.

### **2.2.3 Potássio**

As exigências em potássio pelo cafeeiro são equivalentes ao nitrogênio. O nitrogênio é exigido em maior proporção para o crescimento foliar, enquanto o potássio aparece em maior proporção nos frutos, particularmente na polpa do café (Carneiro, 1995).

O cafeeiro reage com maior ou menor intensidade à adubação potássica, inversamente à concentração de  $K^+$  no solo determinada pela análise. Assim, nos solos que apresentam um teor baixo ou muito baixo desse elemento, a resposta ao emprego do potássio acontece de forma marcante sobre a produção do cafeeiro.

O estado de carência de potássio na planta pode ser facilmente identificado pelos sintomas foliares descritos por Franco & Mendes e Malavolta, citados por Malavolta (1983). A análise foliar com base em amostragem efetuada durante o verão (janeiro a março) poderá também dar uma indicação segura com relação a uma possível deficiência do cafeeiro em potássio. Teores abaixo de 1% de potássio, determinados no peso seco, estão associados a uma forte carência desse nutriente na planta, enquanto que teores acima de 1,8% indicam uma boa disponibilidade do mesmo (Malavolta, 1983).

Embora o potássio possa ser fornecido para o cafeeiro via foliar, na prática, raramente se justifica essa técnica, tendo em vista que este nutriente permanece por muito tempo disponível no solo após a adubação, onde é facilmente extraído pelas raízes do cafeeiro.

Segundo Rich (1972), a disponibilidade do potássio que é fornecido para as culturas não está ligado somente à morfologia e à estrutura do cristal dos minerais potássicos, mas também está diretamente relacionada com o cultivo das plantas. Os teores de potássio trocável, em muitos solos, se correlacionam bem com o teor extraído pelas plantas e com a liberação de  $K$  não trocável. Entretanto, em outros solos, essas correlações são baixas (Martin & Sparks, 1985).

As quantidades de potássio não trocável, que passam para a forma trocável e que são absorvidas pelos vegetais, são de difícil comparação, devido às diferentes características das espécies quanto à capacidade de extração do

nutriente do solo e ao grau de exaustão a que o solo foi submetido (Mielniczuk, 1977).

A perda de potássio do solo se dá por meio da lixiviação e remoção pelas culturas. Pela lixiviação, consideráveis perdas ocorrem por meio da água de drenagem em solos minerais. Solos arenosos são mais susceptíveis de lixiviação de K e, para evitar ou diminuir tais perdas, deve-se corrigir a acidez do solo com o uso de calagens convenientes. Nas plantas, o K é altamente móvel (Coelho, 1973).

O potássio, muitas vezes, é associado a uma maior resistência das plantas quando submetidas a condições adversas, como baixa disponibilidade de água e temperaturas extremas, além de sua importância na produção vegetal. O K tem uma função altamente específica na abertura e fechamento dos estômatos (Malavolta, 1980).

Teores de K abaixo de  $14 \text{ g kg}^{-1}$ , em folhas de ramos produtivos, indicam deficiência e, acima de  $27 \text{ g kg}^{-1}$ , indicam toxidez (Malavolta, 1993).

De acordo com Malavolta et al. (1997), para plantas de café em produção, a faixa crítica dos teores de potássio está entre  $2,20$  e  $2,50 \text{ dag kg}^{-1}$ , no terceiro ou quarto par de folhas. Matiello (1997) cita teores entre  $1,80$  e  $2,50 \text{ dag kg}^{-1}$  como sendo a faixa crítica; para Malavolta (1993), entre  $1,90$  e  $2,40 \text{ dag kg}^{-1}$ ; para Mills & Jones (1996), entre  $2,00$  e  $2,50 \text{ dag kg}^{-1}$ ; para Wilson (1985),  $2,10$  e  $2,50 \text{ dag kg}^{-1}$  e, para Reuter & Robson (1988), entre  $2,10$  e  $2,50 \text{ dag kg}^{-1}$ .

### **2.3 Análise química do solo**

A análise química é um dos sistemas mais usados para a avaliação da fertilidade do solo (Carvalho et al., 2001). É uma técnica que procura determinar o grau de deficiência ou suficiência de um nutriente no solo e pode também quantificar condições que são adversas no solo, prejudicando o desenvolvimento

das culturas. Pode-se, por meio da análise química do solo, saber a quantidade necessária de um certo nutriente a ser aplicado ao se fazer a adubação. Existem técnicas para corrigir a acidez, salinidade, toxidez de  $Al^{+++}$ , por meio de extratores químicos. A análise fornece um diagnóstico útil para a avaliação da fertilidade do solo e possui também um importante papel para o meio ambiente, fornecendo informações necessárias para minimizar tantas perdas superficiais de nutrientes, como para o lençol freático. Muitas vantagens são oferecidas por essa técnica, como baixo custo operacional, que permite que seja feito um planejamento de aplicação de fertilizante antes da implantação da cultura e rápida execução e disponibilidade de laboratórios, que podem fornecer resultados detalhados das características do solo.

#### **2.4 Análise química dos tecidos**

Por intermédio da análise química de certos tecidos, informações úteis podem ser colhidas por meio da aptidão das plantas em absorver e utilizar os nutrientes minerais, refletindo nos teores e em seu equilíbrio nutricional. Apesar de outros órgãos das plantas poderem ser utilizados na realização da diagnose química, a folha é a mais usada, pois reflete bem na sua composição as mudanças na nutrição e é sede do metabolismo (Carvalho et al., 2001).

Segundo Baldock & Shulte (1996) e Meldal-Jonhnsen & Summer (1980), a análise química foliar é uma importante ferramenta para identificar e corrigir deficiências e desequilíbrios nutricionais na planta, monitorando e avaliando a eficiência do programa de adubação de determinada cultura e a fertilidade do solo (Dara et al., 1992).

A utilização da análise química foliar como ferramenta deve-se ao fato de existir uma correlação positiva entre o suprimento de nutrientes e suas concentrações na planta. Aumentando ou diminuindo estas concentrações, ocorrerá maior ou menor produção (Evenhuis & Waar, 1980).

Vários são os procedimentos que estão sendo utilizados para a determinação dos teores de elementos químicos nos tecidos vegetais, como colorimetria, titulometria, turbidimetria, espectrofotometria de emissão de chama e espectrofotometria de absorção atômica.

## **2.5 Interação entre íons na absorção radicular**

O antagonismo ocorre quando a presença de um elemento no meio diminui a absorção de outro, de modo que a toxidez do segundo não se manifesta na planta (Malavolta, 1980).

A inibição ocorre quando a quantidade de um elemento absorvido diminui devido à presença de outro. É chamada de competitiva quando os dois elementos envolvidos combinam com o mesmo sítio do carregador e não competitiva quando a ligação se faz com sítios diferentes (Malavolta, 1980). No caso da competitiva, a inibição é anulada pelo aumento da concentração do primeiro e, no caso da não competitiva a inibição não é anulada ao se aumentar a concentração do elemento que está sendo inibido (Camargos & Carvalho, 1988).

Quando a presença de um dado elemento aumenta a absorção do íon em questão ocorre o que é conhecido por sinergismo (Camargos & Carvalho, 1988). Esses efeitos entre íons podem ser observados na Tabela 1.

**TABELA 1** Exemplos de efeitos interiônicos (Malavolta, 1986)

<b>Íon</b>	<b>Segundo íon presente</b>	<b>Efeito</b>
$\text{Cu}^{+2}$	$\text{Ca}^{+2}$	Antagonismo
$\text{Mg}^{+2}$	$\text{K}^{+}$	Inibição competitiva
$\text{K}^{+}$	$\text{Ca}^{+2}$ (alta concentração)	Inibição competitiva
$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{SeO}_4^{-2}$	Inibição competitiva
$\text{MoO}_4^{-2}$	$\text{SO}_4^{-2}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{+2}$	$\text{Cu}^{+2}$	Inibição competitiva
$\text{Fe}^{+2}$	$\text{Mn}^{+2}$	Inibição competitiva
$\text{Zn}^{+2}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$	Inibição competitiva
$\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$	$\text{Mg}^{+2}$	Sinergismo
$\text{K}^{+}$	$\text{Ca}^{+}$ (baixa concentração)	Sinergismo
$\text{MoO}_4^{-2}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$	Sinergismo

## 2.6 Recomendação de adubação para lavouras recém plantadas

Segundo CFSEMG (1999) citam que uma classe de fertilidade de solo considerada como “muito bom” deveria ter teor de potássio (K) e nitrogênio (N) acima de  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Localização do experimento**

O experimento foi instalado e conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no sul do estado de Minas Gerais, com uma altitude média de 910 metros, latitude de 21°14'06" S longitude de 45°00'00" W. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como Cwa, temperado úmido. A temperatura média do mês mais quente é de 22,1°C, a do mês mais frio é 15,8°C e a média anual é de 19,4°C. A precipitação anual média é de 1.529,7 mm e a umidade relativa média anual é de 76,2% (Brasil, 1992). O experimento foi conduzido de junho de 2004 a dezembro de 2004.

