

**ÉDIO LUIZ DA COSTA**

**FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA POR GOTEJAMENTO EM  
CAFEZAL E SUA INFLUÊNCIA EM CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS  
DO SOLO**

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

**ÉDIO LUIZ DA COSTA**

**FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA POR GOTEJAMENTO EM  
CAFEZAL E SUA INFLUÊNCIA EM CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS  
DO SOLO**

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: 29 de junho de 2005

---

Prof. Júlio César Lima Neves  
(Conselheiro)

---

Dr. Rogério Faria Vieira  
(Conselheiro)

---

Dr. Antônio de Pádua Alvarenga

---

Dr. Gabriel Ferreira Bartholo

---

Prof. Márcio Mota Ramos  
(Orientador)

Dedico,

A Deus, ser supremo.

À minha esposa Isabel e filhas Mariana e Isabela que, com extrema compreensão, relevaram os inumeráveis momentos delas roubados para a execução deste trabalho.

À minha mãe Mariana, irmãos, cunhados e sobrinhos.

“Não se compreende todo o caminho num grande e único passo: novas estradas se abrem quando se persiste no caminhar.” Danilo Gandin

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, aquele que nos fortalece em todos os momentos.

À minha esposa Isabel pela dedicação e carinho.

À EPAMIG pela liberação para o ingresso no curso de doutoramento.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial o Departamento de Engenharia Agrícola, juntamente com seus funcionários e professores pelo apoio, dedicação e ensinamentos transmitidos durante o curso.

À FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido.

Ao professor Márcio Mota Ramos pela orientação, aconselhamento e amizade durante este período.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela amizade, os valiosos conselhos e ensinamentos, e a orientação na análise dos resultados.

Ao Dr. Rogério Faria Vieira, pelos valiosos conselhos e amizade.

Ao empresário Paulo Márcio Fontes, proprietário da Fazenda Laje, e aos seus funcionários pelo apoio no decorrer do experimento.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Agrícola e de Solos pela amizade e pelo companheirismo nos bons e maus momentos.

Ao acadêmico da UFV Carlos Eduardo Costa Paiva pelo valoroso empenho nos trabalhos de análise química do solo.

À chefia e aos laboratoristas do Departamento de Solos e Fitotecnia pela colaboração e por viabilizar o uso de laboratórios e equipamentos, imprescindíveis ao andamento dos trabalhos.

À chefia e colegas da EPAMIG – CTZM, pelo apoio recebido.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização e bom êxito deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

ÉDIO LUIZ DA COSTA, filho de Francisco José da Costa e Mariana de Melo Costa, nasceu na cidade de Lavras, Minas Gerais, em 17 de abril de 1967.

Em 1986, ingressou no curso de Engenharia Agrícola da Escola Superior de Agricultura de Lavras – ESAL, que mais tarde tornou-se UFLA, onde graduou-se em 1991.

Entre 1992 e 1994, foi bolsista de Aperfeiçoamento\CNPq na UFLA na área de pesquisa de manejo de irrigação em citrus.

Em 1994, ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na área de manejo de água e solos da Universidade Federal de Lavras, concluindo-o em 1996.

Em 1997 foi aprovado em concurso público na Universidade Federal de Lavras para professor substituto na área de cartografia.

Desde janeiro de 1998, aprovado em concurso público estadual, é pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, onde atua na área de Recursos Hídricos.

De 1998 a 2001, foi secretário executivo do programa estadual de agricultura irrigada, instituído pela Epamig.

Em agosto de 2001, ingressou no curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na área de recursos hídricos e ambientais da Universidade Federal de Viçosa.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESES.....</b>	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVO.....</b>	<b>5</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
4.1 Movimento de íons no solo.....	6
4.2 Processos de transformação do N no solo .....	7
4.3 Alterações químicas no solo com a fertirrigação de fontes de nitrogênio .....	10
4.4 Efeito da adubação nitrogenada nas plantas .....	12
4.5 Fertirrigação.....	14
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
5.1 Características da área experimental.....	19
5.2 Avaliação das características químicas do solo .....	19
5.3 Avaliação das características do cafeeiro .....	21
5.4 Avaliação das características químicas das folhas do cafeeiro.....	22
5.5 Manejo da irrigação .....	22
5.6 Delineamento experimental e tratamento estatístico .....	26
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
6.1 Manejo da irrigação .....	30
6.2 ENSAIO I - ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DO CAFEEIRO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO COM O USO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO APLICADAS POR FERTIRRIGAÇÃO .....	31
6.2.1 Situação inicial do experimento.....	31
6.2.2 Efeito das fontes e doses de nitrogênio sobre as características químicas do solo .....	32
6.2.2.1 Efeito das doses sobre as características do solo .....	33
6.2.2.2 Efeito das fontes de N sobre as características químicas do solo .....	36
6.2.2.3 Alteração das características do solo com a profundidade .....	40
6.2.3 Efeito das fontes e doses de nitrogênio no cafeeiro.....	50
6.2.3.1 Efeito dos tratamentos nas características da planta.....	50

6.2.3.2 Efeito dos tratamentos na produtividade e rendimento .....	50
6.2.4 Efeito dos tratamentos no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro.....	53
6.2.4.1 Efeito das doses no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro.....	53
6.2.4.2 Efeito das fontes no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro.....	54
6.3 ENSAIO II - ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DO CAFEEIRO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO EM FUNÇÃO DE FONTES E DO MODO DE APLICAÇÃO DO NITROGÊNIO.....	55
6.3.1 Efeito do modo de aplicação do N nas características do solo .....	55
6.3.2 Efeito das fontes de N sobre as características do solo.....	58
6.3.3 Alteração das características do solo com a profundidade .....	60
6.3.4 Efeito dos tratamentos nas características do cafeeiro.....	68
6.3.5 Efeito dos tratamentos na produtividade e rendimento .....	70
6.3.6 Efeito dos tratamentos no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro.....	71
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alteração no pH da rizosfera de soja afetado pela fonte de N aplicada.....	12
Figura 2. Temperaturas ótima, mínima, média e máxima no período de condução do experimento. ....	23
Figura 3. Média da precipitação mensal histórica e precipitação observada, em mm, no período de condução do experimento. ....	24
Figura 4. Curva de retenção de água no solo para as diferentes profundidades e a curva representando a média das profundidades. ....	24
Figura 5. Esquema da posição dos pontos de amostragem do solo e da região de influência do bulbo úmido. ....	26
Figura 6. Precipitação, evapotranspiração da cultura e irrigação em mm no período de condução do experimento. ....	30
Figura 7. Teor de água no solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e umidade de segurança no período de condução do experimento.....	31
Figura 8. Valores de pH no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	41
Figura 9. Teor de acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	43
Figura 10. Concentração de $N-NO_3^-$ no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	45
Figura 11. Concentração de $NH_4^+$ no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	46
Figura 12. Valores de V no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	48

Figura 13. Valores de CE no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). .....	49
Figura 14. Produtividade do cafeeiro em função de doses e fontes de adubos nitrogenados. ....	51
Figura 15. Valores de pH no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). .....	62
Figura 16. Teor de acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	64
Figura 17. Concentração de $N-NO_3^-$ no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	65
Figura 18. Concentração de $N-NH_4^+$ no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). ....	66
Figura 19. Valores de V no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). .....	67
Figura 20. Valores de CE no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo). .....	69

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Efeito na concentração de micronutrientes na planta em função das fontes de nitrogênio. ....	13
Quadro 2. Classificação dos valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) .....	17
Quadro 3. Análise granulométrica, classificação textural do solo da área experimental nas diferentes posições em relação ao gotejador e nas diferentes profundidades. ....	25
Quadro 4. Características do solo da área experimental antes da aplicação das fontes e doses de N. ....	32
Quadro 5. Média dos valores das características do solo analisadas em função dos tratamentos, no início e final do experimento. ....	34
Quadro 6. Significância das características do solo sob influência de doses de fertilizantes nitrogenados dentro e fora do bulbo em diferentes camadas. ....	35
Quadro 7. Estimativas dos contrastes seguidas da significância das características do solo em função de doses, posição e profundidade. ....	37
Quadro 8. Modelos de regressão e respectivos coeficientes de determinação dos tratamentos em função da profundidade de amostragem. ....	42
Quadro 9. Médias da percentagem de frutos retidos na planta, altura da planta, diâmetro do caule e número de entrenós emitidos, avaliados entre outubro de 2003 e maio de 2004. ....	50
Quadro 10. Produtividade, em sacas (60 kg) por hectare e rendimento percentual em kg de café em coco por kg de café beneficiado (teor de água de 12%). ....	51
Quadro 11. Teores médios de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro. ....	53
Quadro 12. Significância dos teores de nutrientes na folha do cafeeiro sob influência de doses de fertilizantes nitrogenados. ....	53
Quadro 13. Estimativa dos Contrastes C1 e C2 que comparam as fontes de N na média das doses relativo aos teores foliares de nutrientes. ....	54
Quadro 14. Média dos valores das características do solo analisadas em função da aplicação de N na fertirrigação (F) e no modo convencional (C), no início e final do experimento. ....	56

Quadro 15. Estimativa dos contrastes (C) e nível de significância do teste F das características do solo no modo fertirrigado.....	59
Quadro 16. Estimativa dos contrastes (C) e nível de significância do teste F das características dos nutrientes do solo no modo convencional. ....	59
Quadro 17. Modelos de regressão e respectivos coeficientes de determinação para os tratamentos em função da profundidade de amostragem.....	63
Quadro 18. Médias da percentagem de frutos retidos na planta , altura de planta, diâmetro do caule e número de entrenós emitidos avaliados entre outubro de 2003 e abril de 2004 para o modo fertirrigado (F) e o modo convencional (C).....	70
Quadro 19. Produtividade, em sacas (60 kg) por hectare e rendimento percentual em kg de café em coco por kg de café beneficiado (teor de água de 12%).....	70
Quadro 20. Médias dos teores dos nutrientes na folha nos diferentes tratamentos. ....	71
Quadro 21. Estimativas dos Contrastes seguidas da significância dos teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro. ....	71

## RESUMO

COSTA, Édio Luiz da, D.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005.  
**Fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal e sua influência em características químicas do solo.** Orientador: Márcio Mota Ramos. Conselheiros: Júlio César Lima Neves, Rogério Faria Vieira e Everardo Chartuni Mantovani.

Com o aumento das fronteiras cafeeiras e a necessidade de uma agricultura mais eficiente, surge a necessidade de informações técnicas que melhorem a rentabilidade, a qualidade final do produto e a conservação do ambiente. A irrigação é uma técnica que vem em auxílio dos fatores mencionados acima. No entanto, o aumento da demanda por recursos hídricos tem despertado nos usuários a necessidade do uso racional da água, o que se tem buscado com o uso de métodos de irrigação mais eficientes, como a irrigação localizada. Aliado à maior eficiência na aplicação de água, a eficiência na utilização de fertilizantes tem sido buscada com o uso da fertirrigação, que se ajusta perfeitamente aos métodos de irrigação localizada, especialmente no sistema de gotejamento. A fertirrigação no sistema de gotejamento pode trazer alterações químicas no solo ainda pouco elucidadas pela pesquisa. O objetivo com este trabalho foi proporcionar informações quanto às alterações advindas do uso de diferentes fontes e doses de Nitrogênio aplicadas por fertirrigação e adubação convencional nas características do solo e do cafeeiro irrigado por gotejamento. Os trabalhos foram conduzidos na Fazenda Laje, localizada em Teixeiras-MG, entre agosto de 2003 e julho de 2004. A variedade estudada foi Catuaí Vermelho, plantada no espaçamento de 2,5 x 0,8 m (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>), irrigadas por gotejamento. As características do solo avaliadas foram: CE, pH, Al<sup>3+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e V. As

características analisadas da planta foram: altura da planta, diâmetro do caule, percentagem de frutos retidos na planta, número de entrenós emitidos, produtividade e análise de nutrientes na folha. Foram conduzidos dois ensaios. No ensaio 1, na análise dos dados das características do solo, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em que as fontes de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio) e as doses de N (200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) constituíram os tratamentos da parcela, e as camadas (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,50 m) e as posições amostradas (dentro e fora do bulbo úmido), com restrições à casualização, constituíram os tratamentos das subparcelas. Na análise das características do cafeeiro adotou-se o fatorial 3x3, sendo três fontes e três doses de N, citadas anteriormente. No ensaio 2, na análise dos dados das características do solo, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em que as fontes de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio) e os modos de aplicação de N (fertirrigação e adubação convencional) constituíram os tratamentos da parcela, e as camadas (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,50 m) e as posições amostradas (dentro e fora do bulbo úmido), com restrições à casualização, constituíram os tratamentos das subparcelas. Na análise das características do cafeeiro adotou-se o fatorial 3x2, sendo três fontes de N e dois modos de aplicação de N, citadas anteriormente. As doses de nitrogênio alteraram os valores de saturação de bases, condutividade elétrica, pH e as formas de nitrogênio na região do bulbo úmido. A fonte sulfato de amônio foi responsável pelo maior teor de N-mineral no solo, reduzindo o risco de perdas por lixiviação. A nitrificação foi maior com a aplicação do sulfato de amônio na fertirrigação. Na fertirrigação com a uréia, o teor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentou com a profundidade do solo. A uréia não proporcionou acidificação do solo. As características da planta do cafeeiro não foram alteradas com as fontes, doses e o modo de aplicação do nitrogênio. As fontes de nitrogênio alteraram as características nutricionais do cafeeiro. A produtividade do cafeeiro foi maior com a fertirrigação.

## ABSTRACT

COSTA, Édio Luiz da, D.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2005. **The nitrogen drip fertirrigation in coffee plantation and its influence on the chemical characteristics of the soil.** Adviser: Márcio Mota Ramos. Committee members: Júlio César Lima Neves, Rogério Faria Vieira and Everardo Chartuni Mantovani.

With the increased coffee boundaries and the need for a more efficient agriculture, there appears the requirement for technical information that would improve the profitability, the final quality of the product, and the environmental preservation. The irrigation is an useful technique for the improvement of these factors. However, the increased demand for water resources has stimulating the users' need for the rational water use, which has been searched by the application of more efficient irrigation methods such as the located irrigation. Together with the highest efficiency in water application, the efficiency in the use of fertilizers has been searched by using the fertirrigation, that is perfectly adjusted to the located irrigation methods, especially in the drip irrigation system. When fertirrigation is used in association with the drip system, some poorly elucidated chemical alterations might occur in the soil. This study was conducted to provide information about the changes proceeding from the use of different nitrogen sources and doses applied by fertirrigation and conventional fertilization upon the characteristics of the soil and the drip-irrigated coffee shrub. The work was carried out with the Catuaí Vermelho cv., during the period from August 2003 to July 2004, in Laje farm located in Teixeiras county-MG. This variety was planted at spacings of 2.5 x 0,8 m (5,000 plants ha<sup>-1</sup>) and the drip irrigation was used. The following characteristics of the soil were evaluated:

CE, pH,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ , and V. The following characteristics of the plant were analyzed: the plant height, stem diameter, percentage of coffee beans kept in the shrub, number of the emitted internodes, and productivity and analysis of the leaf nutrients. Two assays were accomplished. In assay 1, when analyzing the data of the soil characteristics, the split-plot design was used where the N sources (urea, ammonium sulfate and calcium nitrate) and N doses (200, 400 and 600  $\text{kg ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ ) constituted the treatments of the plot, whereas the layers (0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; and 0.30-0.50 m) and the sampled positions (inside and outside the wet bulb), with restrictions to randomization, constituted the treatments of the subplots. In analyzing the characteristics of the coffee shrub, the factorial 3x3 was adopted, with three sources and three doses of N, previously mentioned. In assay 2, when analyzing the data of the soil characteristics, the split-plot design was used, where the N sources (urea, ammonium sulfate and calcium nitrate) and the N application methods (fertirrigation and conventional fertilization) constituted the treatments of the plot, whereas the layers (0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30 and 0.30-0.50 m) and the sampled positions (inside and outside of the wet bulb), with restrictions to randomization, constituted the treatments of the subplots. In analyzing the characteristics of the coffee shrub, the factorial 3 x 2 was adopted, as being three N sources and two N-application methods, previously mentioned. The N doses changed the values of the base saturation, electric conductivity, pH, and the nitrogen forms in the wet bulb region. The source of the ammonium sulfate was responsible for the highest content of N-mineral in the soil, thus reducing the risk of leaching losses. The nitrification was higher when the ammonium sulfate was applied by fertirrigation. When urea was applied by fertirrigation, the content of  $\text{N-NH}_4^+$  was increased with soil depth. The urea provided no acidification to the soil. The characteristics of the coffee shrub were not changed with the sources, doses and the application method of nitrogen. The N sources changed the nutritional characteristics of the coffee shrub. The productivity of the coffee shrub was higher with fertirrigation.

## **1. INTRODUÇÃO**

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do Brasil onde ocupa papel de destaque na economia do País. Sua produção é destinada ao mercado interno e externo, sendo o segundo produto agrícola de maior valor de exportação. De acordo com informações da CONAB (2005), a área plantada com café no Brasil é de 2.212.870 ha, sendo que o estado de Minas Gerais colhe 43% da produção brasileira.

Nos últimos anos, houve uma expansão da fronteira cafeeira, principalmente em áreas consideradas marginais. Nestas novas áreas, situadas em regiões onde a deficiência hídrica limita algum dos fatores de produção, ou mesmo em regiões onde o regime pluviométrico é satisfatório, mas ocorrem veranicos, a irrigação é uma prática essencial. Esta viabiliza técnica e economicamente a exploração do cafeeiro e proporciona vantagens e segurança ao usuário desta tecnologia, com melhoria da produtividade, da qualidade dos grãos e da bebida, e proporciona maior retorno financeiro. Segundo dados publicados por EMBRAPA (1999), a cafeicultura irrigada cresceu nos últimos anos, e ocupa cerca de 200.000 ha, correspondendo a 10% da área plantada com café no Brasil, e a 8,7% da área irrigada no País.

Um dos mais importantes desafios que a agricultura irrigada tem enfrentado é suprir as culturas com quantidades ótimas de água e nutrientes.

A crescente demanda por recursos hídricos no meio agrícola, ocasionada, principalmente, pelo aumento de áreas irrigadas, tem despertado nos usuários a necessidade do uso racional da água, de modo a reduzir seu consumo, obter boa produtividade e preservar o ambiente. Dessa forma, os sistemas de irrigação localizada são

os mais indicados para o cafeeiro, especialmente o gotejamento. Este sistema, quando bem dimensionado e manejado, apresenta alta uniformidade de aplicação; permite aplicação localizada de água, o que reduz perdas por evaporação; além de possibilitar aplicação de fertilizantes, o que aumenta a eficiência de absorção de nutrientes pela planta, quando comparado a cultivos não irrigados.

A aplicação de fertilizantes através de sistemas de irrigação localizada é uma prática bastante difundida. Os fertilizantes, na água de irrigação, são aplicados diretamente no bulbo úmido onde há maior concentração e, possivelmente, maior atividade das raízes, o que certamente torna seu uso mais eficiente. Devido à alta frequência e ao volume do bulbo úmido reduzido, os nutrientes adicionados a esse bulbo ficam muito concentrados, proporcionando uma movimentação e transformações químicas diferenciadas das que ocorrem nos solos irrigados com os demais sistemas de irrigação.

A técnica de aplicação de produtos químicos via água de irrigação, chamada de quimigação, tornou-se usual na agricultura moderna. A fertirrigação ou fertigação consiste na aplicação ao solo de fertilizantes solúveis, utilizando-se da própria estrutura dos sistemas de irrigação no fornecimento simultâneo de água e nutrientes às plantas.

No Brasil, de certa forma, a fertirrigação ainda é pouco praticada no meio agrícola, mas está recebendo cada vez mais adeptos. No entanto, problemas com o sistema de irrigação, lixiviação de nutrientes, desequilíbrios químicos e contaminação ambiental podem estar ocorrendo, devido à escassez de informações a respeito dessa técnica.

Entre as espécies cultivadas, o cafeeiro é uma das mais exigentes em nitrogênio. De acordo com as condições da lavoura e da expectativa de produção, a recomendação de nitrogênio para o Estado de São Paulo pode variar de 150 a 450 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para uma produção de 50 a 60 sacas ha<sup>-1</sup>, o que equivale a 1.000 kg.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de uréia (VAN RAIJ et al. 1996). Para o estado de Minas Gerais a recomendação chega a 400 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, de acordo com (GUIMARÃES et al, 1999).

O fornecimento de N à planta pode ser feito na forma nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e amídica. Essas formas ao serem aplicadas no solo, podem modificar suas propriedades químicas e alterar o seu pH. Como a movimentação do N está relacionada com a forma em que ele se encontra, as mudanças químicas provocadas pelo íon poderão ocorrer em diversas camadas do solo.

A cultura do café, por ser perene, tem um sistema radicular profundo e exige altas doses de N. Além disso, de acordo com informações obtidas, a fonte de N mais utilizada pelos produtores é a uréia. Esta por ser uma molécula neutra, é facilmente transportada pela água, movendo-se no perfil do solo até ser hidrolisada e transformada em NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Este é

absorvido diretamente pela planta, é retido pelo solo ou, então, sofre nitrificação. Neste último processo, há liberação de íons de hidrogênio, que reduz o pH do solo. Portanto, como a uréia movimenta-se facilmente no perfil do solo, a acidificação pode ocorrer na camada abaixo de 20 cm da superfície do solo (camada subsuperficial), o que dificulta sua correção. O efeito desta acidificação tem sido observado em culturas perenes, onde se observa redução do desenvolvimento e produção.

O conhecimento sobre a movimentação de nutrientes no solo é importante para um manejo adequado da fertirrigação, com o objetivo de disponibilizar os nutrientes nas camadas de solo onde há maior concentração de raízes absorventes. Dessa forma se evita poluir os mananciais freáticos ou artesianos e se preserva a qualidade do ambiente.

Poucas informações têm sido disponibilizadas, no caso de fertirrigação em sistemas de gotejamento, quanto ao movimento e às transformações do nitrogênio no bulbo úmido; às alterações no pH do solo e suas implicações na fertilidade; à necessidade de correção desse pH e a forma de fazê-la. Por isso, tornam-se necessários estudos que possam propiciar conhecimentos suficientes que permitam o domínio dessa técnica.

## **2. HIPÓTESES**

1. A fonte e a dose de N e a forma de aplicação do fertilizante alteram as características do solo e da planta.
2. A fertirrigação com N proporciona maior produtividade do cafeeiro.
3. A uréia aplicada pelo método de gotejamento em culturas perenes leva a uma acidificação das camadas mais profundas alterando as características do solo.

### **3. OBJETIVO**

O objetivo com este trabalho foi proporcionar informações quanto às alterações advindas do uso de diferentes fontes e doses de Nitrogênio aplicadas por fertirrigação e adubação convencional nas características do solo e do cafeeiro irrigado por gotejamento.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Movimento de íons no solo

Quando a água se movimenta no solo, ela arrasta os solutos pelo fluxo de massa, denominado de movimento convectivo. Parte desses solutos poderá ser adsorvida em outros locais, parte poderá ser absorvida pelas plantas, ou mesmo precipitar quando sua concentração exceder sua solubilidade, como acontece na superfície do solo durante a evaporação. O movimento de solutos não se dá apenas por convecção, podendo, também, se deslocar na fase líquida do solo, em resposta a gradientes de concentração (difusão) e pela dispersão ocasionada pela natureza errática do escoamento devido à geometria irregular da matriz do solo (HILLEL, 1980).

Ao mesmo tempo em que se movimentam no solo, os solutos podem interagir entre si e com a matriz do solo por adsorção e dessorção, reações químicas, transformações biológicas, solubilização, precipitação entre outras. Essas interações são, muitas vezes, influenciadas por uma série de fatores como acidez, temperatura, potencial de oxi-redução, microorganismos do solo e composição e concentração da solução do solo (HILLEL, 1980).

No solo poderá haver troca catiônica e troca aniônica. A troca catiônica consiste da atração eletrostática de um cátion por um sítio carregado negativamente, envolvendo a troca de um cátion por outro no local de ligação. A troca aniônica consiste da atração

eletrostática de um ânion por um sítio carregado positivamente, envolvendo a troca de um ânion por outro no local de ligação. Essas trocas constituem-se de ligações fortes.

O nitrogênio se destaca por apresentar acentuado dinamismo na natureza (KIEHL, 1987). Segundo esse autor, esse dinamismo, traduzido pelas muitas transformações que sofre e pelo seu elevado grau de mobilidade, pode ser atribuído aos seguintes fatores: a) possibilidade de o N assumir diferentes números de oxidação, que varia de  $-3$ , como no radical  $\text{NH}_4^+$ , até  $+5$ , como no  $\text{NO}_3^-$ . Isto permite muitas combinações com outros elementos; b) existência de formas gasosas do elemento, como o  $\text{N}_2$  (78% da atmosfera) e outros como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ , que estão em constante troca com a atmosfera, solo e planta; c) elevada solubilidade das formas inorgânicas do elemento, o que as torna suscetíveis ao transporte vertical e horizontal no solo pela água; d) ação de microorganismos que aceleram as transformações do nitrogênio.

A quantidade de nitrogênio disponível e a forma que ele se encontra no solo sofrem variações ao longo do tempo. Por isso, é necessário conhecer os processos de transformação do N a fim de melhorar a eficiência de seu manejo.

## 4.2 Processos de transformação do N no solo

Os processos de transformação do N no solo são, de acordo com a forma em que ele se encontra e do ambiente a que ele está submetido, os seguintes (TISDALE et al., 1993).

### a) Mineralização

É a transformação do N orgânico em N inorgânico ( $\text{NH}_4^+$ ) por microorganismos.

### b) Nitrificação

O  $\text{NH}_4^+$  mineralizado das formas orgânicas ou adicionado ao solo através dos fertilizantes, transforma-se em  $\text{NO}_3^-$  mediante o processo microbiano denominado nitrificação. Esse processo se dá em duas fases. Na primeira, o  $\text{NH}_4^+$  é oxidado e transformado em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), mediante a intervenção das bactérias Nitrossomonas, representada pela seguinte expressão:



Na segunda fase, o  $\text{NO}_2^-$  transforma-se em  $\text{NO}_3^-$  com a intervenção das bactérias do gênero nitrobacter, representada pela expressão:



Nota-se que nas duas fases faz-se necessária a presença do oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Por essa razão, a nitrificação ocorre rapidamente em solos bem aerados e de forma mais lenta em solos com teor de água próximo da saturação.

O  $\text{NO}_3^-$  produzido pelo processo de nitrificação ou aplicado ao solo através de fertilizantes é muito móvel e pode-se perder facilmente por lixiviação.

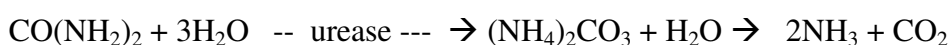
### c) Desnitrificação

Em locais inundados, o  $\text{O}_2$  é excluído do solo e prevalecem condições anaeróbicas. Nessas condições, alguns organismos como *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Paracoccus*, obtêm  $\text{O}_2$  do  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ . Conseqüentemente, o N é liberado na forma de  $\text{N}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , que são gases que se desprendem e vão para a atmosfera, causando assim perdas de N. O esquema seguinte mostra as transformações pelas quais o N pode passar:



### d) Volatilização

Este processo está associado principalmente com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais ou amídicos na camada superficial do solo. Nesse processo, o  $\text{NH}_4^+$  é transformado em amônia ( $\text{NH}_3$ ), que é gás, podendo ser perdido para a atmosfera. As perdas de  $\text{NH}_3$  são favorecidas por solos de pH alto ou por reações que elevem o pH, como é o caso de solo que recebeu uréia. Depois da aplicação na superfície do solo, a uréia é hidrolisada pela enzima urease e forma, inicialmente, carbonato de amônio, que é um composto instável. Essa reação eleva o pH nas proximidades do grânulo de uréia a valores maiores que 8,0. Nesse ambiente alcalino, o carbonato de amônio se decompõe rapidamente em  $\text{NH}_3$  e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). As reações são mostradas a seguir:



O  $\text{NH}_3$  formado no final dessa reação é um gás. Por isso, pode-se perder quantidade apreciável de N (de 30 a 50%) (YADAV E KUMAR, 1984). O  $\text{NH}_3$  em contato com a água do solo se transforma novamente em  $\text{NH}_4^+$ .

O  $\text{NH}_4^+$  formado após a hidrólise da uréia, ou adicionado ao solo nessa forma, passa pelos mesmos processos de oxidação biológica descritos anteriormente.

BROADBENT et al. (1958) verificaram as transformações e movimento da uréia em diferentes temperaturas e doses em solos ácidos, básicos, salinos e calcários. A uréia no solo desencadeia imediatamente uma série de reações biológicas as quais afetam a disponibilidade do N às plantas e sua suscetibilidade à lixiviação. A hidrólise para carbonato de amônio ocorre rapidamente, sendo a taxa dependente das características do solo, temperatura e dose aplicada. O conteúdo de água é importante, uma vez que a uréia pode persistir em uma dada concentração em um determinado tempo e ter a concentração alterada devido ao movimento da água. Segundo os autores, a hidrólise pode ocorrer em três a quatro dias, ou menos, dependendo da temperatura. No seu estudo, a nitrificação ocorreu em quatro semanas. A nitrificação teve sua taxa retardada devido à alta concentração de  $\text{NH}_4$  no ponto de aplicação, ou por conta do solo ser alcalino ( $\text{pH} > 7,0$ ). Em trabalhos conduzidos por HAYNES (1990), o processo de nitrificação, quando a uréia foi aplicada, ocorreu mais rapidamente do que a nitrificação de uma fonte amoniacal adicionada ao solo. Isto possivelmente se deu devido ao acúmulo de amônio imediatamente abaixo do gotejador. A uréia foi totalmente hidrolisada após quatro dias, e a maior parte da nitrificação (58%) ocorreu aos 12 dias.

O movimento e as transformações do N no perfil do solo dependerão de sua forma química. Enquanto o amônio é mais retido pelos colóides do solo (CTC), a uréia, por ser neutra, pode mover-se até camadas mais profundas. O nitrato, por ser menos retido pelos colóides do solo, move-se junto com a água de irrigação. As diversas formas do N, aplicadas ao solo, provocarão diferentes reações e alterações ao longo do seu perfil conforme sua movimentação. Portanto, quando se trata de fertirrigação, o conhecimento da movimentação e das reações que poderão ocorrer no solo é de extrema importância, principalmente na irrigação localizada, devido à alta concentração do produto aplicado em um pequeno volume de solo. Segundo HAYNES (1990), há necessidade de um melhor entendimento das transformações do N e das modificações causadas por ele na fertilidade do solo, pois isso afeta o balanço de nutrientes e a nutrição, especialmente de plantas irrigadas e fertirrigadas por gotejamento.

### 4.3 Alterações químicas no solo com a fertirrigação de fontes de nitrogênio

Na fertilização nitrogenada são utilizadas diferentes fontes: nitrato de cálcio, uréia, nitrato de amônio e sulfato de amônio. Essas fontes, ao serem aplicadas no solo, modificam suas propriedades químicas e alteram-lhe o pH. Como a movimentação do N está relacionada com a forma em que ele se encontra, as mudanças químicas provocadas pelo íon poderão ocorrer em diferentes profundidades do solo.

Trabalhos foram desenvolvidos no intuito de estudar o comportamento dessas fontes de nitrogênio no solo quanto à ocorrência de alterações químicas no pH e no equilíbrio de nutrientes, e no desenvolvimento e produção das culturas. Muitas informações já estão disponíveis quando se trata de adubações convencionais utilizando-se o N. No entanto, quando se pratica a fertirrigação nitrogenada em sistemas de irrigação localizada e, em especial com o gotejamento, as informações são escassas. Esse sistema de irrigação merece destaque, visto que as transformações e movimentação dos íons dentro do bulbo úmido são intensificadas, comparativamente a outros sistemas de irrigação.

EDWARDS et al. (1982) estudaram o efeito da fertirrigação com  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  aplicado por meio da irrigação por gotejamento, comparado com a adubação convencional, em pomar de pêssago no sudeste dos EUA. Houve redução do pH do solo de 6,2 para 3,7 a 0,3 m de profundidade no volume de solo molhado pelo emissor. Houve também acréscimo na acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e redução nas concentrações de Ca e Mg. A adição do  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  na fertirrigação, reduziu o crescimento de raízes próximo ao emissor e reduziu a produção de frutos devido ao alto valor de  $\text{Al}^{3+}$ .

