



**ADUBAÇÃO DO CAFEIEIRO COM
NITRATO DE POTÁSSIO VIA SOLO E
FOLHA NO OUTONO-INVERNO E
PRIMAVERA-VERÃO**

RUPERT BARROS DE FREITAS

2004

RUPERT BARROS DE FREITAS

**ADUBAÇÃO DO CAFEIEIRO COM NITRATO DE
POTÁSSIO VIA SOLO E FOLHA NO OUTONO-
INVERNO E PRIMAVERA-VERÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, área de concentração
em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de
"Doutor".

Orientador

Prof. Dr. José Donizeti Alves

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2004

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

Freitas, Rupert Barros de

Adubação do cafeeiro com nitrato de potássio via solo e folha no outono-inverno e primavera-verão / Rupert Barros de Freitas. -- Lavras : UFLA, 2004.

66 p. : il.

Orientador: Jose Donizeti Alves.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Pulverização. 2. Nitrogênio. 3. Redutase do nitrato. 4. Crescimento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73893


RUPERT BARROS DE FREITAS

**ADUBAÇÃO DO CAFEIEIRO COM NITRATO DE
POTÁSSIO VIA SOLO E FOLHA NO OUTONO-
INVERNO E PRIMAVERA-VERÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, área de concentração
em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de
"Doutor".

APROVADA em 12 de março de 2004.

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Dr. Carlos Henrique Siqueira Carvalho	EMBRAPA/CAFÉ
Dr. Gabriel Ferreira Bartholo	EPAMIG
Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães	EPAMIG


Prof. Dr. José Bonizeti Alves
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Vicente e Wanda.

Aos meus irmãos, Alexander, Taise e Regis.

À minha cunhada, Sueli.

DEDICO.

À minha namorada, Cidinha.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por dar-me força e saúde na condução deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Biologia (DBI), pela oportunidade de realizar o curso e à CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Prof. José Donizeti Alves, pela orientação, amizade e compreensão.

Aos meus co-orientadores, Marcelo Murad Magalhães e Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pela amizade e sugestões, durante as etapas do trabalho.

Aos pesquisadores Antônio Nazareno Guimarães Mendes, Carlos Henrique Siqueira Carvalho e Gabriel Ferreira Bartholo, pelas contribuições.

Aos Professores Amauri Alves de Alvarenga, Angela Maria Soares, Luiz Edson Mota de Oliveira e Renato Paiva, pelos ensinamentos e convivência amigável durante o curso.

Ao Departamento de Engenharia, por ceder a área experimental e a Carla e Natalino, pela imensa ajuda.

Aos funcionários dos Departamentos de Engenharia e de Ciências do Solo e a Ângela, Joyce e Isabel, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

Ao Carlos Henrique, e todos os funcionários do DRCA.

Ao Evaristo Guerra, Tanhan e Izonel, pela alegre convivência.

Aos funcionários do Setor de Fisiologia Vegetal, Lena, Joel e Odorêncio.

Meus agradecimentos a Grécia, Alessandro, Andrea, João Paulo e demais colegas do curso.

À amiga Profa. Ana Hortência, pelo apoio e amizade.

Aos alunos de iniciação científica Eliana, Eduardo, Ramon, Alexandre e, em especial, à Marilza, pelo acompanhamento durante toda fase experimental.

A todos que, de alguma forma, participaram deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Aspectos gerais do experimento	9
3.2 Crescimento de ramos, folhas e número de nós	12
3.3 Características climáticas	12
3.4 Teor de clorofila total	12
3.5 Análise de nitrato no solo	13
3.6 Atividade da redutase do nitrato	13
3.7 Coleta e processamento de folhas e raízes para as determinações do nitrato foliar, radicular e do nitrogênio total foliar	14
3.8 Produção	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 Testes preliminares	16
4.2 Experimento de época e local de aplicação do nitrato de potássio	19
5 CONCLUSÕES	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS A	60

RESUMO

FREITAS, Rupert Barros de. Adubação do cafeeiro com nitrato de potássio via solo e folha no outono-inverno e primavera-verão. 2004. 66p. Tese - (Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

A literatura tem mostrado que, para o cafeeiro, a substituição da adubação nitrogenada no solo pela aplicação nitrogenada via folha não traz benefícios adicionais. No entanto, esses resultados, na maioria das vezes, foram obtidos utilizando-se adubos como a uréia, nitrato de potássio ou cloreto de potássio em concentrações de até 2% ou um pouco mais. Diante disso, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adubação de 100 g de N/ano/planta, dividida em três épocas (outono-inverno, primavera-verão, outono-inverno e primavera-verão) e três modos de aplicação (na folha, no solo, na folha e no solo) no desenvolvimento da planta, na atividade da redutase do nitrato foliar e radicular, no teor de clorofila total, de nitrato foliar e radicular, e na produção de plantas da cultivar Rubi MG com quatro anos de idade. A combinação de épocas e modo de aplicação totalizaram nove tratamentos que foram distribuídos em blocos ao acaso com quatro repetições de cinco plantas, sendo três úteis. A atividade da redutase do nitrato foliar foi estimulada ao pulverizar as folhas com nitrato de potássio e também ao fornecê-lo no solo. Nas raízes, não ocorreram diferenças na atividade dessa enzima, por meio da adubação nos dois locais. As maiores produções e taxas de crescimento vegetativo foram obtidas pelas pulverizações nitrogenadas aplicadas nos períodos de outono-inverno ou no de primavera-verão. Parcelando o nitrato de potássio nos dois períodos, tanto nas folhas, no solo ou folha e solo, foi possível encontrar os mesmos ganhos em produção. Considerando a adubação de solo na primavera-verão como aquela normalmente realizada pelos produtores e comparando-se com a que se fez a complementação nitrogenada nas folhas, esta última proporcionou maiores produções nesta mesma época. Por meio do fornecimento de toda quantidade do fertilizante nas folhas (outono-inverno), apenas no solo ou nas folhas em complementação ao solo (outono-inverno e primavera-verão), foi possível constatar um maior número de frutos e crescimento de ramos. Apesar da inviabilidade de um grande número de pulverizações, conforme as que foram realizadas neste experimento, os dados