### **3.2 Recipientes**

Os recipientes utilizados foram vasos plásticos com volume de 8 litros. Os vasos possuíam forma cônica, com 25 cm de diâmetro superior, 17 cm de diâmetro inferior e 24 cm de altura. Os mesmos não apresentavam nenhum orifício por onde poderia haver alguma perda dos nutrientes. Os dados obtidos no presente trabalho são válidos para esse tipo de cultivo em vasos.

### **3.3 Tipos de solos**

Foram utilizados dois tipos de solo, sendo um solo de textura argilosa e o outro de textura arenosa. O solo arenoso, Neossolo Quartzarênico órtico – RQo (areia quartzosa) (Embrapa, 1999), foi coletado na cidade de Itutinga, MG e o

solo de característica argilosa (Latosolo Vermelho distroférico típico) foi coletado na Universidade Federal de Lavras.

### **3.4 Produção das mudas**

A cultivar utilizada no experimento foi a Rubi MG 1192, com três pares de folhas verdadeiras. No germinador, as sementes foram distribuídas e cobertas com uma camada com, aproximadamente, meio centímetro de areia.

### **3.5 Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 7 x 2 e 4 repetições, constituído por 7 níveis de adubação e 2 tipos de solo, com 2 plantas por parcela (2 vasos com uma planta cada). Utilizaram-se dois tipos de solos, sendo um de textura argilosa e outro de textura arenosa. Foram utilizados 56 vasos para o solo argiloso e 56 vasos para o solo arenoso. Utilizaram-se 7 níveis de adubação em  $\text{mg dm}^{-3}$ : 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75 e 2 vezes em relação à dose de NPK recomendada para o campo (adubação de pós-plantio) pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). O nível 1, que compreende as recomendações, foi considerado, para proporcionalizar os demais tratamentos uma dose de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  de potássio. Os demais níveis (0,5; 0,75; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0) foram determinados em relação ao nível 1 (padrão) em percentuais (50%, 75%, 125%, 150%, 175%, e 200%) do considerado para fósforo, nitrogênio e potássio conforme Tabela 2.

**TABELA 2** Doses fornecidas de NPK em  $\text{mg dm}^{-3}$  solo e porcentagem da dose normalmente recomendada.\*

Tratamentos	<b>P</b>	<b>N e K</b>	<b>%</b>
	<b><math>\text{mg dm}^{-3}</math></b>		
T1	50	200	50
T2	75	300	75
T3	100	400	100
T4	125	500	125
T5	150	600	150
T6	175	700	175
T7	200	800	200

\*100  $\text{mg kg}^{-1}$  de P e 400  $\text{mg kg}^{-1}$  de N e 400  $\text{mg kg}^{-1}$  de K.

A calagem foi feita em todos os tratamentos, para aumentar a saturação por bases (V%) para 60%. Como corretivo da acidez do solo foi utilizado hidroxicarbonato de magnésio ( $\text{MgOHCO}_3$ ) PA e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) PA-ACS, conforme critério recomendado pela CFSEMG (1999), sendo 5,58g de  $\text{CaCO}_3$  e 1,87g de  $\text{MgOHCO}_3$  para cada vaso de solo arenoso e 0,77g de  $\text{MgOHCO}_3$  e 2,31g de  $\text{CaCO}_3$  para cada vaso de solo argiloso. Os vasos permaneceram incubados por 7 dias, com a umidade do solo em torno de 60% do volume total de poros (VTP), tendo logo após, sido realizada a adubação fosfatada e, posteriormente, o plantio.

A adubação fosfatada foi realizada no plantio das mudas de forma sólida, utilizando como adubo o superfosfato triplo, que foi misturado no solo. Já o nitrogênio e o potássio foram fornecidos com uréia (45% de N) e KCl (60% de K), respectivamente. Os nutrientes foram aplicados em forma de solução para maior uniformização.

A determinação do poder de embebição do solo foi feita pesando-se 100g de solo seco e colocando-o num funil tampado com algodão pequeno. Colocou-se o funil sobre uma proveta graduada e foram adicionados ao solo

100 mL de água. Após aproximadamente 8 horas, mediu-se na proveta a água retida pelo solo, representada pela diferença (100 – água da proveta), em que o valor adquirido corresponde ao VTP. Para irrigar, foram utilizados 50% a 70% desse valor.

### **3.6 Instalação e condução do experimento**

O experimento foi instalado e conduzido na casa de vegetação do Setor de Cafeicultura no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Os vasos foram colocados em bancadas suspensas, a um metro de altura da superfície do solo, confeccionado com arames de 3,5 mm de diâmetro.

A cobertura da casa de vegetação é de lona plástica, fechada em todas as suas extremidades, possuindo dois ventiladores grandes localizados na parte frontal da mesma. O transplântio das mudas dos tubetes para os vasos foi feito quando as mesmas apresentavam três pares de folhas. Os tratos fitossanitários foram uniformes em todo o experimento, sendo feitas duas pulverizações para o controle de pulgão e ácaro vermelho, logo após o aparecimento dos primeiros sinais das mesmas, utilizando os inseticidas Actara e Vertimec.

Os vasos foram colocados sobre as bancadas em sentido perpendicular ao caminamento do sol. As irrigações foram feitas duas vezes ao dia, por período suficiente para o molhamento do solo, evitando-se o encharcamento. As avaliações foram feitas por meio da medição da altura de planta, diâmetro de caule e contagem do número de pares de folhas. Na instalação do experimento, fez-se a primeira adubação com N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo. Usou-se, como fonte de N, a uréia. Para o fósforo, usou-se supertríplo e para potássio, o KCl. Supertríplo foi também fonte para cálcio e, para enxofre e magnésio, usou-se MgSO<sub>4</sub>. A fonte de cobre foi CuSO<sub>4</sub>, molibdato de amônio para molibidênio, ZnSO<sub>4</sub> para zinco, MnSO<sub>4</sub> para manganês e FeSO<sub>4</sub> para

ferro. As demais adubações foram feitas somente com nitrogênio e potássio. Foram feitas quatro adubações com nitrogênio e potássio (plantio, 57 dias, 105 dias e aos 155 dias) e doses únicas de Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo.

Os solos utilizados no presente trabalho foram analisados pelo Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciência do Solo e os resultados são apresentados na Tabela 3.

### **3.7 Características avaliadas**

As características altura de plantas, diâmetro de caule e número de pares de folhas, consideradas importantes para a condução de experimentos dessa natureza, foram avaliadas após quatro dias do transplantio das mudas do tubete para os vasos, quando as plantas se encontravam com três a quatro pares de folhas. Tal avaliação teve o objetivo de verificar a uniformidade das mudas na implantação do experimento. Assim, foram feitas quatro avaliações do experimento das variáveis altura de plantas, diâmetro de caule e número de pares de folhas aos 4, 77, 140 e aos 174 dias após o transplantio das mudas para os vasos.

A massa seca das raízes e da parte aérea foi avaliada após 184 dias do transplantio das mudas para os vasos. Nessa ocasião, desmontou-se o experimento e as plantas se encontravam com 12 a 13 pares de folhas verdadeiras.

**TABELA 3** Resultado da análise dos solos realizada para instalação do experimento. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Características	Tipo solo	
	Solo arenoso	Solo argiloso
pH (H <sub>2</sub> O)	5,5 (AM)	6,1 (AM)
P (mg kg <sup>-1</sup> )	1,7 (mb)	0,1 (mb)
K(mg kg <sup>-1</sup> )	8,0 (mb)	8,0 (mb)
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,5 (B)	0,7 (B)
Mg(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,2 (mb)	0,2 (mb)
Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,9 (M)	0,9 (M)
H+Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,6 (M)	1,9 (B)
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,7 (B)	0,9 (B)
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,6 (B)	0,9 (B)
CTC a pH 7 (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,3 (B)	2,8 (B)
Saturação por bases (%)	16,7 (mb)	32,6 (B)
Saturação por Al (%)	56 (B)	0
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	1,3 (B)	0,8 (B)
P-remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	27,9	1,5
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,1 (mb)
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,3 (B)	0,3 (B)

\*Realizadas no DCS/UFLA

\*\*AM = acidez média; B = bom; M = médio; mb = muito baixo (CFSEMG, 1999).

### 3.7.1 Altura de plantas

Medida em centímetros, utilizando régua milimetrada, a partir do colo da planta até o meristema apical.