HAYNES e SWIFT (1987) estudaram o efeito da aplicação de nitrato de cálcio, sulfato de amônio e uréia, em duas doses, através de sistemas irrigados por gotejamento, sobre o pH e os teores de nutrientes no solo, durante quatro meses. Eles avaliaram amostras de solo abaixo do emissor e verificaram que a uréia e o sulfato de amônio acidificaram a região do bulbo úmido. Com o sulfato de amônio a acidificação foi mais pronunciada do que com a uréia. Esta moveu-se mais no perfil do solo, e promoveu acidificação em camadas mais profundas do solo. A acidificação abaixo dos emissores resultou em uma significativa redução nos teores de Ca, Mg e K e aumento nos teores de Al, Fe, Mn e Cu.

HAYNES (1990) estudou o movimento dos íons de N em função de diferentes fontes como nitrato de cálcio, sulfato de amônio e uréia, em pomares de maçã. O autor verificou que o uso de uréia e de fertilizantes amoniacais pode resultar em intensa acidificação do solo na região do bulbo úmido. A movimentação do amônio foi, em grande

parte, até 0,10 m de profundidade, onde ocorreu a acidificação. No entanto, a uréia e o nitrato, distribuíram-se melhor no solo, tanto em profundidade quanto lateralmente. A uréia, por mover-se mais no perfil do solo, acidificou-o na subsuperfície, atingindo 0,45 m de profundidade, devido à liberação de  $H^+$  na transformação do  $NH_4^+$  em  $NO_3^-$ . A correção dessa acidez é difícil pela calagem realizada conforme os métodos tradicionais devido à baixa mobilidade dos carbonatos.

BELTON e GOH (1992) avaliaram o efeito da uréia, aplicada via fertirrigação em sistema de gotejamento, em pomares de maçã, sobre o pH do solo, trocas catiônicas e extração de manganês em um solo arenoso na Nova Zelândia. A fertirrigação foi dividida em quatro aplicações. O solo foi amostrado nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m abaixo do gotejador. Na dose de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N ocorreram alterações no pH e nos cátions. De acordo com os autores, durante a transformação da uréia até o nitrato no solo, é liberado 1 mol de  $H^+$  para cada mol de uréia, o que causou decréscimo de 1,6 unidades de pH nas camadas de solo avaliadas. O menor valor de pH (4,3) ocorreu a 0,27 m de profundidade. Os teores de Al e Mn aumentaram, ao passo que os de Ca, Mg e K diminuíram. A intensa acidificação e o desequilíbrio químico ocorrido reduziram a produtividade da cultura.

PARCHOMCHUK et al (1993) investigaram os efeitos da aplicação de N- $NH_4$  e P na fertirrigação sobre o pH do solo e lixiviação de cátions. Verificaram que o aumento da concentração de N- $NH_4$  causou acidificação, ainda que a dose utilizada tenha sido 25% menor que a recomendada na adubação convencional, sugerindo que o grau de acidificação do solo pode ser independente da taxa de aplicação. Segundo esses autores, repetidas fertirrigações, em várias estações, levam à contínua redução do pH do solo, o que limita o potencial produtivo da cultura devido ao desbalanço de nutrientes no solo. A grande mobilidade de cátions devido à acidificação e os possíveis deslocamentos provocados pelo  $NH_4$  nos sítios de troca, facilitaram o deslocamento de Ca, Mg e K para a periferia do bulbo úmido. Segundo os autores, o pH do solo sofreu aumento parcial antes da próxima estação de fertirrigação; os possíveis mecanismos que explicam essa recuperação incluem lixiviação de íons  $H^+$  para camadas mais profundas do solo ou a neutralização do pH com a água de irrigação que tinha pH igual a 8,2.

NEILSEN et al. (1995) verificaram, em pomares de maçã de alta densidade de plantio, que alterações químicas no solo estavam associadas com fertirrigação de N aplicado na forma amoniacal e amídica. Os autores amostraram o solo a 0,15 m de profundidade, abaixo do gotejador e entre as linhas de plantas. Eles detectaram que uma série de pomares estavam com problemas de acidificação e alterações químicas no solo.

Esses efeitos, segundo os autores, foram intensificados com a irrigação localizada. O decréscimo do pH causou aumento de Fe, Mn e Cu.

#### 4.4 Efeito da adubação nitrogenada nas plantas

A alteração na composição mineral das plantas com a adubação nitrogenada está diretamente relacionada com a forma de N utilizada e, ou, disponível no solo. A aplicação de N-  $\text{NH}_4^+$  e ainda, a sua absorção pelas plantas, podem reduzir o pH da solução do solo, devido à liberação de  $\text{H}^+$ , o que pode ser prejudicial ao crescimento das plantas por influenciar a disponibilidade e a absorção de alguns nutrientes, principalmente os micronutrientes (FENN et al. 1993). PINTO et al. (1997), verificaram que grandes quantidades de  $\text{NH}_4^+$  no solo, oriundo da uréia aplicada em períodos curtos via fertirrigação, inibiram a absorção de cálcio pelas plantas de tomate.

A disponibilidade dos nutrientes é influenciada pelo pH da rizosfera, porquanto afeta os processos de precipitação/solubilização e adsorção/dessorção dos íons, sendo de 6 a 6,5, a faixa de pH considerada ótima para a absorção dos nutrientes pelas culturas. De acordo com IMAS (2003), o pH pode inibir a absorção de certos íons pela planta como P, Ca e Mg causando deficiências nutricionais às culturas, ou mesmo toxidez devido à absorção em maior quantidade de outros íons como o Al e Mn.

A forma de absorção de N pelas plantas também é influenciada pelo pH. Segundo MARSCHNER (1991), o suprimento de  $\text{NO}_3^-$ , particularmente na forma de nitrato de cálcio, causa baixa taxa de excreção de  $\text{H}^+$  e alta taxa de liberação de  $\text{HCO}_3^-$  ou  $\text{OH}^-$ , alcalinizando o meio. O suprimento de  $\text{NH}_4^+$  provoca alta taxa de excreção de  $\text{H}^+$ , o que leva à acidificação do meio. A Figura 1 mostra o efeito da forma do N sobre o pH na cultura da soja.

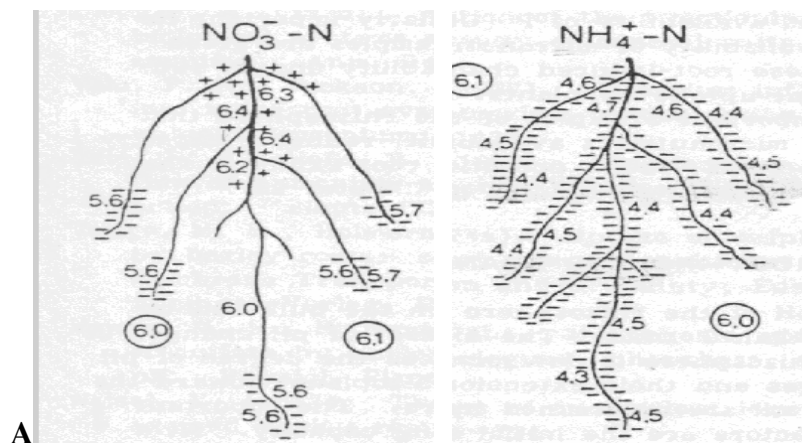


Figura 1. Alteração no pH da rizosfera de soja afetado pela fonte de N aplicada.

Na Figura 1A, a cultura da soja foi fertilizada com fonte de  $\text{NO}_3^-$  e, na figura 1B, com  $\text{NH}_4^+$ . Vê-se que o pH em torno das raízes variou de duas unidades, sendo menores quando o N foi utilizado na forma de  $\text{NH}_4^+$ . Isso mostra o efeito da fonte de N no pH. A consequência do abaixamento do pH poderá ser inibição do crescimento do sistema radicular e problemas nutricionais da cultura. Mudança de pH na rizosfera também é discutida por JUNGK (1991). Segundo o autor as plantas podem mudar o pH do ambiente radicular por meio de ácidos orgânicos e pela excreção de próton ou íons de bicarbonato. Isso é causado quando a planta absorve cátions ou ânions na tentativa de promover o equilíbrio das cargas elétricas. A extensão desse processo varia com a espécie de planta e com a disponibilidade de nutrientes do solo.

MARSCHNER (1991) também afirma que a solubilidade, a concentração na solução do solo, a forma iônica, a mobilidade e a disponibilidade de nutrientes para a planta, são fortemente afetadas pelo pH do solo. No Quadro 1, é mostrado o trabalho de Schnug e Finck (1981), citados por MARSCHNER (1991), em que se observa o efeito da fonte de N sobre o pH. Este afetou as concentrações de Mn, Fe e Zn na planta, que foram maiores com o uso de sulfato de amônio do que com nitrato de cálcio. Nesse trabalho o N- $\text{NH}_4$  foi suprido sem inibidor de nitrificação.

Quadro 1. Efeito na concentração de micronutrientes na planta em função das fontes de nitrogênio.

Fertilizante	Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ de MS)			
	Fe	Mn	Zn	Cu
Nitrato de cálcio	55	23	18	2,6
Sulfato de amônio	68	45	24	2,9

Fonte: Schnug e Finck (1981), citados por MARSCHNER (1991).

Esse trabalho reforça o fato já exposto de que fontes amoniacais reduzem o pH e alteram a concentração de nutrientes, o que pode levar a um desbalanço nutricional da planta acarretando prejuízos ao desenvolvimento e à produtividade da cultura.

HAYNES e SWIFT (1987) estudaram o efeito da aplicação de nitrato de cálcio, sulfato de amônio e uréia, em duas doses, através de sistemas irrigados por gotejamento, sobre o pH e disponibilidade de nutrientes no solo. Os autores encontraram aumento no crescimento e produção da cultura em ambas aplicações de irrigação e nitrogênio. No entanto, o crescimento foi maior na menor dose de N ( $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) na seguinte ordem: nitrato de cálcio > uréia > sulfato de amônio. Já a produtividade foi maior com a aplicação de uréia, seguida do sulfato de amônio e, por último o nitrato de cálcio com a menor

produtividade. A maior produtividade foi conseguida com a dose mais alta (200 kg de N ha<sup>-1</sup>). Os tratamentos causaram alterações no pH e nos teores de Ca, Mg e K do solo. Os autores sugerem que a fonte de N aplicada, pode ter significativo efeito sobre a fisiologia da planta. Resultados semelhantes com o uso de adubos acidificantes, como uréia, foram obtidos por EDWARDS et al. (1982), BELTON e GOH (1992) e NEILSEN et al. (1995).

#### 4.5 Fertirrigação

As vantagens do fornecimento de nutrientes via fertirrigação, comparativamente aos sistemas convencionais de adubação, são: aumento de produtividade; melhoria da qualidade dos frutos; diminuição da compactação do solo pela menor frequência de uso de máquinas; redução de mão-de-obra, do consumo de energia e dos gastos com equipamento; maior eficiência na utilização de nutrientes; e maior facilidade na aplicação de micronutrientes e no parcelamento dos fertilizantes. Com a fertirrigação é possível atender às necessidades das plantas nas suas diferentes etapas de desenvolvimento, baseado principalmente na demanda de nutrientes determinada pela marcha de absorção da cultura (COSTA et al., 1986 e PIERZYNSKI et al., 1994).

Quanto aos problemas na fertirrigação, pode-se citar:

- Os fertilizantes utilizados na fertirrigação devem ser escolhidos analisando-se variáveis como: sistema de irrigação, qualidade da água utilizada na irrigação e compatibilidade entre fertilizantes. Caso contrário poderá haver reação dos fertilizantes nos sistemas de irrigação, principalmente os fosfatados, ocasionando problemas de precipitação nas tubulações e entupimento dos emissores.
- A utilização de fertilizantes com características corrosivas pode danificar o sistema de irrigação. A maioria das empresas fornecedoras de sistemas de irrigação localizada utiliza componentes não corrosivos, como tubulações e emissores de plástico, o que reduz os danos ao sistema.
- Contaminação dos mananciais por produtos químicos devido à inversão do fluxo d'água de irrigação. A colocação de válvulas de retenção impede essa inversão, e protege o manancial.
- Poucas pesquisas, quanto a curvas de crescimento e absorção de nutrientes em culturas irrigadas, para se estabelecer novos padrões de fertilização para a fertirrigação.

De acordo com HAYNES (1985), em culturas fertirrigadas, as recomendações de fertilizantes adotadas são, na maioria das vezes, as mesmas usadas na aplicação de

fertilizantes sólidos (método convencional). Assim, são necessários estudos a fim de estabelecer critérios próprios a serem usados na fertirrigação, especificamente no sistema de irrigação por gotejamento.

De acordo com FEITOSA FILHO (1990), a adubação feita por métodos tradicionais tem uma eficiência máxima de 35 a 50%, quando comparados com a fertirrigação.

BARROS et al (1977) citam que a adubação convencional apresenta um custo final alto, e recomendam que a fertilização seja feita via água.

Segundo SILVA et al. (1996), com base em informações obtidas da FRUTAN S/A, o tempo gasto e a mão-de-obra necessária para fertirrigar uma área de 10 ha de tangerina Murkote cultivada em espaçamento de 7 x 6 m, foi de 40 minutos ocupando dois homens. Para adubar a mesma área pelo método tradicional, foram gastos oito horas e utilizou-se de 30 homens. Segundo o autor, somente com a redução da mão-de-obra foi possível uma economia significativa, sem considerar os efeitos benéficos da fertirrigação sobre a cultura.

Autores como PINTO et al. (1997), MAGALHÃES (1996) e outros abordam como principal vantagem da fertirrigação, a possibilidade de se fazer uma adubação eficiente em solos arenosos e pobres em matéria orgânica, principalmente se tratando da aplicação do nitrogênio por fertirrigação, garantindo uma maior eficiência de absorção pela planta. MAGALHÃES (1996) comenta ainda que em climas áridos ou semi-áridos, onde o desenvolvimento das raízes concentra-se no bulbo molhado, a distribuição de fertilizantes via água de irrigação maximiza o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Porém, em climas úmidos, onde as raízes das culturas se estendem além da área do bulbo molhado pela irrigação, a distribuição de substâncias químicas por meio do sistema de irrigação localizada não cobre toda a zona radicular, reduzindo o benefício potencial desta tecnologia.

DASBERG et al. (1988) trabalharam com laranjeira e testaram fertilizantes aplicados por fertirrigação e aplicação convencional. Os autores não encontraram dados conclusivos sobre qual método é o melhor, porém, citam que a fertirrigação teve um melhor comportamento que a convencional.

BOMAN (1996) comparou a fertilização convencional versus uma combinação da fertirrigação com adubação convencional na cultura da uva por quatro anos. Os resultados obtidos mostraram que a fertilização combinada proporcionou um ganho de 4150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que segundo o autor, foi promovido pela maior eficiência de uso dos fertilizantes.

GUIMARÃES (1998) trabalhou com fertirrigação na cultura do tomate em casa de vegetação e em campo, e também com a cultura em campo, porém com adubação convencional. O autor verificou que o uso da fertirrigação possibilitou maior produção de frutos extra AA por unidade de nitrogênio aplicado, na ordem de 111,6; 59,8 e 35,7 kg de frutos extra AA por kg de N aplicado, respectivamente. Estes resultados caracterizam a eficiência do uso do N pela planta.

COSTA et al (2000) em trabalhos conduzidos no Norte de Minas, compararam freqüências de fertirrigação (N e K) e adubação convencional na cultura da bananeira Prata-anã, no primeiro ciclo da cultura. Segundo os autores, o tratamento fertirrigado possibilitou obter frutos de melhor qualidade comercial, maior número desses frutos classificados como de primeira e incremento de 2000 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade.

SOARES (2001) comparou produções de cafeeiro irrigado com aplicação de fertilizante via água de irrigação e fertilização convencional na região da Zona da Mata de Minas, e encontrou um aumento na produção da ordem de 25% com a fertirrigação.

SANTINATO et al. (1989) trabalhou com a variedade de café Catuaí Vermelho no município de Jaboticatubas, MG. Os autores compararam o efeito da adubação NK aplicada por fertirrigação por meio do sistema de irrigação por gotejamento, com aplicação convencional e sem irrigação. Verificaram que os tratamentos fertirrigados apresentaram resultados superiores àqueles observados no tratamento convencional. Segundo os autores, a fertirrigação é o modo mais indicado de se fornecer NK ao cafeeiro irrigado por gotejamento, porém, os efeitos benéficos desta técnica podem não ser manifestados devido ao manejo inadequado. Estes autores demonstram resultados experimentais obtidos com a fertirrigação de NK na formação de cafeeiros irrigados por gotejamento, com produtividade cerca de 25% maior que a adubação tradicional em cobertura.

Trabalhos como de HERNANDEZ (1994), FEITOSA FILHO (1990), FERREIRA (1994) e ANTUNES (2000) mostram que para conseguir sucesso no emprego da fertirrigação é necessário seguir alguns procedimentos, sendo o principal deles, a uniformidade de distribuição dos produtos químicos na área irrigada, que deverá ser similar à uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação, que, geralmente, é expressa por um coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). Sistemas de irrigação que operam com baixa uniformidade de aplicação de água, distribuirão os fertilizantes, inadequadamente, podendo ocasionar desenvolvimento irregular da cultura e/ou problemas de fitotoxidez, o que comprometeria o uso da técnica.

O Quadro 2 apresenta a classificação recomendada pela norma ASAE EP 458 (ASAE Standards, 2001), para os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição.

Quadro 2. Classificação dos valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Classificação	CUD (%)
Excelente	90-100
Boa	80-90
Razoável	70-80
Ruim	<70

Esse coeficiente indica se o funcionamento do sistema está dentro de condições aceitáveis quanto à distribuição de água. Valores inadequados de CUD poderão ser devido a erros de projeto, manejo inadequado do sistema, falta de manutenção e pelo próprio uso da fertirrigação, que pode promover entupimento dos gotejadores no sentido de aumentar ou reduzir sua vazão, alterando o valor do CUD inicial.

Outro cuidado no manejo é quanto à escolha de fertilizantes, que devem ser solúveis, de baixa corrosão e adequados às características químicas do solo e da água a serem utilizados.

Não foi encontrado na literatura um fator, ou uma taxa, que possibilite transformar a recomendação da dose de uma adubação convencional para a fertirrigação. Trabalhos realizados em pomares de pêra, maçã, cereja e ameixa, mostraram que aplicações de nitrogênio, com irrigação por gotejamento, permitem uma substancial redução da dose, da ordem de 25 a 50% do N aplicado no sistema convencional, sem, contudo, reduzir a resposta da cultura (HAYNES, 1985). SMITH et al. (1979) trabalharam com nitrato de amônio aplicado por meio de irrigação localizada, em doses equivalentes a 25, 50 e 100% da recomendada para a macieira. Não foram obtidas diferenças na produção entre as duas maiores doses. De acordo com os autores, a dose pode ser reduzida se a fertirrigação for feita por gotejamento. HAYNES (1985) cita trabalhos em que a quantidade de fertilizante aplicada na fertirrigação foi a mesma usada na adubação convencional na cultura do tomate e do morango, contudo a produção com a fertirrigação foi maior. O autor comenta que resultados deste tipo têm sido atribuídos às perdas por lixiviação do nutriente quando aplicado pelo modo convencional, o que reduz sua eficiência.

Portanto, a eficiência no uso do fertilizante pode estar não somente na redução da necessidade do fertilizante aplicado, mas sim na redução das perdas do fertilizante. Como a planta terá nutriente disponível em um ambiente mais propício à absorção, possivelmente

ela irá absorvê-lo de uma maneira gradativa, porém constante, o que poderá favorecer seu desenvolvimento. Sendo assim, possivelmente a planta absorverá uma quantidade maior de nutriente, durante seu ciclo, para poder suprir o seu desenvolvimento e produção, que se espera serem maiores também. O ganho final com a aplicação será na quantidade de produto produzido por unidade do nutriente aplicado, na redução de perdas de nutrientes por lixiviação, e na redução de perdas por volatilização e desnitrificação, no caso do nitrogênio.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Características da área experimental**

O trabalho foi realizado na Fazenda da Laje localizada no Município de Teixeira, na Zona da Mata de Minas Gerais, nas coordenadas de 20° 75' latitude sul e 42° 88' longitude oeste, na altitude média de 648 m. Dois ensaios foram conduzidos entre agosto de 2003 e julho de 2004 numa gleba comercial cultivada com café, variedade Catuaí Vermelho, com aproximadamente sete anos de idade, no espaçamento de 2,5 x 0,8 m.

### **5.2 Avaliação das características químicas do solo**

Foram feitas amostragens de solo em duas épocas: época 1 (EP1), em outubro de 2003 no início do experimento e época 3 (EP3), em junho de 2004 no final do experimento, a fim de avaliar as alterações ocorridas no solo no período experimental.

As características químicas do solo foram avaliadas com base nos resultados das análises de solo retiradas a 0,0 (logo abaixo do emissor); 0,20; 0,40 e a 1,0 m a partir do emissor no sentido do declive, perpendicular à linha de irrigação, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,50 m, utilizando-se um amostrador de tubo galvanizado de 50 mm (2") de diâmetro, confeccionado para essa finalidade. As amostragens foram realizadas em solo ocupado por uma planta por parcela em cada um dos meses de avaliação (outubro e junho). Em cada uma dessas épocas amostrou-se o solo ocupado por uma planta diferente dentro da parcela. Foram obtidas 432 amostras de solo em cada época

de amostragem. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física e de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Foram analisadas as características: N (na forma de  $\text{NO}_3^-$  e de  $\text{NH}_4^+$ ), N total, P, K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Fe, carbono orgânico (CO), condutividade elétrica (CE) e pH.

As amostragens para determinação dos teores de N- $\text{NO}_3^-$  e de N- $\text{NH}_4^+$  foram feitas em solo com teor de água próximo ao da capacidade de campo. Após retiradas as amostras, estas foram acondicionadas em sacos plásticos e guardadas em caixa de isopor. Como não foi possível fazer as determinações imediatamente, como é recomendado, as amostras foram guardadas em saco plástico e em geladeira, a fim de minimizar as transformações do N. O solo foi passado em peneira com malha de 2 mm de diâmetro. Determinou-se o teor de água atual das amostras de solo pelo método padrão da estufa e a massa específica do solo pelo método da proveta, cujos valores foram, na maioria das amostras, iguais a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ . Fez-se o desconto do teor de água presente nas amostras, no momento das análises químicas, para que a concentração do extrator ( $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ) fosse a mesma em todas as amostras.

A determinação do N- $\text{NO}_3$  foi feita pelo método do salicilato descrito por YANG et al (1988), e o N- $\text{NH}_4$  pelo método descrito por KEMPERS e ZWEERS (1986).

As demais características do solo analisadas foram determinadas em solo seco ao ar e passado através de peneira de 2 mm de diâmetro.

Na quantificação dos teores de P, K, Na, Zn, Mn e Fe utilizou-se, como extrator, uma solução de ácidos diluídos (Mehlich-1). A determinação de P foi feita por colorimetria. Os teores de K e Na foram determinados por fotometria de emissão de chama. Ca, Al e Mg trocáveis foram extraídos com solução de  $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ . Os teores de Ca, Mg, Zn, Mn e Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A extração de H+Al foi feita com acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 7. A determinação dos teores de Alumínio e de H+Al foi feita por titulação. O nitrogênio total do solo foi determinado utilizando-se o método Kjeldahl.

A determinação do teor de carbono orgânico (CO) do solo foi feita pelo método indireto da oxidação do carbono orgânico por via úmida (método Walkley-Black), sendo o teor de carbono orgânico multiplicado por 1,724 para obter o de matéria orgânica (MO).

O pH do solo foi determinado pela medição eletroquímica da atividade de íons  $\text{H}^+$  na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo:água na proporção de 1:2,5.

A determinação da CE foi feita pela medição eletroquímica da concentração de sais utilizando-se a mesma suspensão solo:água utilizada para determinação do pH. A

opção por essa forma de determinação deveu-se ao elevado número de amostras utilizadas na determinação da CE, 1312 amostras, o que tornou inviável a determinação pela pasta saturada, metodologia recomendada na literatura. Portanto, a metodologia adotada permite comparações da CE entre os tratamentos aplicados nas condições deste trabalho, não servindo como recomendação para controle da salinidade em campo.

Calcularam-se a CTC efetiva e a CTC a pH 7, as quais foram utilizadas no cálculo da saturação por alumínio (m) e da saturação por bases (V), respectivamente.

### 5.3 Avaliação das características do cafeeiro

Foi feita somente a colheita dos frutos no estado cereja. A produtividade da cultura foi estimada da colheita em cinco plantas por parcela, definidas aleatoriamente. Mediu-se o volume, em litros, produzido por cada planta. Em seguida, pesou-se o volume produzido das cinco plantas obtendo-se o peso da parcela em quilos. Do volume coletado na parcela retirou-se uma amostra de quatro litros de café, que foi previamente seca e beneficiada, a fim de obter o rendimento percentual em kg de café em coco por kg de café beneficiado.

Antes do beneficiamento, procedeu-se à secagem do café, em telado suspenso dentro de uma estufa plástica. Os grãos foram revolvidos várias vezes ao dia para evitar a fermentação. A secagem foi feita até que os grãos alcançassem o teor de água entre 11% e 12%.

A verificação do teor de água dos grãos de café foi feita pelo método de secagem por 24 horas em estufa. O teor de água dos grãos, em base úmida, foi calculado utilizando-se a equação 1.

$$U = \frac{Ma}{Mu} * 100 \quad (1)$$

em que:

U = teor de água dos grãos de café em base úmida, %;

Ma = massa de água, g;

Mu = massa de grãos úmidos, g.

Outras características avaliadas no cafeeiro foram diâmetro de caule a 0,10 m do solo, altura da planta, percentagem de frutos retidos e número de entrenós emitidos, como descrito por ALVARENGA (1991). Estas duas últimas características foram avaliadas em quatro ramos dispostos radialmente na copa do cafeeiro, localizados na porção mediana da planta. As avaliações foram realizadas em três plantas por parcela e em duas épocas, uma

antes de iniciar os tratamentos (outubro/2003) e outra no fim do período de colheita (julho/2004).

#### **5.4 Avaliação das características químicas das folhas do cafeeiro**

Os teores de nutrientes da planta foram avaliados em amostras de folhas coletadas, de acordo com metodologia descrita por MARTINEZ et al., (1999), nas plantas sob as quais foram retiradas amostras de solo para análise. Foram coletados o 3º e o 4º pares de folhas, contados a partir do ápice de ramos produtivos, na altura mediana da planta. Também foram coletadas amostras de folhas das duas plantas mais próximas a fim de se ter quantidade suficiente de folhas para análise.

O material vegetal coletado foi lavado em água deionizada e posto a secar em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até atingir peso constante, conforme descrito por JONES JUNIOR et. al (1991). Após esse processo, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passado em peneira de malha de 0,841 mm e acondicionado em embalagens de papel devidamente identificadas para realização das análises químicas.

Determinaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, N-NO<sub>3</sub> e N orgânico nas folhas, no laboratório de análise foliar do Departamento de Fitotecnia da UFV.

No material vegetal, após digestão sulfúrica, determinaram-se os teores de N-orgânico utilizando-se o reagente de Nessler (JACKSON, 1958). A determinação do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, após extração com água em banho-maria a 45 °C, durante 1 hora, foi feita por colorimetria (CATALDO et al., 1975).

Na análise dos nutrientes P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e Na efetuou-se a digestão nitricoperclórica (JOHNSON e ULRICH, 1959). O P foi determinado por redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por BRAGA e DEFELIPO (1974), o K e o Na por fotometria de emissão de chama, enquanto o Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (ASSOCIATION . AOAC, 1975).

#### **5.5 Manejo da irrigação**

O método de irrigação adotado foi o localizado, com sistema de gotejamento do tipo emissores da marca Katif autocompensante, com vazão de 2,4 L h<sup>-1</sup> e que funcionou a uma pressão de serviço de 10 mca até 18 mca, dependendo da declividade da área. Os

gotejadores, espaçados de 0,80 m, foram inseridos em tubos de polietileno de 19 mm que estavam conectados por meio de um registro à linha secundária de tubo PVC rígido de 25 mm de diâmetro. Os registros foram usados nas linhas laterais, no momento da fertirrigação, a fim de individualizar os tratamentos. A linha secundária conectava-se a uma rede principal também de tubo de PVC rígido com diâmetro nominal de 50 mm, que se estendia até o cabeçal de controle. Este era composto por filtros de tela, registros de controle, manômetros, motobomba e uma adaptação para a aplicação dos fertilizantes via água de irrigação. Fez-se a mistura e a diluição dos fertilizantes, que serão apresentados mais adiante, em recipiente plástico de 200 L conectado à sucção da motobomba, de maneira que esta trabalhasse afogada. No momento da fertirrigação fechava-se o registro da sucção normal da motobomba e abria-se o da sucção vinda do recipiente com o fertilizante.

O manejo da irrigação foi conduzido utilizando-se o software IRRIGA v.1.5 - GESAI, desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Adotou-se: coeficiente de cultura ( $K_c$ ) igual a 0,9 em todo o período estudado; fator de disponibilidade hídrica de 0,5; temperatura ótima para a cultura 25°C e área sombreada pela cultura de 64%. A evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ) foi estimada pelo método de Penman-Monteith. Os dados climáticos foram obtidos de uma estação meteorológica automática instalada próxima ao Laboratório de Hidráulica do DEA-UFV, com os seguintes sensores: termômetro de máxima e mínima, cujos dados para o período experimental são apresentados na Figura 2, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar. Os valores de precipitação observada (Figura 3) foram obtidos de um pluviômetro instalado próximo ao experimento, e os valores de precipitação histórica foram obtidos do banco de dados do IRRIGA v.1.5.

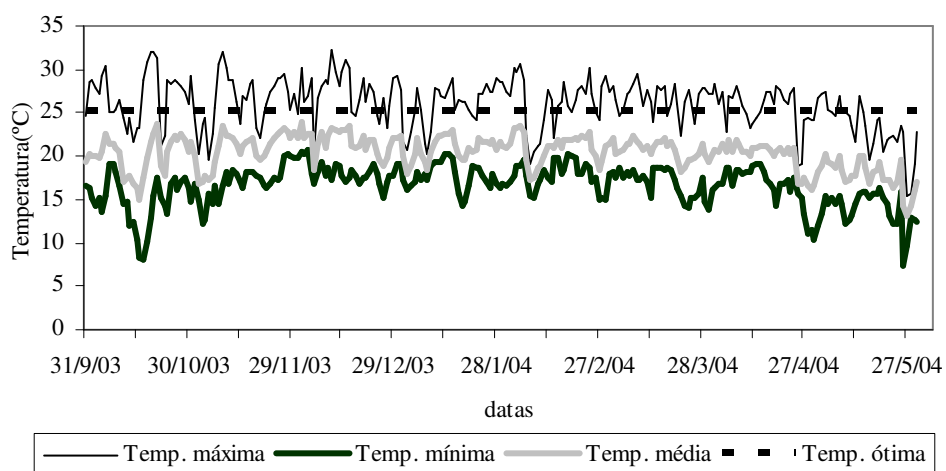


Figura 2. Temperaturas ótima, mínima, média e máxima no período de condução do experimento.

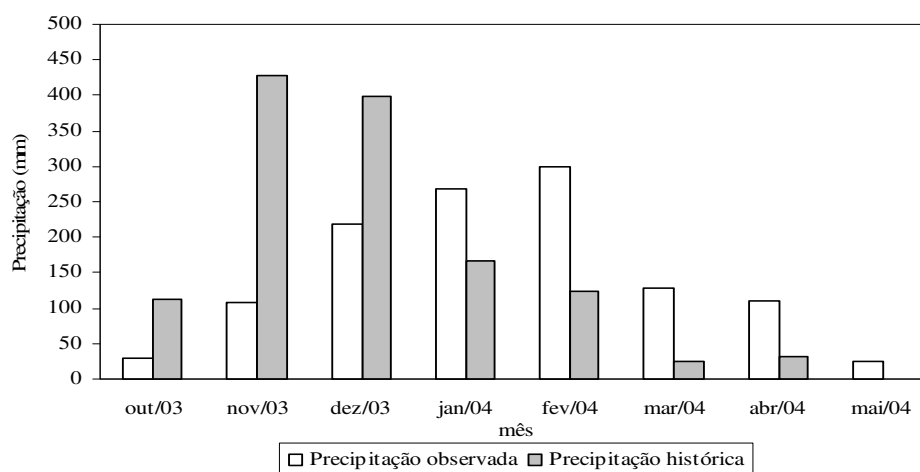


Figura 3. Média da precipitação mensal histórica e precipitação observada, em mm, no período de condução do experimento.

Determinou-se o teor de água no solo, submetido a diferentes tensões, a fim de obter a curva de retenção de água no solo (Figura 4) e a densidade do solo por meio de amostras indeformadas, utilizando-se um amostrador tipo Uhland, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,50 m, abaixo do gotejador. As determinações foram feitas no Laboratório de Física de Solos do Departamento de Solos da UFV.