* Comitê Orientador: Prof. Dr. José Donizeti Alves - UFLA (Orientador), Dr. Marcelo Murad Magalhães - EMBRAPA/CAFÉ e Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG (Co-Orientadores).

permitem concluir que, eventualmente, uma ou mais pulverizações com nitrato de potássio a 25% podem substituir eficientemente a adubação nitrogenada no solo.

ABSTRACT

FREITAS, Rupert Barros de. Coffee tree fertilization with potassium nitrate via soil and leaf in autumn-winter and spring-summer. 2004. 66p. Thesis - (Doctorate in Agronomy/Plant Physiology) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

The literature has shown that for coffee tree the substitution of nitrogen fertilization via soil by nitrogen fertilization via leaf did not cause additional effects. Although, these results, in most of cases were obtained using fertilizers like urea, potassium nitrate or potassium chloride in concentrations until 2% or little higher. Based in these facts, this study aimed to verify the effect 100g fertilization of nitrogen/year/plant, divided in three times (autumn-winter; spring-summer, autumn-winter and spring-summer) and three mode of application (leaf, soil, leaf and soil) during plant development, leaf and root nitrate activity, total chlorophyll level, root and leaf nitrate level, and the yield of plants from Rubi MG cultivar with four years old. The time combinations and mode of application totalized nine treatments were distributed in random blocks design with four replicates containing five plants being three of them used to obtain data. The leaf nitrate reductase activity was stimulated, when leaves were sprayed with potassium nitrate and also when this fertilizer was added in soil. In the root, there no differences in this enzyme activity, based in the fertilization in two places. The highest yields and vegetative growth rate were obtained from nitrogen pulverization applied in autumn-winter or in spring-summer period. Dividing the potassium nitrate in two periods in leaf, as well as in soil or leaf, it was possible to reach the same increase in yield. Considering the fertilization in soil in spring-summer, like that one regularly made by producers, and comparing with plants that received additional nitrogen in leaves, this latter caused higher yield in the same time. Based in the total amount of fertilizers applied in leaves (autumn-winter), only in soil or in leaves in complementation to soil (autumn-winter or spring-summer) it was possible to verify the higher number of fruit and shoot growth. Despite the inviability of large number of pulverization like that ones made in this experiment, the data suggest that eventually one or more pulverization with potassium nitrate 25% could efficiently substitute the nitrogen fertilization in soil.

* Guidance Committee: Prof. Dr. José Donizeti Alves - UFLA (Adviser), Dr. Marcelo Murad Magalhães - EMBRAPA/CAFÉ and Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG (Co-Advisers).

1 INTRODUÇÃO

A utilização de adubações foliares nitrogenadas tem sido considerada ineficiente pelos produtores, visto que plantas como o cafeeiro não são capazes de manter o mesmo padrão de crescimento, desenvolvimento e produção em relação às plantas supridas com macronutrientes no solo. Sendo assim, o fornecimento de macronutrientes via solo, de forma parcelada e em três a quatro vezes ao ano, na época quente, chuvosa e de desenvolvimento vegetativo, tem sido a mais usual. No caso particular do nitrogênio (N), suas adubações, quando realizadas na época de outono-inverno, têm mostrado efeitos positivos no crescimento vegetativo e na produtividade do cafeeiro. Independentemente da época de adubação, a umidade do solo, a acidez e as fortes chuvas podem prejudicar a disponibilidade dos nutrientes fornecidos ao solo, o que eventualmente limita a sua utilização.

As pulverizações foliares em cafeeiros vêm sendo utilizadas para o fornecimento dos micronutrientes, os quais são exigidos em menores quantidades pelas diferentes espécies. Para os macronutrientes, as doses fornecidas às folhas são insuficientes o que, conseqüentemente, não promove os efeitos desejados nas culturas. No entanto, estudos preliminares têm mostrado que a elevação da quantidade de nitrato de potássio nas pulverizações pode favorecer o desenvolvimento de cafeeiros sem proporcionar necroses significativas na superfície foliar, tornando, possivelmente, viável o uso dessa técnica.