### 3.7.2 Diâmetro do caule

Medido em milímetros, a 2 cm acima do colo, com o auxílio de um paquímetro.

### **3.7.3 Número de pares de folhas**

Contava-se o número de pares de folhas até o meristema apical quando o último par já estivesse formado. Considerou-se como par de folha formado aquele que continha folhas com comprimento superior a 2,5cm.

### **3.7.4 Massa seca**

Em cada tratamento, depois de avaliadas as características necessárias, foram preparadas as plantas para análises laboratoriais. A parte aérea foi retirada cortando-se o caule na região do colo da planta, coletando-se, em seguida, as folhas localizadas no terço médio da planta em quatro pontos cardeais. As folhas foram destacadas manualmente na inserção do pecíolo com o ramo ortotrópico e lavadas em água corrente. Em seguida, limpou-se toda a superfície das folhas com algodão e, em seguida, elas foram lavadas em água destilada. As folhas foram separadas e colocadas em sacos de papel devidamente identificados, o mesmo ocorrendo com o caule e as raízes para, posteriormente, se proceder à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante.

Foram coletadas entre 40 a 60 folhas por parcela, sendo esta quantidade suficiente para se fazer a análise química. As demais folhas constituintes da parcela foram secas separadamente, calculando-se a massa seca, para posterior soma com aquelas separadas para análise química e obtenção da massa seca de toda a parcela.

Procedeu-se à retirada cuidadosa do substrato das raízes das mudas por via úmida.

### **3.8 Teores médios de N, P, K, Ca, Mg, Zn.**

Após a determinação do peso seco, as amostras de folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, para a determinação dos teores em  $\text{dag mg}^{-1}$  de N, P, K, Ca, Mg e em  $\text{mg kg}^{-1}$  de Zn e B. O material foi colocado em frascos devidamente identificados e conduzido para o Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Ciência do Solo, na Universidade Federal de Lavras. As determinações analíticas foram feitas utilizando-se o método de semimicro-Kjeldahl para o nitrogênio; método colorimétrico para fósforo e boro; potássio por fotometria de chama de emissão e cálcio; magnésio e zinco pelo método de espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1989).

### **3.9 Análise estatística**

As análises estatísticas dos dados obtidos foram realizadas de acordo com o modelo matemático apropriado para o delineamento adotado. Foi utilizado o programa computacional “SISVAR”, desenvolvido por Ferreira (2000), realizando-se a análise de variância dos dados por meio do teste de F. Quando foram detectadas diferenças significativas, empregou-se o método de estudo de regressão, conforme metodologia recomendada por Banzatto & Kronka (1995).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação das características de crescimento das mudas

Procurou-se, com base nos níveis de adubação em cada tipo de solo, obter o melhor desenvolvimento das mudas por meio das avaliações feitas durante o período em que as mesmas estiveram na casa de vegetação.

Na Tabela 1A é apresentado o resumo das análises de variância para as características altura de plantas (cm), número de pares de folhas e diâmetro de caule (cm).

Observaram-se: efeito significativo para o tipo de solo, em relação à maioria das variáveis consideradas nas quatro avaliações; efeito não significativo para níveis de adubação, para todas as variáveis e avaliações, e significativo para a interação níveis de adubação x solos. Observou-se significância para diâmetro apenas na terceira e quarta avaliações.

A precisão experimental pode ser considerada boa, com coeficientes de variação baixos, variando entre 5,55% e 9,17% quando todas as variáveis são consideradas.

Pode-se observar que, para solos, houve significância a 1% pelo teste de F, para altura (cm) e diâmetro (cm) na primeira avaliação. Na segunda avaliação, as três características (altura, diâmetro e pares de folhas) foram significativas a 1%. Na terceira avaliação somente diâmetro foi significativo a 5% e, na quarta avaliação, somente a característica pares de folhas foi significativa a 1%.

A interação entre níveis de adubação e solos foi significativa a 1%, para diâmetro de caule, na quarta avaliação e 5% na terceira.

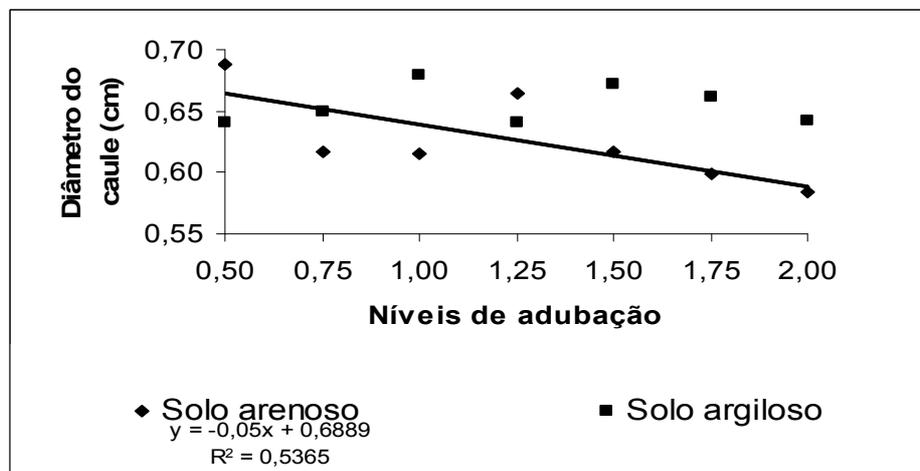
A interação entre níveis de adubação e solos foi significativa para diâmetro de caule na última avaliação, indicando que essa característica é influenciada pelos níveis de adubação estudados, dependendo do tipo de solo, ou seja, cada solo respondeu de forma diferente em relação ao diâmetro de caule para as diferentes doses de fertilizantes.

Na Tabela 4A apresenta-se a análise de desdobramento dos níveis de adubação em cada tipo de solo (argiloso e arenoso) para as características altura de plantas (cm), número de pares de folhas e diâmetro de caule (cm).

Os resultados serão comentados individualmente para cada avaliação (Tabela 1A). Pôde-se observar, na primeira avaliação, que o solo de textura arenosa apresentou diferença significativa para característica altura e diâmetro e não houve diferença em relação ao solo argiloso para par de folhas. Para a segunda avaliação, pôde-se observar que o solo arenoso apresentou diferença significativa para as três características estudadas (altura, diâmetro e par de folhas) em relação ao solo argiloso. Na terceira avaliação, para altura e par de folhas, os solos apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, não houve diferença. Analisando-se a quarta avaliação, pôde-se observar que, somente para a característica par de folhas o solo arenoso apresentou-se melhor do que o solo argiloso. Observou-se que o solo argiloso foi melhor para o desenvolvimento das características estudadas.

#### **4.1.1 Diâmetro de caule (terceira avaliação)**

Para a característica diâmetro de caule na terceira avaliação, observou-se que, em solo arenoso, quando houve um aumento progressivo nos níveis de adubação com N, P, K, houve uma diminuição linear no diâmetro de caule (Figura 1).



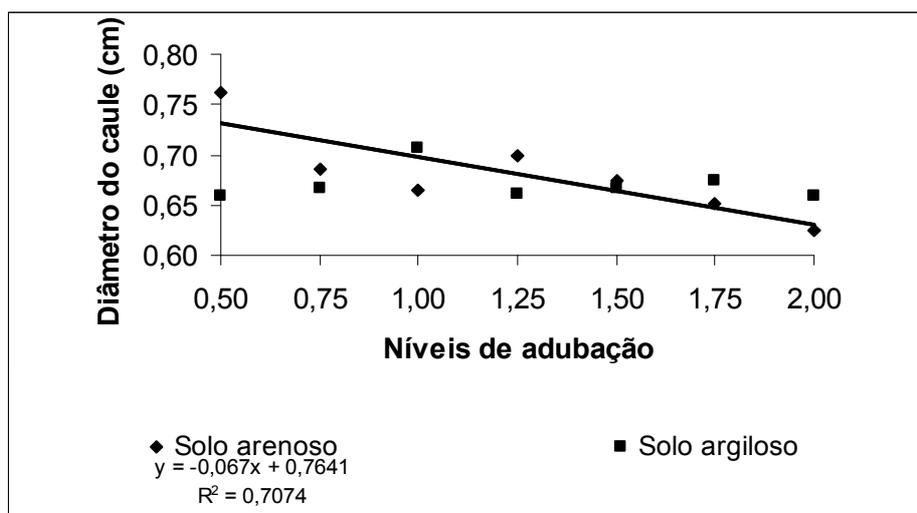
**FIGURA 1** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do diâmetro de caule (cm) de mudas de café na terceira avaliação produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Essa redução do diâmetro de caule com o aumento nas doses de adubação em solo arenoso pode ser devido ao fato de os nutrientes em solos de textura arenosa estarem mais disponíveis para a planta, podendo, mais facilmente, causar toxidez, levando assim a um prejuízo no desenvolvimento da planta.