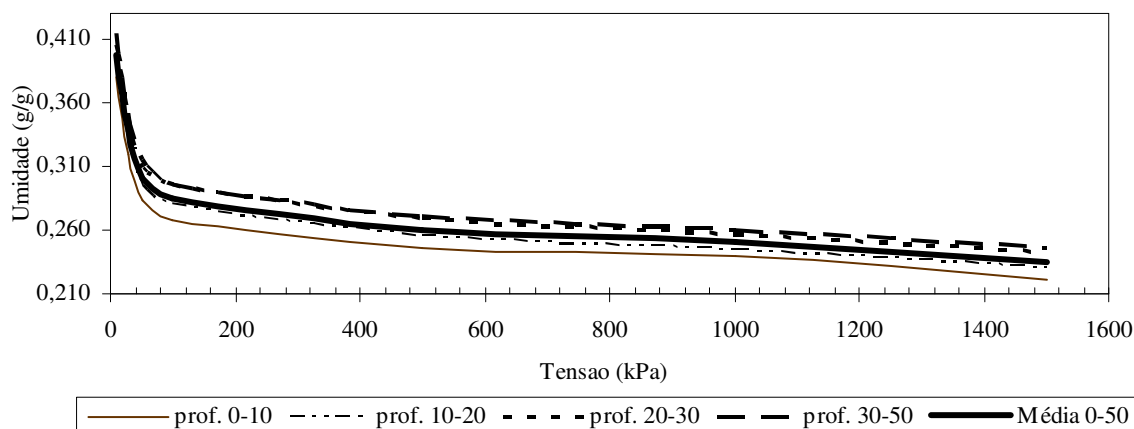


Figura 4. Curva de retenção de água no solo para as diferentes profundidades e a curva representando a média das profundidades.

Considerou-se como a  $CC = 39,7\%$  a água retida à tensão de 10 kPa e como  $PMP = 23,5\%$  a água retida à 1500 kPa (Figura 4). Considerando a massa específica do solo de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  e teor de água mínimo recomendado de 50% (fator de disponibilidade), calculou-se a disponibilidade de água desse solo em  $1,052 \text{ mm cm}^{-1}$ .

Após a montagem do sistema de irrigação, procedeu-se a avaliação da uniformidade de distribuição da água, utilizando-se a metodologia descrita por KELLER e KARMELI (1975). Para tal, utilizou-se a equação 2, que relaciona a média dos 25% dos emissores que apresentam a menor vazão com a média das vazões de todos os emissores.

$$\text{CUD} = 100 \left( \frac{q_{25\%}}{q} \right) \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$q_{25\%}$  = média do menor quartil,  $L h^{-1}$ ;

$q$  = média das vazões de todos os emissores,  $L h^{-1}$ .

Os pontos de coleta foram determinados conforme metodologia proposta por MERRIAN e KELLER (1978), que consistiu na coleta de dados de quatro emissores de quatro linhas laterais, ou seja, a primeira lateral, a situada a 1/3 e a 2/3 da origem e a última. Em cada linha lateral, foram avaliados quatro emissores localizados no início, a 1/3 e a 2/3 do comprimento e no final da linha lateral, medindo-se a vazão média de cada emissor.

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Apresenta classificação textural argilosa (60% de argila na média das posições e profundidades), (Quadro 3). A densidade média do solo é de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ .

Quadro 3. Análise granulométrica, classificação textural do solo da área experimental nas diferentes posições em relação ao gotejador e nas diferentes profundidades.

posição (m)	Profundidade (m)	Granulometria (%)				Classe Textural
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
0	0 -0,10	22	9	17	52	Argila
	0,10-0,20	19	8	16	57	Argila
	0,20-0,30	16	7	14	63	muito argilosa
	0,30-0,50	14	7	12	67	muito argilosa
0,20	0 -0,10	20	8	20	52	Argila
	0,10-0,20	18	9	21	52	Argila
	0,20-0,30	15	8	15	62	muito argilosa
	0,30-0,50	13	7	11	69	muito argilosa
0,40	0 -0,10	18	8	18	56	Argila
	0,10-0,20	16	8	14	62	muito argilosa
	0,20-0,30	14	7	14	65	muito argilosa
	0,30-0,50	13	7	10	70	muito argilosa
1,00	0 -0,10	20	9	16	55	Argila
	0,10-0,20	16	8	16	60	Argila
	0,20-0,30	17	8	15	60	muito argilosa
	0,30-0,50	17	8	13	62	muito argilosa

## 5.6 Delineamento experimental e tratamento estatístico

Os valores das características químicas do solo, correspondentes às posições 0,0; 0,20 e 0,40 m de distância do emissor, tiveram sua média calculada de modo a representar a região dentro do bulbo (DB) e a posição de 1,0 m de distância do emissor representou a região fora do bulbo (FB) (Figura 5).

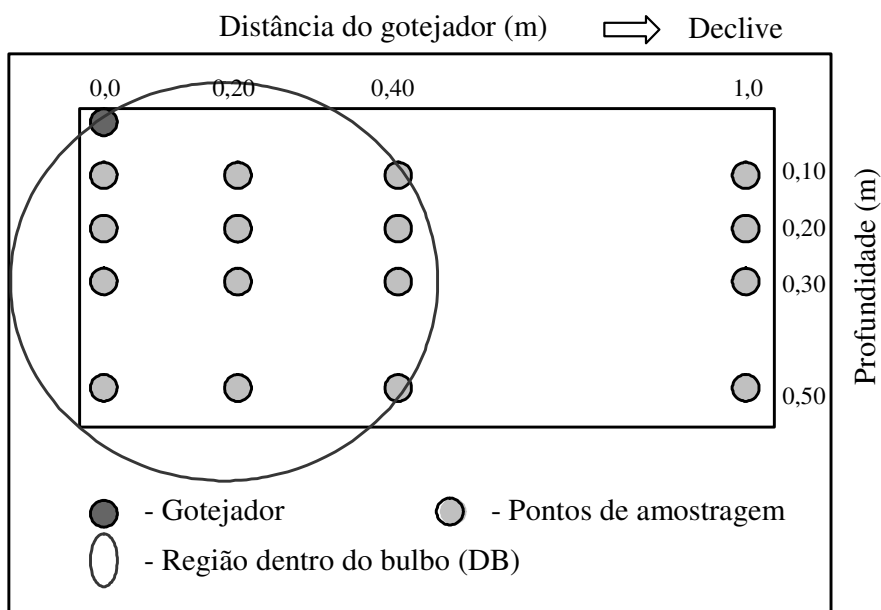


Figura 5. Esquema da posição dos pontos de amostragem do solo e da região de influência do bulbo úmido.

Os tratamentos avaliados em cada um dos dois ensaios conduzidos, bem como algumas outras informações pertinentes são apresentadas a seguir.

**Ensaio I** - O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos estudados (T) foram assim identificados:

- T1: uréia (UR) na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D1);
- T2: uréia (UR) na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D2);
- T3: uréia (UR) na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D3);
- T4: sulfato de amônio (SA) na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D1);
- T5: sulfato de amônio (SA) na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D2);
- T6: sulfato de amônio (SA) na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D3);
- T7: nitrato de cálcio (NC) na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D1);
- T8: nitrato de cálcio (NC) na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D2);
- T9: nitrato de cálcio (NC) na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano (D3).

A definição das doses de N foi baseada em GUIMARÃES et al (1999). A dose recomendada de N é de  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Assim variou-se a dose para mais ( $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e para menos ( $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

Os adubos nitrogenados foram aplicados via água de irrigação (fertirrigação), sendo as respectivas doses parceladas em quatro aplicações, efetuadas nos meses de outubro e dezembro de 2003, e março e maio de 2004. Já os demais nutrientes foram aplicados de acordo com MALAVOLTA e MOREIRA (1997), como adotado na propriedade.

Na análise dos dados das características do solo, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em que as fontes de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio) e as doses de N ( $200, 400$  e  $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) constituíram os tratamentos da parcela, e as camadas e as posições amostradas (dentro e fora do bulbo úmido), com restrições à casualização, constituíram os tratamentos das subparcelas.

Na análise das características do cafeeiro adotou-se o fatorial  $3 \times 3$ , sendo três fontes de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio) e três doses de N ( $200, 400$  e  $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

O estudo constou de 27 parcelas, com dez plantas por parcela, totalizando 270 plantas numa área de 0,054 ha. As duas plantas externas atuaram como bordadura.

O efeito da aplicação das diferentes fontes de nitrogênio, na média das doses, sobre as características químicas do solo foi avaliado comparando-se os resultados obtidos na época 3, com os da época 1. Estabeleceu-se o intervalo de confiança, a 5% de probabilidade, das características do solo em cada época de amostragem.

Após a aplicação das fontes e doses de N, fez-se a análise de variância dos dados considerando a significância até 10% de probabilidade.

Fez-se o desdobramento das interações dos tratamentos (fontes e doses de N) x posição x profundidade, de modo a avaliar o efeito das doses aplicadas dentro de cada combinação dos fatores fonte de nitrogênio, posição e profundidade de amostragem, mediante o desdobramento dos graus de liberdade nos componentes linear e quadrático.

Procedimento análogo foi feito em relação às características da cultura, pelo desdobramento das interações dos tratamentos (fontes e doses de N).

O efeito das fontes de N foi avaliado por meio de contrastes ortogonais. Foram estabelecidos dois contrastes, sendo C1 o contraste que compara os efeitos do fertilizante nítrico em relação aos demais e C2 o contraste que compara o efeito da fonte amoniacal *versus* o efeito da fonte amídica. Os contrastes foram testados a um nível de significância até 10%.

**Ensaio II** - O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos estudados (T) foram assim identificados:

- T1: Uréia (UR) como fonte de nitrogênio no modo fertirrigado (F);
- T2: Sulfato de Amônio (SA) como fonte de nitrogênio no modo fertirrigado (F);
- T3: Nitrato de Cálcio (NC) como fonte de nitrogênio no modo fertirrigado (F);
- T4: Uréia (UR) como fonte de nitrogênio no modo convencional (C);
- T5: Sulfato de Amônio (SA) como fonte de nitrogênio no modo convencional (C);
- T6: Nitrato de Cálcio (NC) como fonte de nitrogênio no modo convencional (C);

A dose aplicada neste ensaio foi de  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , de acordo com GUIMARÃES et al (1999).

Na análise dos dados das características do solo, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em que as fontes de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio) e os modos de aplicação de N (fertirrigação e adubação convencional) constituíram os tratamentos da parcela, e as camadas e as posições amostradas (dentro e fora do bulbo úmido), com restrições à casualização, constituíram os tratamentos das subparcelas.

Na análise das características do cafeeiro adotou-se o fatorial 3x2, sendo três fontes de N (uréia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio) e dois modos de aplicação de N (fertirrigação e adubação convencional).

O estudo constou de 24 parcelas, com dez plantas por parcela, totalizando 240 plantas numa área de 0,0432 ha. As duas plantas externas atuaram como bordadura.

Todas as parcelas foram irrigadas com o mesmo sistema de gotejamento com vazão de  $2,4 \text{ Lh}^{-1}$ , e receberam a mesma quantidade de água durante a condução do experimento. Apenas o modo de aplicar os fertilizantes diferiu. Tanto a fertirrigação quanto a adubação convencional foi dividida em quatro aplicações de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , efetuadas nos meses de outubro e dezembro de 2003, e março e maio de 2004. Já os demais nutrientes foram aplicados de acordo com a recomendação técnica da fazenda, baseada em MALAVOLTA e MOREIRA (1997).

Após a aplicação das fontes pela fertirrigação e pelo modo convencional, fez-se a análise de variância considerando efeito significativo até 10% de probabilidade.

Realizou-se o desdobramento das interações que, no caso dos dados das características de solo foram fonte de N x modo de aplicação x posição x profundidade, e no caso da análise dos dados da cultura foram fonte de N x modo de aplicação.

Assim, avaliou-se o efeito dos modos de aplicação dentro de cada combinação dos fatores fonte de nitrogênio, posição e profundidade de amostragem, mediante a comparação das médias pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

O mesmo estudo foi feito para as características do cafeeiro, sem os pontos de amostragem do solo.

O efeito das fontes de N foi avaliado por meio de contrastes ortogonais. Foram estabelecidos dois contrastes, sendo C1 o contraste que compara os efeitos do fertilizante nítrico (nitrato de cálcio) em relação aos demais (sulfato de amônio e uréia) e C2 o contraste que compara o efeito da fonte amoniacal (sulfato de amônio) contra o efeito da fonte amídica (uréia). Os contrastes foram testados a um nível de significância até 10%.

Em ambos os ensaios, para quantificar o efeito da profundidade sobre as características avaliadas no perfil do solo de 0 a 0,50 m, foram ajustadas equações de regressão sendo, a escolha das equações, baseada na significância dos coeficientes, pelo teste F a um nível de significância até 10%, testado em relação ao quadrado médio do resíduo das respectivas análises de variância, no significado do modelo e nos valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

Avaliou-se o efeito da posição de amostragem dentro de cada combinação dos fatores estudados (fonte de N, dose de N e profundidade, no ensaio I, e fonte de N, modo de aplicação das fontes e profundidade, no ensaio II), por meio do teste F até o nível de 10% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Statistica for windows 5.0 (STATSOFT, Inc., 2001) e SAEG 5.0 (FUNARBE, 1993).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Manejo da irrigação

No período do experimento ocorreu uma precipitação total de 1197,8 mm, sendo a evapotranspiração total da cultura de 498,9 mm (Figura 6). Devido ao déficit de água no início do experimento e aos veranicos ocorridos nos meses de março, abril e maio, foram necessárias 17 irrigações, que totalizaram uma lâmina de 138,5 mm.

(Figura 6).

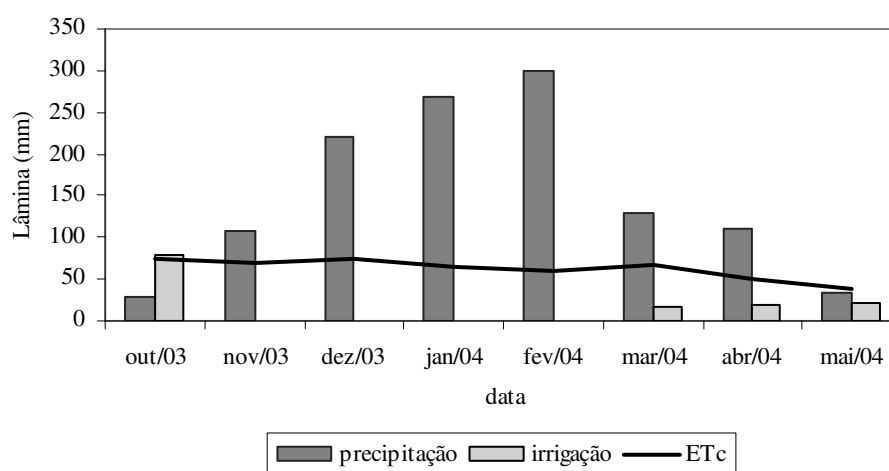


Figura 6. Precipitação, evapotranspiração da cultura e irrigação em mm no período de condução do experimento.

À exceção da 1ª fertirrigação, as demais coincidiram com o momento em que o teor de água no solo estava alto. A 4ª fertirrigação, que teria o solo posteriormente amostrado,

foi feita na semana do dia 24 de maio de 2004. Deste dia até o dia da coleta de solo, semana do dia 8 de junho de 2004, ocorreu uma precipitação de 51 mm.

Observam-se, na Figura 7, o teor de água atual do solo, estimado pelo programa IRRIGA v.1.5, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a umidade de segurança adotada no período de condução do experimento.

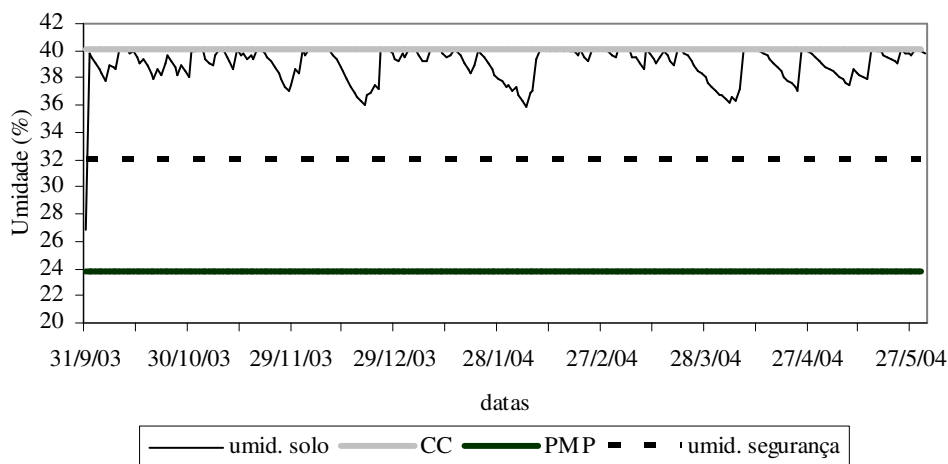


Figura 7. Teor de água no solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e umidade de segurança no período de condução do experimento.

Observa-se que o teor de água no solo foi mantido entre a umidade de segurança e a capacidade de campo, garantindo que a cultura se mantivesse sempre com teor de água disponível para seu pleno desenvolvimento.

Os CUDs obtidos no início do trabalho, e após o término do trabalho foram de 91% e 90,1% respectivamente. Com base na classificação da ASAE (Quadro 2), o CUD dos emissores é excelente, indicando que no período do experimento não houve alterações no funcionamento do sistema de irrigação, seja pelo próprio uso da irrigação ou pela aplicação dos fertilizantes via água de irrigação.

Os resultados e discussões de cada ensaio serão apresentados em tópicos, separadamente.

## 6.2 ENSAIO I - ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DO CAFEIEIRO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO COM O USO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO APLICADAS POR FERTIRRIGAÇÃO

### 6.2.1 Situação inicial do experimento

De acordo com as referências apresentadas em GUIMARÃES et al (1999), os valores de pH na região do bulbo úmido estão na faixa adequada ao cafeeiro (5,5 a 6,0). As disponibilidades de K e de P, de acordo com esses autores, são muito boas. Os valores de

Cu, Mn e CTC a pH 7 foram considerados adequados. Os valores de Zn e V na camada de 0,20 a 0,50 m estavam mais baixos que os recomendados (Quadro 4).

Quadro 4. Características do solo da área experimental antes da aplicação das fontes e doses de N.

Posição	Profundidade	pH	CE	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			$\mu\text{S cm}^{-1}$	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
Região 1 <sup>1</sup>	0-10	6,68	119,8	116,4	285,0	12,9	6,94	1,18	0,08	2,50
	10-20	6,01	120,3	202,3	177,2	10,7	5,74	0,87	0,17	3,22
	20-30	5,71	164,1	46,0	132,1	5,1	3,32	0,61	0,28	3,90
	30-50	5,14	101,1	5,3	110,8	5,3	1,60	0,47	0,40	4,28
Região 2 <sup>2</sup>	0-10	4,88	91,7	4,9	82,3	4,7	1,48	0,47	0,65	5,98
	10-20	4,69	70,5	1,2	61,3	3,3	0,538	0,21	0,87	5,04
	20-30	4,69	76,1	0,6	52,0	2,7	0,301	0,15	0,65	4,72
	30-50	4,55	52,0	0,8	24,3	4,0	0,160	0,10	0,77	5,04

Posição	Profundidade	Cu	Fe	Mn	Zn	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NTot	MO	V
		mg dm <sup>-3</sup>					g kg <sup>-1</sup>		%	
Região 1 <sup>1</sup>	0-10	4,66	80,31	40,59	7,86	14,69	15,29	1,45	27,9	73,1
	10-20	3,33	98,49	64,03	5,57	8,55	9,98	1,20	22,8	58,4
	20-30	3,67	71,82	16,86	2,20	7,80	7,02	0,91	17,0	43,4
	30-50	2,74	75,95	11,91	1,04	8,96	8,49	0,85	14,6	33,9
Região 2 <sup>2</sup>	0-10	4,61	117,47	14,26	0,890	5,49	12,84	1,34	29,2	26,8
	10-20	3,16	116,70	10,56	0,373	5,19	12,08	1,03	19,2	15,8
	20-30	3,95	80,11	7,87	0,277	4,85	9,95	0,93	16,5	11,3
	30-50	3,24	70,14	6,25	0,320	5,05	9,32	0,82	14,7	6,6

<sup>1</sup>Média das posições de amostragem 0,0; 0,20 e 0,40 m; <sup>2</sup>Posição de amostragem a 1,0 m do emissor.

O pH do solo reduziu com a profundidade de amostragem em consequência da correção do solo atingir a camada superficial e próxima da planta. O decréscimo nos valores de pH em profundidade refletem o aumento do Al e a diminuição de bases (K, Ca e Mg), o que pode ser observado nos valores de V reduzindo com a profundidade.

Os teores de Mg, Cu, Fe, MO e NTot, diminuíram com a profundidade do solo.

Os maiores valores de CE foram encontrados nas camadas até 0,30 m de profundidade em razão da maior concentração de sais. Valores altos de V nas camadas até 0,30 m de profundidade refletem maiores concentrações das bases e menores valores de H+Al.

### 6.2.2 Efeito das fontes e doses de nitrogênio sobre as características químicas do solo

No quadro 5 observam-se os teores dos nutrientes antes e após a aplicação das doses e fontes de N, estudadas dentro das profundidades e posições de amostragem.

De acordo com os intervalos de confiança estabelecidos para as épocas 1 e 3, na média das doses, não houve diferença estatística nos valores de Al, pH e V após a aplicação das fontes de N.

Comparando as épocas 1 e 3, houve aumento da CE somente na região do bulbo úmido, variando com a profundidade amostrada e com a fonte de N.

A fonte UR e SA proporcionaram maiores valores de CE nas camadas de 0 a 0,10 e 0,30 a 0,50 m. A fonte NC proporcionou aumento da CE em todo o perfil estudado, com os maiores valores nas camadas de 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,50 m.

Os teores de nitrato também foram alterados somente na região do bulbo úmido. Houve aumento no nitrato no perfil do solo, à exceção da camada de 0 a 0,10 m para a fonte UR.

Houve efeito das fontes UR e SA sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  somente na camada de 0,30 a 0,50 m na região fora do bulbo. A fonte NC apresentou diferença nas camadas de 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30 m na região do bulbo e na camada de 0,30 a 0,50 m fora do bulbo. Os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  após a aplicação das fontes foram menores que os iniciais.

De acordo com a análise de variância, houve diferença significativa dos tratamentos sobre os teores dos nutrientes no solo. Como os efeitos tanto isolados como na interação com profundidade e posição foram variados para dose e fonte, optou-se por desdobrar a interação quádrupla (fonte x dose x posição x profundidade).

#### **6.2.2.1 Efeito das doses sobre as características do solo**

O efeito das doses dentro de cada combinação das fontes de nitrogênio, posições e profundidades de amostragem foi avaliado mediante o desdobramento dos graus de liberdade nos componentes linear e quadrático.

A CE foi influenciada pela dose de N em todas as profundidades, na região do bulbo úmido. Nas fontes UR e SA e na camada de 0 a 0,10 m, houve efeito linear (Quadro 6) e positivo da dose de N (Quadro 5). De maneira geral, os valores mais elevados nessa região ocorreram em razão de ser o ponto de aplicação do fertilizante e por isso de maior acúmulo de sais, e, por ser numa camada que sofre maiores variações de umidade, há um aumento na concentração dos sais com o decréscimo da umidade nesta região.

Nas camadas inferiores passa a prevalecer o efeito quadrático, com o maior valor de CE na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Como mostrado pela análise de correlação (dados não mostrados), as variações na CE estão mais relacionadas aos teores de  $\text{N-NO}_3^-$ , adicionado diretamente pela fonte NC ou gerado a partir do processo de nitrificação do nitrogênio adicionado pelas fontes UR e SA.

Quadro 5. Média dos valores das características do solo analisadas em função dos tratamentos, no início e final do experimento.

Característica	Posição <sup>4</sup>	prof.	VI <sup>5</sup>	Fontes de N <sup>1</sup>											
				UR			SA			NC					
				Doses <sup>2</sup>			Média <sup>3</sup>			Doses <sup>2</sup>			Média <sup>3</sup>		
			D1	D2	D3	UR	D1	D2	D3	SA	D1	D2	D3	NC	
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	DB	0-10	0,08	0,01	0,03	0,02	<b>0,02</b>	0,04	0,06	0,07	<b>0,06</b>	0,04	0,01	0,01	<b>0,02</b>
		10-20	0,17	0,02	0,10	0,04	<b>0,06</b>	0,07	0,10	0,26	<b>0,14</b>	0,06	0,07	0,01	<b>0,05</b>
		20-30	0,28	0,08	0,16	0,14	<b>0,13</b>	0,17	0,33	0,09	<b>0,20</b>	0,15	0,19	0,02	<b>0,12</b>
	FB	30-50	0,40	0,21	0,26	0,17	<b>0,21</b>	0,21	0,46	0,30	<b>0,33</b>	0,23	0,27	0,09	<b>0,20</b>
		0-10	0,65	0,24	0,06	0,08	<b>0,13</b>	0,05	0,08	0,13	<b>0,09</b>	0,06	0,02	0,11	<b>0,06</b>
		10-20	0,87	0,56	0,27	0,34	<b>0,39</b>	0,26	0,50	0,29	<b>0,35</b>	0,19	0,10	0,40	<b>0,23</b>
		20-30	0,65	0,64	0,40	0,69	<b>0,58</b>	0,56	0,30	0,21	<b>0,36</b>	0,40	0,29	0,45	<b>0,38</b>
30-50	0,77	0,66	0,40	0,53	<b>0,53</b>	0,42	0,45	0,29	<b>0,38</b>	0,40	0,51	0,45	<b>0,45</b>		
CE (µS cm <sup>-1</sup> )	DB	0-10	119,8	196,7	321,6	357,2	<b>291,8</b>	310,8	460,4	565,1	<b>445,4</b>	326,4	345,8	416,1	<b>362,7</b>
		10-20	120,3	212,5	338,0	289,8	<b>280,1</b>	273,8	571,2	355,0	<b>400,0</b>	302,9	410,3	322,7	<b>345,3</b>
		20-30	164,1	205,1	388,0	337,8	<b>310,3</b>	239,9	591,0	402,4	<b>411,1</b>	389,0	459,3	464,8	<b>437,7</b>
	FB	30-50	101,1	127,3	383,2	368,1	<b>292,9</b>	278,7	411,5	337,2	<b>342,5</b>	336,4	296,1	482,3	<b>371,6</b>
		0-10	91,7	99,5	136,4	90,2	<b>108,7</b>	113,5	95,9	101,9	<b>103,7</b>	101,6	93,7	86,5	<b>93,9</b>
		10-20	70,53	79,2	65,0	62,7	<b>68,9</b>	80,4	72,7	81,8	<b>78,3</b>	83,8	82,4	66,7	<b>77,6</b>
		20-30	76,07	63,3	50,2	48,0	<b>53,8</b>	63,2	65,3	60,2	<b>62,9</b>	44,9	68,3	66,6	<b>59,9</b>
30-50	52,00	39,0	33,2	42,8	<b>38,3</b>	42,9	35,6	36,8	<b>38,5</b>	27,7	38,7	42,1	<b>36,1</b>		
pH	DB	0-10	6,68	7,15	6,77	6,79	<b>6,90</b>	6,59	6,41	6,57	<b>6,52</b>	6,77	6,91	7,13	<b>6,94</b>
		10-20	6,01	6,49	6,28	6,20	<b>6,32</b>	5,91	5,66	5,82	<b>5,80</b>	5,88	6,04	6,93	<b>6,28</b>
		20-30	5,71	6,05	5,73	5,61	<b>5,80</b>	5,61	5,48	5,24	<b>5,44</b>	5,34	5,30	6,46	<b>5,70</b>
	FB	30-50	5,14	5,57	5,20	5,18	<b>5,31</b>	5,10	4,64	4,67	<b>4,80</b>	4,83	4,96	5,31	<b>5,03</b>
		0-10	4,88	5,38	7,20	6,10	<b>6,22</b>	6,54	6,74	6,20	<b>6,49</b>	6,50	6,79	6,08	<b>6,46</b>
		10-20	4,687	4,89	5,34	5,11	<b>5,11</b>	5,71	5,84	5,15	<b>5,57</b>	5,32	5,18	4,88	<b>5,12</b>
		20-30	4,693	4,61	4,91	4,71	<b>4,74</b>	4,74	4,98	4,84	<b>4,86</b>	4,99	4,70	4,86	<b>4,85</b>
30-50	4,553	4,77	4,93	4,75	<b>4,82</b>	4,84	4,92	4,96	<b>4,90</b>	4,95	4,71	4,80	<b>4,82</b>		
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	DB	0-10	15,29	30,42	50,76	84,73	<b>55,30</b>	45,39	173,27	144,92	<b>121,19</b>	64,18	110,43	103,42	<b>92,68</b>
		10-20	9,98	33,30	58,16	85,16	<b>58,87</b>	35,64	139,35	125,14	<b>100,04</b>	58,73	113,29	82,56	<b>84,86</b>
		20-30	7,02	35,22	65,69	71,21	<b>57,37</b>	29,33	132,32	97,10	<b>86,25</b>	66,04	108,66	145,97	<b>106,89</b>
	FB	30-50	8,49	28,19	58,64	65,55	<b>50,80</b>	38,65	70,08	101,18	<b>69,97</b>	65,39	70,77	148,30	<b>94,82</b>
		0-10	12,84	12,05	16,06	15,71	<b>14,61</b>	14,36	17,26	23,39	<b>18,34</b>	20,78	18,61	17,82	<b>19,07</b>
		10-20	12,08	12,35	14,26	15,16	<b>13,92</b>	14,26	16,02	18,77	<b>16,35</b>	17,26	17,19	15,69	<b>16,71</b>
		20-30	9,95	12,30	12,70	13,20	<b>12,73</b>	13,50	12,75	15,23	<b>13,83</b>	15,89	15,70	15,22	<b>15,60</b>
30-50	9,32	10,69	10,89	12,60	<b>11,39</b>	11,95	9,69	14,51	<b>12,05</b>	14,21	15,58	14,16	<b>14,65</b>		
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	DB	0-10	14,69	2,08	2,44	6,02	<b>3,51</b>	2,07	0,57	1,46	<b>1,37</b>	0,69	0,72	0,68	<b>0,70</b>
		10-20	8,55	1,55	1,33	9,61	<b>4,16</b>	9,56	0,65	4,56	<b>4,92</b>	0,61	0,38	0,49	<b>0,49</b>
		20-30	7,80	1,01	5,20	14,76	<b>6,99</b>	7,34	0,62	4,46	<b>4,14</b>	0,40	2,01	0,41	<b>0,94</b>
	FB	30-50	8,96	0,87	12,41	18,81	<b>10,70</b>	5,54	6,30	5,22	<b>5,69</b>	0,50	0,42	0,67	<b>0,53</b>
		0-10	5,49	0,90	1,22	1,28	<b>1,13</b>	1,31	0,26	0,66	<b>0,74</b>	0,62	0,60	0,52	<b>0,58</b>
		10-20	5,19	0,71	1,01	1,04	<b>0,92</b>	1,08	0,34	0,40	<b>0,61</b>	0,63	0,50	0,39	<b>0,51</b>
		20-30	4,85	0,49	1,07	0,53	<b>0,70</b>	0,65	0,22	0,54	<b>0,47</b>	0,35	0,44	0,33	<b>0,37</b>
30-50	5,05	0,69	0,67	0,61	<b>0,66</b>	0,67	0,51	0,22	<b>0,47</b>	0,51	0,43	0,54	<b>0,49</b>		
V (%)	DB	0-10	73,06	87,6	67,8	76,5	<b>77,3</b>	74,9	60,2	68,4	<b>67,8</b>	80,2	75,98	87,10	<b>81,09</b>
		10-20	58,37	75,3	57,6	63,0	<b>65,3</b>	56,1	47,5	47,0	<b>50,2</b>	63,0	61,04	82,02	<b>68,70</b>
		20-30	43,41	61,6	46,6	50,6	<b>52,9</b>	48,7	46,1	43,2	<b>46,0</b>	53,0	50,51	75,43	<b>59,65</b>
	FB	30-50	33,94	46,6	39,4	38,4	<b>41,5</b>	33,1	31,4	31,0	<b>31,8</b>	40,2	37,00	53,54	<b>43,58</b>
		0-10	26,83	47,2	61,3	48,3	<b>52,3</b>	62,1	58,7	58,9	<b>59,9</b>	60,7	62,3	48,5	<b>57,2</b>
		10-20	15,84	25,3	32,1	26,8	<b>28,1</b>	44,6	47,6	33,9	<b>42,0</b>	32,1	32,7	20,0	<b>28,2</b>
		20-30	11,32	16,2	21,0	12,9	<b>16,7</b>	19,5	25,5	22,2	<b>22,4</b>	19,9	15,7	18,7	<b>18,1</b>
30-50	6,61	16,2	16,2	14,0	<b>15,5</b>	15,2	18,0	21,7	<b>18,3</b>	14,3	11,3	13,9	<b>13,1</b>		

<sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Doses de N (D1 – dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N; D2 – dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de N; D3 – dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de N); <sup>3</sup>média das doses dentro da respectiva fonte de N; <sup>4</sup>posição de amostragem em relação ao gotejador (DB- dentro do bulbo; FB- Fora do bulbo); <sup>5</sup>VI – valor das características químicas do solo no início do experimento.