Pelo exposto, buscou-se neste trabalho, verificar o efeito da adubação de nitrato de potássio (100 g de N/ano/planta), dividida em três épocas (outono-inverno, primavera-verão, outono-inverno e primavera-verão) e em três modos de aplicação (na folha, no solo, na folha e solo) avaliando-se a sua influência no

desenvolvimento da planta, na atividade da redutase do nitrato foliar e radicular, no teor de nitrato foliar e radicular, no teor foliar de clorofila e de nitrogênio total e na produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De maneira geral, os solos onde estão implantadas as principais lavouras cafeeiras no Brasil caracterizam-se por alta acidez, baixos teores de nutrientes e elevados teores de alumínio e/ou manganês (Guimarães, 1982; Garcia, 1983). Nessas condições, as plantas têm seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo seriamente prejudicado, sendo, portanto, necessária a correção da fertilidade do solo por meio da adubação e da calagem. Assim, tem-se observado que lavouras instaladas em solos pobres, quando convenientemente manejadas e adubadas, têm as suas condições de solo melhoradas anualmente, chegando a não diferir em produtividade das lavouras implantadas em solos férteis (Guimarães & Lopes, 1986). Para tanto, o modo de aplicação dos macronutrientes comumente empregado é aquele via solo, com incorporação ou não do adubo, enquanto que a correção de deficiência de micronutrientes é feita, na maioria das vezes, mediante aplicações foliares (Malavolta, 1986). A eficiência da utilização do adubo, quando aplicado ao solo, vai depender da interação dos elementos com a fração argila de solos intemperizados como os latossolos, da umidade do solo, da densidade e profundidade de raízes, da lixiviação dos minerais, do escoamento superficial de água e da reciclagem dos nutrientes, dentre outros. Estes fatores, normalmente limitantes quando presentes isoladamente ou em diferentes combinações, diminuem sensivelmente a eficiência da adubação, comprometendo a produção do cafeeiro.

No caso particular do N, este encontra-se, na grande maioria, na forma de NO_3^- e, quando em solos agricultáveis, onde predominam as cargas negativas, esse elemento apresenta uma grande mobilidade, podendo, dessa forma, ser lixiviado com a água de percolação para as camadas subsuperficiais, fora do alcance das raízes, com a conseqüente contaminação das águas subterrâneas

(Rayne, 1946; Malavolta, 1986). Por esse motivo, alguns pesquisadores sugerem o parcelamento das adubações nitrogenadas de solo (Kupper, 1976, Viana, 1980, Schuch, 1994; Barros et al., 1997, Sanzonowicz et al., 2000) ou a pulverização foliar (Rosolem et al., 1982; Machado et al., 1982; Carvalho et al., 2001).

Quanto a esse último modo de aplicação, diversos trabalhos encontrados na literatura têm mostrado que a substituição da adubação nitrogenada no solo pela nutrição via folha não trouxe nenhum benefício adicional ao cafeeiro. Assim, Garcia et al. (1983) mostraram que o nitrogênio, quando aplicado nas folhas, não atendeu à demanda do cafeeiro, seja na fase de formação ou na fase de produção, onde refletiu de forma negativa. Com isso, concluíram que este nutriente deve ser aplicado no solo. Santinato & Pereira (1996) comprovaram esta afirmação ao estudarem os efeitos da aplicação de soluções de nitrato de potássio via foliar, não encontrando resultados significativos para o aumento na produção. De maneira semelhante, Santinato & Camargo (1989), Viana (1981) e Martins et al. (1980), por não encontrarem efeitos benéficos no desenvolvimento e na produção dos cafeeiros submetidos às suplementações foliares de N, P e K sugeriram que quando estas plantas são adubadas no solo de forma equilibrada, a adubação foliar torna-se dispensável.

Mais recentemente, Matiello (1997) ratificou esses resultados ao mostrar que cafeeiros que receberam oito aplicações foliares com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), na substituição parcial e total das adubações de solo, não conseguiram manter o mesmo nível de produtividade das plantas que receberam esses nutrientes somente no solo. Em casos semelhantes, em que cafeeiros receberam quinzenalmente até dez pulverizações de uréia ao ano, Franco e Grohman (1984) constataram que a quantidade de N absorvido pelas folhas não foi suficiente para satisfazer às suas exigências para o seu período de desenvolvimento vegetativo. Em vista destes e de outros resultados, estes autores, além de Franco (1984), relataram a necessidade de várias pulverizações

para elevar o teor foliar de N próximo a 3%, ressaltando, contudo, que o custo elevado desta prática limitaria sua utilização.

A despeito dos vários trabalhos mostrando que o fornecimento de N via folha é ineficiente para suprir as exigências nutricionais do cafeeiro, Malavolta (1981) relatou ser possível corrigir a deficiência de N em cafeeiros com três anos de idade, mediante pulverizações com solução de uréia a 2,5%, aplicada na quantidade de quatro litros da solução por planta. Entretanto, Franco & Grohman (1984) atribuem os bons resultados encontrados ao fato da maior parte aplicada em alto volume cair no solo e ser absorvida pelas raízes. Por outro lado, na maioria das pesquisas realizadas, em que se desqualificou a eficiência da aplicação nitrogenada foliar ao cafeeiro, foram utilizados adubos como a uréia, nitrato de potássio ou cloreto de potássio na concentração de 2%, aplicando-se um volume de calda de 300 mL por cafeeiro, que proporcionava um bom molhamento das plantas bem enfolhadas, sem acontecer o escorrimento superficial por excesso. Nessas condições, os cálculos teóricos realizados por Rena et al. (2000) mostraram que essa quantidade de N aplicada seria insuficiente para suprir as necessidades desse nutriente. Estes autores demonstraram, no caso da uréia, que uma única aplicação da calda numa concentração a 2%, utilizando-se 200mL desta por planta e considerando-se a eficiência na pulverização na ordem de 60%, forneceria apenas 0,03% N, sendo que o teor adequado deste nutriente, segundo Malavolta (2000), estaria em torno de 3%. Neste caso, seria necessário um grande número de pulverizações para se obter uma possível eficiência, sendo que o custo elevado desta prática, limitaria sua utilização.