Observando-se a Figura 1, verifica-se que o menor nível de adubação utilizado foi suficiente ou até mesmo excessivo para o desenvolvimento das plantas, causando, a partir daí, um excesso prejudicial. Como o menor nível utilizado corresponde a 50% do recomendado para implantação de lavouras (CFSEMG, 1999), ou seja, 50% de 100 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo no solo e 400 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio e potássio no solo, e tratando-se de regressão linear decrescente, observou-se que a dose ideal pode estar ainda abaixo de 50% para o cultivo de café em vasos com quatro parcelamentos.

#### 4.1.2 Diâmetro de caule (quarta avaliação)

Para a característica diâmetro de caule em solo arenoso, observa-se, pela Figura 2, que, da mesma forma que ocorreu na terceira avaliação, aumentando-se os níveis de adubação, diminuiu-se o diâmetro de caule das mudas de cafeeiro. Para as mudas avaliadas, observou-se efeito significativo linear decrescente no desenvolvimento das mesmas, que alcançaram diâmetro máximo com 50% de adubação ( $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio) e mínimo de diâmetro em 200% de adubação ( $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $800 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio).



**FIGURA 2** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do diâmetro de caule (cm) de mudas de cafeeiro na quarta avaliação, produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

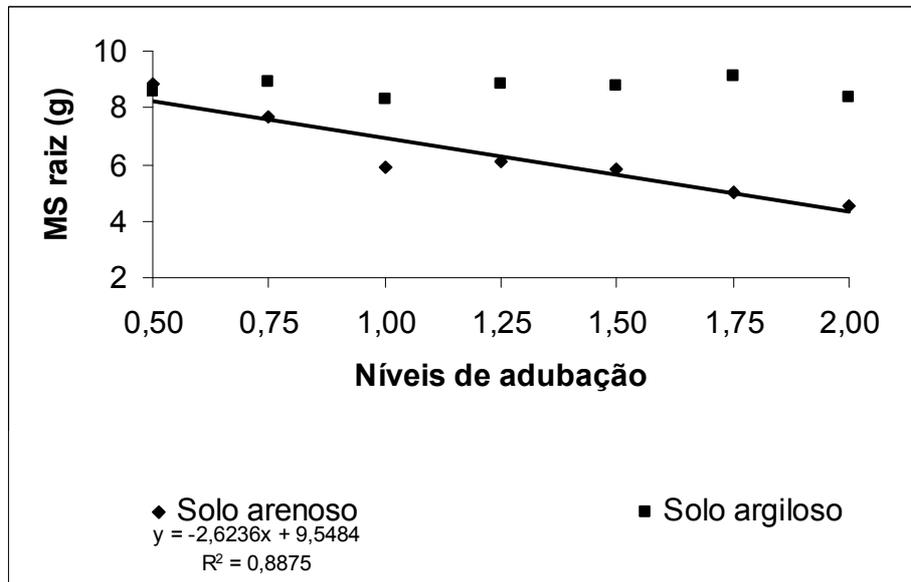
Assim como foi discutido para a mesma variável na terceira avaliação, possivelmente, o aumento da adubação com N, P, K, promoveu um menor desenvolvimento das plantas e, como consequência, um menor diâmetro do caule das mesmas, possivelmente, devido a um excesso de adubação, causando desequilíbrio ou, mesmo, aumento da salinidade do solo.

#### **4.2 Massa seca da raiz (MSR)**

A produção de massa seca das raízes apresentou ajuste linear decrescente para os níveis de adubação com N, P, K, em função do tipo de solo arenoso (Figura 3).

O máximo de massa seca de raiz produzida foi com 50% das doses de N, P, K ( $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio), e mínimo de massa seca com 200% da dose de adubação com N, P, K ( $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $800 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio).

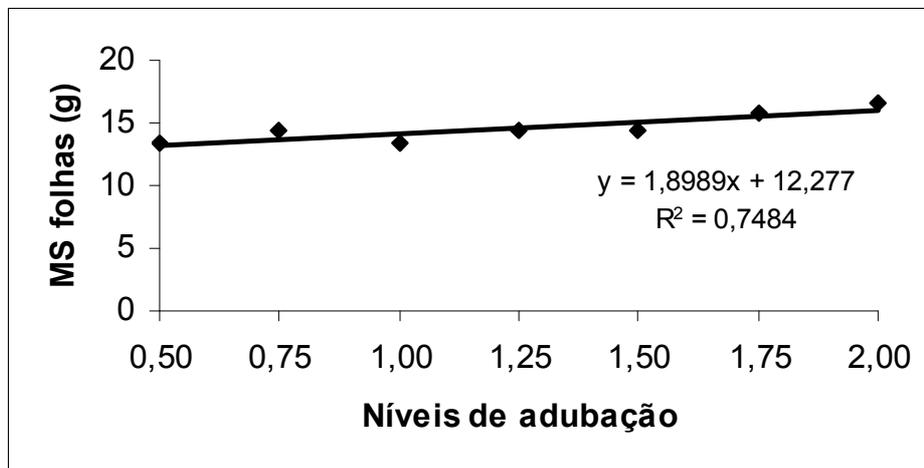
Como constatado na análise das folhas dos cafeeiros, observou-se que o excesso de nitrogênio e potássio e uma possível falta de fósforo prejudicaram o desenvolvimento das plantas, tanto em diâmetro do caule quanto em massa seca de raízes. Esse resultado, evidenciando a menor massa seca de raízes, pode ser atribuído à deficiência de fósforo constatada na análise das folhas das plantas (Matiello & Carvalho, 1982).



**FIGURA 3** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação de massa seca de raiz (g) de mudas de café produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

#### 4.3 Massa seca de folhas (MSF)

Houve um ajuste linear crescente para massa seca das folhas em relação aos níveis de adubação (Figura 4). Com o aumento da adubação de N, P, K, também houve aumento na massa seca de folhas em solo arenoso, embora pouco representativo, variando de um mínimo de 14g para um máximo de 16g.

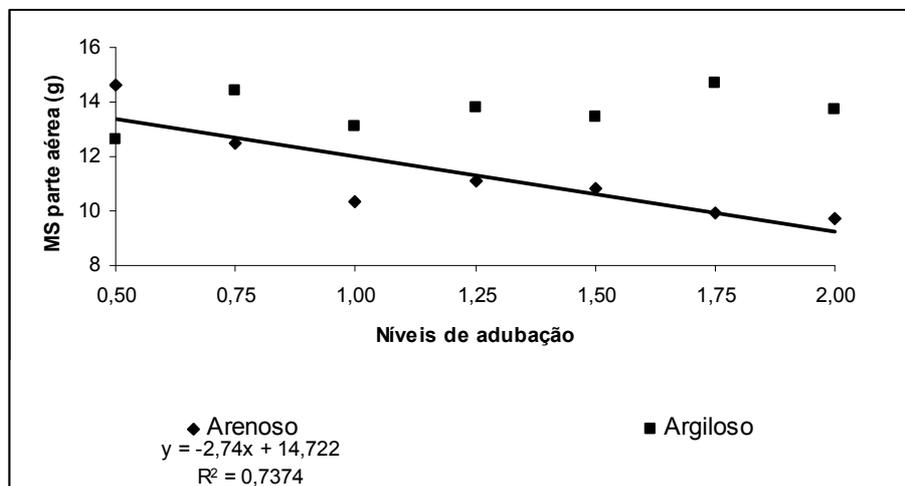


**FIGURA 4** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação de massa seca de folhas (g) de plantas de cafeeiro produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

No nível de 50% de adubação com N, P, K (50 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo e 200 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio e potássio), a massa seca nas folhas já apresentava aproximadamente 14g e, com o aumento dos níveis de adubação até 200% de N, P, K (200 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo e 800 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio e potássio), teve o seu teor elevado até aproximadamente 16g.

#### 4.4 Massa seca da parte aérea

De acordo com a Figura 5, observa-se que, com o aumento dos níveis de adubação de N, P, K, houve uma diminuição em relação ao teor de massa seca da parte aérea em solo arenoso. Foi obtida uma diminuição de aproximadamente 14g para 10g no intervalo de 50% para 200% da dose.



**FIGURA 5** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação da massa seca da parte aérea (g) de mudas de cafeeiro produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

#### 4.5 Massa seca total

Não houve efeito significativo em relação à quantidade de massa seca total quando se fez a análise de variância para este padrão.

#### 4.6 Influência dos tratamentos no teor foliar

Procedeu-se a análise foliar das plantas, na qual se fez a quantificação dos teores de macro e micronutrientes. De posse desses valores, realizaram-se as análises estatísticas dos teores de nutrientes em relação aos níveis de adubação. Os dados avaliados pela análise de variância estão representados nas Tabelas 5A e 6A.