Quadro 6. Significância das características do solo sob influência de doses de fertilizantes nitrogenados dentro e fora do bulbo em diferentes camadas.

		Características											
		Al	CE	pH	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	V	Al	CE	pH	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	V
		Dentro do Bulbo <sup>3</sup>						Fora do Bulbo <sup>3</sup>					
Fonte <sup>1</sup>	Efeito <sup>2</sup>	Profundidade = 0 – 0,10 m											
UR	L	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	o
SA	L	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NC	L	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	o	ns	ns	ns
		Profundidade = 0,10 – 0,20 m											
UR	L	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	ns	o	o	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SA	L	ns	ns	ns	**	o	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	**	ns	**	**	ns	ns	ns	o	ns	ns	ns
NC	L	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	*	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		Profundidade = 0,20 – 0,30 m											
UR	L	ns	o	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	o	ns	ns	ns	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns
SA	L	ns	*	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NC	L	ns	ns	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	*	ns	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		Profundidade = 0,30 – 0,50 m											
UR	L	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SA	L	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NC	L	ns	o	ns	**	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

\*\* Significância a 1%, \* Significância a 5%, ° Significância a 10%, ns não significativo pelo teste F. <sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Efeito das doses (L- linear; Q- quadrática); <sup>3</sup> posição de amostragem em relação ao gotejador.

Os valores de pH foram influenciados pelas doses somente na fonte NC. Observa-se, no quadro 5, que há tendência de redução do pH com o aumento das doses de N das fontes UR e SA, ao contrário do que aconteceu quando se aplicou N na forma de NC. Este efeito, pode ser atribuído à absorção de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pela cultura com conseqüente liberação de OH<sup>-</sup> ou outros ânions (MARSCHNER, 1991 e JUNGK, 1991).

Na fonte SA, os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram alterados pelas doses em todas as camadas. Observou-se acréscimo no teor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> da dose de 200 até a de 400, em razão do aumento da nitrificação. Na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup>, porém, houve redução dos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Esta redução possivelmente foi em razão da quantidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adicionada ao solo pela fonte SA tornando-se, devido aos altos teores, prejudicial às bactérias

Nitrossomonas, reduzindo os teores de  $\text{NO}_2$  e conseqüentemente de  $\text{N-NO}_3^-$  (BROADBENT et al., 1958 e HAYNES, 1986).

Houve efeito significativo das doses de N sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  nas camadas de 0,10 a 0,50 m, proporcionado pelas fontes UR e SA. Observa-se um efeito quadrático da fonte SA passando por um mínimo na dose de 400. Isso se deve ao fato de ter ocorrido maior nitrificação nessa dose o que pode ser verificado pelos maiores teores de  $\text{N-NO}_3^-$  (Quadro 5) conseqüência da nitrificação de  $\text{N-NH}_4^+$ . Na fonte UR houve efeito linear crescente da dose sobre o  $\text{N-NH}_4^+$ , à semelhança do verificado no  $\text{N-NO}_3^-$ .

Não houve efeito significativo das doses da fonte SA sobre os valores de V. Na fonte UR, observou-se efeito quadrático das doses sobre V nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, passando por um menor valor na dose de 400. O mesmo efeito foi observado na fonte NC, porém, nas camadas de 0,10 a 0,50 m.

Com maior freqüência, as doses proporcionaram alterações nas características do solo, principalmente das formas de N, pH, CE e V, na região do bulbo úmido (Quadro 6). Isso implica que o monitoramento da fertilidade do solo, em cafeeiros fertirrigados por gotejamento, deve ser feito levando-se em consideração a região de influência do bulbo e não da saia do cafeeiro.

#### **6.2.2.2 Efeito das fontes de N sobre as características químicas do solo**

Os efeitos das fontes dentro das doses e posições de amostragem sobre as características do solo, analisados por meio de contrastes, são mostrados no Quadro 7.

Houve efeito significativo da condutividade elétrica (CE), avaliado no contraste C1, nas camadas de 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,50 m dentro do bulbo úmido, sendo a fonte NC responsável pelos maiores valores de CE. O contraste C2 foi significativo em todas as camadas de solo. Entre as fontes confrontadas, o sulfato de amônio proporcionou os maiores valores de CE que correspondem, na maioria das vezes, aos pontos de maior teor de  $\text{N-NO}_3^-$ , se não significativos pelo menos mostram uma tendência. Isso indica que os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  influenciaram a CE.

Houve aumento do pH, com a aplicação da fonte NC (contraste C1), apenas na maior dose e nas camadas de solo intermediárias. No entanto, ao comparar a fonte amoniacal com a amídica (C2), o pH foi significativamente diferente na região do bulbo úmido, com exceção da camada de 0,20 a 0,30 m. Os maiores valores de pH ocorreram na fonte UR. Os valores mais baixos de pH para a fonte SA estão relacionados ao efeito da nitrificação ocorrida com o uso dessa fonte e aos maiores valores de  $\text{Al}^{3+}$  e menores de V (Quadro 5).

Quadro 7. Estimativas dos contrastes seguidas da significância das características do solo em função de doses, posição e profundidade.

Dose (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	características	contraste	Dentro do bulbo			Fora do bulbo		
			200	400	600	200	400	600
Profundidade= 0 – 0,10 m								
Al	C1		0,02	-0,04	-0,04	-0,08	-0,06	0,01
(cmolc dm <sup>-3</sup> )	C2		0,03	0,03	0,05	-0,19	0,02	0,05
CE	C1		72,63	-45,23	-45,06	-4,85	-22,38	-9,53
(µS cm <sup>-1</sup> )	C2		114,07	138,76 <sup>o</sup>	207,90*	14,03	-40,50	11,73
pH	C1		-0,10	0,32	0,45	0,55 <sup>o</sup>	-0,18	-0,07
	C2		-0,56 <sup>o</sup>	-0,35	-0,22	1,16**	-0,45	0,11
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C1		26,27	-1,58	-11,40	7,58	1,96	-1,73
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		14,97	122,50**	60,19*	2,31	1,19	7,68
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	C1		-1,39	-0,79	-3,06	-0,48	-0,15	-0,45
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		-0,01	-1,87	-4,56	0,41	-0,96	-0,62
V	C1		-1,10	11,97 <sup>o</sup>	14,62*	6,10	2,25	-5,06
(%)	C2		-12,74	-7,58	-8,10	14,98 <sup>o</sup>	-2,64	10,68
Profundidade= 0,10 – 0,20 m								
Al	C1		0,01	-0,02	-0,14	-0,22	-0,29*	0,09
(cmolc dm <sup>-3</sup> )	C2		0,05	-0,01	0,21	-0,30 <sup>o</sup>	0,22	-0,05
CE	C1		59,81	-44,31	0,29	3,98	13,60	-5,55
(µS cm <sup>-1</sup> )	C2		61,32	233,22**	65,17	1,23	7,67	19,17
pH	C1		-0,32	0,07	0,92**	0,01	-0,41	-0,25
	C2		-0,58 <sup>o</sup>	-0,61 <sup>o</sup>	-0,38	0,82*	0,50	0,04
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C1		24,26	14,54	-22,59	3,96	2,05	-1,27
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		2,34	81,19**	39,98	1,91	1,77	3,61
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	C1		-4,95*	-0,62	-6,60**	-0,26	-0,17	-0,33
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		8,01**	-0,68	-5,05 <sup>o</sup>	0,38	-0,67	-0,64
V	C1		-2,70	8,39	26,97**	-2,88	-7,18	-10,37
(%)	C2		-19,28*	-10,10	-16,06*	19,32*	15,51 <sup>o</sup>	7,05
Profundidade= 0,20 – 0,30 m								
Al	C1		0,03	-0,05	-0,09	-0,20	-0,06	0,00
(cmolc dm <sup>-3</sup> )	C2		0,09	0,17	-0,05	-0,08	-0,10	-0,48
CE	C1		166,49*	-30,19	94,71	-18,32	10,57	12,47
(µS cm <sup>-1</sup> )	C2		34,79	203,00*	64,56	-0,10	15,07	12,20
pH	C1		-0,48 <sup>o</sup>	-0,31	1,04**	0,32	-0,25	0,09
	C2		-0,44	-0,25	-0,37	0,13	0,07	0,13
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C1		33,77	9,66	61,82**	2,99	2,98	1,00
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		-5,89	66,63**	25,90	1,20	0,05	2,03
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	C1		-3,77	-0,90	-9,19**	-0,22	-0,20	-0,21
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		6,34*	-4,58	-10,30**	0,16	-0,85	0,01
V	C1		-2,18	4,14	28,48**	2,06	-7,60	1,08
(%)	C2		-12,82	-0,48	-7,35	3,33	4,44	9,32
Profundidade= 0,30 – 0,50 m								
Al	C1		0,02	-0,09	-0,15	-0,14	0,09	0,04
(cmolc dm <sup>-3</sup> )	C2		0,01	0,20	0,13	-0,24	0,05	-0,24
CE	C1		133,42 <sup>o</sup>	-101,31	129,63 <sup>o</sup>	-13,28	4,28	2,25
(µS cm <sup>-1</sup> )	C2		151,44 <sup>o</sup>	28,33	-30,94	3,92	2,43	-5,97
pH	C1		-0,50 <sup>o</sup>	0,05	0,39	0,14	-0,22	-0,06
	C2		-0,47	-0,56 <sup>o</sup>	-0,51	0,07	-0,01	0,21
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C1		31,96	6,41	64,93**	2,90	5,29	0,60
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		10,46	11,44	35,63	1,25	-1,20	1,91
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	C1		-2,71	-8,94**	-11,34**	-0,17	-0,16	0,12
(mg dm <sup>-3</sup> )	C2		4,67 <sup>o</sup>	-6,11*	-13,59**	-0,02	-0,16	-0,38
V	C1		0,32	1,55	18,76**	-1,45	-5,82	-3,94
(%)	C2		-13,43 <sup>o</sup>	-8,03	-7,41	-1,00	1,84	7,64

\*\* Significância a 1%, \* Significância a 5%, <sup>o</sup> Significância a 10% pelo teste F; C1: contraste entre nitrato de cálcio versus sulfato de amônio e uréia; C2: contraste entre sulfato de amônio versus uréia.

Comparativamente à fonte UR, é justificável que a fonte amoniacal reduza mais o pH, pois, esta, não passa pelo processo da hidrólise que eleva o pH e nem sofre as perdas

pela volatilização. Portanto, a quantidade de  $\text{N-NH}_4^+$  passível de ser nitrificada é maior na fonte SA, sendo, maior também, a quantidade de  $\text{H}^+$  liberado.

Quanto à característica  $\text{N-NO}_3^-$  não houve significância do contraste C1 nas camadas de 0 a 0,10 e de 0,10 a 0,20 m, apesar de ter sido aplicado  $\text{N-NO}_3^-$  na fonte NC. Isso se deu em razão dos teores de  $\text{N-NO}_3^-$ , obtidos ao se utilizar a fonte NC, serem próximos aos obtidos com a fonte SA, após ter sofrido nitrificação. No entanto, nas camadas de 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,50 m houve diferença significativa entre a fonte nítrica e as demais fontes na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Isso se deve à maior mobilidade, no solo, da fonte NC, o que permitiu a lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  para as camadas inferiores e ao maior aporte de  $\text{N-NO}_3^-$  devido à maior dose aplicada. Observa-se, pelos valores do Quadro 5, que os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  são uniformes em todo o perfil. Isto evidencia uma possível lixiviação deste nutriente para camadas abaixo do último ponto amostrado. A lixiviação pode ter ocorrido em razão das elevadas precipitações (Figura 3), ocorridas no período da fertirrigação e amostragem do solo.

A fonte SA proporcionou os maiores teores de nitrato comparativamente à fonte UR (contraste C2). Como a fonte SA apresenta menor mobilidade no solo, devido ao cátion  $\text{N-NH}_4^+$  ser mais fortemente retido pelas cargas negativas do solo, houve maior disponibilização de N nas primeiras camadas do solo, se redistribuindo ao longo do perfil. Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  encontrados após aplicação da fonte SA indicam que houve intensa nitrificação. O processo de nitrificação foi um dos principais fatores responsáveis pelo decréscimo do pH do solo devido à liberação de  $\text{H}^+$ , concordando com os resultados obtidos no teste de contraste para pH e com os menores valores mostrados no Quadro 5.

Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$ , em resposta à aplicação de uréia, foram menores quando comparados às outras fontes (Quadro 5). Possivelmente isso está relacionado a perdas de N por volatilização durante o processo de hidrólise enzimática e pelos maiores teores de  $\text{N-NH}_4^+$ , resultantes da amonificação, que não teria sofrido nitrificação, fato que causaria acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  e reduziria a atividade das Nitrossomonas.

Houve diferença significativa a favor das fontes amoniacal e amídica, entre as fontes de N testadas no C1, sobre a variável  $\text{N-NH}_4^+$  nas camadas abaixo de 0,10 m de profundidade. Pelo valor do C1 verificou-se que a fonte nítrica pouco contribuiu com os teores de amônio, o que é justificável pela natureza da fonte NC em relação às outras. Os valores do contraste foram crescentes no perfil do solo, principalmente nas doses maiores, indicando a contribuição das fontes amoniacal e amídica quanto aos teores de amônio. No Quadro 5, observam-se os teores crescentes de  $\text{N-NH}_4^+$  nas fontes SA e UR, não

acontecendo o mesmo para a fonte NC. Nesta fonte, possivelmente, os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  detectados podem ter sido resultado da mineralização da matéria orgânica.

Comparando o efeito avaliado no C2, da fonte de nitrogênio SA vs. UR, sobre  $\text{N-NH}_4^+$  verifica-se que a fonte SA propiciou maior teor de  $\text{N-NH}_4^+$  na menor dose aplicada. O aumento das doses, no entanto, favoreceu obter maior teor de  $\text{N-NH}_4^+$  quando a fonte UR foi aplicada. Os maiores valores de  $\text{N-NH}_4^+$  devido à fonte amídica, possivelmente sejam decorrentes da maior movimentação do N na forma de uréia, permanecendo nessa forma por mais tempo. De acordo com HAYNES (1990), HAYNES e SWIFT (1987) e PERVEY e BURROWS (1999), há um deslocamento da uréia com a água de irrigação, chegando a profundidades de até 0,40 m, com posterior hidrólise e nitrificação. Este deslocamento é possível por: a uréia ser uma molécula de carga neutra, portanto não é retida no solo; a aplicação ser por fertirrigação localizada, o que aumenta a concentração do elemento e favorece seu movimento; as condições oferecidas pelo sistema de gotejamento, com teor de água praticamente constante e próximo à capacidade de campo e também devido à dinâmica da água no solo.

O aumento dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  nas camadas inferiores do solo, devido o uso da uréia, indica um potencial para acidificação do solo quando houver condições propícias à nitrificação (pH, atividade microbiana e outras) ou ainda absorção de  $\text{NH}_4^+$  pelo cafeeiro com conseqüente liberação de  $\text{H}^+$ . No presente trabalho, no entanto, o uso da fonte UR não causou acidificação do solo, conforme observado nos trabalhos de HAYNES e SWIFT (1987), HAYNES (1990), BELTON e GOH (1992) e NEILSEN et al (1995).

Houve efeito significativo a favor da fonte nítrica sobre o aumento dos valores de V, avaliado no contraste C1, possivelmente em razão do aporte de Ca presente nessa fonte. Entre as fontes SA e UR, contraste C2, observou-se efeito significativo, sendo a fonte SA a que apresentou os menores valores de V. Estes são decorrentes da diminuição das bases principalmente Ca e Mg e em menor quantidade o K (dados não apresentados), possivelmente devido à lixiviação, à movimentação lateral em direção à periferia do bulbo ou mesmo absorção pela cultura, apesar desta última hipótese não poder ser confirmada por meio da análise foliar. Os menores valores de V refletem os menores valores de pH encontrados para a fonte SA.

A maior parte das características do solo avaliadas sofreram alterações significativas pelo uso das diferentes fontes de nitrogênio. Estas alterações ocorreram, com maior frequência, na região compreendida pelo bulbo úmido, que se estende até a 0,40 m de distância do gotejador, onde todas as variáveis foram afetadas significativamente à

exceção do  $\text{Al}^{3+}$ . Porém, na região fora do bulbo, o efeito das fontes ocorreu com pouca frequência.

### 6.2.2.3 Alteração das características do solo com a profundidade

O pH do solo reduziu com a profundidade nas diferentes fontes e doses de N aplicadas tanto na região dentro quanto fora do bulbo úmido (Figura 8 e Quadro 8).

No bulbo úmido, observou-se decréscimo linear do pH quando se aplicou as fontes UR e SA nas diferentes doses. Houve maior redução do pH com a aplicação de SA e com o aumento de sua dose.

O pH, quando a fonte NC foi aplicada, decresceu linearmente com a profundidade na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  e quadraticamente nas demais doses. Observou-se menores valores nas doses de 200 e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  e maiores na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os maiores valores de pH na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  refletem os maiores valores de V, em razão do maior aporte de Ca proporcionado pela fonte NC.

Na região fora do bulbo úmido verificou-se comportamento quadrático do pH reduzindo com a profundidade, atingindo a condição inicial do solo a partir da profundidade de 0,20 m para a fonte UR, 0,25 m para SA e 0,30 m para a fonte NC.

Os teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável no solo após a aplicação das fontes e doses de N, na maioria dos casos, foram menores que os valores iniciais. Na região do bulbo úmido observou-se um comportamento linear com aumento dos valores de  $\text{Al}^{3+}$  com a profundidade nas diferentes fontes e doses, à exceção da dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  nas fontes UR e NC e a dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  na fonte SA, que não apresentaram diferença significativa, sendo, seus valores, representados pela média das profundidades (Figura 9 e Quadro 8). Os maiores valores de  $\text{Al}^{3+}$  no solo foram obtidos com a aplicação da dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N com a fonte SA. Estes valores aumentaram significativamente com a profundidade do solo, sendo consistentes com a redução do pH no perfil do solo.

Na região fora do bulbo, observou-se o aumento dos teores de  $\text{Al}^{3+}$  com a profundidade para as fontes e doses de N, à exceção da dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  na fonte SA, que foi representada pela sua média na profundidade.

Os valores de  $\text{Al}^{3+}$  ajustaram-se ao modelo quadrático nas doses de 200 e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  na fonte UR e linear na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ . Na fonte SA ajustou-se um modelo quadrático na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  e hiperbólico na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ . Já para a fonte NC o modelo foi linear para todas as doses.

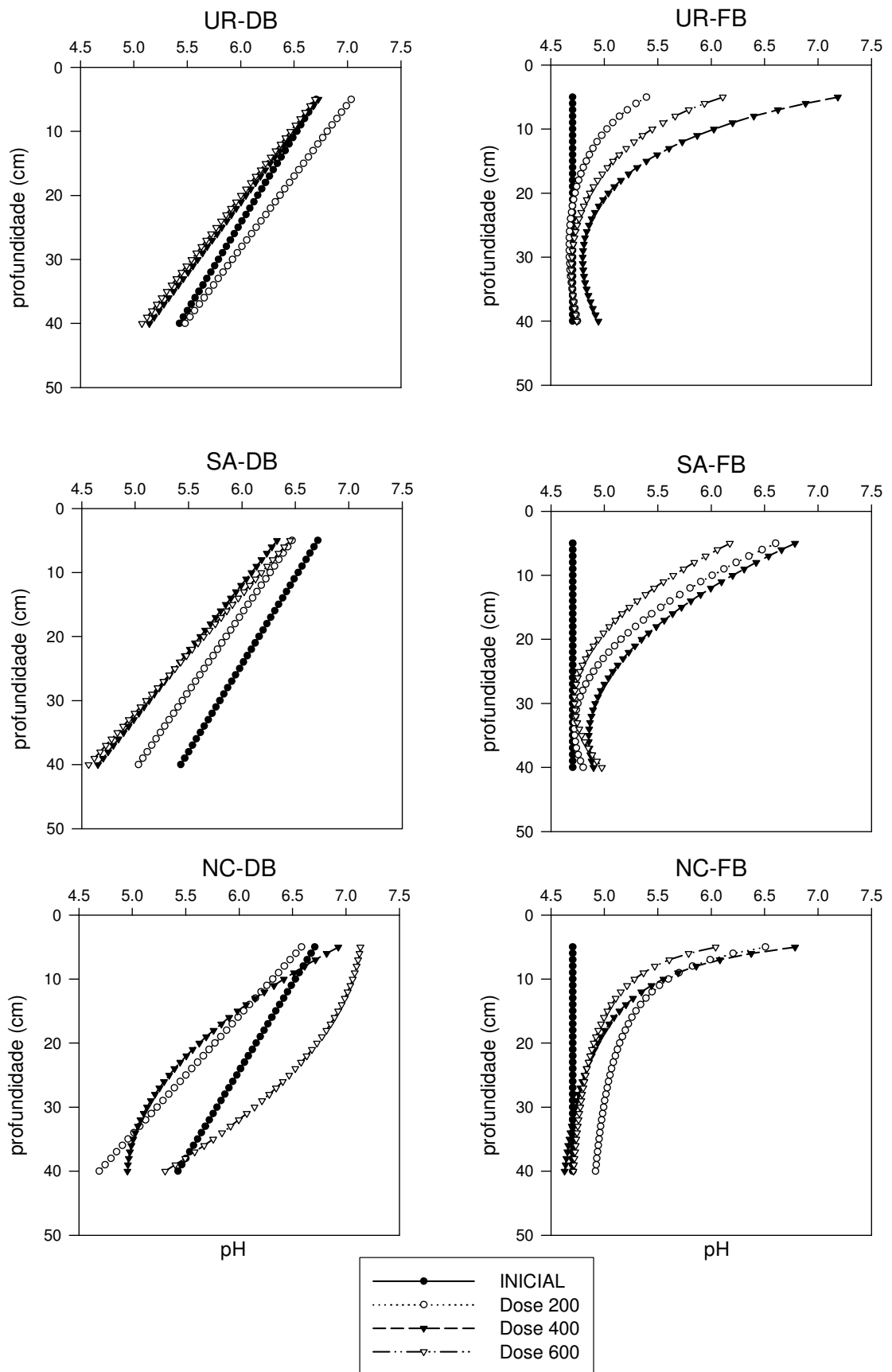


Figura 8. Valores de pH no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

Quadro 8. Modelos de regressão e respectivos coeficientes de determinação dos tratamentos em função da profundidade de amostragem.

FONTE UR							
Dentro do bulbo							
caract	Dose 200 kg ha <sup>-1</sup> de N ano <sup>-1</sup>	r <sup>2</sup>	Dose 400 kg ha <sup>-1</sup> de N ano <sup>-1</sup>	r <sup>2</sup>	Dose 600 kg ha <sup>-1</sup> de N ano <sup>-1</sup>	r <sup>2</sup>	
Al	$\hat{y} = -0,0478 + 0,0059X$	0,93	$\hat{y} = -0,0017 + 0,0065X$	1,00	$\hat{y} = \bar{y} = 0,92$	-----	
CE	$\hat{y} = \bar{y} = 185,44$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 357,74$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 338,28$	-----	
pH	$\hat{y} = 7,256 - 0,0444X$	0,97	$\hat{y} = 6,952 - 0,0452X$	0,99	$\hat{y} = 6,9279 - 0,0463X$	0,97	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 31,78$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 58,31$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 76,66$	0,98	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 1,38$	-----	$\hat{y} = 3,054 - 0,2398X + 0,012X^2$	0,98	$\hat{y} = 4,352 + 0,374X$	0,98	
V	$\hat{y} = 92,9469 - 1,1826X$	1,00	$\hat{y} = 70,296 - 0,8189X$	0,96	$\hat{y} = 80,263 - 1,086X$	-----	
Fora do bulbo							
	Dose 200 kg ha <sup>-1</sup> de N ano <sup>-1</sup>	r <sup>2</sup>	Dose 400 kg ha <sup>-1</sup> de N ano <sup>-1</sup>	r <sup>2</sup>	Dose 600 kg ha <sup>-1</sup> de N ano <sup>-1</sup>	r <sup>2</sup>	
Al	$\hat{y} = 0,069 + 0,04X - 0,000634X^2$	0,98	$\hat{y} = 0,0851 + 0,0094X$	0,78	$\hat{y} = -0,211 + 0,056X - 0,0009X^2$	0,93	
CE	$\hat{y} = \bar{y} = 70,28$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 71,23$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 60,95$	-----	
pH	$\hat{y} = 6,82 - 0,807RAIZ(X) + 0,076X$	0,97	$\hat{y} = 11,56 - 2,45RAIZ(X) + 0,223X$	1,00	$\hat{y} = 8,55 - 1,36RAIZ(X) + 0,1198X$	1,00	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 11,85$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 13,48$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 14,17$	-----	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,70$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,99$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,86$	-----	
V	$\hat{y} = 100,3 - 29,32RAIZ(X) + 2,53X$	1,00	$\hat{y} = 124,6 - 34,39RAIZ(X) + 2,73X$	1,00	$\hat{y} = 104 - 30,29RAIZ(X) + 2,52X$	0,98	
FONTE SA							
Dentro do bulbo							
Al	$\hat{y} = \bar{y} = 0,12$	-----	$\hat{y} = -0,028 + 0,0124X$	0,94	$\hat{y} = 0,075 + 0,0049X$	0,40	
CE	$\hat{y} = \bar{y} = 275,84$	-----	$\hat{y} = 362,09 + 21,977X - 0,518X^2$	1,00	$\hat{y} = 312,9 + 1231,1(1/X)$	0,90	
pH	$\hat{y} = 6,674 - 0,0411X$	0,97	$\hat{y} = 6,566 - 0,0479X$	0,97	$\hat{y} = 6,719 - 0,0539X$	0,97	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 15,99$	-----	$\hat{y} = 188,375 - 2,8057X$	0,95	$\hat{y} = 144,915 - 1,3096X$	0,77	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\hat{y} = -0,81 + 0,801X - 0,016X^2$	0,75	$\hat{y} = -1,3621 + 0,1599X$	0,71	$\hat{y} = \bar{y} = 3,92$	-----	
V	$\hat{y} = 77,506 - 1,1415 * X$	0,97	$\hat{y} = 62,6671 - 0,7680X$	0,95	$\hat{y} = 68,4531 - 0,9884X$	0,90	
Fora do bulbo							
Al	$\hat{y} = -0,198 + 0,047X - 0,00079X^2$	0,92	$\hat{y} = 0,5 - 1,966(1/X)$	0,71	$\hat{y} = \bar{y} = 0,23$	-----	
CE	$\hat{y} = \bar{y} = 75,06$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 67,39$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 70,23$	-----	
pH	$\hat{y} = 7,31 - 0,153X + 0,00225X^2$	0,97	$\hat{y} = 7,47 - 0,148X + 0,0021X^2$	0,99	$\hat{y} = 6,82 - 0,14X + 0,0024X^2$	0,99	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 13,51$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 13,93$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 17,98$	-----	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,93$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,33$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,46$	-----	
V	$\hat{y} = 79,002 - 3,215X + 0,04X^2$	0,97	$\hat{y} = 63,499 - 1,2238X$	0,93	$\hat{y} = 119,4 - 33,12RAIZ(X) + 2,79X$	1,00	
FONTE NC							
Dentro do bulbo							
Al	$\hat{y} = -0,00598 + 0,00599X$	0,96	$\hat{y} = -0,0295 + 0,0077X$	0,97	$\hat{y} = \bar{y} = 0,03$	-----	
CE	$\hat{y} = \bar{y} = 338,73$	-----	$\hat{y} = 260,23 + 17,68X - 0,417X^2$	0,95	$\hat{y} = 587 - 119,4RAIZ(X) + 16,7X$	0,58	
pH	$\hat{y} = 6,856 - 0,0541X$	0,95	$\hat{y} = 7,51 - 0,125X + 0,0015X^2$	1,00	$\hat{y} = 7,14 + 0,0044X - 0,0013X^2$	1,00	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 63,58$	-----	$\hat{y} = 125,196 - 1,1485X$	0,73	$\hat{y} = 84,1 + 1,692X$	0,61	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,55$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,88$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,56$	-----	
V	$\hat{y} = 82,783 - 1,1136X$	0,97	$\hat{y} = 79,424 - 1,096X$	0,99	$\hat{y} = 94,898 - 0,9588X$	0,94	
Fora do bulbo							
Al	$\hat{y} = 0,0492 + 0,0101X$	0,83	$\hat{y} = -0,0840 + 0,0147X$	0,98	$\hat{y} = 0,1689 + 0,0086X$	0,63	
CE	$\hat{y} = \bar{y} = 64,55$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 70,83$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 65,50$	-----	
pH	$\hat{y} = 4,69 + 9,09(1/X)$	1,00	$\hat{y} = 4,32 + 12,321(1/X)$	0,99	$\hat{y} = 4,52 + 7,609(1/X)$	0,97	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 17,04$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 16,77$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 15,72$	-----	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,53$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,49$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,45$	-----	
V	$\hat{y} = 10,53 + 256,3(1/X)$	0,98	$\hat{y} = 7 + 283,6(1/X)$	0,96	$\hat{y} = 9,09 + 195,74(1/X)$	0,99	

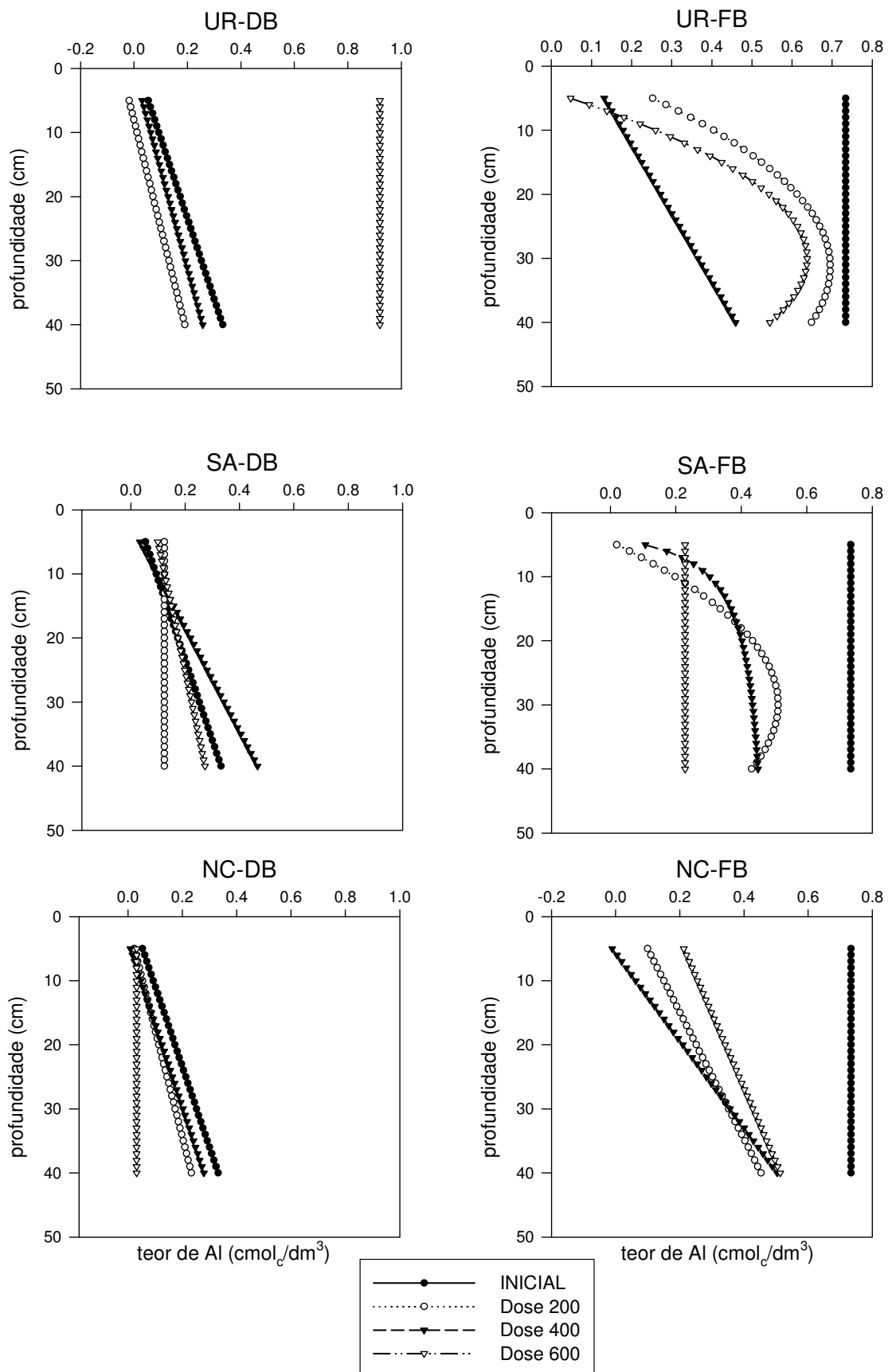


Figura 9. Teor de acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

Houve aumento na concentração de  $\text{N-NO}_3^-$ , em relação aos teores iniciais, nos diferentes tratamentos nas posições dentro e fora do bulbo, sendo que os maiores teores foram encontrados dentro do bulbo úmido (Figura 10 e Quadro 8).