Pelo que foi exposto, fica claro que um dos motivos para a falta de resultados positivos no uso da adubação nitrogenada foliar se deve ao fato das pequenas quantidades de adubo no preparo da calda de pulverização. Possivelmente, concentrações mais elevadas poderiam contribuir para uma

maior eficiência dessa técnica. Entretanto, a aplicação de adubos nitrogenados em concentrações elevadas é uma tecnologia ainda pouco estudada para que o cafeicultor a utilize com segurança. Essa limitação se deve ao fato de que, dependendo da força iônica da solução, concentrações superiores a 2,5%, normalmente causam uma grande queima das folhas e brotações (Malavolta, 1980). Quanto à época de fornecimento dos adubos para cafeeiros em produção, normalmente ela ocorre após as primeiras chuvas, com o umedecimento do solo, quando se tem o início da vegetação e, posteriormente, no pegamento da florada e no período de crescimento dos frutos. Como o N está sujeito a perdas por lixiviação e evaporação, fraciona-se a dose de aplicação desse nutriente, durante a época de maior demanda nutricional, com intuito de permitir um melhor aproveitamento do mesmo.

Os estudos da fenologia do cafeeiro mostraram, nas condições de Viçosa, em Minas Gerais, que a estação de crescimento vegetativo ativo do cafeeiro compreenderia o período quente e chuvoso (setembro-março), que é interrompido por uma fase de crescimento lento na estação seca e fria (março-setembro) e, que durante o inverno, os decréscimos nas taxas de crescimento sejam devido ao número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de 16°C (Amaral, 1991). Como o padrão sazonal do crescimento não foi alterado pela irrigação e nem pela desfrutificação (Mota, 1988), imaginou-se que a adubação nitrogenada de cafeeiros irrigados durante a época fria poderia amenizar a queda na taxa de crescimento naquele período, aumentando a produção no próximo ano, seja pela obtenção de ramos maiores ou pela melhor nutrição orgânica resultante daquela prática (Amaral, 1991).

Os resultados desse experimento mostraram que o padrão de crescimento dos ramos plagiotrópicos e da área foliar não foi modificado, ou seja, depois de experimentar um período de grande atividade na estação quente, os cafeeiros praticamente entraram em repouso no inverno a despeito da adição suplementar

de N, tanto na forma nítrica quanto na amídica, na água de irrigação no período de frio. Por outro lado, com a retomada do crescimento vegetativo, quando a temperatura começou a subir, em meados de setembro, as plantas que receberam adubação nitrogenada suplementar de inverno mostraram, durante toda a estação de crescimento ativo, um incremento no crescimento de ramos e de área foliar 30% maior que aquelas que não receberam adubação nitrogenada adicional de inverno no solo. Estes resultados permitiram também antever uma maior safra no ano seguinte, em função do maior número de entrenós formados em consequência dessa prática. Desse modo, este trabalho leva a concluir que as adubações nitrogenadas de inverno garantiriam incrementos nas próximas duas safras.

O mecanismo fisiológico responsável pelos efeitos positivos dessa prática está ligado à particular característica que o cafeeiro apresenta de assimilar o N tanto na raiz quanto nas folhas (Alves et al., 1985; Queiroz et al., 1993). Este fato se deve à capacidade dos cafeeiros em sintetizar, naqueles dois órgãos, a redutase do nitrato, uma enzima chave do metabolismo do nitrato, que reduz o nitrato a nitrito (Miranda Neto, 1970; Queiroz, 1986). Acontece que a redutase do nitrato é uma enzima altamente modulada pelos fatores extremos de ambiente, como luz, temperatura e água, entre outros (Rufy et al., 1982; Meguro & Magalhães, 1983; Claussen, 1986; Rodrigues, 1988, Amaral, 1991). No caso particular do trabalho realizado por Amaral (1991), as plantas, independentemente de terem recebido ou não o adubo nitrogenado, mostraram, durante o período de frio, uma paralisação do metabolismo do N nas folhas, em função da queda da temperatura mínima do ar abaixo de 12,5^oC. Por outro lado, aquelas que foram adubadas via solo, com N no inverno, apresentaram, durante este mesmo período de frio, uma elevada atividade da enzima na raiz, uma vez que, nesta época, a temperatura do solo, em momento algum, ficou abaixo de 20^oC. Sabendo-se que a síntese e a atividade da redutase do nitrato são induzidas

pelo nitrato (Beevers & Hageman, 1980; Campbell, 1988; Crawford et al., 1992), tornou-se esperado então, que a atividade dessa enzima no sistema radicular se apresentasse elevada, como ocorreu naquele período. Assim, em cafeeiros testemunha, os decréscimos graduais e progressivos da atividade da redutase do nitrato radicular poderiam ser atribuídos à diminuição da disponibilidade de nitrato nesse órgão.