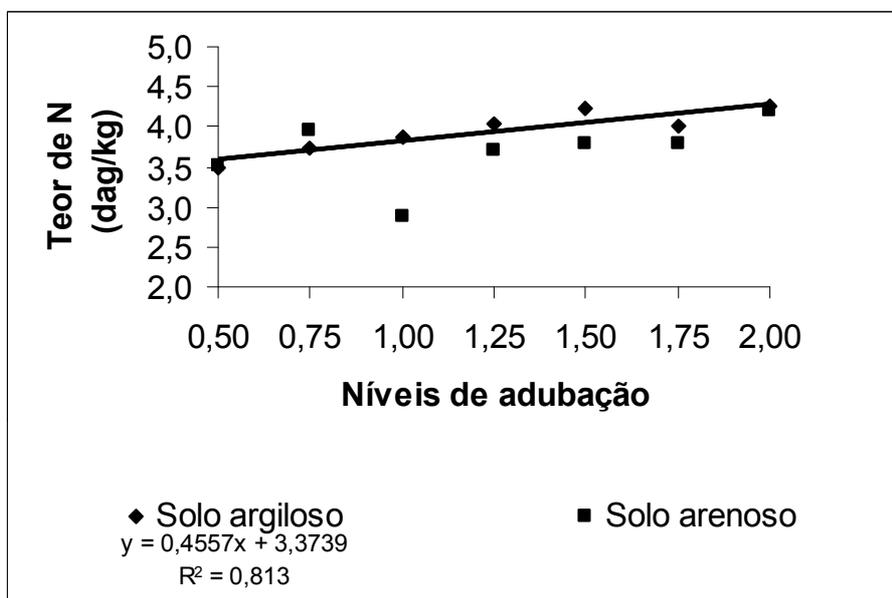
#### 4.6.1 Nitrogênio

Na Figura 6 está representada a equação de regressão e coeficiente de determinação do nitrogênio foliar, em função dos níveis de adubação do solo.

Houve efeito significativo linear dos níveis de adubação em relação ao teor de nitrogênio na massa seca das folhas, como foi também encontrado por Gontijo (2004). O teor foliar de N aumentou significativamente, quando se aumentou o nível de adubação de N, P, K, no solo argiloso.

O aumento no teor de nitrogênio em função da elevação dos níveis de adubação é esperado, embora, nas doses equivalentes a 50% do nível utilizado como padrão ( $100\text{mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $400\text{mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio), já estejam acima dos níveis considerados ideais, pois Guimarães (1994) cita como ideal  $3,14\text{ dag kg}^{-1}$  e Gontijo (2004)  $2,57$  a  $2,78\text{ dag kg}^{-1}$ , como faixa ideal de N nas folhas.

Assim, mais uma vez, torna-se evidente que o menor nível de adubação utilizado no presente trabalho já superava o necessário para a nutrição das plantas de cafeeiro em vasos sem furos, considerando que, em 50% do utilizado como padrão o teor de N nas folhas, já era superior a  $3,5\text{ dag kg}^{-1}$ . Não se justifica, portanto, a elevação do nível de adubação, quando o nitrogênio é considerado.

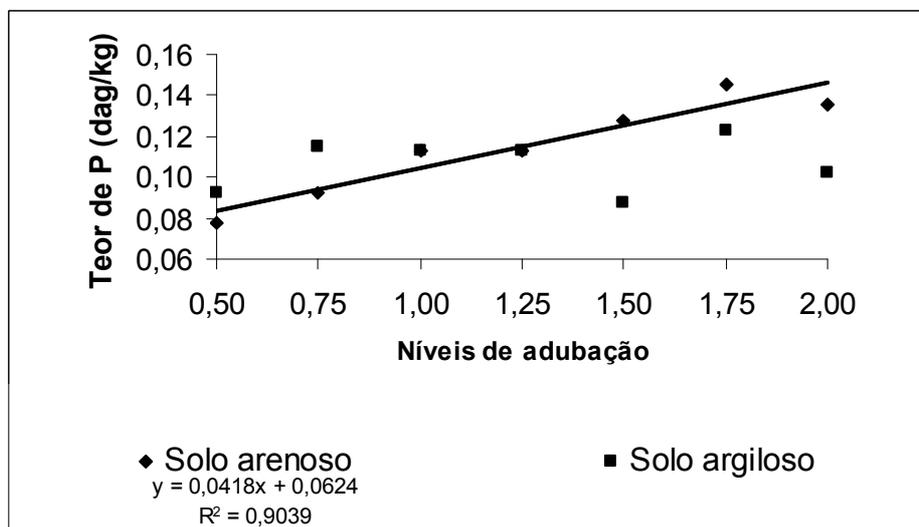


**FIGURA 6** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do teor de nitrogênio ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) em folhas de mudas de cafeeiro produzidas, em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

#### 4.6.2 Fósforo

Com relação ao fósforo na matéria seca das folhas, observa-se, na Figura 7, que, quando aumentavam-se os níveis de adubação com N, P, K, havia um efeito significativo no teor de fósforo nas folhas de mudas de cafeeiro.

O teor de fósforo nas folhas teve um efeito significativo linear crescente à medida que aumentaram os níveis de adubação (N, P, K) no solo arenoso, porém, no solo argiloso, não foram observadas diferenças em relação ao teor de fósforo nas folhas, possivelmente devido à retenção no solo.



**FIGURA 7** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do teor de fósforo ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) em folhas de mudas de café produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

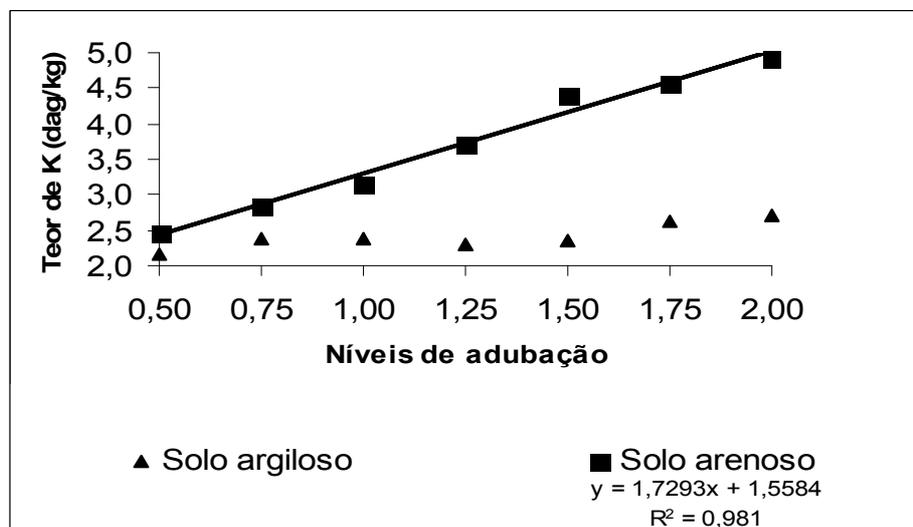
O fato de ter ocorrido somente efeito significativo no solo arenoso pode ser explicado por esse não reter os nutrientes com tanta intensidade e, com isso, propiciar uma maior disponibilidade e, conseqüentemente, uma maior absorção de P pelas plantas.

O aumento no teor de fósforo em função da elevação dos níveis de adubação é esperado, porém, mesmo na maior dose utilizada no presente trabalho, 200% do nível utilizado como padrão, não foram atingidos os níveis considerados ideais, pois Guimarães (1994) cita como ideal  $0,32 \text{ dag kg}^{-1}$  e Gontijo (2004)  $0,33$  a  $0,38 \text{ dag kg}^{-1}$ , como faixa ideal de fósforo nas folhas. O nível de P nas folhas ficou muito abaixo do ideal.

Assim, observa-se que a dose de fósforo utilizado no presente trabalho não atendeu às necessidades da planta nesse estágio de desenvolvimento, talvez porque uma planta jovem necessite de uma maior concentração de fósforo na solução do solo, devido ao seu sistema radicular ter ainda pouca capacidade de absorção, por ter pouca superfície de absorção, explorando menor volume de solo. Essas observações estão de acordo com resultados apresentados por Matiello & Carvalho (1982).

#### 4.6.3 Potássio

Houve efeito significativo dos níveis de adubação em solo arenoso para o teor de potássio nas folhas, como pode ser observado na Figura 8.



**FIGURA 8** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do teor de potássio ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) em folhas de mudas de café produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Como foi comentado anteriormente para o fósforo, o mesmo ocorreu para o potássio, ou seja, com o aumento das doses de adubação a quantidade de potássio nas folhas também aumentou, devido à maior disponibilidade do nutriente no solo arenoso.