Nas doses da fonte UR e na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  nas fontes SA e NC, não houve efeito da profundidade sobre os teores de  $\text{N-NO}_3^-$ . Os valores de  $\text{N-NO}_3^-$  foram representados pela média dos valores na profundidade. As doses de  $400$  e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  na fonte SA e a dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  na fonte NC apresentaram efeito linear negativo com a profundidade, em razão da maior adsorção do íon  $\text{NH}_4^+$  no solo. A dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  na fonte NC apresentou comportamento linear positivo com a profundidade.

Houve redução dos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  na camada de  $0$  a  $0,15 \text{ m}$ , com a aplicação da fonte NC na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ , e aumento nas demais camadas, indicando uma possível lixiviação. Isto pode ocorrer em razão da maior concentração de  $\text{N-NO}_3^-$ , na maior dose, e maior mobilidade deste íon no solo. Outra possibilidade seria em decorrência das altas precipitações ocorridas durante o experimento.

Na região fora do bulbo não foi obtido efeito significativo da profundidade sobre os teores de  $\text{N-NO}_3^-$ .

Houve aumento dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  com o aumento das doses na fonte UR. As doses de  $400$  e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  apresentaram efeito quadrático e linear respectivamente (Figura 11 e Quadro 8).

Quando a UR foi aplicada, verificou-se teores de  $\text{N-NH}_4^+$  menores que os iniciais até a profundidade de  $0,20$  e  $0,30 \text{ m}$  nas doses de  $600$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente, superando, a partir daí, os teores iniciais. Este comportamento reflete o incremento de  $\text{N-NH}_4^+$  com a profundidade podendo ser em razão da movimentação da UR aplicação por fertirrigação ou mesmo da elevada precipitação ocorrida.

Os maiores teores de  $\text{N-NH}_4^+$  foram obtidos com a aplicação da fonte UR e com o aumento da profundidade, o que refletiu nos menores teores de  $\text{N-NO}_3^-$ . Possivelmente isso ocorreu em razão da perda por volatilização que reduziu os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e, conseqüentemente, os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  resultantes da nitrificação, ou ainda, em razão do  $\text{N-NH}_4^+$ , decorrente do nitrogênio na forma de uréia deslocado para as camadas mais profundas, não encontrar condições ideais para que ocorresse a nitrificação, acumulando-se na forma de  $\text{NH}_4^+$ .

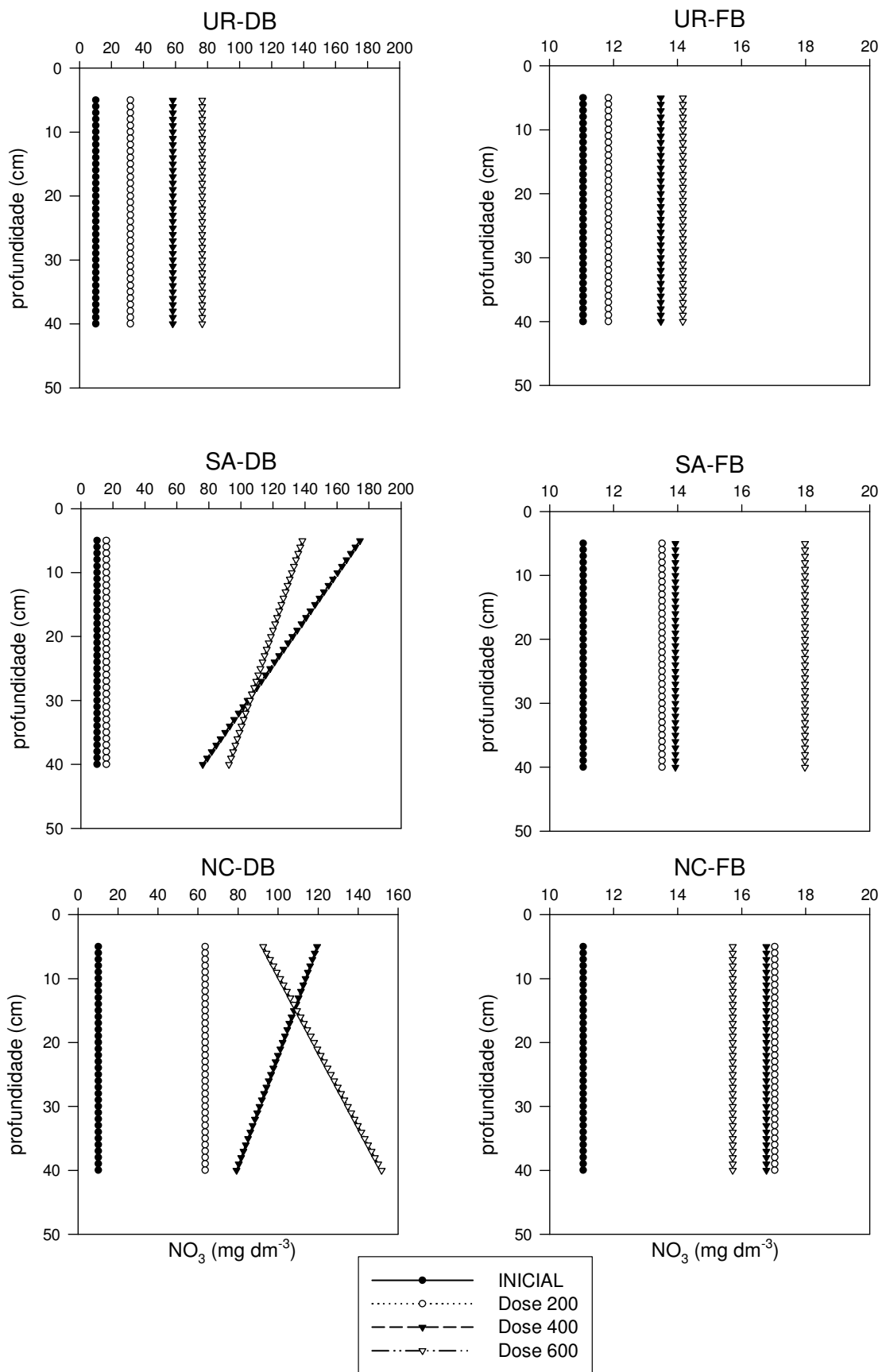


Figura 10. Concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

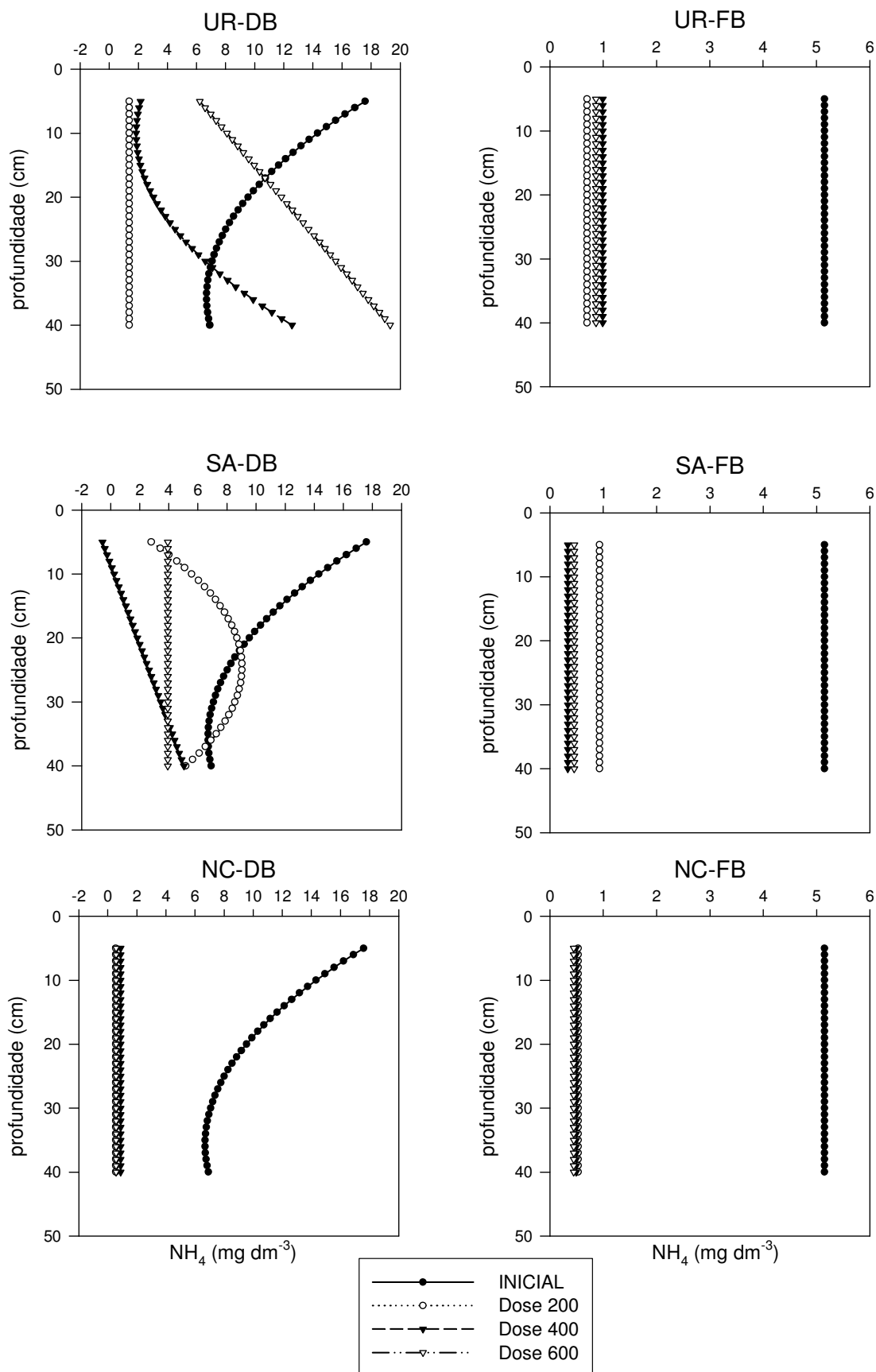


Figura 11. Concentração de  $\text{NH}_4^+$  no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

Na fonte SA, na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, ocorreram os maiores teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, teores intermediários na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> e menores teores na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup>. Observou-se, no entanto, o inverso quanto aos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo para essa fonte. Possivelmente doses baixas e elevadas, 200 e 600 kg ha<sup>-1</sup>, exerçam algum fator limitante à nitrificação.

Os menores teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nas camadas superiores possivelmente sejam em decorrência da maior nitrificação ocorrida, o que pode ser verificado pelos maiores teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Figura 10).

Não houve efeito significativo da fonte NC sobre os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com a profundidade, em razão da natureza da fonte ser nítrica e, a não ser em condições de anaerobiose, não gerar íons NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram sempre menores que os iniciais.

Baixos teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, após a aplicação das fontes e doses de N, em relação aos valores iniciais, possivelmente ocorreram devido ao processo de nitrificação, imobilização do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, principalmente nos microsítios do solo, ou ainda consumido pelos microorganismos que, em razão do ambiente no bulbo úmido ser mais favorável para seu desenvolvimento, tendem a aumentar sua atividade necessitando para isso de maiores quantidades de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Os valores de V reduziram com a profundidade de forma linear na região dentro do bulbo. Tal comportamento assemelha-se ao ocorrido com o pH. Na região fora do bulbo o comportamento foi quadrático (Figura 12 e Quadro 8).

Verificou-se aumento dos valores da condutividade elétrica (CE) após a aplicação das fontes e doses de N (Figura 13 e Quadro 8). Para a CE, na região do bulbo úmido, houve efeito significativo das fontes SA e NC nas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> com a profundidade. Para a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, em todas as fontes, e para a fonte UR, em todas as doses, não houve efeito significativo para os modelos testados.

Na região fora do bulbo, não houve efeito significativo da profundidade sobre a CE (Figura 13 e Quadro 8).

Quanto à posição de amostragem, não houve efeito significativo desse fator sobre as características do solo avaliadas até o nível de 10% de probabilidade. Por essa razão, a análise não foi mostrada.

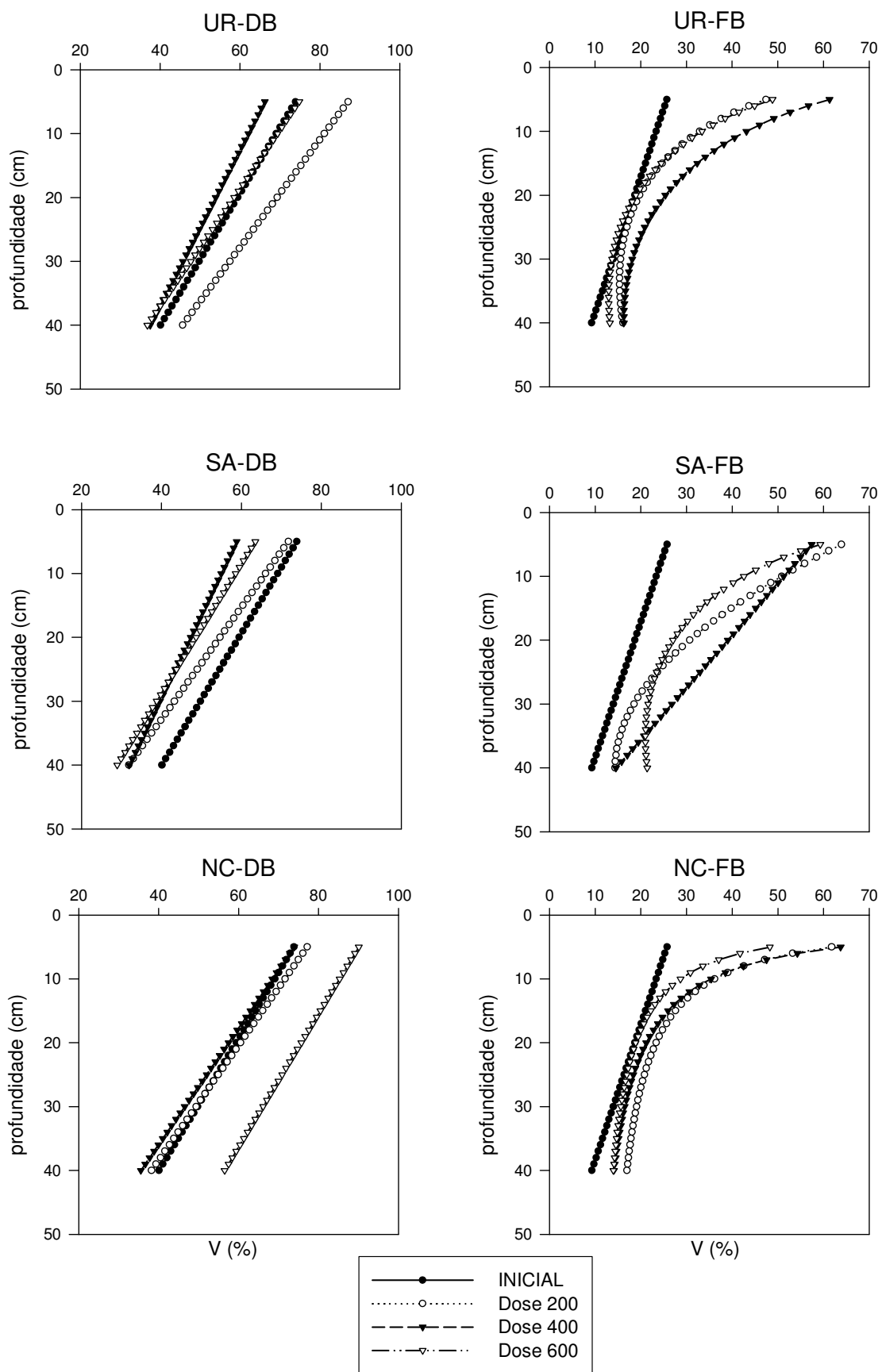


Figura 12. Valores de V no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

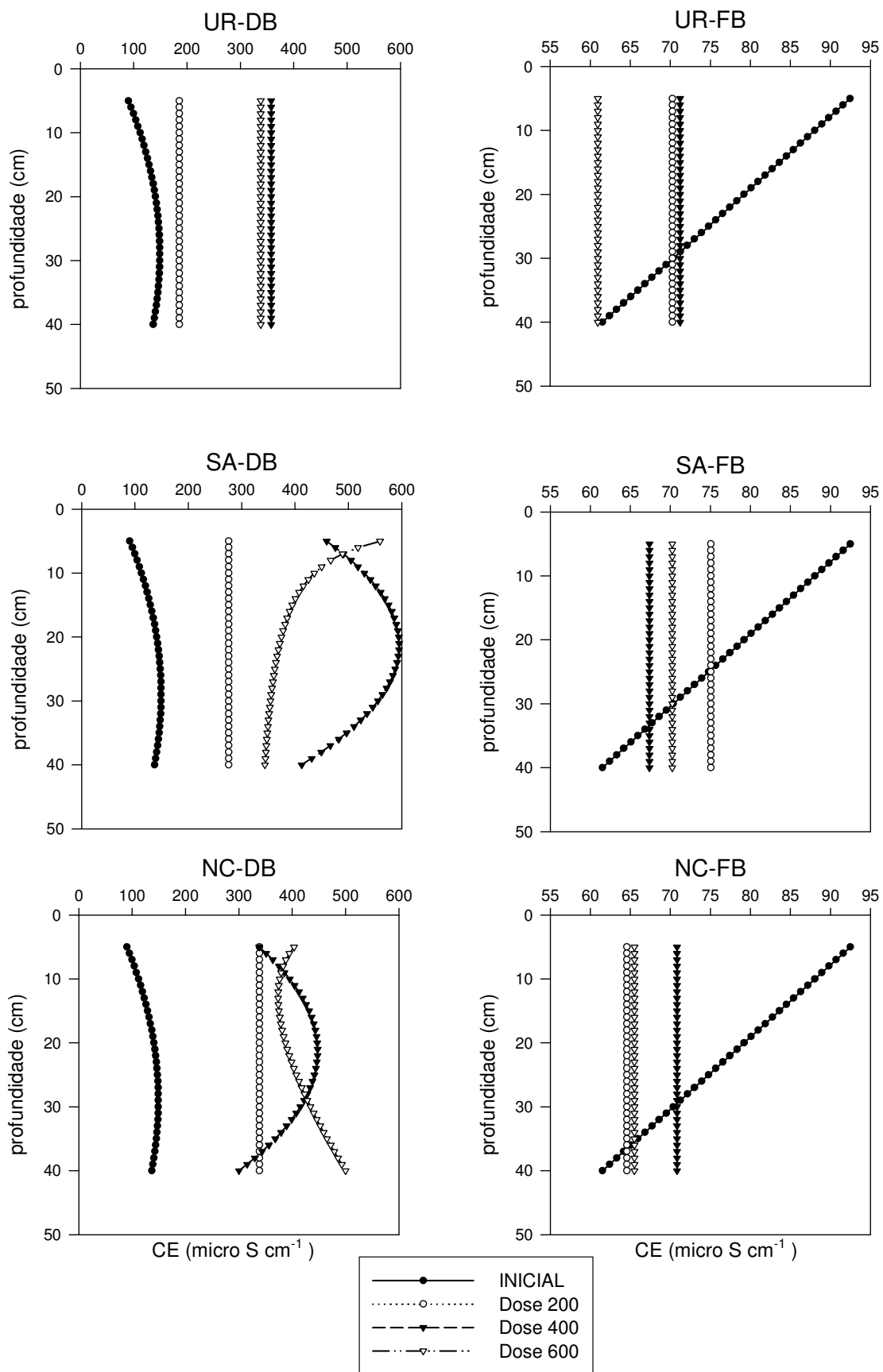


Figura 13. Valores de CE no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

## 6.2.3 Efeito das fontes e doses de nitrogênio no cafeeiro

### 6.2.3.1 Efeito dos tratamentos nas características da planta

As médias da percentagem de frutos retidos na planta, altura da planta, diâmetro do caule e número de entrenós emitidos, avaliados entre outubro de 2003 e maio de 2004 estão mostrados no quadro 9. De acordo com a análise de variância, as características da cultura avaliadas não sofreram efeitos significativos dos tratamentos até 10% de probabilidade.

Quadro 9. Médias da percentagem de frutos retidos na planta, altura da planta, diâmetro do caule e número de entrenós emitidos, avaliados entre outubro de 2003 e maio de 2004.

<sup>1</sup> FONTE	<sup>2</sup> DOSES	Frutos Retidos (%)	Altura da Planta (m)	Diâmetro do Caule (m)	Número de Entrenós
UR	200	87,1	13,2	0,60	2,75
	400	89,3	14,2	0,50	2,78
	600	85,0	16,3	0,45	3,19
SA	200	83,4	16,4	0,72	3,11
	400	88,9	13,9	0,47	3,00
	600	91,6	14,8	0,63	3,39
NC	200	92,2	11,4	0,48	2,61
	400	90,0	12,1	0,37	3,19
	600	83,0	15,8	0,63	3,58

\*Valores de altura da planta e diâmetro do caule foram obtidos a partir da diferença de valores entre o período avaliado (outubro a maio); <sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Dose de N (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

Não houve efeito significativo das doses sobre as características do cafeeiro, testado por meio do desdobramento dos graus de liberdade nos componentes linear e quadrático. Possivelmente esta situação se deu devido à adubação residual dos anos anteriores e ao fato do cafeeiro estar com sete anos de idade e por isso em uma condição de equilíbrio com o meio.

Na análise dos efeitos das fontes aplicadas, feita por meio dos contrastes C1 e C2, não foi encontrado efeito significativo, até 10% de probabilidade, das fontes sobre os parâmetros de desenvolvimento da cultura.

### 6.2.3.2 Efeito dos tratamentos na produtividade e rendimento

De acordo com os dados de produtividade e rendimento do cafeeiro mostrados no quadro 10, não houve efeito significativo até 10% de probabilidade, dos tratamentos sobre essas características analisadas, concordando com resultados obtidos por SOARES (2001),

que em trabalho conduzido na mesma propriedade com a cultura de café no estudo do efeito de fontes de N (nitrato de cálcio e uréia) aplicados por fertirrigação, não obteve diferença significativa na produtividade. O resultado do presente trabalho pode ser atribuído ao pouco tempo de condução do ensaio, apenas uma safra. Outro fator a ser considerado é o possível efeito da adubação residual dos anos anteriores e ao alto coeficiente de variação dos resultados.

A tendência dos resultados para as fontes de N na média das doses, indica que a ordem crescente de produtividade foi SA>NC>Uréia e, na média das fontes, aumentando-se a dose houve aumento da produtividade (Quadro 10).

Quadro 10. Produtividade, em sacas (60 kg) por hectare e rendimento percentual em kg de café em coco por kg de café beneficiado (teor de água de 12%).

<sup>1</sup> FONTE	<sup>2</sup> DOSES	Produtividade Sacas/ha	Rendimento %
UR	200	48,1	56,4
	400	61,8	57,8
	600	60,5	55,6
SA	200	63,8	56,6
	400	83,9	58,8
	600	92,1	58,2
NC	200	69,1	57,5
	400	62,4	57,3
	600	77,9	56,2

<sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Dose de N (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

Na figura 14 observa-se o comportamento das diferentes fontes e doses de N sobre a produtividade do café.

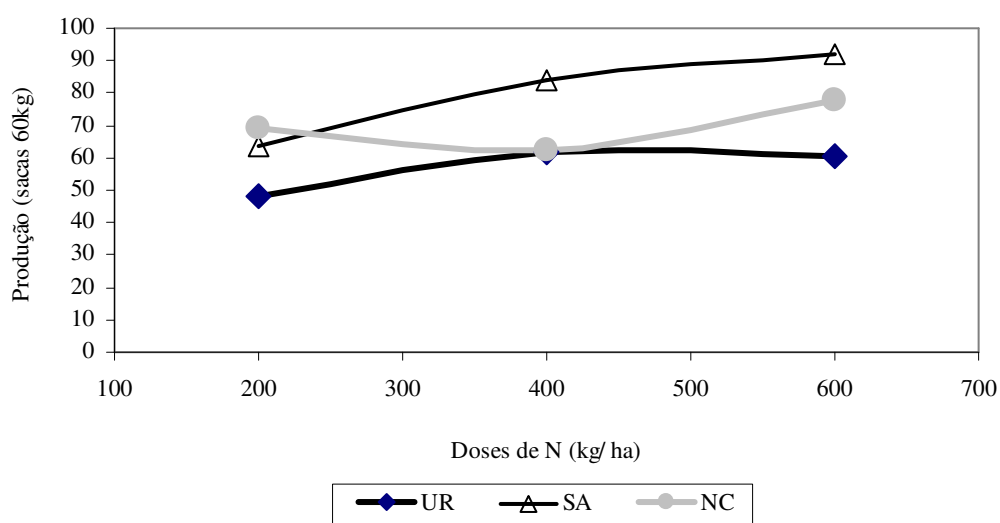


Figura 14. Produtividade do cafeeiro em função de doses e fontes de adubos nitrogenados.

O cafeeiro que recebeu sulfato de amônio apresentou comportamento de maior produção (Figura 14) e rendimento de grãos. Segundo HAYNES e SWIFT (1987), o sulfato de amônio pode propiciar maior produção em razão desta fonte favorecer o florescimento.

Considerando como índice de eficiência da fertilização nitrogenada a relação produção de café por kg de N aplicado, vê-se que a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N apresenta uma relação, aproximadamente, duas vezes maior que a dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N (Quadro 10). Ou seja, o aumento da produção não foi proporcional ao aumento da dose. Alguns trabalhos com culturas perenes mostram que as doses de fertilizantes podem ser reduzidas de 25 a 50% (HAYNES, 1985 e SMITH et al, 1979). No presente trabalho não houve diferença significativa na produção entre as doses aplicadas, o que poderia levar à adoção da menor dose, ou seja, 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. No entanto, para a tomada de decisão, é preciso levar em conta o preço do fertilizante e o do produto. Produtos de alto valor comercial, como o café, possivelmente o retorno financeiro seja maior com pequenos incrementos na produção mesmo com maiores gastos com a fertilização, o que levaria à adoção da dose de 600 kg ha<sup>-1</sup>. O contrário, culturas de baixo valor comercial, esse raciocínio não seria verdadeiro.

No entanto, a eficiência no uso do fertilizante pode estar não só na redução da quantidade do fertilizante aplicada, mas sim na redução das perdas do fertilizante e na sua aplicação mais eficiente. Em razão de haver maior disponibilidade de nutrientes em um volume de solo cujas condições são mais propícias à aquisição pela planta, pode-se esperar que tal aquisição se dê de maneira mais constante e gradativa, com favorecimento ao desenvolvimento da cultura. Com isto, poderá aumentar o consumo de nutriente pela planta, com conseqüente aumento da produção. O ganho final com a fertirrigação será na quantidade de produto produzido por unidade de N aplicado, na redução de perdas de nutrientes por lixiviação e na redução de perdas por volatilização e desnitrificação, no caso do N.

Possivelmente em razão do bom estado nutricional do cafeeiro e teores de nutrientes adequados no solo, não foi possível encontrar efeito significativo dos tratamentos testados sobre a produtividade e as características analisadas do cafeeiro.

As fontes e doses de Nitrogênio tenderiam a apresentar efeito no ano seguinte ao da sua aplicação. Isso porque a produção do ano seguinte é dependente do crescimento ocorrido nos ramos do ano atual. Desta forma, quanto maior o crescimento dos ramos, maior será o número de entrenós e gemas produtivas, e, conseqüentemente espera-se maior

produtividade. Já a porcentagem de frutos retidos nos ramos é dependente do manejo da cultura adotado no ano da produção.

#### 6.2.4 Efeito dos tratamentos no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro

Houve efeito significativo para P, K, Mg, Na e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na análise de variância.

Os teores de nutrientes na folha do cafeeiro nos diferentes tratamentos estão apresentados no Quadro 11.

Quadro 11. Teores médios de macro e micronutrientes na folha do cafeeiro.

Fonte <sup>1</sup>	Dose <sup>2</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-org	g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>			
				P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
UR	200	0,4	27	1,7	25,2	14,8	2,4	8,75	99,58	178,81	7,42
	400	0,5	29	1,6	24,8	16,8	2,6	12,6	110,57	171,71	8,53
	600	0,4	27	1,6	21,7	17,2	2,5	7,47	93,52	218,86	12,05
SA	200	0,4	28	1,4	23,4	17,6	2,6	6,92	92,39	166,54	11,02
	400	0,4	28	1,6	20,4	16,9	2,5	9,12	94,28	202,71	12,9
	600	0,4	27	1,4	21,1	17,5	2,6	16,81	117,39	196,25	10,68
NC	200	0,4	28	1,6	24	14,9	2,3	8,02	99,58	220,16	8,71
	400	0,5	26	1,5	21,5	17,2	2,5	7,66	96,93	189,15	10,25
	600	0,5	28	1,5	22,9	14,2	2,2	9,12	113,6	188,5	7,76

<sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Dose em kg ha<sup>-1</sup> de N.

De acordo com as referências contidas em MARTINEZ et al (1999), os teores de N, P, K, Ca, Cu, Fe e Mn são considerados adequados. Porém os teores de Mg, em todas as fontes e doses são considerados baixos.

##### 6.2.4.1 Efeito das doses no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro

De acordo com a análise de regressão, houve efeito da dose dentro de cada fonte de N sobre os teores de K, Mg, Cu, Zn e N-org na folha do cafeeiro (Quadro 12).

Quadro 12. Significância dos teores de nutrientes na folha do cafeeiro sob influência de doses de fertilizantes nitrogenados.

Fonte <sup>1</sup>	Tipo <sup>2</sup>	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	N-NO <sub>3</sub>	N-org
UR	L	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns	o	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	o
SA	L	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
NC	L	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Q	ns	ns	ns	o	ns	ns	ns	ns	ns	*

<sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Tipo da equação (L- linear; Q- quadrática); \*\* Significância a 1%, \* Significância a 5%, ° Significância a 10%, ns não significativo pelo teste F.

Observou-se efeito linear significativo da dose de N sobre a variável K, na fonte UR, com valores decrescentes com o aumento da dose de N. Como a fonte UR apresentou teores de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo crescentes com a dose de N, possivelmente ocorreu competição entre K e  $\text{N-NH}_4^+$  na absorção pela planta. A variável Zn apresentou comportamento linear crescente com a dose.

A variável  $\text{N-NH}_4^+$  apresentou comportamento quadrático com maior teor na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na fonte UR. Na fonte NC, a variável  $\text{N-NH}_4^+$  apresentou efeito significativo com comportamento quadrático sendo o menor teor alcançado na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

O aumento das doses de N, na fonte SA, influenciou negativamente os teores de Cu e positivamente os de Na.

A variável Mg apresentou comportamento quadrático com o teor mínimo na dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na fonte NC.

#### 6.2.4.2 Efeito das fontes no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro

Para testar o efeito das fontes, fez-se a análise de contrastes considerando nível de significância de até 10% (Quadro 13).

Quadro 13. Estimativa dos Contrastes C1 e C2 que comparam as fontes de N na média das doses relativo aos teores foliares de nutrientes.