Em síntese, o que limitou o metabolismo do N na parte aérea do cafeeiro no período de frio foi a temperatura. Daí a paralisação no crescimento das plantas naquela estação do ano. Por outro lado, o estímulo na atividade da enzima na raiz só foi possível devido à aplicação de N no solo, pois a temperatura não se apresentou limitante neste local, permitindo, dessa forma, o funcionamento da enzima nas raízes. Neste ponto, é importante destacar que o crescimento das raízes do cafeeiro em relação à parte aérea é autônomo e quase sempre precede o crescimento da parte aérea (Huxley & Turk, 1976). Com a prática de adubar no inverno, foi possível verificar uma antecipação no crescimento das raízes. Neste período, o sistema radicular apresentou intensa atividade metabólica, permitindo um crescimento adicional dos pêlos radiculares. Sendo assim, foi possível constatar que, a partir de setembro, período em que a temperatura aumentou em valores satisfatórios, ocorreu uma taxa extra de crescimento da parte aérea. O crescimento radicular na época do outono-inverno pode ser explicado como uma resposta da parte aérea, visto que as raízes contribuíram de forma significativa por meio do suprimento adequado de água e minerais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos gerais do experimento

O presente trabalho foi conduzido em uma lavoura de café da cultivar Rubi MG, com aproximadamente quatro anos, implantada no espaçamento de 3,5m x 0,8m e cultivada a pleno sol. A área experimental, cujo solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, com declividade média de 8%, pertence à Universidade Federal de Lavras, situada no município de Lavras, ao sul do estado de Minas Gerais, a 918m de altitude, 21°14'S de latitude e longitude 44,9°00' W GRW. Até a instalação do experimento, a lavoura estava sendo adubada de acordo com as Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (Ribeiro et.al., 1999).

Fez-se, inicialmente, um ensaio preliminar para se conhecer a concentração de nitrato de potássio (13,5% de N + 45% de K₂O) a aplicar. Foram pulverizadas soluções de nitrato de potássio preparadas a 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% na quantidade de 300mL por planta. Dois dias após a aplicação dos tratamentos, foram coletadas folhas para a determinação da atividade da redutase do nitrato, conforme Alves et al.(1985). Oito dias depois, foi realizada a coleta de folhas do terceiro ou quarto par para determinação do teor de nitrogênio total, conforme Malavolta et al. (1997). Até essa época, não foram verificadas necroses da superfície foliar em função das soluções aplicadas em diferentes concentrações de nitrato de potássio. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições, sendo uma planta por repetição.

Uma vez definida a dose a ser utilizada nas pulverizações do cafeeiro com nitrato de potássio (25%) e que não provocou necrose na superfície foliar, decidiu-se pela adubação anual com 100 g de N/ano/cafeeiro, dividida em três épocas (outono-inverno, primavera-verão, outono-inverno e primavera-verão) e

em três modos de aplicação (na folha, no solo, na folha e no solo), formando então, os nove tratamentos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Tratamentos formados a partir das adubações no outono-inverno, primavera-verão, e outono-inverno e primavera verão, dos locais das adubações e das quantidades de nitrato de potássio aplicadas.

Tratamento	Períodos das adubações	Local das adubações	Quantidades aplicadas de nitrato de potássio
1	Outono-inverno	Solo	5 aplicações a cada 30 dias em abril, junho, julho, agosto e setembro com 20g de N/planta (100g totais)
2	Outono-inverno	Folha	10 aplicações a cada 15 dias em abril, junho, julho, agosto e setembro com 10g de N/planta (100g totais) por meio de solução 300 mL por planta a 25%
3	Outono-inverno	Folha e solo	5 aplicações a cada 30 dias com 4 g de N na folha (solução a 10%) e 16 g de N no solo, em abril, junho, julho, agosto e setembro
4	Primavera-verão	Solo	5 aplicações a cada 30 dias, em outubro, novembro, janeiro, fevereiro e março, com 20g de N/planta (100g totais)
5	Primavera-verão	Folha	10 aplicações a cada 15 dias em outubro, novembro, janeiro, fevereiro e março, com 10g de N/planta (100g totais) por meio de solução 300 mL por planta a 25%
6	Primavera-verão	Folha e solo	5 aplicações com 4 g de N na folha (solução a 10%) e 16 g de N no solo, em outubro, novembro, janeiro, fevereiro e março
7	Outono-inverno e primavera-verão	Solo	10 aplicações a cada 30 dias, em abril, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro, janeiro, fevereiro e março com 10g de N/planta (100g totais)
8	Outono-inverno e primavera-verão	Folha	10 aplicações a cada 30 dias em abril, junho, julho, agosto e setembro com 10g de N/planta (100g totais) por meio de solução 300 mL por planta a 25%
9	Outono-inverno e primavera-verão	Folha e solo	10 aplicações com 2 g de N na folha (solução a 5%) e 8 g de N no solo, em abril, junho, julho, agosto, setembro outubro, novembro, janeiro, fevereiro e março

As plantas que receberam adubação foliar no outono-inverno (abril, junho, julho, agosto e setembro) ou na primavera-verão (outubro, novembro, janeiro, fevereiro e março), foram pulverizadas com 10 g de N a cada 15 dias, perfazendo dez aplicações (100 g de N), enquanto que aquelas que foram pulverizadas nas duas épocas, outono-inverno e primavera-verão, o intervalo de aplicação foi mensal. Cada pulverização resultou na aplicação de solução de nitrato de potássio preparadas a uma concentração de 25%, sendo gastos, em média, 300 mL de solução por planta, tomando-se o cuidado de se evitar escorrimento da solução para o solo.