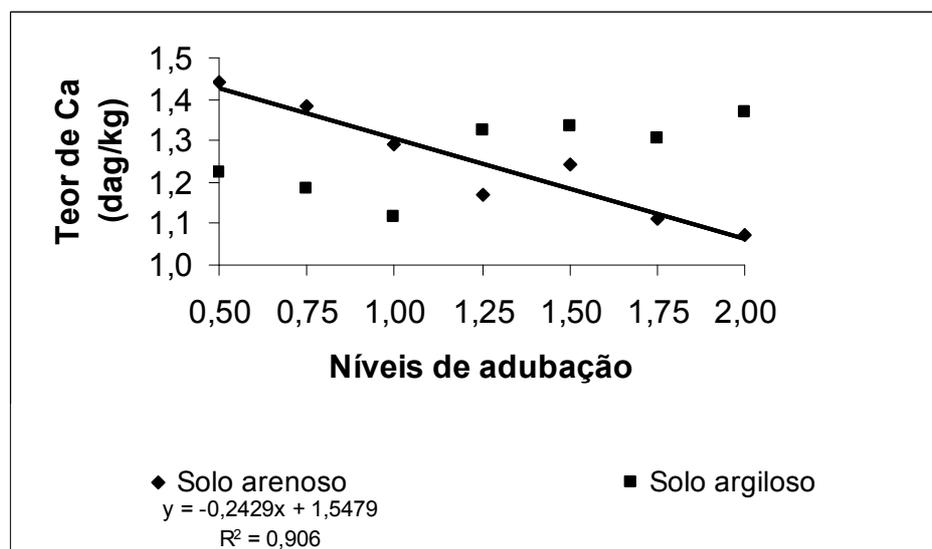
Em relação ao teor de nitrogênio citado na Figura 3, em que, a partir de 50% de adubação com N, P, K, já atingiu com  $3,5 \text{ dag kg}^{-1}$ , o teor de K na matéria seca das folhas apresentava  $2,5 \text{ dag kg}^{-1}$ . O teor de potássio teve um efeito significativo linear crescente, atingindo aproximadamente  $5 \text{ dag kg}^{-1}$  quando o nível de adubação era máximo ( $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $800 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio).

O aumento no teor de potássio em função da elevação dos níveis de adubação é esperado, embora nas doses equivalentes a 50% e 100% do nível utilizado como padrão ( $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e potássio), já estarem acima dos níveis considerados ideais, pois Guimarães (1994) cita como ideal  $2,20 \text{ dag kg}^{-1}$  e Gontijo (2004)  $2,58$  a  $2,70 \text{ dag kg}^{-1}$  como faixa ideal de potássio nas folhas.

Assim, mais uma vez se torna evidente que o menor nível de adubação utilizado no presente trabalho já superava o necessário para a nutrição das plantas de café em vasos, considerando que, em 50% do utilizado como padrão, o teor de K nas folhas já era superior a  $2,5 \text{ dag kg}^{-1}$ , não justificando, portanto, a elevação do nível de adubação, quando o potássio é considerado.

#### 4.6.4 Cálcio

A cada  $\text{mg kg}^{-1}$  que se aumenta do nível de adubação com N, P, K notou-se um decréscimo de  $0,2429 \text{ dag kg}^{-1}$  no teor observado de cálcio nas folhas, ou seja, um decréscimo de  $0,2429 \text{ dag kg}^{-1}$  de cálcio quando se têm  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio e  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de potássio (Figura 9).



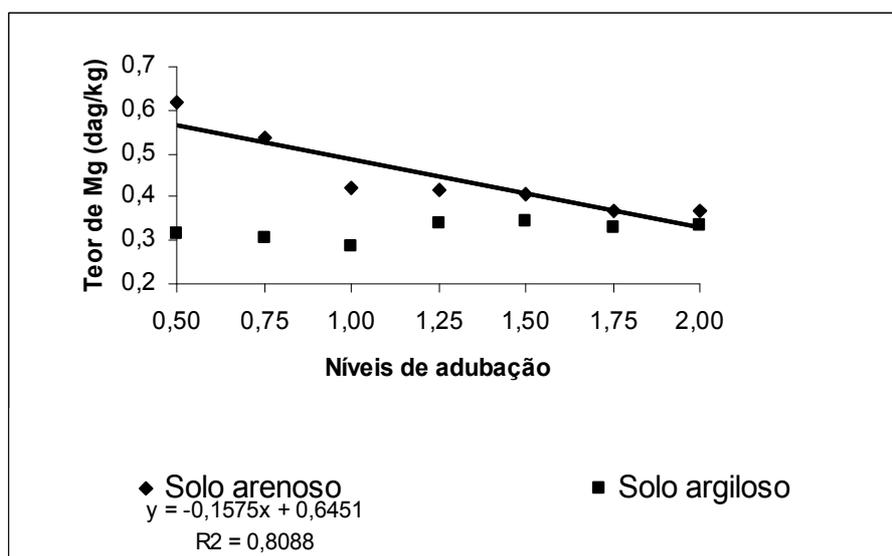
**FIGURA 9** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do teor de cálcio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas de mudas de café produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

A diminuição no teor de cálcio nas folhas pode ter ocorrido por causa da interação com o potássio, ou seja, à medida que se aumentava a dose de K, menos cálcio era absorvido pelas raízes, ocorrendo uma inibição competitiva, ou seja, quando os íons competem pelo mesmo sítio ou carregador (Malavolta, 1986).

Gontijo (2004) encontrou valores variando entre 0,62 a 0,86 dag kg<sup>-1</sup> de tores de cálcio nas folhas. Guimarães (1994) encontrou teor foliar médio de 0,87 dag kg<sup>-1</sup>. Esses valores se encontram abaixo dos teores encontrados (1,1 e 1,4 dag kg<sup>-1</sup>), mesmo quando se aplicou a menor dose de adubação que corresponde a 50% da dose recomendada pela CFSEMG (1999). Porém, Guimarães (1994) e Gontijo (2004) não fizeram calagem no substrato e nem correção de acidez ou alumínio. A partir daí, a alta concentração de potássio parece ter influenciado negativamente na absorção radicular de cálcio, mesmo sendo o Ca aplicado em doses crescentes com o supertriplo.

#### **4.6.5 Magnésio**

O teor de magnésio nas folhas de mudas de cafeeiro quando adubadas com N, P, K, teve sua quantidade reduzida à medida que se aumentava os níveis de adubação, à semelhança do ocorrido com o cálcio (Figura 10). Porém Guimarães (1994) e Gontijo (2004) não fizeram calagem no substrato e nem correção de acidez ou alumínio.



**FIGURA 10** Valores observados, equação de regressão e coeficiente de determinação do teor de magnésio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas de mudas de cafeeiro produzidas em diferentes níveis de adubação do solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Obeve-se teor máximo ( $0,6 \text{ dag kg}^{-1}$ ) de magnésio nas folhas na mínima dose de adubação (50%) e teor mínimo ( $0,3 \text{ dag kg}^{-1}$ ) na maior dose (200%).

Em relação aos resultados encontrados por Gontijo (2004) para teores de Mg nas folhas, variando de  $0,10$  a  $0,12 \text{ dag kg}^{-1}$ , o presente trabalho mostra um teor inicial de Mg superior, com aproximadamente  $0,60 \text{ dag kg}^{-1}$ , em que a partir desse, com o aumento dos níveis de adubação, houve uma diminuição no teor de magnésio nas folhas. Já Guimarães (1994) encontrou teores de magnésio mais próximos aos determinados nesse trabalho, com  $0,43 \text{ dag kg}^{-1}$ . Porém, Gontijo (2004) e Guimarães (1994) não adicionaram Mg ao substrato como no presente trabalho, no qual utilizou-se hidrôxido de magnésio.

Como foi comentado para o cálcio, também em relação ao magnésio pode ter ocorrido uma interação com o potássio (inibição competitiva), fazendo com que diminuísse o teor de Mg nas folhas (Malavolta, 1986), à medida que se aumentava o K.

Mais uma vez, observa-se que a dose de potássio utilizada nesse trabalho para adubação de cafeeiros em vasos foi excessiva.

#### **4.6.6 Zinco**

Não houve efeito significativo no teor de zinco com a aplicação de doses crescentes de N, P, K, sendo os valores médios observados de 16,95.

## 5 CONCLUSÕES

- Para o cultivo de cafeeiros em vasos, com objetivo de pesquisas científicas, solos mais arenosos potencializam o efeito negativo do excesso de adubação.
- Para a adubação de cafeeiros em vasos,  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo são insuficientes para o seu desenvolvimento, sendo necessários estudos com doses mais elevadas de P.
- A menor dose de nitrogênio e potássio utilizada neste trabalho ( $200 \text{ mg dm}^{-3}$ ) já é excessiva para a adubação de cafeeiros em vasos, podendo prejudicar a nutrição com cálcio e magnésio e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2002. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2002.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. Rio de Janeiro: Coffee Business. 2002/2003. 101 p.