Dose	contraste	N-NO <sub>3</sub>	N-org	P K Ca Mg				Cu Fe Mn Zn			
		g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>					
200	C1	-0,02	0,1	-0,03	-0,3	-1,3	-0,2	0,18	3,60	47,48*	-0,51
	C2	-0,01	0,1	-0,3*	-1,9	2,8	0,2	-1,83	-7,20	-12,27	3,60
400	C1	0,07	-2,6**	-0,2 <sup>o</sup>	-1,1	0,3	-0,1	-3,21	-5,49	1,94	-0,47
	C2	-0,16 <sup>o</sup>	-1,1	-0,01	-4,4*	0,1	-0,1	-3,48	-16,29	31,01	4,37 <sup>o</sup>
600	C1	0,06	0,4	-0,01	1,6	-3,1 <sup>o</sup>	-0,3*	-3,02	8,14	-19,06	-3,60 <sup>o</sup>
	C2	0,06	-0,2	-0,2 <sup>o</sup>	-0,6	0,2	0,1	9,34**	23,86	-22,61	-1,37

\* significativo a 5% pelo teste F; <sup>o</sup> significativo a 10% pelo teste F; C1: contraste entre nitrato de cálcio versus sulfato de amônio e uréia; C2: contraste entre sulfato de amônio versus uréia; EP3: amostragem no mês de junho de 2004.

Todas as características químicas analisadas sofreram efeito significativo dos tratamentos à exceção do Fe.

Na fonte NC obteve-se maiores valores de Mn, na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ . À medida que a dose aumentou o Mn absorvido pela planta reduziu. Possivelmente houve competição entre o Mn e outros cátions.

Houve efeito das fontes SA e UR proporcionando maiores teores de P, Ca, Mg, Zn e N-org em comparação à fonte NC nas diferentes doses.

Dentro de cada dose, a fonte UR proporcionou os maiores teores de P na folha. A mesma fonte na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou os maiores teores de K e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Os teores de Cu foram maiores quando se utilizou a fonte SA na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de N, comparada às demais, e na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> os teores de Zn foram maiores também com a fonte SA.

### **6.3 ENSAIO II - ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DO CAFEIEIRO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO EM FUNÇÃO DE FONTES E DO MODO DE APLICAÇÃO DO NITROGÊNIO**

#### **6.3.1 Efeito do modo de aplicação do N nas características do solo**

Todas as características de solo avaliadas sofreram efeito de, pelo menos, um fator estudado seja modo de aplicação, fonte de N, posição ou profundidade amostrada.

Houve aumento de grande magnitude, do teor de nitrato, em relação ao teor inicial, independente da fonte de N utilizada, refletindo condições favoráveis à atividade oxidativa (Quadro 14).

Os maiores valores de condutividade elétrica (CE) foram observados no modo fertirrigado, indicando maiores concentrações de íons na solução do solo em comparação com a aplicação dos fertilizantes pelo modo convencional. Os valores maiores de CE na região do bulbo úmido, quando se utiliza a fertirrigação, podem ser explicados pelos maiores teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Quadro 14) além de P, K e Na (dados não apresentados).

Quando se aplicou a fonte UR, no modo fertirrigado, os valores de CE e de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentaram com a profundidade do solo, ao passo que no modo convencional houve uma redução com a profundidade.

Quanto ao sulfato de amônio, foram observadas diferenças entre os modos de aplicação para um maior número de características do solo analisadas. Foram alterados CE, pH, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Al<sup>3+</sup>, e V. Essa maior influência foi devido às reações provocadas pelo SA e à menor mobilidade no solo do N aplicado por esta fonte. A menor mobilidade garantiu a permanência do íon no solo e uma maior concentração próximo à região em que se encontrava e, conseqüentemente, maiores foram as alterações.

Os maiores valores de CE foram obtidos com a aplicação da fonte SA, possivelmente em razão dos maiores teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, conseqüência da nitrificação e de outros íons presentes na solução.

Quadro 14. Média dos valores das características do solo analisadas em função da aplicação de N na fertirrigação (F) e no modo convencional (C), no início e final do experimento.

variável	Posição	prof	início	UR		SA		NC	
				F	C	F	C	F	C
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	DB <sup>1</sup>	0-0,10	119,82	321,67 A	232,20 A	460,42 A	189,29 B	345,81 A	206,00 A
		0,10-0,20	120,33	338,06 A	250,96 A	571,28 A	143,40 B	410,36 A	132,29 B
		0,20-0,30	164,09	388,01 A	232,19 A	591,01 A	103,50 B	459,32 A	114,67 B
		0,30-0,50	101,08	383,24 A	146,77 B	411,58 A	100,70 B	296,10 A	96,71 B
	FB <sup>2</sup>	0-0,10	91,70	136,40 A	107,07 A	95,90 A	85,53 A	93,77 A	122,17 A
		0,10-0,20	70,53	65,03 A	84,40 A	72,70 A	73,33 A	82,47 A	80,67 A
		0,20-0,30	76,07	50,23 A	66,93 A	65,30 A	55,23 A	68,33 A	74,67 A
		0,30-0,50	52,00	33,23 A	56,27 A	35,67 A	35,80 A	38,73 A	62,33 A
pH	DB	0-0,10	6,68	6,77 A	6,81 A	6,41 A	7,05 A	6,91 A	7,05 A
		0,10-0,20	6,01	6,28 A	6,08 A	5,66 B	6,61 A	6,04 A	6,55 A
		0,20-0,30	5,71	5,73 A	5,62 A	5,48 B	6,40 A	5,30 B	6,42 A
		0,30-0,50	5,14	5,20 A	5,36 A	4,64 B	5,96 A	4,96 B	5,90 A
	FB	0-0,10	4,88	7,20 A	6,67 A	6,74 A	6,45 A	6,79 A	5,64 B
		0,10-0,20	4,69	5,34 A	4,95 A	5,84 A	5,23 A	5,18 A	4,74 A
		0,20-0,30	4,69	4,91 A	4,74 A	4,98 A	4,93 A	4,70 A	4,51 A
		0,30-0,50	4,55	4,93 A	4,73 A	4,92 A	4,79 A	4,71 A	4,61 A
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	DB	0-0,10	15,29	50,76 A	81,53 A	173,27 A	30,92 B	110,43 A	101,84 A
		0,10-0,20	9,98	58,16 A	54,51 A	139,35 A	24,37 B	113,29 A	75,59 A
		0,20-0,30	7,02	65,69 A	67,48 A	132,32 A	20,00 B	108,66 A	120,66 A
		0,30-0,50	8,49	58,64 A	25,18 A	70,08 A	19,16 A	70,77 A	105,04 A
	FB	0-0,10	12,84	16,06 A	20,58 A	17,26 A	21,90 A	18,61 A	32,31 A
		0,10-0,20	12,09	14,26 A	17,06 A	16,02 A	24,38 A	17,19 A	21,87 A
		0,20-0,30	9,95	12,70 A	15,39 A	12,75 A	19,69 A	15,70 A	19,70 A
		0,30-0,50	9,32	10,89 A	17,06 A	9,69 A	18,51 A	15,58 A	17,38 A
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	DB	0-0,10	14,69	2,44 A	0,63 A	0,57 A	1,30 A	0,72 A	1,88 A
		0,10-0,20	8,55	1,33 A	0,49 A	0,65 A	1,02 A	0,38 A	1,18 A
		0,20-0,30	7,80	5,20 A	0,39 A	0,62 A	0,97 A	2,01 A	0,75 A
		0,30-0,50	8,96	12,41 A	0,16 B	6,30 A	9,81 A	0,42 A	0,74 A
	FB	0-0,10	5,49	1,22 A	0,36 A	0,26 A	0,88 A	0,60 A	0,67 A
		0,10-0,20	5,20	1,01 A	0,44 A	0,34 A	0,73 A	0,50 A	0,93 A
		0,20-0,30	4,85	1,07 A	0,15 A	0,22 A	0,74 A	0,44 A	0,84 A
		0,30-0,50	5,05	0,67 A	0,17 A	0,51 A	0,81 A	0,43 A	0,83 A
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	DB	0-0,10	0,08	0,03 A	0,01 A	0,06 A	0,01 A	0,01 A	0,01 A
		0,10-0,20	0,17	0,10 A	0,09 A	0,10 A	0,04 A	0,07 A	0,18 A
		0,20-0,30	0,28	0,16 A	0,20 A	0,33 A	0,11 A	0,19 A	0,17 A
		0,30-0,50	0,40	0,26 A	0,26 A	0,46 A	0,13 B	0,27 A	0,18 A
	FB	0-0,10	0,65	0,06 A	0,05 A	0,08 A	0,10 A	0,02 A	0,24 A
		0,10-0,20	0,87	0,27 A	0,35 A	0,50 A	0,18 B	0,10 B	0,51 A
		0,20-0,30	0,65	0,40 A	0,45 A	0,30 A	0,30 A	0,29 A	0,51 A
		0,30-0,50	0,77	0,40 A	0,40 A	0,45 A	0,48 A	0,51 A	0,61 A
V (%)	DB	0-0,10	73,06	67,80 A	78,00 A	60,22 B	77,90 A	75,98 A	81,92 A
		0,10-0,20	58,37	57,69 A	56,27 A	47,59 B	65,07 A	61,04 A	61,40 A
		0,20-0,30	43,42	46,62 A	46,24 A	46,14 B	59,73 A	50,51 A	61,15 A
		0,30-0,50	33,94	39,46 A	40,03 A	31,43 B	46,36 A	37,00 A	47,62 A
	FB	0-0,10	26,83	61,38 A	66,91 A	58,74 A	50,94 A	62,32 A	39,63 B
		0,10-0,20	15,84	32,15 A	20,01 A	47,66 A	35,48 A	32,73 A	17,89 A
		0,20-0,30	11,32	21,08 A	19,15 A	25,52 A	20,36 A	15,70 A	13,57 A
		0,30-0,50	6,61	16,21 A	17,59 A	18,04 A	12,54 A	11,30 A	12,98 A

\* as letras comparam F com C na camada em cada posição e fonte; <sup>1</sup> Posição de amostragem Dentro do bulbo úmido; <sup>2</sup> Fora do bulbo úmido.

No modo fertirrigado, o pH foi menor em relação ao modo convencional. Esta redução do pH reflete o aumento do teor de Al<sup>3+</sup>. Como o SA aplicado por fertirrigação

proporcionou maiores valores de  $\text{N-NO}_3^-$  em relação às demais fontes e em relação ao modo convencional, a redução do pH ocorreu principalmente devido ao processo de nitrificação.

O valor de V, quando o SA foi aplicado por fertirrigação, foi sempre menor que no modo convencional, e também em relação às demais fontes, seguindo o comportamento do pH, onde valores menores de pH coincidem com valores menores de V.

A redução dos valores de V possivelmente ocorreu devido à absorção de bases (Ca, Mg e K) pela planta ou pela lixiviação das mesmas. Segundo HAYNES e SWIFT (1987), a acidificação do solo no bulbo úmido, resulta em redução dos teores de Ca, Mg e K, comparado ao tratamento sem irrigação. No presente trabalho não houve a comparação sem irrigação, como fizeram os autores, mas observou-se o mesmo comportamento, quanto ao modo de aplicação do fertilizante, na redução de bases, à exceção do K. DUENHAS et al (2002) trabalharam com a cultura de citrus fertirrigada e encontraram redução do pH, Ca e Mg, mas também não obtiveram redução de K.

Analisando o modo de aplicação da fonte NC, observam-se diferenças significativas quanto à CE e pH na região do bulbo úmido, e nenhuma alteração significativa fora do bulbo. As variações da CE e pH se deram devido a pequenas variações, não significativas, dos teores de alguns elementos principalmente nas camadas de 0,20 a 0,50 m, possivelmente devido à maior mobilidade da fonte nítrica. Nessa camada houve uma redução significativa do pH, contrariando a maioria dos trabalhos encontrados na literatura que mencionam aumento de pH com a fonte NC, aumento esse que, neste trabalho, só ocorreu na camada de 0 a 0,20 m. VILLAS BÔAS e GODOY (2003) trabalharam com nitrato de cálcio aplicado por meio da fertirrigação e pelo modo convencional, na cultura de pimentão, e obtiveram redução do pH do solo com a aplicação do NC, quando comparado à testemunha (sem nitrogênio). Segundo esses autores, a acidificação foi devido à maior absorção de cátions, nos tratamentos adubados com o nitrato de cálcio, promovendo liberação de  $\text{H}^+$ . Outra hipótese levantada é à maior mineralização da matéria orgânica do solo.

Os valores de pH foram menores na região do bulbo úmido quando as fontes SA e NC foram aplicadas por fertirrigação, comparativamente ao modo convencional.

Os resultados indicam que houve uma mobilidade das fontes de N como mostrado pelos maiores valores de CE e  $\text{N-NO}_3^-$  (Quadro 14). A fonte NC já é tida como muito móvel no solo. Já para as fontes UR e SA, tidas como de média e baixa mobilidade, respectivamente, foi possível verificar uma distribuição no perfil, dados pelos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ , atingindo a camada amostrada de 50 cm de profundidade. Isso se deve aos

efeitos da precipitação pluvial ocorrida nos períodos de fertirrigação e também à própria fertirrigação, pelo maior movimento dos íons proporcionado pela dinâmica da água no solo (movimento convectivo). Outro fator a ser considerado é o parcelamento adotado, que foi de quatro vezes no período compreendido de outubro a maio, que, de certa forma, proporcionou uma determinada concentração no solo que possivelmente contribuiu para o movimento dos íons (movimento difusivo). Em razão do exposto, pode-se sugerir maior parcelamento do N para culturas perenes, em condição de alta precipitação pluviométrica, principalmente coincidindo com os períodos de fertilização da cultura e sob sistemas irrigados por gotejamento e onde é praticada a fertirrigação. Aumentando-se o parcelamento, a concentração de sais no bulbo seria menor, reduzindo a CE e, desta forma, o potencial osmótico, permitindo à planta absorver água e nutrientes com maior facilidade e menor estresse; e por ter uma menor concentração de fertilizantes, a movimentação dos íons seria menor no perfil do solo garantindo menor risco de perdas por lixiviação.

No trabalho realizado, e nas condições em que este ocorreu, possivelmente um parcelamento de seis vezes fosse mais adequado, com frequências maiores nos meses de maior precipitação.

### **6.3.2 Efeito das fontes de N sobre as características do solo**

A fonte NC não alterou significativamente os valores das características de solo comparativamente à fonte SA e UR, contraste C1 (Quadro 15 e 16). Observou-se maiores valores de pH,  $N-NO_3^-$  e V no modo fertirrigado. No modo convencional, porém, teores de  $N-NO_3^-$  foram significativamente maiores em relação às demais fontes na camada de 0,20 a 0,50 m.

Na fertirrigação com a UR, os valores de pH e  $N-NH_4^+$  foram significativamente maiores nas camadas de 0,10 a 0,20 e 0,30 a 0,50 m. Os maiores valores de pH do solo com o uso da UR (quadro 14), contrariam os resultados obtidos por trabalhos como de HAYNES (1990) e HAYNES E SWIFT (1987). Possivelmente a precipitação ocorrida no período, aliada à irrigação por gotejamento, movimentou a uréia para camadas inferiores reduzindo a nitrificação. Os menores teores de  $N-NO_3^-$  e maiores de  $N-NH_4^+$ , este na camada de 0,30 a 0,50 m principalmente, reforçam a hipótese de movimento e hidrólise da UR nas camadas mais profundas, especialmente na de 0,30-0,50 m.

Na Fonte SA foram observados maiores valores de CE e  $N-NO_3^-$ , comparativamente à fonte UR no modo fertirrigado.

Quadro 15. Estimativa dos contrastes (C) e nível de significância do teste F das características do solo no modo fertirrigado.

variáveis	contr	Dentro do bulbo				Fora do bulbo			
		Profundidade (m)							
		0 – 0,10	0,10 - 0, 20	0,20 -0,30	0,30 – 0,50	0 – 0,10	0,10 - 0, 20	0,20 -0,30	0,30 – 0,50
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	C1	-0,037	-0,024	-0,051	-0,091	-0,056	-0,288**	-0,064	0,088
	C2	0,032	-0,005	0,165	0,203 <sup>o</sup>	0,016	0,224	-0,096	0,048
CE (µS cm <sup>-1</sup> )	C1	-45,233	-44,311	-30,189	-101,311 <sup>o</sup>	-22,383	13,600	10,567	4,283
	C2	138,756 <sup>o</sup>	233,222**	203,000*	28,333	-40,500	7,667	15,067	2,433
pH	C1	0,319	0,072	-0,308	0,045	-0,183	-0,412 <sup>o</sup>	-0,248	-0,215
	C2	-0,353	-0,613*	-0,250	-0,557*	-0,453 <sup>o</sup>	0,497*	0,070	-0,010
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	C1	-1,584	14,539	9,658	6,413	1,955	2,050	2,980	5,288
	C2	122,50**	81,192*	66,629*	11,438	1,194	1,770	0,050	-1,203
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	C1	-0,787	-0,618	-0,899	-8,935**	-0,146	-0,173	-0,202	-0,161
	C2	-1,869	-0,678	-4,576 <sup>o</sup>	-6,112*	-0,957	-0,668	-0,848	-0,157
V (%)	C1	11,967	8,395	4,135	1,549	2,254**	-7,177*	-7,601	-5,824
	C2	-7,584	-10,098	-0,484	-8,026	-2,637*	15,514*	4,438	1,839

\*\* 1%, \* 5% e <sup>o</sup>10% de significância pelo teste F; C1: contraste entre nitrato de cálcio versus sulfato de amônio e uréia; C2: contraste entre sulfato de amônio versus uréia.

Quadro 16. Estimativa dos contrastes (C) e nível de significância do teste F das características dos nutrientes do solo no modo convencional.

variáveis	contr	Dentro do bulbo				Fora do bulbo			
		Profundidade (m)							
		0 – 0,10	0,10 - 0, 20	0,20 -0,30	0,30 – 0,50	0 – 0,10	0,10 - 0, 20	0,20 -0,30	0,30 – 0,50
Al	C1	-0,005	0,112	0,011	-0,016	0,168 <sup>o</sup>	0,248*	0,136	0,168 <sup>o</sup>
	C2	0,000	-0,043	-0,085	-0,128	0,048	-0,176	-0,144	0,080
CE	C1	-4,744	-64,889	-53,178	-27,022	25,867	1,800	13,583	16,300
	C2	-42,911	-107,556	-128,689	-46,067	-21,533	-11,067	-11,700	-20,467
pH	C1	0,119	0,204	0,409 <sup>o</sup>	0,237	-0,925**	-0,352	-0,328	-0,150
	C2	0,234	0,521*	0,780**	0,607*	-0,223	0,277	0,197	0,060
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C1	45,610	36,148	76,915**	82,872**	11,068	1,149	2,155	-0,400
	C2	-50,611	-30,144	-47,483	-6,025	1,316	7,327	4,302	1,449
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	C1	0,920	0,419	0,066	-4,241 <sup>o</sup>	0,049	0,350	0,392	0,339
	C2	0,673	0,531	0,583	9,644**	0,517	0,299	0,593	0,639
V	C1	3,973	0,728	8,168	4,421	-19,295*	-9,854	-6,180	-2,080
	C2	-0,091	8,807	13,488	6,325	-15,962*	15,468	1,210	-5,047

Idem Quadro 15.

Maiores valores de Al<sup>3+</sup> e menores de V, quando a fonte SA foi aplicada, justificam os valores mais baixos de pH encontrados. Na fonte SA, os maiores teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo (Quadro 14) indicam intenso processo de nitrificação, o que proporcionou redução de pH. Outra característica importante, resultante do uso desta fonte, é a maior disponibilidade de N, como visto pelos maiores teores de N mineral (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Essas maiores quantidades de nitrogênio foram mantidas no solo com a fonte SA aplicada por fertirrigação, em relação às demais fontes, por conta do amônio ter sido retido no solo, não sendo perdido por lixiviação, e possivelmente não ter sido afetado de forma significativa por perdas gasosas. A fonte UR teve uma eficiência baixa e a fonte nítrica teve eficiência intermediária.

No solo que recebeu a adubação convencional, observou-se que a nitrificação tendeu a ser maior com a fonte Uréia em relação à amoniacal, explicando os menores valores de pH em relação às demais fontes. Isto possivelmente tenha ocorrido em razão da distribuição da uréia no perfil do solo, com posterior hidrólise, amonificação e nitrificação.

A aplicação convencional da fonte SA reduziu a nitrificação, o que pode ser confirmado pelos menores teores de  $N-NO_3^-$  e maiores de  $N-NH_4^+$  (Quadro 14).

Na aplicação das fontes pelo modo convencional, as maiores quantidades de N foram obtidas com as fontes nítrica e amídica. Como os fertilizantes são aplicados sobre a superfície do solo, estes precisam contar com algum evento de chuva para serem incorporados ao solo e daí poderem mover-se. Estas fontes, por serem consideradas de maior mobilidade no solo, apresentaram melhores resultados em termos de redistribuição e disponibilização de nitrogênio no solo.

As maiores alterações nos elementos do solo ocorreram no bulbo úmido, indicando uma maior dinâmica nesta região, tanto no modo fertirrigado, para as características CE, pH,  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  (Quadro 15), quanto no modo convencional, para pH,  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  (Quadro 16).

### **6.3.3 Alteração das características do solo com a profundidade**

O pH do solo reduziu com a profundidade dentro e fora do bulbo úmido para os diferentes modos de aplicação e fontes de N (Figura 15 e Quadro 17).

Na região fora do bulbo úmido o pH reduziu com a profundidade, atingindo valores próximos aos da condição inicial do solo a partir da profundidade de 0,3 m.

Na região do bulbo úmido, observou-se maior acidificação com a fertirrigação das fontes de N. Os menores valores de pH foram na fonte SA, seguida da fonte NC, e a fonte UR com menores alterações.

O pH do solo foi maior quando as fontes SA e NC foram aplicadas no modo convencional, comparado ao fertirrigado. Isso possivelmente ocorreu devido à menor nitrificação ocorrida, no caso da fonte SA, e possivelmente menor deslocamento de bases.

O comportamento do pH foi consistente com os valores de  $\text{Al}^{3+}$  e V no solo. Possivelmente a troca iônica, a lixiviação e a combinação de pares iônicos foram os fatores responsáveis pela diferença de comportamento do pH entre os modos de aplicação de N. No modo fertirrigado possivelmente estes fatores ocorreram com maior intensidade.

Na maior parte dos casos, houve redução dos teores de  $\text{Al}^{3+}$  quando comparado à situação inicial do solo. Os teores de  $\text{Al}^{3+}$  no solo aumentaram significativamente com a profundidade dentro do bulbo úmido quando o SA foi aplicado por fertirrigação, refletindo os menores valores de pH (Figura 16 e Quadro 17).

Na maioria dos casos, o modo fertirrigado apresentou os maiores teores de  $\text{Al}^{3+}$  e os menores valores de pH e V.

Houve aumento na concentração de  $\text{N-NO}_3^-$ , em relação aos teores iniciais, para os diferentes tratamentos na posição dentro e fora do bulbo, sendo que os maiores teores foram encontrados na região dentro do bulbo (Figura 17 e Quadro 17).

Efeito significativo da profundidade sobre os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  foi observado apenas na região dentro do bulbo quando a fonte SA foi aplicada por fertirrigação, mostrando comportamento linear negativo.

Os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  aumentaram com a profundidade quando as fontes SA e UR foram aplicadas por fertirrigação. Os maiores valores foram obtidos com a UR fertirrigada, comparada à adubação convencional, possivelmente em razão de menores perdas por volatilização (Figura 18 e Quadro 17).

Os menores teores de  $\text{N-NH}_4^+$  nas camadas de solo superiores, quando o SA foi aplicado por fertirrigação, possivelmente sejam em decorrência da maior nitrificação ocorrida, o que pode ser verificado pelos maiores teores de  $\text{N-NO}_3^-$ .

Não houve efeito significativo da profundidade do solo sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  com a aplicação do NC, em razão da natureza da fonte ser nítrica e não gerar íons de  $\text{NH}_4^+$ , a não ser em condições de anaerobiose.

Menores valores de  $\text{N-NH}_4^+$  após a aplicação das fontes em relação aos valores iniciais, possivelmente ocorreram devido ao processo de nitrificação, à imobilização do  $\text{N-NH}_4^+$ , nos microsítios do solo, ou ainda consumido pelos microorganismos que, em razão do ambiente mais favorável ao seu desenvolvimento, no caso umidade e concentração de amônio, tendem a aumentar sua atividade necessitando de maiores quantidades de  $\text{N-NH}_4^+$ .

Os valores de V reduziram significativamente com a profundidade do solo (Figura 19 e Quadro 17), comportamento que assemelhou-se ao ocorrido com o pH.

Na maioria dos casos, os valores de V são menores com a aplicação das fontes por fertirrigação na região do bulbo úmido, e maiores fora do bulbo.

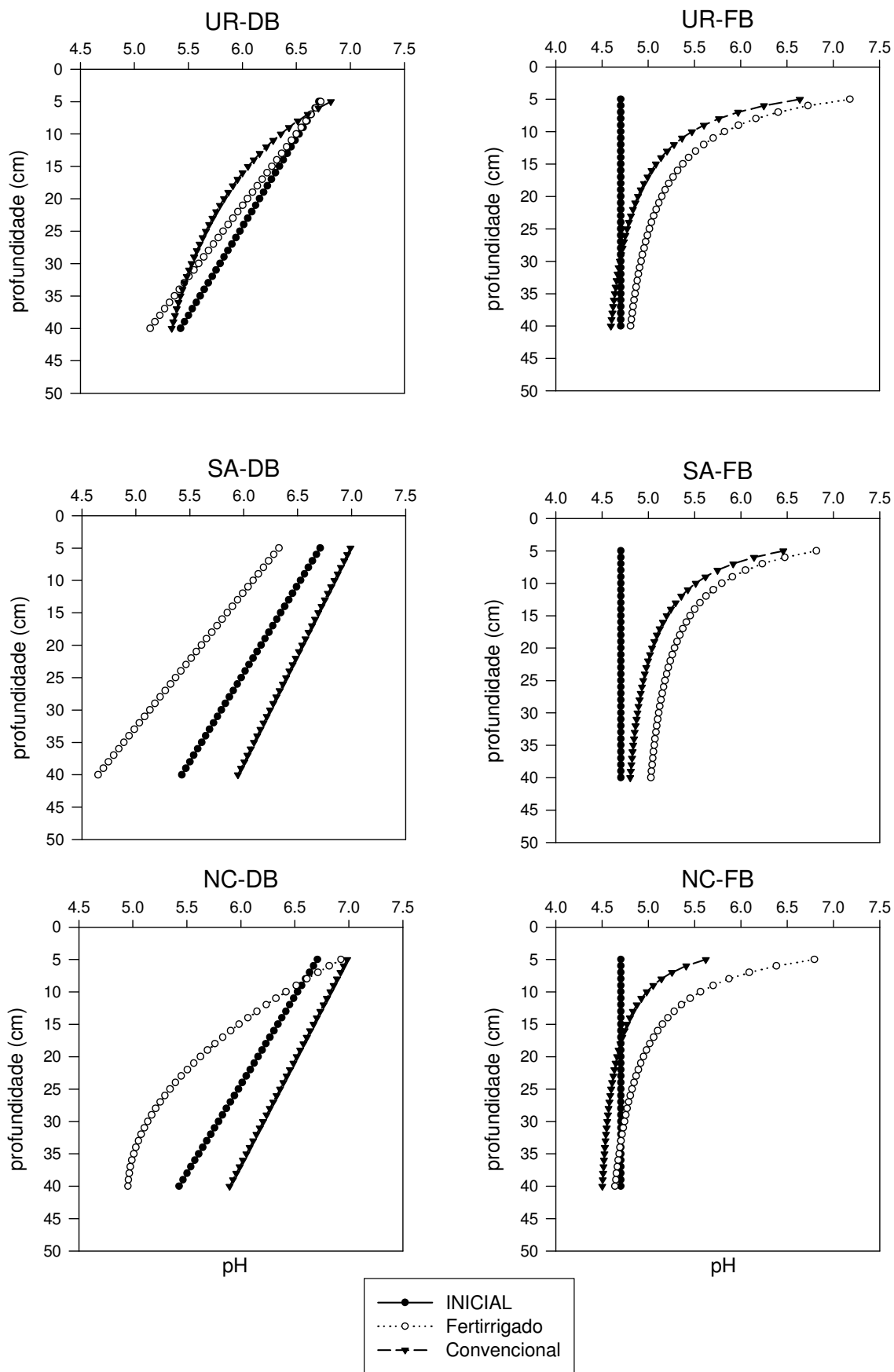


Figura 15. Valores de pH no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

Quadro 17. Modelos de regressão e respectivos coeficientes de determinação para os tratamentos em função da profundidade de amostragem.