A adubação via solo consistiu da aplicação de 20g de N em intervalo mensal no outono-inverno ou na primavera-verão. Quando os cafeeiros foram adubados no outono-inverno e na primavera-verão, aplicaram-se, mensalmente 10g de N. Os tratamentos referentes à adubação combinada de solo e folha consistiram da aplicação de 4g de N na folha, o que correspondeu a uma solução a 10% de nitrato de potássio e os 16g de N restantes foram adicionados ao solo no outono-inverno ou primavera-verão. Quando este parcelamento foi realizado no período de outono-inverno e de primavera-verão, as quantidades deste nutriente foram reduzidas à metade, tanto para folha quanto para o solo. A combinação de épocas e modo de aplicação totalizaram então, nove tratamentos, que foram distribuídos em blocos ao acaso, com quatro repetições de cinco plantas por unidade experimental. A fim de promover uma melhor distribuição do nitrato de potássio no solo, no período de baixa precipitação pluvial, todas as plantas, incluindo aquelas que receberam o adubo via folha, foram irrigadas, na época da adubação, com 20 litros de água no solo.

Durante a fase experimental, foi realizado o controle de pragas, doenças e de plantas daninhas, quando necessário.

3.2 Crescimento de ramos, folhas e número de nós

Antes da aplicação dos tratamentos, foram marcados dois ramos plagiotrópicos voltados para os dois lados da rua, no terço superior da copa de três plantas por repetição, nos quais foram tomados, mensalmente, o comprimento e o número de nós. Nestas mesmas ocasiões foram medidos a largura e o comprimento de duas folhas por planta que, depois de multiplicados entre si e por 0,667 (Barros et al., 1973) determinaram os valores da área foliar.

3.3 Características climáticas

A temperatura do ar e a precipitação pluvial foram obtidas na estação meteorológica da Universidade Federal de Lavras, situada a aproximadamente 300 m do experimento. A temperatura do solo, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, foi determinada na região correspondente à projeção da copa do cafeeiro, nos horários compreendidos entre 9:00 e 10:00h e 14:00 e 15:00h, utilizando-se um sensor de temperatura do solo LI 1400-103 acoplado a um sistema de registro LI-1400.

3.4 Teor de clorofila total

Depois de coletadas dezesseis folhas completamente expandidas do terço superior de quatro plantas, estas foram imediatamente envolvidas em papel alumínio, acondicionadas em caixa de isopor com gelo e transferidas rapidamente para o laboratório. Estas coletas foram realizadas sempre que os cafeeiros foram adubados. A seguir, essas folhas foram lavadas, secas em papel-toalha e fragmentadas com o auxílio de uma tesoura com objetivo de obter uma amostra composta por repetição. Em cada amostra, foi quantificado o teor de clorofila total, segundo a metodologia proposta por Arnon (1949).

3.5 Análise de nitrato no solo

A coleta de solo para determinação do teor de nitrato foi realizada em julho de 2002 e maio de 2003. Uma amostra simples foi coletada em cada repetição, na projeção da copa dos cafeeiros e, em seguida, homogeneizadas, obtendo-se assim uma única amostra compostas para cada tratamento. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente enviadas para o Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras, a fim de se proceder às avaliações do nitrato e as demais determinações químicas, de rotina.

3.6 Atividade da redutase do nitrato

A atividade da redutase nitrato, foi determinada conforme a metodologia descrita por Alves et al. (1985) e por Queiroz (1986).

As coletas das folhas e das raízes para a quantificação da atividade da redutase do nitrato foram realizadas às 9:00 horas e às 14:00 horas, 48 horas após os cafeeiros receberem adubação com nitrato de potássio. Para tanto, foram tomadas sete folhas por repetição, que foram imediatamente colocadas em sacos de papel e transferidas para o laboratório, em um tempo máximo de trinta minutos. Estas folhas foram submetidas à lavagem com água de torneira e, em seguida, lavadas novamente com água destilada, esfregando-as com auxílio de um algodão para uma melhor limpeza da superfície da folha e, posteriormente, secas com papel toalha. Foram retirados sete discos foliares numa amostra composta destas sete folhas. Estes discos foram colocados juntamente ao meio de incubação, composto do tampão fosfato de potássio 200mM, a pH 7,5, propanol 100%, triton 100%, cloranfenicol 1000ppm. Em seguida, foi adicionado, em cada frasco, 0,5 mL de nitrato de potássio a 1 M, sendo estes

discos submetidos a vácuo e incubados em banho-maria com agitação, a 30°C, por 40 minutos.

Para o estudo da atividade da redutase do nitrato radicular, coletaram-se as radículas nas quatro repetições, em cada tratamento, na região correspondente à projeção da copa dos cafeeiros, com auxílio de um trado. Após a coleta, as amostras eram rapidamente transferidas para sacos plásticos contendo água. No laboratório foram lavadas em água corrente e selecionadas aquelas com diâmetro aproximado de 0,6 mm. Imediatamente após, foi realizada uma segunda lavagem com água destilada e, a seguir, as amostras foram fragmentadas com auxílio de um estilete. Finalmente, foram secas com papel-tolha e acondicionadas em 4,5 mL do mesmo meio de incubação, não contendo o triton 100%. Em seguida, foi realizado o borbulhamento do meio de incubação com nitrogênio gasoso, por um período de dois minutos e, logo depois, foram adicionados 0,5 mL de nitrato de potássio a 1M e incubados em banho-maria a 30°C, por 40 minutos.