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 3, p. 448-456, May/June 1996.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUEPE, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais Climatológicas (1960-1990)** Brasília: MA/SNI/DNM-MET, 1992. 84 p.

CAMARGOS, S. L.; CARVALHO, J. G. **Tópicos de nutrição mineral de plantas: absorção iônica radicular**. Lavras: ESAL, 1988. 37 p. (Apostila)

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 457p.

CARVALHO, F. Estudo da atividade da nitrato redutase em mudas de café (*Coffea arabica L.*), cultivadas a meia sombra e a pleno sol sob as formas nítrica e amoniacal de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 3., 1975, Curitiba. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1975. p. 208-210.

CARVALHO, J. G. de.; LOPES, A. S.; BRASIL, E.; JÚNIOR, R. A. R. **Diagnose da fertilidade do solo e do estado nutricional de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 95 p.

COELHO, F. S. Nitrogênio no solo e na planta. In: \_\_\_\_\_. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. p.16-64.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Café. In: \_\_\_\_\_. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 289-302.

DARA, S. T.; FIXEN, P. E.; GELDERMAN, R. H. Sufficiency level and diagnosis and the corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 6, p. 1006-1010, Nov./Dec. 1992.

EVENHUIS, B.; WAAR, P. W. Principles and practices in plant analysis. In: **FAO. Soils**. Rome, 1980. p. 152-153. (FAO. Bulletin, 38/1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **UFV avalia o estado nutricional de cafeeiro em Minas Gerais**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/cafê>>. Acesso em: 17 mar. 2005.

FALCO, L. **Fontes e doses de matéria orgânica na produção de mudas e na implantação de lavouras cafeeiras**. 1999. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERREIRA, D. R. Análises estatísticas por meio de Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FRANCO, C. M. Translocação lateral de N, P, K no cafeeiro. In: CONGRESSO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 10., 1993, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p. 1-2.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A de A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GONTIJO, R. A. N. **Faixa crítica de teores de macro e micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)** 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, R. J. **Análise do crescimento e da quantificação de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), durante seus estádios de desenvolvimento em substrato padrão**. 1994. 113 p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. III. Efeito das deficiências dos macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon (B. rodr.) Choussy) cultivados em solução nutritiva. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 35, n. 4, p. 273-289, dez. 1960.

KIRALY, Z. Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients in fertilizers. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 12., 1976. **Proceedings...** [S.I.: s.n.], 1976. p. 33-46.

LOPES, A. S.; VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: COOPESAL/ESAL, [19--]. v. 1, 160 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO, 1986, Piracicaba. **Simpósio...** Piracicaba: Associação Brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 44-79, 104-218.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1983. 224 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVIERA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômicas Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas-princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARTIN, H. W.; SPARKS, D. L. On the behavior of monexchangeable potassium in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 16, n. 2, p. 133-162, Feb. 1985.

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Publicações Globo rural, 1997. 139 p.

MATIELLO, J. B.; CARVALHO, F. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. 224 p.

- MAY, J. T. Soil moisture. In: SOUTHERN pine nurse handb. [S. 1]: USDA. Forest Service. Southern Region, 1984. Cap. 11, p. 1-19.
- MELDAL-JONHENSEN, A.; SUMMER, M. E. Foliar diagnosis norms for potatoes. **Journal of plant nutrition**, New York, v. 2, n. 5, p. 569-576, 1980.
- MELO, B. **Estudo sobre produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes**. 1999. 119 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MELOTTO, E. **Mobilização de carboidratos pelos botões florais de café (*Coffea arabica* L.) em expansão**. 1987. 47 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, n. 2/3, p. 55-61, jan./abr. 1977.
- MILLS, H. A.; JONES JR., J. B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro-Publishing, 1996. 422 p.
- MORAES, F. R. P. de; LAZZARINI, W.; TOLEDO, S. V. de; CERVellini, G. S.; FUJIWARA, M. Fontes e doses de nitrogênio na adubação química do cafeeiro. I. Latossolo roxo transição para Vermelho-amarelo orto. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 6, p. 63-77, Fev. 1976.
- MORAES, F. R. P. de. Adubação do cafeeiro – Macronutrientes e adubação Orgânica. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. 3. Ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1982. p. 77-90.
- NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. Adubação mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 99-126.
- PRADO, R. M. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2003. 274 p.
- RENA, A. B.; NACIF, A. P.; GONTIJO, P. de T.; PEREIRA, A. A. **Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1996. p. 73-85.

REUTER, D. J.; ROBSON, J. B. **Plant analysis: an interpretation manual.** Inkata Press, 1988. 218 p.

RIBEIRO, M. F. **Respostas do crescimento, do amido e de macronutrientes do potássio em genótipos de *Coffea arabica* L. com diferentes sensibilidades à seca de ponteiros.** 1993. 50 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RICH, C. I. Potassium in soil minerals. In: POTASSIUM IN SOILS. Colloquium of International potash Institute, 9., 1972. Landshut. **Proceeding...** Berne: Internacional Potash Institute, 1972. p 15-31.

ROSSI, C.; FAQUIM, V.; RAMOS, A. A.; LIMA, H. N.; PASSOS, R. R.; MARQUE, E. S. **Níveis de adubação NPK para o milho e feijão em experimentos em casa de vegetação: I. Produção de matéria seca.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

WILSON, K. C. Mineral Nutrition and fertilizer needs. In: CLIFORD, N. N.; WILSON, K. C. (Ed.) **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverege.** Croom Helm, 1985. part 6, p. 135-156.

VIANA, A. C. C. Ensaio de adubação nitrogenada-fosfatada para mudas de café. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Experimentação cafeeira 1929-1963.** Campinas: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1967. p. 270-281.

YAMADA, T. **A nutrição mineral e a resistência das plantas às doenças.** Piracicaba: Informações agronômicas, 1995. 3 p. (Encarte Técnico, 72).

## ANEXOS

	<b>Página</b>
TABELA 1A	Resumo das análises de variância para altura (A), diâmetro do caule (D) e número de pares de folhas (PF) das mudas de cafeeiro observados em quatro avaliações. UFLA, Lavras, MG, 2004..... 49
TABELA 2A	Altura (A), diâmetro do caule (D) e número de pares de folhas (PF) das mudas em função dos tipos de solos. UFLA, Lavras, MG, 2004..... 49
TABELA 3A	Altura (A), diâmetro do caule (D) e número de pares de folhas (PF) das mudas em função dos níveis de adubação. UFLA, Lavras, MG, 2004..... 50
TABELA 4A	Resumo das análises de desdobramento dos níveis de adubação em cada tipo de solo para diâmetro do caule (D) na terceira e quarta avaliações. UFLA, Lavras, MG, 2004..... 50
TABELA 5A	Resumo das análises de variância para os teores de macro e micronutrientes, matéria seca de raiz (MSR), matéria seca do caule (MSC) e matéria seca das folhas (MSF). UFLA, Lavras, MG, 2004..... 51

TABELA 6A	Resumo das análises de desdobramento para os teores de macro e micronutrientes e matéria seca de raiz (MSR). UFLA, Lavras, MG, 2004.....	51
TABELA 7A	Teor de Zn, matéria seca de caule (MSC) e matéria seca das folhas (MSF) em função dos tipos de solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	52
TABELA 8A	Teor de Zn e massa seca de caule (MSC) em função dos diferentes níveis de adubação. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	52

**TABELA 1A** Resumo das análises de variância para altura (A), diâmetro do caule (D) e número de pares de folhas (PF) das mudas de cafeeiro, em quatro avaliações. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Causas de variação	GL	Quadrados médios											
		Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3			Avaliação 4		
		A	D	PF	A	D	PF	A	D	PF	A	D	PF
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)		(cm)	(cm)		(cm)	(cm)		
Blocos	3	1,50 <sup>ns</sup>	0,0032 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	6,17 <sup>ns</sup>	0,0018 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	6,37 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	5,29 <sup>ns</sup>	0,0006*	0,58 <sup>ns</sup>
Níveis (N)	6	1,53 <sup>ns</sup>	0,0010 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	2,51 <sup>ns</sup>	0,0041 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	7,89 <sup>ns</sup>	0,0023 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	8,48 <sup>ns</sup>	0,0035 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>
Solos (S)	1	35,28**	0,0105**	0,36 <sup>ns</sup>	94,64**	0,0274**	5,78**	9,20 <sup>ns</sup>	0,0116*	1,97 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>ns</sup>	11,16**
N x S	6	2,14 <sup>ns</sup>	0,0015 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	5,56 <sup>ns</sup>	0,0034 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	11,56 <sup>ns</sup>	0,0041*	0,95 <sup>ns</sup>	9,84 <sup>ns</sup>	0,0050**	0,32 <sup>ns</sup>
Resíduo	39	2,00	0,0018	0,36	2,52	0,0029	0,38	6,29	0,0017	1,02	6,02	0,0014	0,69
C.V. (%)	-	7,96	8,94	8,60	7,01	9,17	6,65	8,78	6,50	8,99	7,91	5,55	6,74
Média	-	17,74	0,48	6,99	22,65	0,58	9,32	28,55	0,64	11,24	31,01	0,68	12,32