FONTE UR					
Posição	caract	Fertirrigado	r <sup>2</sup>	Convencional	r <sup>2</sup>
Dentro do bulbo	Al	$\hat{y} = -0,00169 + 0,00648X$	1	$\hat{y} = -0,0162 + 0,0072X$	0,96
	CE	$\hat{y} = \bar{y} = 357,74$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 215,53$	-----
	pH	$\hat{y} = 6,952 - 0,0452X$	0,99	$\hat{y} = 8,25 - 0,7397RXIZ(X) + 0,044X$	1
	NO <sub>3</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 58,31$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 57,18$	-----
	NH <sub>4</sub>	$\hat{y} = 3,05 - 0,2398X + 0,0119X^2$	0,98	$\hat{y} = \bar{y} = 0,42$	-----
	V	$\hat{y} = 70,297 - 0,8189X$	0,96	$\hat{y} = 122,02 - 23,35RXIZ(X) + 1,64X$	1
FONTE SA					
		Fertirrigado	r <sup>2</sup>	Convencional	r <sup>2</sup>
Fora do bulbo	Al	$\hat{y} = 0,0850841 + 0,00936075X$	0,78	$\hat{y} = 0,4958 - 2,217(1/X)$	0,97
	CE	$\hat{y} = \bar{y} = 71,23$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 78,67$	-----
	pH	$\hat{y} = 4,471 + 13,54(1/X)$	0,99	$\hat{y} = 4,305 + 11,67(1/X)$	0,99
	NO <sub>3</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 13,48$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 17,52$	-----
	NH <sub>4</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,99$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,28$	-----
	V	$\hat{y} = 11,85 + 251,5(1/X)$	0,99	$\hat{y} = 6,393 + 295,7(1/X)$	0,97
FONTE SA					
		Fertirrigado	r <sup>2</sup>	Convencional	r <sup>2</sup>
Dentro do bulbo	Al	$\hat{y} = -0,0280 + 0,01236X$	0,94	$\hat{y} = \bar{y} = 0,07$	-----
	CE	$\hat{y} = 362,09 + 21,977 - 0,518X^2$	1	$\hat{y} = \bar{y} = 134,22$	-----
	pH	$\hat{y} = 6,566 - 0,04789X$	0,97	$\hat{y} = 7,1385 - 0,02982X$	0,98
	NO <sub>3</sub>	$\hat{y} = 188,375 - 2,8057X$	0,95	$\hat{y} = \bar{y} = 23,61$	-----
	NH <sub>4</sub>	$\hat{y} = -1,362 + 0,1599X$	0,71	$\hat{y} = 3,4652 - 0,4459X + 0,01501X^2$	0,98
	V	$\hat{y} = 62,667 - 0,7680X$	0,95	$\hat{y} = 80,68 - 0,8665X$	0,98
FONTE SA					
		Fertirrigado	r <sup>2</sup>	Convencional	r <sup>2</sup>
Fora do bulbo	Al	$\hat{y} = 0,495 - 1,966(1/X)$	0,71	$\hat{y} = 0,02632 + 0,01118X$	0,99
	CE	$\hat{y} = \bar{y} = 67,39$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 62,48$	-----
	pH	$\hat{y} = 4,772 + 10,223(1/X)$	0,91	$\hat{y} = 4,567 + 9,45(1/X)$	1
	NO <sub>3</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 13,93$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 21,12$	-----
	NH <sub>4</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,33$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,79$	-----
	V	$\hat{y} = 70,77 - 2,169X + 0,021X^2$	0,96	$\hat{y} = 62,06 - 2,244X + 0,0249X^2$	1
FONTE NC					
		Fertirrigado	r <sup>2</sup>	Convencional	r <sup>2</sup>
Dentro do bulbo	Al	$\hat{y} = -0,02951 + 0,00773X$	0,97	$\hat{y} = \bar{y} = 0,13$	-----
	CE	$\hat{y} = 260,23 + 17,68X - 0,417X^2$	0,95	$\hat{y} = \bar{y} = 137,42$	-----
	pH	$\hat{y} = 7,513 - 0,1247X + 0,00152X^2$	1	$\hat{y} = 7,140 - 0,0311X$	0,97
	NO <sub>3</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 100,79$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 100,78$	-----
	NH <sub>4</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,88$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 1,14$	-----
	V	$\hat{y} = 79,424 - 1,0961X$	0,99	$\hat{y} = 108,22 - 13,74RAIZ(X) + 0,691X$	0,94
FONTE NC					
		Fertirrigado	r <sup>2</sup>	Convencional	r <sup>2</sup>
Fora do bulbo	Al	$\hat{y} = -0,08404 + 0,01468X$	0,98	$\hat{y} = 0,2703 + 0,0093X$	0,77
	CE	$\hat{y} = \bar{y} = 70,83$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 84,96$	-----
	pH	$\hat{y} = 4,332 + 12,32(1/X)$	0,99	$\hat{y} = 4,342 + 6,395(1/X)$	0,97
	NO <sub>3</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 16,77$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 22,81$	-----
	NH <sub>4</sub>	$\hat{y} = \bar{y} = 0,49$	-----	$\hat{y} = \bar{y} = 0,82$	-----
	V	$\hat{y} = 6,997 + 283,59(1/X)$	0,96	$\hat{y} = 7,976 + 157,285(1/X)$	1

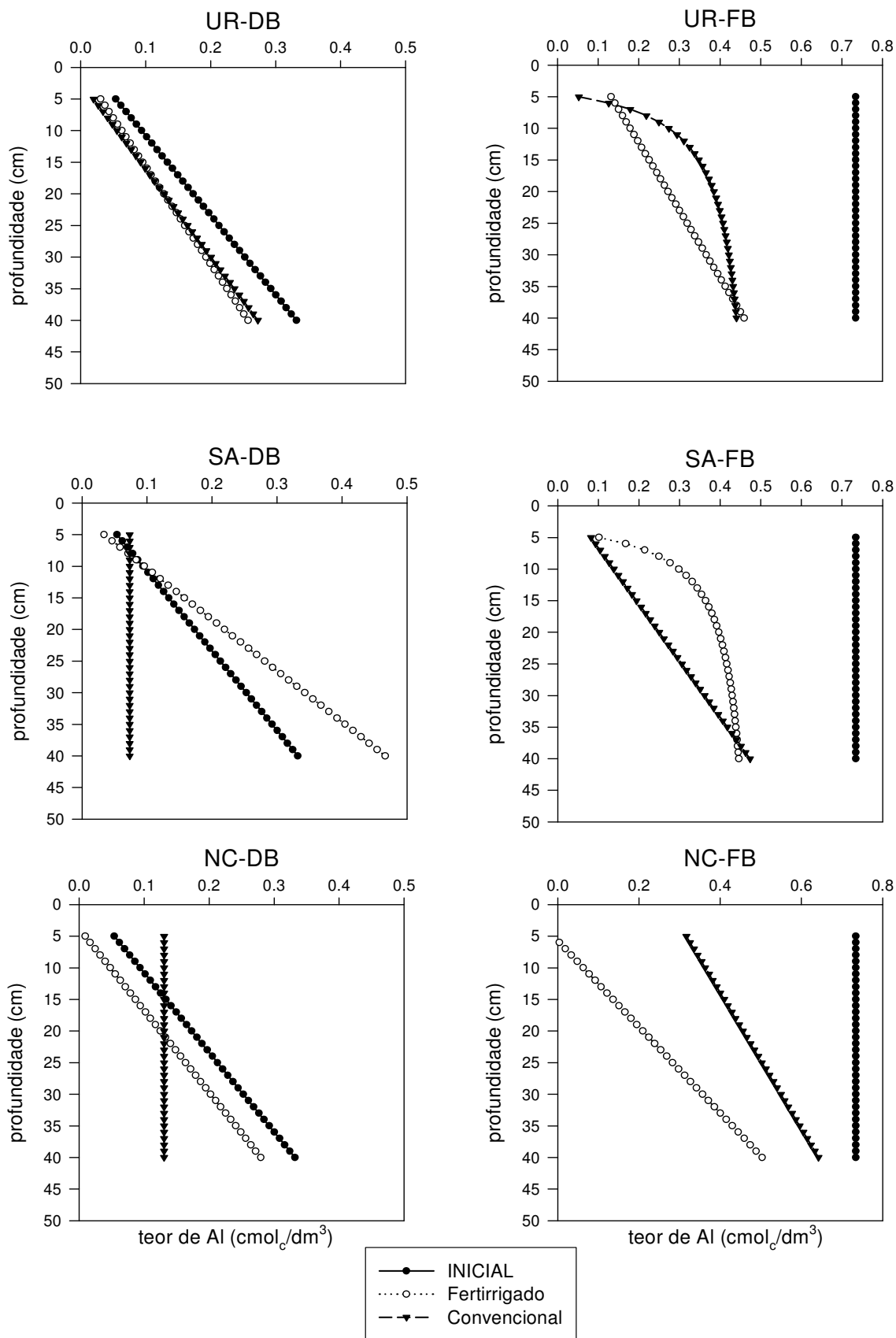


Figura 16. Teor de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

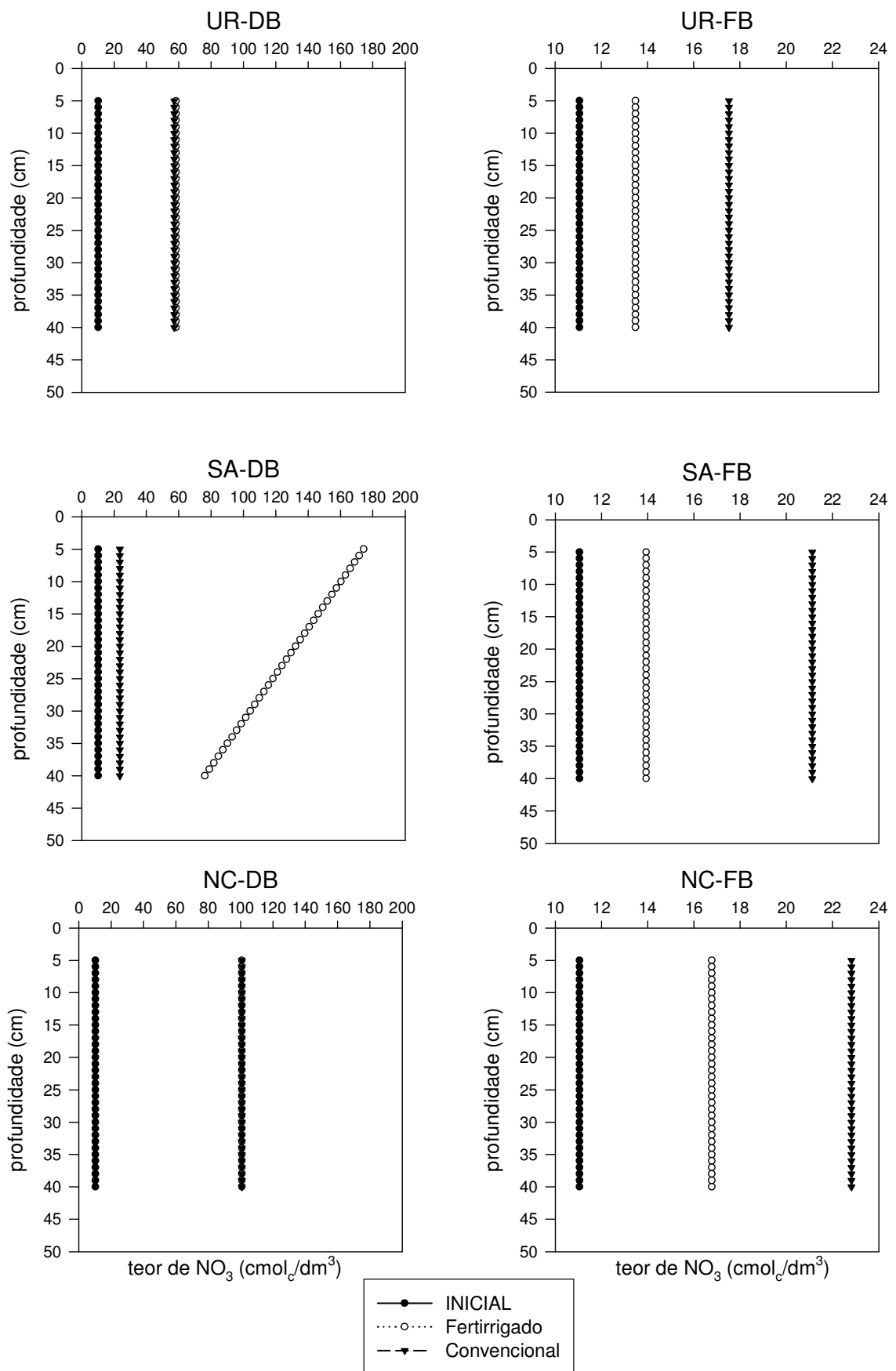


Figura 17. Concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

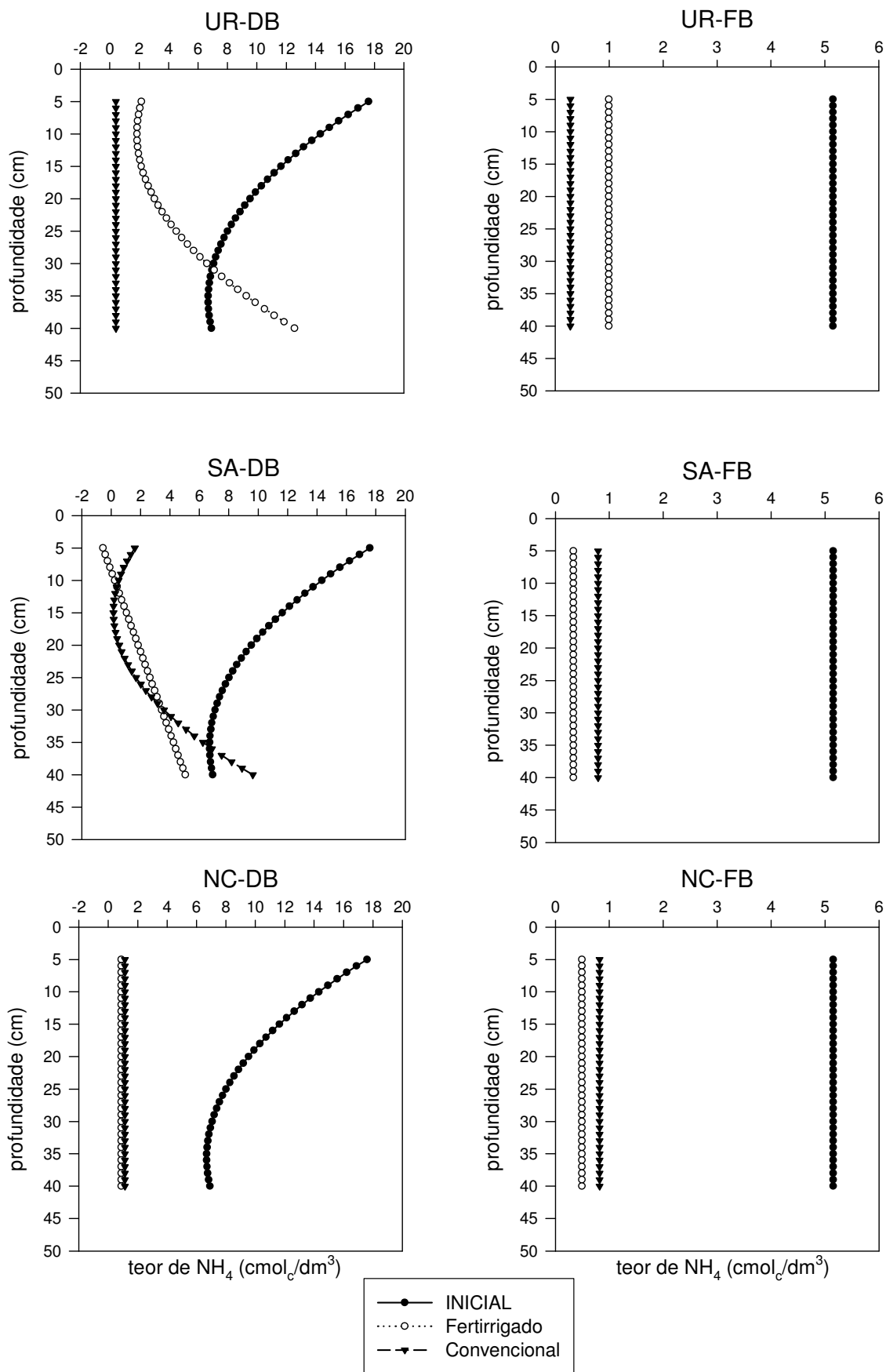


Figura 18. Concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

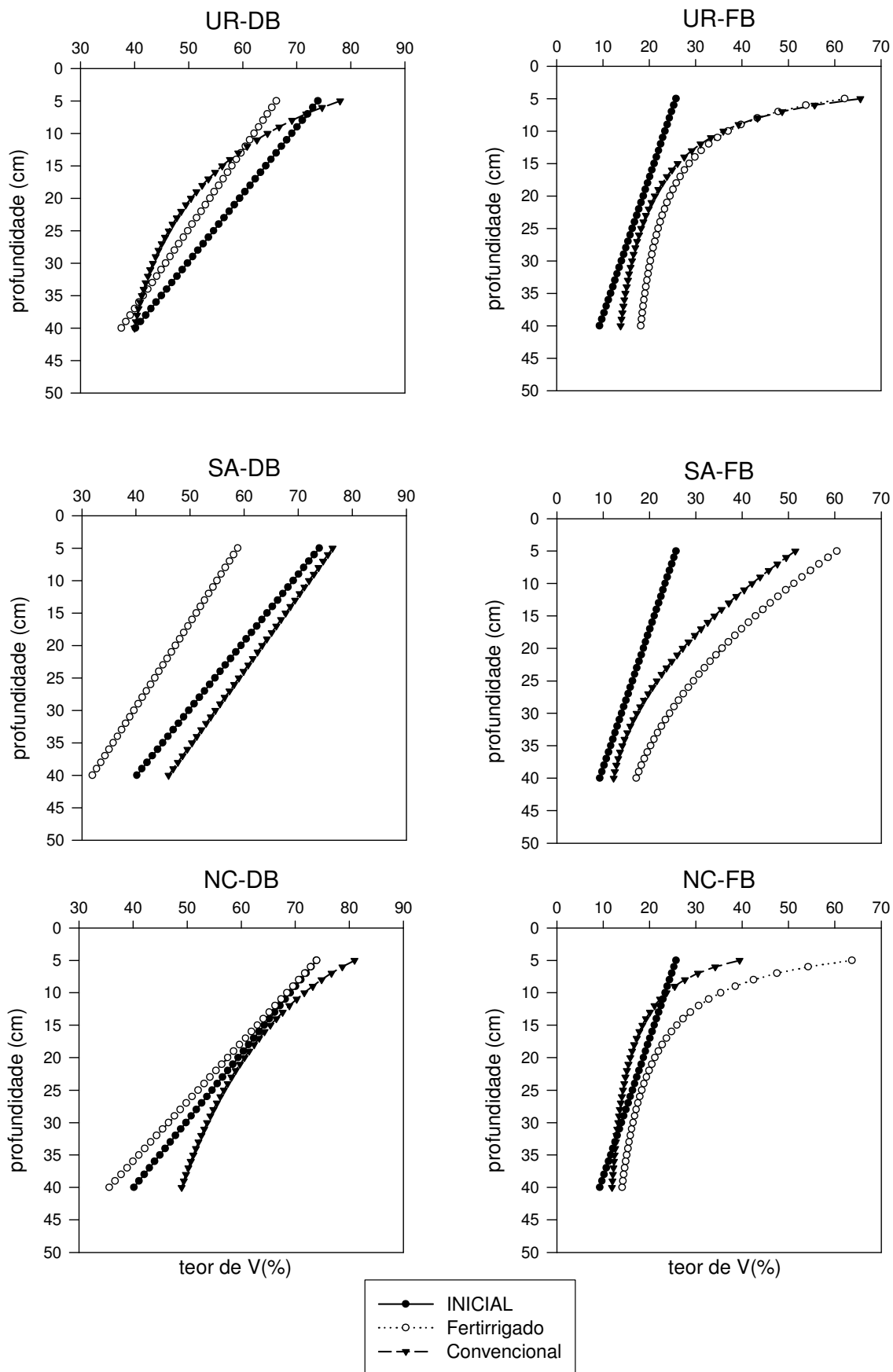


Figura 19. Valores de V no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

Com a aplicação das fontes de nitrogênio por fertirrigação podem ter ocorrido dois efeitos diferentes quanto aos valores de V: a fertirrigação pode ter beneficiado a absorção de bases pela planta; a fertirrigação pode ter causado lixiviação das bases.

Não houve efeito significativo da profundidade do solo sobre a CE na região fora do bulbo para nenhuma das fontes e modos de aplicação de N (Figura 20 e Quadro 17). Na região do bulbo úmido, houve efeito significativo da profundidade, e de natureza quadrática, somente quando a fonte NC foi aplicada por fertirrigação.

Obtiveram-se maiores valores de CE quando as fontes foram aplicadas por fertirrigação, comparado à aplicação no modo convencional. Possivelmente isso seja em razão da maior solubilização e distribuição dos sais no bulbo úmido. Este resultado leva à reflexão quanto à periodicidade de amostragem de solo para recomendação da adubação. Com o aumento da CE e, esta, podendo chegar a níveis prejudiciais à cultura, é necessário fazer um monitoramento com maior frequência, principalmente da CE e pH do solo, especialmente na região do bulbo úmido.

Quanto à posição de amostragem, não houve efeito significativo desse fator sobre as características do solo avaliadas até o nível de 10% de probabilidade. Por essa razão, a análise não foi mostrada.

#### **6.3.4 Efeito dos tratamentos nas características do cafeeiro**

Não houve efeito significativo até o nível de 10% de probabilidade, das fontes de nitrogênio e do modo de aplicação das fontes sobre as características avaliadas do cafeeiro (Quadro 18).

Deve-se considerar que, em razão do trabalho ter sido conduzido por apenas um ciclo, pode ter ocorrido efeito residual das adubações anteriores, sugerindo que trabalhos nesta linha devam ser conduzidos por períodos maiores.

A análise do comportamento dos resultados indica que no modo convencional, a maior parte das variáveis apresenta-se melhor em resposta a fontes mais móveis no solo NC e UR, como também observado por HAYNES e SWIFT (1987). No modo fertirrigado a fonte SA foi melhor, possivelmente por conta de sua melhor distribuição no perfil do solo, garantida pela dinâmica do movimento de água no solo.

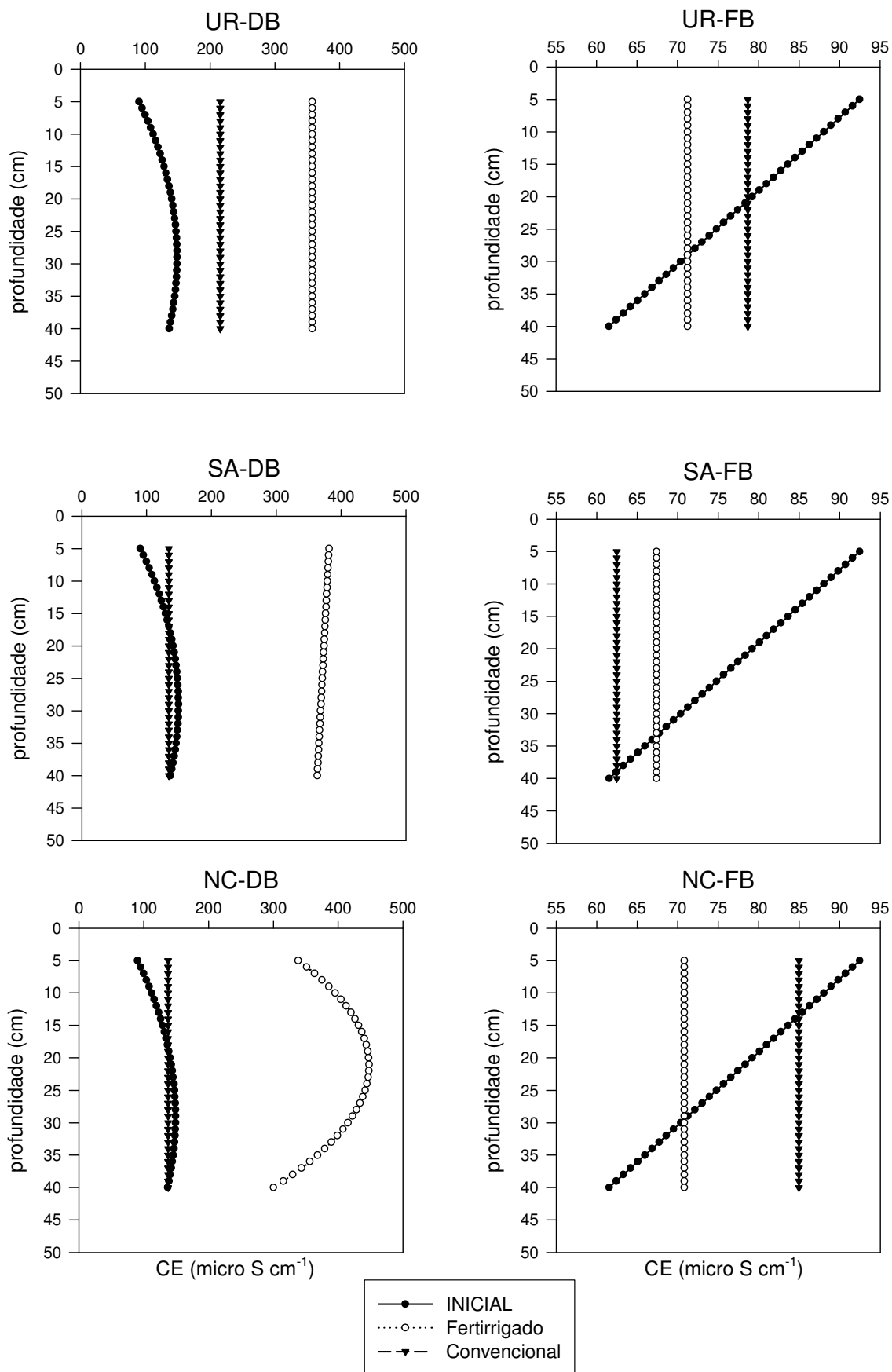


Figura 20. Valores de CE no perfil do solo para as fontes de N (UR – uréia; SA – sulfato de amônio e NC – nitrato de cálcio), nas regiões DB (dentro do bulbo) e FB (fora do bulbo).

Quadro 18. Médias da percentagem de frutos retidos na planta, altura de planta, diâmetro do caule e número de entrenós emitidos avaliados entre outubro de 2003 e abril de 2004 para o modo fertirrigado (F) e o modo convencional (C).

<sup>1</sup> MODO	<sup>2</sup> FONTE	Frutos Retidos (%)	Altura da Planta (m)	Diâmetro do Caule (m)	Número de Entrenós
F	UR	89,29	0,14	0,50	2,78
	SA	88,94	0,14	0,47	3,00
	NC	90,02	0,12	0,37	3,19
C	UR	90,90	0,17	0,41	3,36
	SA	78,60	0,16	0,61	2,75
	NC	90,06	0,25	0,52	3,72

\*Valores de altura da planta e diâmetro do caule foram obtidos a partir da diferença de valores entre o período avaliado (outubro a maio); <sup>1</sup>Modo de aplicação: F (fertirrigado), C (convencional); <sup>2</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio).

### 6.3.5 Efeito dos tratamentos na produtividade e rendimento

Pelo teste F até 5% de probabilidade (Quadro 19), o rendimento e a produtividade foram influenciados pelo modo de aplicação das fontes de N. Na média das fontes, o modo fertirrigado teve uma produção e rendimento significativamente maiores, 58% e 9% respectivamente, comparado ao modo convencional.

Quadro 19. Produtividade, em sacas (60 kg) por hectare e rendimento percentual em kg de café em coco por kg de café beneficiado (teor de água de 12%).

<sup>1</sup> Modo	<sup>2</sup> Fonte	Rendimento (%)	Média Rend	Produtividade (sacas ha <sup>-1</sup> )	Média Prod
F	UR	57,8		61,8	
	SA	58,8	58,0 **	83,9	69,4 *
	NC	57,3		62,4	
C	UR	54,5		46,1	
	SA	53,3	53,8 **	40,9	43,9*
	NC	53,5		44,7	

<sup>1</sup>Modo: fertirrigado (F) e o modo convencional (C); <sup>2</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio). Nível de significância: \*\* 1% e \* 5%.

SOARES (2001) comparou a fonte UR aplicada na fertirrigação e na adubação convencional, na mesma propriedade. O autor não obteve efeito significativo do modo de aplicação sobre a produtividade e rendimento de grãos, porém, o tratamento fertirrigado produziu 7,9 sacas ha<sup>-1</sup> a mais que o tratamento convencional.

Apesar da diferença de 21 sacas de café da fonte SA em relação às demais fontes no modo fertirrigado, não houve diferença significativa entre os contrastes das fontes dentro de cada modo de aplicação.

Para o modo convencional, também não houve diferença significativa entre as fontes, mas os valores apontam um comportamento no qual as fontes UR e NC foram

melhores. Este resultado pode ser atribuído à maior mobilidade destas fontes e à melhor redistribuição no perfil do solo.

A maior eficiência do modo fertirrigado se deve ao fato do fertilizante ser aplicado imediatamente sobre a superfície do solo, sendo rapidamente deslocado para as subcamadas, juntamente com o movimento da água de irrigação, e ficar prontamente disponível à absorção pelo sistema radicular. Já no modo convencional, o fertilizante foi aplicado sobre a palhada existente sob a saia do cafeeiro (observações no local). Dessa forma, o fertilizante tem que migrar através desta camada morta para atingir o solo, ser solubilizado e então ser absorvido pela cultura. Isto possivelmente seja um fator de redução da eficiência do fertilizante aplicado no modo convencional.

### 6.3.6 Efeito dos tratamentos no teor de nutrientes das folhas do cafeeiro

Houve efeito significativo dos tratamentos sobre o teor de Mg, Fe e Zn pela análise de variância dos resultados do Quadro 20.

O efeito das fontes de N sobre os teores de nutrientes na folha do cafeeiro, testado ao nível de significância de até 10% por meio dos contrastes C1 e C2 dentro de cada modo de aplicação, está mostrado no Quadro 21.

Quadro 20. Médias dos teores dos nutrientes na folha nos diferentes tratamentos.

<sup>1</sup> MODO	<sup>2</sup> FONTE	N-NO <sub>3</sub>	N-org	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>			
F	UR	0,36	28,8	1,6	24,8	16,8	2,6	12,60	110,57	171,71	8,53
	SA	0,52	27,7	1,6	20,4	16,9	2,5	9,12	94,28	202,71	12,90
	NC	0,51	25,6	1,5	21,5	17,2	2,5	7,66	96,93	189,15	10,25
C	UR	0,39	29,3	1,4	20,2	14,6	2,3	7,11	85,19	209,17	13,50
	SA	0,41	28,4	1,5	22,5	13,7	2,3	9,30	130,27	215,63	8,19
	NC	0,46	28,1	1,5	23,8	16,1	2,2	7,11	92,39	180,75	9,56

<sup>1</sup> Modo: fertirrigado (F) e o modo convencional (C). <sup>2</sup> Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio).

Quadro 21. Estimativas dos Contrastos seguidas da significância dos teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro.

contr	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	N-NO <sub>3</sub>	N-org	
F	C1	-0,16	-1,14	0,33	-0,05	-3,205	-5,492	1,938	-0,471	0,07	-2,6*
	C2	-0,01	-4,36 <sup>o</sup>	0,15	-0,11	-3,480	-16,288	31,008	4,370 <sup>o</sup>	-0,16	-1,1
C	C1	0,09	2,39	1,98	-0,09	-1,099	-15,341	-31,654	-1,285	0,06	-0,8
	C2	0,11	2,29	-0,95	-0,02	2,198	45,076*	6,460	-5,313*	0,02	-1,0

\* significativo a 5% pelo teste F; <sup>o</sup> significativo a 10% pelo teste F; C1: contraste entre nitrato de cálcio versus sulfato de amônio e uréia; C2: contraste entre sulfato de amônio versus uréia; F: aplicação pela fertirrigação; C: aplicação convencional.

Houve efeito significativo das fontes de N sobre os teores de K, Fe, Zn e N-org, avaliado nos contrastes.

A fonte NC não exerceu influência significativa sobre nenhuma das características químicas avaliadas (C1).

A fonte UR, comparativamente à fonte SA (C2), proporcionou maiores teores de K no modo fertirrigado e de Zn no modo convencional. A fonte SA alterou significativamente os teores de Zn no modo fertirrigado e de Fe no modo convencional.

No modo fertirrigado, houve efeito significativo a favor das fontes amoniacal e amídica sobre o teor de N-org (C1). No entanto, quando comparado o efeito das fontes SA e UR, aplicadas por fertirrigação, sobre o teor de N-org (C2), não houve diferença significativa entre as fontes.

## 7. CONCLUSÕES

1. As doses de nitrogênio alteraram os valores de saturação de bases, condutividade elétrica, pH e as formas de nitrogênio na região do bulbo úmido.
2. A fonte sulfato de amônio foi responsável pelo maior teor de N-mineral no solo, reduzindo o risco de perdas por lixiviação.
3. A nitrificação foi maior com a aplicação do sulfato de amônio na fertirrigação.
4. Na fertirrigação com a uréia, o teor de  $\text{N-NH}_4^+$  aumentou com a profundidade do solo.
5. A uréia não proporcionou acidificação do solo.
6. As características da planta do cafeeiro não foram alteradas com as fontes, doses e o modo de aplicação do nitrogênio.
7. As fontes de nitrogênio alteraram as características nutricionais do cafeeiro.
8. A produtividade do cafeeiro foi maior com a fertirrigação.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, A. P. **Produção e outras características de progenies de café icatu (coffea ssp), em Viçosa-MG.** Viçosa:UFV, 1991. 75p. Tese Doutorado.
- ANTUNES, R. C. B.; BONOMO, R.; PALARETTI, L.F.; MANTOVANI, E.C. Avaliação da uniformidade de distribuição de nitrogênio e potássio na irrigação por gotejamento. IN: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos.** Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000, v.2, p.827-830.
- ASAE EP 458. **Field evaluation of microirrigation systems.** ASAE Standards, St. Joseph, p. 792-797, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 12. ed. Washington, D.C., 1975. 1094 p.
- BELTON, P. R.; GOH, K. M. Effects of apple trees on soil pH, exchangeable cations and extractable manganese in a sandy loam soil in New Zealand. **Fertilizer Research.** n.33, p. 239-247, 1992.
- BOMAN, B.J. Fertigation versus conventional fertilization of flatwoods grapefruit. **Fertilizer Research.** 44, p.123-128, 1996.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres,** Viçosa, v.21, n.113, p.73 - 85, 1974.
- BROADBENT, F. E.; HILL, G. N.; TYLER, K. B. Transformations and movement of urea in soils. **Soil science society proceedings.** p.303-307. 1958.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNES, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid.

- Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, n.1, p. 71 - 80, 1975.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação/ A. C. RIBEIRO; P. T. G. GUIMARÃES; V. H. ALVAREZ V. editores. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- CONAB. **Safra. 2004/2005 final**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safracafe.pdf>>. Acesso em 05 de abril de 2005.
- COSTA, E. L. da; SILVA, J. T. da; SOUTO, R. F.; SILVA, E.B.; LIMA, L.A.; MAENO, P.; MENDES, J. O. Adubação convencional e frequência da fertirrigação no desenvolvimento e produção da bananeira (*Musa spp.*) 'Prata Anã' em solo argiloso do perímetro irrigado do Gorutuba no norte de Minas. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, Fortaleza, CE. 2000.
- COSTA, E.N.; FRANÇA, G.E. de; ALVES, V.M.C. aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.63-69, 1986.
- DASBERG, S.; BAR-AKIVA, A.; SPAZINSK, S.; COHEN, A. Fertigation versus broadcasting in na orange grove. **Fertilizer Research**. 15, p.147-154, 1988.
- DUENHAS, L.H., VILLAS BÔAS, R.L., SOUZA, C.M.P. de, RAGOZO, C.R.A., BULL, L.T. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis O.*) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. V.24, n.1, Abril, 2002.
- EDWARDS, J. H.; BRUCE, R. R.; HORTON, D. B.; CHESNESS, J. L.; WEHUNT, E.J. Soil cation and water distribution as affected by NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> applied through a drip irrigation. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v.107, n.6, p.1142-1148, 1982.
- EMBRAPA, 1999. **Relatório de estimativa da safra cafeeira no Brasil safra 1999/2000**. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do café – Embrapa, 1999. 6p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ. 1997. 212p.
- FEITOSA FILHO, J.C. **Uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão, com injetores tipo venturi e tanque de derivação**. Viçosa:UFV, 1990. 77p. (Tese – Mestrado em Engenharia agrícola).
- FENN, L.B.; TAYLOR, R.M.; BURK, C.M. Influence of plant age on calcium stimulated ammonium absorption by radish and anion. **Journal of plant nutrition**, v.16, n.7, p.1161-1177, 1993.
- FUNARBE. SAEG – **Sistema para analyses estatísticas** – versão 5.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes. 80p. 1993.
- GUIMARÃES, G.T. **Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio**. Viçosa:UFV, 1998. 184p. Tese (doutorado).

- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C.; OLIVEIRA, J.A. Cafeeiro. IN: **RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES EM MINAS GERAIS**. 5ª Aproximação. Editado por Antônio Carlos Ribeiro; Paulo Tacito G. Guimarães; Vitor Hugo Alvarez V. CFSEMG. Viçosa: UFV, 1999. 359p. p. 289-302.
- HAYNES, R.J. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. **Fertilizer Research**. n.6, p. 235-255, 1985.
- HAYNES, R.J. Movement and transformations of fertigated nitrogen below trickle emitters and their effects on pH in the wetted soil volume. **Fertilizer Research**. n.23, p. 105-112, 1990.
- HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. Effect of trickle fertigation with three forms of nitrogen on soil pH, levels of extractable nutrients below the emitter and plant growth. **Plant and soil**. n.102, p. 211-221, 1987.
- HERNANDEZ, F.B.T. Fertirrigação. IN: VITTI, G.C.; BOARETTO, A. E. **Fertilizantes Fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 212-225.
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press. 1980, 413p.
- JACSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1958. 498 p.
- JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, 1959, v.766, p.32-33.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213 p.
- JUNGK, A.O. Dynamics of nutrient movement at the soil-Root interface. IN: **Plants and Roots - Hidden Half**, editado por Yoav Waisel; Amnom Eshel; Uzi Kafkafi. Marcel Dekker, Nova York, 1991. 948p. p.455-481.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 133p. 1975.
- KEMPERS, A.J., ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. **Comun. In Soil Science Plant Analyses**, v.17, n.7, p.715-723, 1986.
- KIEHL, J.C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. IN: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE, 1. Ilha Solteira, SP, 18 a 22 de maio de 1987. Fundação Cargill. 1987, p.139-154.
- MAGALHÃES, M.I. **Uniformidade da fertirrigação em um sistema de irrigação por gotejamento**. Fortaleza: UFC, 1996. 64p. (Dissertação de mestrado)
- MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. IN: PAVAN, M.A., CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A.

**Cultura do cafeeiro: o sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo.** Piracicaba: POTAFÓS. 1997. P.1-8. (Informações Agronômicas, n.80).

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARSCHNER, H. Root-Induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. IN: **Plant Roots - Hidden Half**, edited for Yoav Waisel; Amnon Eshel; Uzi Kafkafi. Marcel Dekker, Nova York, 1991. 948p.
- MARTINEZ, E.P.; CARVALHO, J.G. DE; SOUZA, R.B. DE. Diagnose Foliar. IN: **RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES EM MINAS GERAIS.** 5ª Aproximação. Editado por Antônio Carlos Ribeiro; Paulo Tacito G. Guimarães; Vitor Hugo Alvarez V. CFSEMG. Viçosa: UFV, 1999. 359p. p. 143-168.
- MERRIAM, J.L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Utah State University, 1978. 271p. 1978.
- NEILSEN, G. H.; HOYT, P. B.; NEILSEN, D. Soil chemical changes associated with NP-fertirrigated and drip irrigated high-density apple orchards. **Can. J. Soil Sci.** n.75, p.307-310, 1995
- PARCHOMCHUK, P. NEILSEN, G. H. HOGUE, E. J. effects of drip fertigation of  $NH_4-N$  and P on soil pH and cation leaching. **Can. J. Soil Sci.** n.73, p.157-164, 1993.
- PERYEA, F.J.; BURROWS, R.L. Soil acidification caused by four commercial nitrogen fertilizer solutions and subsequent soil pH rebound. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** n.30(3&4), p.525-533, 1999.
- PIERZYSNSKI, G.M.; SIMS, J.T.; VANCE, G.F. **Soils and environmental quality.** Lewis publishers. 1994. 313p.
- PINTO, J.M.; SOARES, J.M.; COSTA, N.D.; FARIA, C.M.B.; BRITO, L.T.; SILVA, D.J. Doses e períodos de aplicação de nitrogênio via água de irrigação na cultura do tomate. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, n.1, p.15-18, maio 1997.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, AM.C., ed. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: IAC, 1996. p.97-101. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- SANTINATO, R.; GONZAGA, A.; NEVES, C.P.; SENNA, C.A.; SILVA, A.A. **Modo de adubação NK no cafeeiro irrigado por gotejamento, em região com déficit hídrico limitante à cultura do Coffea Arábica – fase de formação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15, 1989, Maringá. Anais... Rio de Janeiro: IBC, 1989. p.227-229.
- SILVA, E.M.; PINTO, A. C. de Q.; AZEVEDO, J. A. de. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 77p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61).

- SMITH, M.W.; KENOWORTH, A. L.; BEFORD, C.L. The response of fruit trees to injection of nitrogen through a trickle irrigation system. **Journal of American Society for Horticultural Science**, St. Joseph, 104 (3): 311-313, 1979.
- SOARES, A. R. **Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos da região da Zona da Mata de Minas Gerais**. Viçosa:UFV, 2001. 85p.
- StatSoft, Inc. (2001). **STATISTICA** (data analysis software system), version 5. www.statsoft.com.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertilizers**. 5ed. New York: Macmillan publishing company. 1993. 634p.
- VILLAS BOAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. IN: FOLEGATTI, M.V. **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.
- VILLAS BOAS, R. L.; GODOY, L. J. G. **Alterações químicas no solo pela adubação nitrogenada convencional e via fertirrigação na cultura do pimentão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. CD... São Paulo: UNESP, 2003.
- YADAV, M. S. D. S.; KUMAR, V. Leaching and transformation of urea in dry and wet soils as affected by irrigation water. **Plant and Soil**, n.81, p.411-420. 1984.
- YANG, J. E., SKOGLEY, E.O., SCHAFF, B.E., KIM, J.J. **A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts**. Soil Science Society American Journal, v.62, p.1108-1115, jul-aug 1998.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE A

Quadro 1A. Análise de variância e quadrado médio das características químicas do solo do ensaio 1.

	GL	Al	CE	pH	P	K	Ca	Mg	NO3	NH4	V
BLOCO	2	0,25	129660,29*	0,61	1447,62	1697,26	0,67	0,20	6274,02°	24,39	1336,65°
FONTE	2	0,08	59357,03	0,26	4604,92**	7968,02°	0,82	0,18	10430,43*	165,24*	277,12
DOSE	2	0,01	111458,89*	0,06	16906,22**	6351,63	0,53	0,03	20126,27**	47,18	153,87
FONTE*DOSE	4	0,04	13752,02	0,51	1025,27	9861,24*	1,37	0,03	1805,17	86,99°	201,45
<b>Erro_A</b>	<b>16</b>	<b>0,12</b>	<b>27298,87</b>	<b>0,46</b>	<b>725,68</b>	<b>2921,39</b>	<b>2,10</b>	<b>0,11</b>	<b>2118,91</b>	<b>31,12</b>	<b>386,07</b>
pos	1	2,18**	4516930,95**	17,79**	486509,28**	730437,66**	237,54**	1,19**	239874,14**	499,20**	36961,22**
prof	3	0,86**	22786,02	27,88**	181654,31**	107303,48**	114,26**	3,37**	1149,42	28,78	15012,06**
pos*prof	3	0,13°	11922,15	1,44°	100332,21**	3428,74*	4,86*	0,03	440,46	39,28	560,55°
<b>Erro_B</b>	<b>14</b>	<b>0,05</b>	<b>38921,35</b>	<b>0,56</b>	<b>644,55</b>	<b>846,48</b>	<b>0,91</b>	<b>0,04</b>	<b>2047,20</b>	<b>15,95</b>	<b>174,01</b>
FONTE*pos	2	0,16**	54601,81**	2,18**	7582,80**	12618,79**	8,07**	0,03	7927,58**	129,37**	2269,71**
FONTE*prof	6	0,01	4848,75	0,07	2044,82**	349,97	0,24	0,02	984,69	14,15	23,97
DOSE*pos	2	0,11*	117142,27**	1,37**	9356,50**	5796,15**	1,94**	0,08**	18308,02**	52,42**	877,72**
DOSE*prof	6	0,02	9179,46	0,22	2455,83**	205,86	0,23	0,01	641,61	12,30	41,23
FONTE*DOSE*pos	4	0,07*	18295,75*	1,15**	2132,92**	3903,76**	1,90**	0,02	1908,42*	72,78**	483,70**
FONTE*DOSE*prof	12	0,02	4814,86	0,12	2296,76**	603,28	0,29	0,01	583,63	6,78	57,10
FONTE*pos*prof	6	0,02	4317,91	0,11	2925,28**	794,13	0,49	0,02	829,20	16,49°	96,83°
DOSE*pos*prof	6	0,02	9846,56	0,23°	3066,44**	510,36	0,75*	0,01	580,19	12,12	67,83
FONTE*DOSE*pos*prof	12	0,02	3928,71	0,12	2308,23**	788,23	0,20	0,01	538,51	7,74	20,37
Error	112	0,03	6387,87	0,13	456,66	579,51	0,31	0,01	701,25	8,94	52,53
Total	215										

Quadro 2A. Análise de variância e quadrado médio das características da cultura do ensaio 1.

	GL	Frutos retidos na planta	Altura da planta	Diâmetro do caule	entrenó	Rendimento	produtividade
BLOCO	2	140,7	0,007	0,171	5,98	23,35	11678,07
FONTE	2	3,80	0,001	0,031	0,18	3,69	1210,56
DOSE_N	2	18,89	0,001	0,058	0,76	4,58	614,15
FONTE*DOSE_N	4	58,62	0,001	0,030	0,13	2,30	186,97
Error	16	50,77	0,002	0,025	0,48	6,26	560,16
Total	26						

Quadro 3A. Análise de variância e quadrado médio do teor de nutriente nas folhas do cafeeiro no ensaio 1.

	GL	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	NO3	NH4
BLOCO	2	0,000465°	0,55**	0,60**	0,001245°	103,18**	907,80°	23676,60**	15,95	77,33	0,000579**	0,000262
FONTE	2	0,000710*	0,12°	0,08	0,001315°	16,24	13,06	311,03	17,89	251,32°	0,000069	0,000183
DOSE_N	2	0,000167	0,14°	0,03	0,000665	23,78	284,52	510,09	5,54	35,90	0,000122	0,000015
FONTE*DOSE_N	4	0,000212	0,05	0,05	0,000436	40,12	380,65	1763,90	10,50	167,09	0,000120	0,000303°
Error	16	0,000174	0,05	0,06	0,000420	13,78	346,94	954,26	7,23	86,65	0,000094	0,000118
Total	26											

Quadro 4A. Análise de variância e quadrado médio das características químicas do solo do ensaio 2.

	GL	Al	CE	pH	P	K	Ca	Mg	NO3	NH4	V
BLOCO	2	0,52**	100213,79°	1,07	1597,11	3539,67	1,72°	0,12	11551,59	5,16	2126,77**
MODO	1	0,00	548175,71**	0,30	15169,76**	46584,03**	0,26	0,08	7921,98	11,29	37,23
FONTE	2	0,01	7738,07	0,21	5195,62*	8621,68	1,92°	0,22°	6762,49	11,87	23,45
MODO*FONTE	2	0,16°	45773,00	0,80	1427,41	965,90	0,31	0,00	10497,72	46,89	94,10
<b>Erro_A</b>	<b>10</b>	<b>0,05</b>	<b>30254,61</b>	<b>0,48</b>	<b>891,66</b>	<b>3632,60</b>	<b>0,57</b>	<b>0,07</b>	<b>7006,91</b>	<b>19,41</b>	<b>248,50</b>
pos	1	1,08**	1679198,43**	18,03**	443118,12**	422861,19**	148,92**	0,97**	132344,71**	88,08**	23510,23**
prof	3	0,63**	25235,74	18,91**	130760,64**	64639,47**	82,69**	2,34**	2511,96	30,89**	9457,72**
pos*prof	3	0,04	8449,47	1,25	79869,18**	2984,36*	2,45	0,01	1444,27	33,40**	373,24
<b>Erro_B</b>	<b>14</b>	<b>0,07</b>	<b>14104,24</b>	<b>0,72</b>	<b>989,86</b>	<b>872,24</b>	<b>1,29</b>	<b>0,09</b>	<b>1570,08</b>	<b>1,54</b>	<b>341,85</b>
MODO*pos	1	0,13**	598620,29**	7,13**	3274,45*	16576,56**	3,42**	0,28**	15267,69**	12,26	1936,10**
MODO*prof	3	0,01	9180,55	0,54**	2320,15**	1504,06	0,33	0,01	486,34	4,60	101,70°
FONTE*pos	2	0,02	17813,12	0,96**	6712,03**	5186,78*	2,74**	0,00	4538,94°	13,25	621,03**
FONTE*prof	6	0,01	1056,55	0,11	1795,09**	347,71	0,70**	0,03°	307,55	12,48	119,48*
MODO*pos*prof	3	0,01	11203,17	0,01	2248,62**	1044,05	0,93**	0,01	506,79	4,82	59,20
FONTE*pos*prof	6	0,02	1319,12	0,11	1565,76*	348,38	0,80**	0,01	327,49	12,04	89,46*
MODO*FONTE*pos	2	0,04	36250,11*	0,79**	2014,80*	711,39	1,50**	0,01	11388,97**	21,44	293,32**
MODO*FONTE*prof	6	0,02	4494,70	0,12	4148,67**	470,47	0,28	0,01	923,60	8,48	91,46*
MODO*FONTE*pos*prof	6	0,02	3282,34	0,06	3539,63**	993,96	0,12	0,02	945,94	9,47	16,45
<b>Error</b>	<b>70</b>	<b>0,02</b>	<b>9057,25</b>	<b>0,09</b>	<b>575,92</b>	<b>1361,30</b>	<b>0,19</b>	<b>0,01</b>	<b>1538,75</b>	<b>9,62</b>	<b>40,83</b>
Total	143										

Quadro 5A. Análise de variância e quadrado médio das características da cultura do ensaio 2.

	GL	Frutos retidos na planta	Altura da planta	Diâmetro do caule	entrenó	Rendimento	produtividade
BLOCO	2	75,226	0,024	0,119	3,5	14,12	5865,40
MODO	1	37,716	0,017	0,019	0,37	79,61**	2908,06*
FONTE	2	79,263	0,002	0,017	0,53	1,00	150,77
MODO*FONTE	2	63,172	0,006	0,029°	0,33	1,98	347,24
Error	10	66,903	0,006	0,008	0,5	6,74	443,32
Total	17						

Quadro 6A. Análise de variância e quadrado médio do teor de nutriente nas folhas do cafeeiro no ensaio 2.

	GL	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	NO3	NH4
BLOCO	2	0,0001	0,2166	0,235	0,001103	69,15	1225,1	3643,3	19,521	78,71	0,00017	0,00003
FONTE	2	0,00006	0,02395	0,029	0,000174	9,89	527,8	967,9	1,876	66,28	0,00016	0,00072
MODO	1	0,00054	0,00022	0,203	0,004139**	17,17	18,4	881,6	0,092	198,85	0,00008	0,00069
FONTE*MODO	2	0,00037	0,22806	0,018	0,000040	14,31	1460,6°	790,2	35,491*	198,85	0,00012	0,00017
Error	10	0,00021	0,09153	0,086	0,000160	8,07	464,4	1250,6	7,727	110,19	0,00016	0,00028
Total	17											

## APÊNCICE B

Quadro 1B. Médias das características do solo analisadas no final do experimento.

<sup>1</sup> FONTE	<sup>2</sup> DOSE	<sup>3</sup> POS	PROF	H+Al	Al	CE	pH	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	NO3	NH4	SB	CTC (t)	CTC (T)	(m)	(V)
UR	200	DB	0-10	1,22	0,005	196,73	7,15	261,12	208,33	6,49	0,95	7,03	90,06	83,63	18,84	22,78	30,42	2,08	8,07	8,07	9,29	0,08	87,67
UR	200	DB	10-20	1,87	0,021	212,52	6,49	102,40	171,39	4,46	0,69	3,35	114,81	55,95	13,40	16,61	33,30	1,55	5,66	5,68	7,54	0,44	75,38
UR	200	DB	20-30	2,37	0,080	205,16	6,05	33,94	136,11	3,39	0,53	2,47	131,21	36,76	12,85	11,89	35,22	1,01	4,32	4,40	6,69	4,26	61,61
UR	200	DB	30-50	3,00	0,208	127,34	5,57	5,13	96,67	2,06	0,39	1,80	142,56	17,16	5,83	7,68	28,19	0,87	2,73	2,94	5,73	9,94	46,61
UR	200	FB	0-10	4,25	0,240	99,50	5,38	20,93	100,83	2,71	0,72	8,48	155,43	43,92	6,34	7,17	12,05	0,90	3,72	3,96	7,97	9,73	47,20
UR	200	FB	10-20	4,99	0,560	79,23	4,89	6,59	56,67	1,13	0,34	3,08	171,21	24,06	8,23	4,50	12,35	0,71	1,63	2,19	6,62	28,17	25,32
UR	200	FB	20-30	4,78	0,640	63,33	4,61	2,83	32,50	0,58	0,18	1,76	150,18	14,26	9,95	2,83	12,30	0,49	0,85	1,49	5,63	42,56	16,20
UR	200	FB	30-50	4,41	0,656	39,07	4,77	3,34	15,00	0,51	0,16	1,71	130,98	11,12	15,24	1,83	10,69	0,69	0,72	1,37	5,13	41,79	16,25
UR	400	DB	0-10	3,21	0,027	321,67	6,77	250,12	273,33	5,24	0,83	8,21	114,03	106,59	22,88	22,11	50,76	2,44	6,86	6,89	10,07	0,45	67,80
UR	400	DB	10-20	3,42	0,101	338,06	6,28	319,23	220,56	3,89	0,54	4,93	131,32	72,59	19,78	19,22	58,16	1,33	5,08	5,18	8,50	4,21	57,69
UR	400	DB	20-30	3,79	0,160	388,01	5,73	110,19	206,67	2,97	0,38	2,41	135,91	30,90	9,01	17,50	65,69	5,20	3,95	4,11	7,74	8,45	46,62
UR	400	DB	30-50	4,00	0,256	383,24	5,20	4,14	198,33	1,79	0,33	1,77	128,26	14,81	5,06	10,00	58,64	12,41	2,67	2,92	6,67	11,73	39,46
UR	400	FB	0-10	3,78	0,064	136,40	7,20	50,24	161,67	4,21	1,00	12,33	132,15	90,00	15,42	14,50	16,06	1,22	5,68	5,74	9,46	1,17	61,38
UR	400	FB	10-20	4,36	0,272	65,03	5,34	4,39	55,83	1,36	0,38	2,60	181,30	44,27	14,21	6,00	14,26	1,01	1,91	2,18	6,26	14,39	32,15
UR	400	FB	20-30	4,20	0,400	50,23	4,91	1,86	34,17	0,70	0,26	1,83	158,98	22,33	6,12	3,17	12,70	1,07	1,06	1,46	5,25	31,57	21,08
UR	400	FB	30-50	4,51	0,400	33,23	4,93	1,61	18,33	0,52	0,23	1,78	131,51	11,65	4,01	2,00	10,89	0,67	0,81	1,21	5,33	36,32	16,21
UR	600	DB	0-10	2,32	0,016	357,24	6,79	278,71	311,94	5,61	0,96	5,59	77,62	81,59	17,27	30,33	84,73	6,02	7,50	7,52	9,83	0,19	76,53
UR	600	DB	10-20	2,96	0,043	289,88	6,20	149,88	254,44	4,00	0,68	3,65	103,01	65,24	18,53	21,33	85,16	9,61	5,42	5,46	8,38	1,44	63,08
UR	600	DB	20-30	3,22	0,139	337,87	5,61	26,09	218,89	2,53	0,42	2,27	121,44	40,25	9,75	15,22	71,21	14,76	3,57	3,71	6,79	8,24	50,63
UR	600	DB	30-50	3,50	0,171	368,14	5,18	4,37	170,83	1,37	0,40	1,87	105,84	18,71	7,27	13,50	65,55	18,81	2,27	2,45	5,78	9,81	38,48
UR	600	FB	0-10	4,01	0,080	90,20	6,10	24,27	123,33	2,93	0,73	6,47	114,21	51,26	6,40	9,17	15,71	1,28	4,01	4,09	8,02	2,85	48,31
UR	600	FB	10-20	4,75	0,336	62,70	5,11	8,38	63,33	1,20	0,39	3,09	119,86	32,04	13,65	5,00	15,16	1,04	1,77	2,10	6,52	18,55	26,89
UR	600	FB	20-30	5,23	0,688	48,07	4,71	2,70	26,67	0,41	0,18	1,78	128,88	23,08	6,48	2,00	13,20	0,53	0,67	1,35	5,89	51,57	12,97
UR	600	FB	30-50	4,65	0,528	42,83	4,75	3,28	16,67	0,45	0,20	1,77	121,25	14,81	6,64	2,67	12,60	0,61	0,70	1,23	5,35	44,16	14,07
SA	200	DB	0-10	2,50	0,037	310,80	6,59	165,45	222,50	5,53	0,96	7,18	89,91	81,33	16,11	23,39	45,39	2,07	7,16	7,20	9,66	0,54	74,94
SA	200	DB	10-20	3,43	0,075	273,84	5,91	71,29	163,33	3,83	0,56	4,02	98,95	47,41	10,71	15,83	35,64	9,56	4,87	4,94	8,30	2,47	56,10
SA	200	DB	20-30	3,77	0,171	239,94	5,61	29,64	153,33	2,86	0,42	3,03	107,33	35,69	14,72	14,50	29,33	7,34	3,73	3,91	7,50	6,83	48,79
SA	200	DB	30-50	3,91	0,213	278,79	5,10	5,28	156,94	1,36	0,23	1,75	144,33	15,61	8,61	10,22	38,65	5,54	2,05	2,26	5,95	13,81	33,17

Quadro 1B. Cont.

<sup>1</sup> FONTE	<sup>2</sup> DOSE	<sup>3</sup> POS	PROF	H+Al	Al	CE	pH	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	NO3	NH4	SB	CTC (t)	CTC (T)	(m)	(V)
SA	200	FB	0-10	3,17	0,048	113,53	6,54	28,72	140,00	3,71	0,79	8,10	117,28	53,52	8,10	13,33	14,36	1,31	4,92	4,97	8,09	1,05	62,18
SA	200	FB	10-20	4,75	0,256	80,47	5,71	12,89	77,50	2,89	0,66	3,71	155,83	41,12	4,18	5,67	14,26	1,08	3,77	4,03	8,52	5,95	44,64
SA	200	FB	20-30	4,91	0,560	63,23	4,74	3,04	35,00	0,80	0,18	1,97	171,44	19,92	4,60	2,67	13,50	0,65	1,08	1,64	5,99	36,37	19,53
SA	200	FB	30-50	4,49	0,416	42,99	4,84	2,07	20,83	0,54	0,15	1,68	136,18	11,38	20,72	1,50	11,95	0,67	0,75	1,17	5,24	34,70	15,25
SA	400	DB	0-10	4,53	0,059	460,42	6,41	256,56	211,11	5,07	0,76	7,38	100,54	91,28	19,37	24,56	173,27	0,57	6,48	6,54	11,01	0,99	60,22
SA	400	DB	10-20	5,25	0,096	571,28	5,66	188,05	188,06	3,84	0,59	3,99	96,35	56,94	19,32	20,83	139,35	0,65	5,00	5,09	10,25	2,97	47,59
SA	400	DB	20-30	5,01	0,325	591,01	5,48	81,75	178,89	3,49	0,55	2,72	106,01	39,61	15,99	16,44	132,32	0,62	4,57	4,89	9,57	10,98	46,14
SA	400	DB	30-50	4,95	0,459	411,58	4,64	4,93	135,28	1,57	0,27	1,66	112,38	16,58	7,77	8,00	70,08	6,30	2,22	2,68	7,17	19,72	31,43
SA	400	FB	0-10	4,30	0,080	95,90	6,74	51,19	140,83	4,48	0,76	6,17	108,43	61,63	11,47	7,17	17,26	0,26	5,63	5,71	9,93	1,92	58,74
SA	400	FB	10-20	4,20	0,496	72,70	5,84	6,51	73,33	2,50	0,47	2,25	140,75	41,27	3,05	5,33	16,02	0,34	3,18	3,68	7,38	12,88	47,66
SA	400	FB	20-30	4,30	0,304	65,30	4,98	4,17	30,00	0,94	0,28	1,66	134,22	19,91	1,28	2,50	12,75	0,22	1,31	1,61	5,61	20,56	25,52
SA	400	FB	30-50	4,57	0,448	35,67	4,92	5,00	13,33	0,67	0,22	1,68	124,39	14,39	1,45	2,50	9,69	0,51	0,94	1,39	5,50	32,40	18,04
SA	600	DB	0-10	3,10	0,069	565,14	6,57	162,72	190,83	5,34	0,76	7,95	97,33	89,53	15,80	15,17	144,92	1,46	6,65	6,72	9,75	1,04	68,43
SA	600	DB	10-20	3,96	0,256	355,04	5,82	110,63	125,28	2,88	0,47	3,55	119,63	50,18	17,88	9,44	125,14	4,56	3,71	3,97	7,67	7,71	47,02
SA	600	DB	20-30	3,89	0,091	402,42	5,24	58,33	121,67	2,47	0,45	3,07	123,93	45,09	12,09	9,33	97,10	4,46	3,27	3,36	7,16	5,28	43,27
SA	600	DB	30-50	3,98	0,304	337,20	4,67	3,38	94,72	1,22	0,32	1,70	102,73	14,97	11,29	5,50	101,18	5,22	1,81	2,11	5,79	16,56	31,07
SA	600	FB	0-10	2,85	0,128	101,93	6,20	56,28	85,83	3,32	0,62	7,33	141,62	77,41	16,28	4,67	23,39	0,66	4,18	4,31	7,03	2,56	58,99
SA	600	FB	10-20	4,07	0,288	81,87	5,15	20,63	55,83	1,57	0,36	3,30	158,69	40,83	4,20	3,67	18,77	0,40	2,09	2,38	6,15	10,80	33,94
SA	600	FB	20-30	3,96	0,208	60,27	4,84	4,03	34,17	0,84	0,19	1,60	143,12	16,79	3,68	2,33	15,23	0,54	1,13	1,34	5,09	13,11	22,29
SA	600	FB	30-50	3,91	0,288	36,87	4,96	2,18	19,17	0,86	0,15	1,55	111,29	10,49	3,76	1,50	14,51	0,22	1,07	1,35	4,97	21,26	21,71
NC	200	DB	0-10	1,80	0,037	326,40	6,77	221,81	205,00	5,67	0,86	7,09	88,63	102,76	14,82	15,56	64,18	0,69	7,12	7,16	8,92	0,53	80,21
NC	200	DB	10-20	2,81	0,059	302,99	5,88	105,72	177,22	4,18	0,49	2,97	109,26	77,11	17,42	16,17	58,73	0,61	5,20	5,26	8,01	1,73	63,04
NC	200	DB	20-30	3,42	0,155	389,04	5,34	26,00	157,22	3,50	0,40	2,57	119,27	61,73	15,98	13,06	66,04	0,40	4,35	4,51	7,78	5,38	53,02
NC	200	DB	30-50	3,69	0,235	336,49	4,83	5,11	121,67	1,89	0,26	1,51	131,67	20,10	4,18	6,83	65,39	0,50	2,49	2,72	6,18	10,35	40,21
NC	200	FB	0-10	2,77	0,064	101,67	6,50	19,34	170,83	3,13	0,76	7,81	120,30	69,79	8,20	2,33	20,78	0,62	4,33	4,39	7,10	1,58	60,79
NC	200	FB	10-20	4,14	0,192	83,83	5,32	6,48	89,17	1,38	0,41	3,59	156,72	31,04	5,11	2,83	17,26	0,63	2,03	2,22	6,17	10,51	32,10
NC	200	FB	20-30	4,14	0,400	44,97	4,99	3,72	50,00	0,73	0,20	1,99	158,94	17,30	6,21	2,67	15,89	0,35	1,07	1,47	5,22	29,34	19,93
NC	200	FB	30-50	4,04	0,400	27,74	4,95	2,65	30,00	0,49	0,14	1,71	121,70	14,85	21,30	2,00	14,21	0,51	0,72	1,12	4,76	38,56	14,30
NC	400	DB	0-10	2,38	0,005	345,81	6,91	274,24	249,72	5,86	0,79	6,68	83,64	91,95	18,76	20,17	110,43	0,72	7,37	7,37	9,75	0,07	75,98
NC	400	DB	10-20	3,21	0,075	410,36	6,04	100,85	205,83	4,00	0,39	3,36	108,38	48,53	10,55	15,22	113,29	0,38	4,98	5,05	8,19	2,55	61,04
NC	400	DB	20-30	3,63	0,192	459,32	5,30	57,58	174,17	2,98	0,23	2,04	118,83	33,17	12,80	9,44	108,66	2,01	3,70	3,90	7,34	8,50	50,51
NC	400	DB	30-50	3,93	0,267	296,10	4,96	5,83	129,44	1,82	0,16	1,52	124,72	17,66	10,61	6,17	70,77	0,42	2,34	2,61	6,27	14,88	37,00

Quadro 1B. Cont.

1FONTE	2DOSE	3POS	PROF	H+Al	Al	CE	pH	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	NO3	NH4	SB	CTC (t)	CTC (T)	(m)	(V)
NC	400	FB	0-10	3,88	0,016	93,77	6,79	70,50	151,67	3,56	0,59	6,02	101,20	61,56	14,21	5,33	18,61	0,60	4,56	4,58	8,44	0,51	62,32
NC	400	FB	10-20	5,25	0,096	82,47	5,18	5,73	66,67	1,77	0,38	2,53	123,11	29,51	5,33	1,83	17,19	0,50	2,33	2,42	7,58	4,31	32,73
NC	400	FB	20-30	5,62	0,288	68,33	4,70	4,45	36,67	0,69	0,20	1,57	123,20	20,63	2,93	3,17	15,70	0,44	1,00	1,29	6,62	23,44	15,70
NC	400	FB	30-50	5,20	0,512	38,73	4,71	2,05	30,83	0,41	0,13	1,40	141,03	15,64	23,04	0,50	15,58	0,43	0,61	1,13	5,81	48,01	11,30
NC	600	DB	0-10	1,16	0,005	416,13	7,13	219,39	195,00	6,39	0,80	8,11	94,88	88,53	20,68	16,39	103,42	0,68	7,76	7,76	8,92	0,09	87,10
NC	600	DB	10-20	1,43	0,011	322,76	6,93	143,10	162,22	5,42	0,54	3,86	101,23	51,49	15,88	11,83	82,56	0,49	6,42	6,44	7,85	0,24	82,02
NC	600	DB	20-30	1,71	0,021	464,86	6,46	41,72	160,00	4,44	0,41	2,81	132,87	34,36	16,69	9,33	145,97	0,41	5,30	5,32	7,00	0,53	75,43
NC	600	DB	30-50	2,60	0,091	482,30	5,31	5,38	133,33	2,68	0,21	1,85	105,77	16,03	5,83	6,33	148,30	0,67	3,25	3,34	5,86	4,26	53,54
NC	600	FB	0-10	4,12	0,112	86,53	6,08	18,12	140,00	2,50	0,63	7,43	146,79	40,48	9,24	1,67	17,82	0,52	3,50	3,61	7,62	3,25	48,59
NC	600	FB	10-20	5,23	0,400	66,73	4,88	6,03	48,33	0,87	0,24	3,38	150,47	17,93	5,58	0,83	15,69	0,39	1,23	1,63	6,46	27,52	20,05
NC	600	FB	20-30	4,65	0,448	66,63	4,86	5,35	30,00	0,76	0,20	2,97	153,78	12,33	3,69	1,17	15,22	0,33	1,04	1,49	5,69	34,27	18,70
NC	600	FB	30-50	4,28	0,448	42,10	4,80	1,48	18,33	0,48	0,12	1,73	105,13	9,97	7,44	0,50	14,16	0,54	0,65	1,09	4,92	40,13	13,95

<sup>1</sup>Fonte de N (UR- uréia; SA- sulfato de amônio; NC- nitrato de cálcio); <sup>2</sup>Doses (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N); <sup>3</sup>posição de amostragem em relação ao gotejador (DB- dentro do bulbo; FB- Fora do bulbo).