Para a quantificação do nitrito formado, foram retiradas alíquotas do meio de incubação e colocadas junto ao meio de reação, composto de 1 mL de sulfanilamida 1% em HCl 1,5 N, 1 mL de n-1-naftiletilenodiamina 0,02%, 1,5 mL de água destilada. Os discos foliares, após a secagem da água superficial, foram pesados, obtendo-se, então, a matéria fresca. As absorbâncias foram determinadas a 540nm.

3.7 Coleta e processamento de folhas e raízes para as determinações do nitrato foliar, radicular e do nitrogênio total foliar

Foram coletadas, ao acaso, em cada época de adubação, após as pulverizações, vinte folhas no terceiro ou quarto par, nos ramos plagiotrópicos do terço superior do cafeeiro e, aproximadamente, 100mg de raízes, em três plantas úteis, em cada repetição. Em seguida, tanto as folhas quanto as raízes

foram lavadas com água de torneira e, posteriormente, com água destilada, utilizando-se de um pedaço de algodão para a remoção de possíveis detritos na superfície foliar. Após secas em estufa a 70°C, as amostras das folhas e das raízes foram trituradas em moinho Willey, com peneira de 20 mesh e armazenadas sob temperatura ambiente, para a quantificação do nitrato, segundo a metodologia descrita por Cataldo et al. (1975) e do nitrogênio total, segundo Malavolta et al. (1997).

3.8 Produção

Ao final do experimento, quando os cafeeiros receberam toda a dose de N, seja na folha, no solo ou na folha e no solo, foram coletados os frutos de cinco plantas em cada repetição, obtendo-se assim a produção média em cada tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes preliminares

No ensaio exploratório para se estudar a dose de nitrato de potássio a ser utilizada nas pulverizações, verificou-se que os teores de nitrogênio total nas folhas, coletadas nove dias após a pulverização das plantas, não variou em função das doses empregadas (Figura 1). Por outro lado, observou-se um incremento na atividade da redutase do nitrato foliar em função da concentração do fertilizante aplicado (Figura 2). A atividade da enzima aumentou significativamente quando a concentração do adubo passou de 0 para 5%, permaneceu inalterada até 20%, quando então sofreu um novo incremento em 25%, vindo a cair para as mesmas doses observadas anteriormente na concentração de 30%. Este aumento da atividade da redutase do nitrato foliar, promovido pela presença de N, foi constatado por Amaral (1991), quando, ao suplementar cafeeiros com adubos nitrogenados no inverno, observou, no início do período vegetativo, um aumento da atividade dessa enzima em relação às plantas, que não foram adubadas com N. Também Pedroso (1977) verificou que o fornecimento de doses crescentes de fertilizante nitrogenado em cafeeiros promoveu aumentos da atividade da redutase do nitrato. Constatou, ainda, que as maiores produções foram obtidas nas plantas que receberam as maiores quantidades de adubo, o que relacionou com as maiores atividades da redutase do nitrato.

As plantas testemunhas apresentaram concentrações de N próximas a 3,5%, um nível considerado alto para o cafeeiro (Malavolta, 1986). Observa-se, entretanto, que a atividade da redutase do nitrato nessas folhas estava, aproximadamente, 52,4% abaixo da máxima observada quando se empregou a dose de nitrato de potássio a 25%. Desse modo, conclui-se que, apesar do alto

teor de N total nas folhas, a quantidade de nitrato disponível no sítio de ação da enzima era limitante. Uma vez que a enzima redutase do nitrato é induzida pelo substrato, o nitrato (Beevers & Hageman, 1980; Campbell, 1988; Crawford et al., 1992), a análise conjunta dos dados revela que houve absorção deste ânion para o citoplasma das células, ativando a enzima ou a expressão de seus genes específicos. Ao mesmo tempo, pode ter havido o transporte dos produtos de sua ação ou mesmo do nitrato para outras partes das plantas; daí, o não incremento nos teores de N total. O N é um nutriente bastante móvel na planta, possuindo a capacidade de translocar para locais de maior demanda, como as regiões de crescimento vegetativo. A clorose generalizada uma característica de sua deficiência, se inicia pelas folhas mais velhas passando para as mais novas, o que vem reafirmar a sua alta mobilidade (Malavolta, 1980, Martinez et al., 2003). Este nutriente pode ainda ser mobilizado durante o crescimento dos frutos (Malavolta, 1986), proporcionando uma redução nos seus teores foliares (Medcalf et al., 1955). Sendo assim, é perfeitamente possível não verificar variações nos teores foliares de N total em função dos tratamentos aplicados.

É importante destacar que, nas concentrações acima de 5%, observou-se um acúmulo de sais de nitrato de potássio na superfície foliar que não provocou necrose das folhas e não interferiu no teor de clorofila e na subseqüentes brotações. Uma vez que não foram observados danos nas folhas, a concentração de 25%, por proporcionar uma maior atividade da redutase do nitrato, foi escolhida nas pulverizações foliares.