\*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente

<sup>ns</sup> não significativo

49

**TABELA 2A** Altura (A), diâmetro do caule (D) e número de pares de folhas (PF) das mudas, em função dos tipos de solos. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Tipo de solo	Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3			Avaliação 4		
	A	D	PF	A	D	PF	A	D	PF	A	D	PF
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)		(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	
Argiloso	18,5 a	0,49 a	7,1 a	24,0 a	0,61 a	9,6 a	28,9 a	-	11,4 a	31,1 a	-	12,8 a
Arenoso	17,0 b	0,46 b	6,9 a	21,4 b	0,56 b	9,0 b	28,1 a	-	11,0 a	30,9 a	-	11,9 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de F, a 5% de probabilidade

**TABELA 3A** Altura (A), diâmetro do caule (D) e número de pares de folhas (PF) das mudas, em função dos níveis de adubação. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Níveis de adubação	Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3			Avaliação 4		
	A (cm)	D (cm)	PF	A (cm)	D (cm)	PF	A (cm)	D (cm)	PF	A (cm)	D (cm)	PF
0,50	17,4 a	0,46 a	7,2 a	22,7 a	0,62 a	9,3 a	28,7 a	-	10,6 a	30,1 a	-	12,2 a
0,75	17,5 a	0,48 a	7,1 a	22,3 a	0,58 a	9,2 a	28,2 a	-	11,5 a	30,7 a	-	12,0 a
1,00	18,3 a	0,48 a	6,7 a	22,0 a	0,58 a	9,2 a	27,6 a	-	10,8 a	30,1 a	-	11,7 a
1,25	17,9 a	0,49 a	7,2 a	22,4 a	0,60 a	9,3 a	27,8 a	-	11,6 a	31,0 a	-	12,6 a
1,50	17,1 a	0,48 a	6,8 a	22,4 a	0,60 a	9,1 a	28,0 a	-	11,1 a	30,2 a	-	12,3 a
1,75	17,1 a	0,47 a	7,1 a	23,3 a	0,56 a	9,4 a	29,1 a	-	11,3 a	32,1 a	-	13,0 a
2,00	17,7 a	0,46 a	6,9 a	23,5 a	0,55 a	9,6 a	30,5 a	-	11,8 a	32,7 a	-	12,6 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de F, a 5% de probabilidade

50

**TABELA 4A** Resumo das análises de desdobramento dos níveis de adubação em cada tipo de solo para diâmetro do caule (D) na terceira e quarta avaliações. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		Avaliação 3 D (cm)	Avaliação 4 D (cm)
Níveis de adubação: arenoso	(6)	0,005436*	0,007395**
Linear	1	0,017500**	0,031390**
Quadrática	1	0,000005 <sup>ns</sup>	0,000644 <sup>ns</sup>
Cúbica	1	0,005251 <sup>ns</sup>	0,008251*
Níveis de adubação: argiloso	(6)	0,000951 <sup>ns</sup>	0,001118 <sup>ns</sup>

\*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

<sup>ns</sup> não significativos

**TABELA 5A** Resumo das análises de variância para os teores de macro e micronutrientes, massa seca de raiz (MSR), massa seca do caule (MSC), massa seca das folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA). UFLA, Lavras, MG, 2004.

Causas de variação	GL	Quadrados médios									
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	MSR	MSC	MSF	MSPA
Blocos	3	0,0599 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,6117**	0,0658 <sup>ns</sup>	0,0192*	11,6799	0,5031 <sup>ns</sup>	0,8492 <sup>ns</sup>	11,5814*	0,1554 <sup>ns</sup>
Níveis (N)	6	0,6941**	0,0017**	2,4340**	0,0190 <sup>ns</sup>	0,0157*	1,5128	4,7659*	0,4766 <sup>ns</sup>	11,2418*	4,7033 <sup>ns</sup>
Solos (S)	1	0,8725*	0,0009 <sup>ns</sup>	23,8423**	0,0064 <sup>ns</sup>	0,2237**	15,8472	82,3530**	0,0126 <sup>ns</sup>	59,9679**	80,3283*
N x S	6	0,3137*	0,0011**	1,2691**	0,0917**	0,0215**	4,3822	4,6633*	1,3136 <sup>ns</sup>	4,4721 <sup>ns</sup>	9,2331**
Resíduo	39	0,1225	0,0002	0,0915	0,0279	0,0052	5,9321	1,9235	0,8269 <sup>ns</sup>	3,4869	3,6472
C.V. (%)	-	9,17	14,04	9,86	13,33	18,83	14,37	18,54	18,13	12,75	15,28
Média	-	3,81	0,11	3,07	1,25	0,38	16,95	7,48	5,02	14,65	12,45

\*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

<sup>ns</sup> não significativo

**TABELA 6A** Resumo das análises de desdobramento para os teores de macronutrientes, massa seca de raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA). UFLA, Lavras, MG, 2004.

Causas de variação	GL	Quadrados médios							
		N	P	K	Ca	Mg	MSR	MSPA	
Níveis de adubação: arenoso	(6)	0,70983**	0,00225**	3,55650**	0,07594*	0,03578**	9,0480**	11,8929**	
Linear	1	1,02223**	0,01222**	20,93300**	0,41285	0,17364**	48,181**	52,5395**	
Quadrática	1	0,66964*	0,00055 <sup>ns</sup>	0,01801 <sup>ns</sup>	0,00428	0,03105*	2,6252 <sup>ns</sup>	9,2104 <sup>ns</sup>	
Cúbica	1	0,00260 <sup>ns</sup>	0,00006 <sup>ns</sup>	0,19440 <sup>ns</sup>	0,00183	0,00303 <sup>ns</sup>	1,6016 <sup>ns</sup>	5,4912 <sup>ns</sup>	
Níveis de adubação: argiloso	(6)	0,29802*	0,00064*	0,14670 <sup>ns</sup>	0,03482 <sup>ns</sup>	0,00153 <sup>ns</sup>	0,3812 <sup>ns</sup>	2,0434 <sup>ns</sup>	
Linear	1	1,45372**	0,00005 <sup>ns</sup>	0,65728*	0,11700**	0,00343 <sup>ns</sup>	0,0150 <sup>ns</sup>	2,6230 <sup>ns</sup>	
Quadrática	1	0,14251 <sup>ns</sup>	0,00026 <sup>ns</sup>	0,04526 <sup>ns</sup>	0,00503 <sup>ns</sup>	0,00000 <sup>ns</sup>	0,1542 <sup>ns</sup>	0,3536 <sup>ns</sup>	
Cúbica	1	0,00633 <sup>ns</sup>	0,00050 <sup>ns</sup>	0,07260 <sup>ns</sup>	0,02007 <sup>ns</sup>	0,00201 <sup>ns</sup>	0,5704 <sup>ns</sup>	0,1204 <sup>ns</sup>	
Resíduo	39	0,12259	0,00024	0,09152	0,02798	0,00525	1,9235	3,6472	

\*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

<sup>ns</sup> não significativo

**TABELA 7A** Teor de Zn, massa seca de caule (MSC), massa seca das folhas (MSF) e massa seca total (MST), em função de tipos de solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

<b>Tipo de solo</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>MSC (g)</b>	<b>MSF (g)</b>	<b>MST (g)</b>
Argiloso	17,5 a	5,00 a	13,62 b	27,30 a
Arenoso	16,4 a	5,03 a	15,68 a	26,98 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

**TABELA 8A** Teor de Zn, massa seca de caule (MSC) e massa seca total, em função dos diferentes níveis de adubação. UFLA, Lavras, MG, 2004.

<b>Níveis de adubação</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>MSC (g)</b>	<b>MST (g)</b>
0,50	17,4 a	4,93 a	27,06 a
0,75	16,8 a	5,16 a	27,92 a
1,00	16,9 a	4,62 a	25,17 a
1,25	17,1 a	4,98 a	26,75 a
1,50	16,5 a	4,86 a	26,58 a
1,75	17,5 a	5,23 a	28,14 a
2,00	16,4 a	5,30 a	28,40 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de F, a 5% de probabilidade.