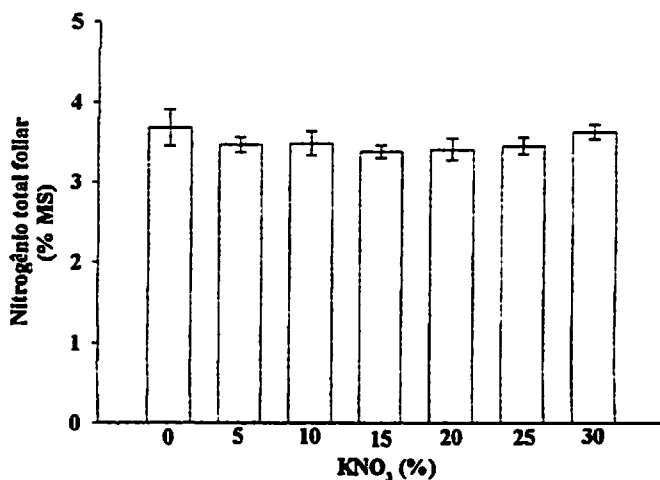


FIGURA 1. Teor de N total foliar em função de soluções de nitrato de potássio pulverizadas em diferentes concentrações (as barras representam o erro padrão da média de cinco repetições). UFLA, Lavras, MG, 2004.

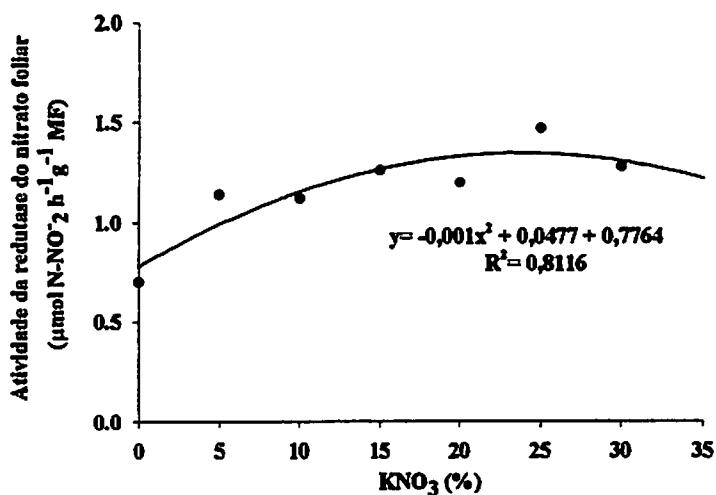


FIGURA 2. Atividade da redutase do nitrato foliar em função de soluções de nitrato de potássio pulverizadas em diferentes concentrações. UFLA, Lavras, MG, 2004.

4.2 Experimento de época e local de aplicação do nitrato de potássio

Quando a adubação com nitrato de potássio foi realizada no período de primavera-verão, observou-se, em ordem decrescente de valor, que, de maneira geral, os maiores teores de nitrato foliar (Figura 3a) e da redutase do nitrato foliar (Figura 4a) foram proporcionados pelos tratamentos com a aplicação total do adubo na folha, na folha e no solo (20% na folha e 80% no solo) e somente no solo. Estes resultados mostram que houve uma boa absorção do nitrato pelas folhas e indução da enzima por este ânion, uma vez que se relacionam com o local e doses aplicadas. O aumento da temperatura do ar (Figura 5a) e das precipitações pluviométricas (Figura 5b) contribuiu para o aumento da atividade da enzima neste período. Durante os meses mais quentes do ano, as temperaturas mínimas do ar observadas neste estudo situaram-se próximas a 15°C, o que, de acordo com Amaral (1991), é considerado satisfatório para a assimilação do nitrato nas folhas. Este autor observou, em suas investigações, aumentos da atividade da redutase do nitrato foliar no período da primavera-verão, o que atribuiu ao aumento das temperaturas mínimas do ar, semelhante ao que foi encontrado nestas condições de estudo.

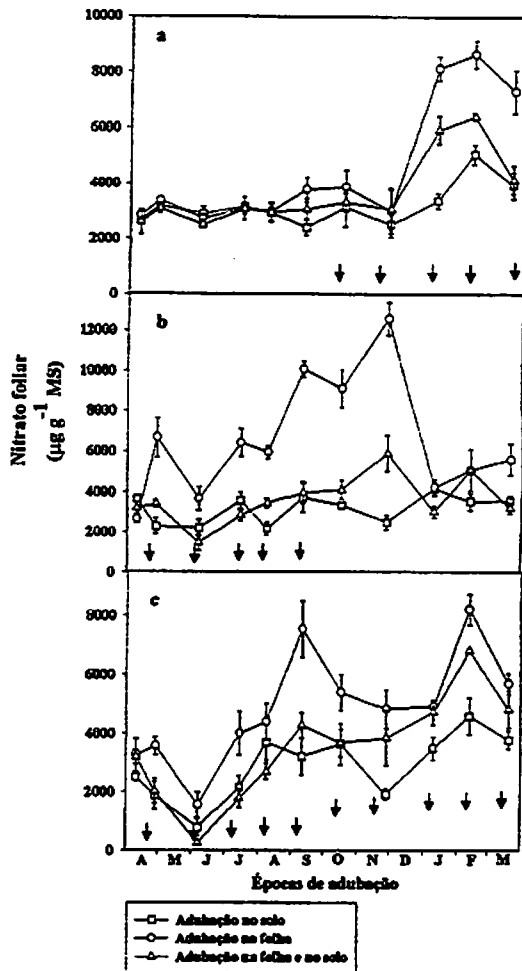


FIGURA 3. Teores de nitrato nas folhas de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, e na folha e no solo, nos períodos de primavera-verão (a), outono-inverno (b), e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.

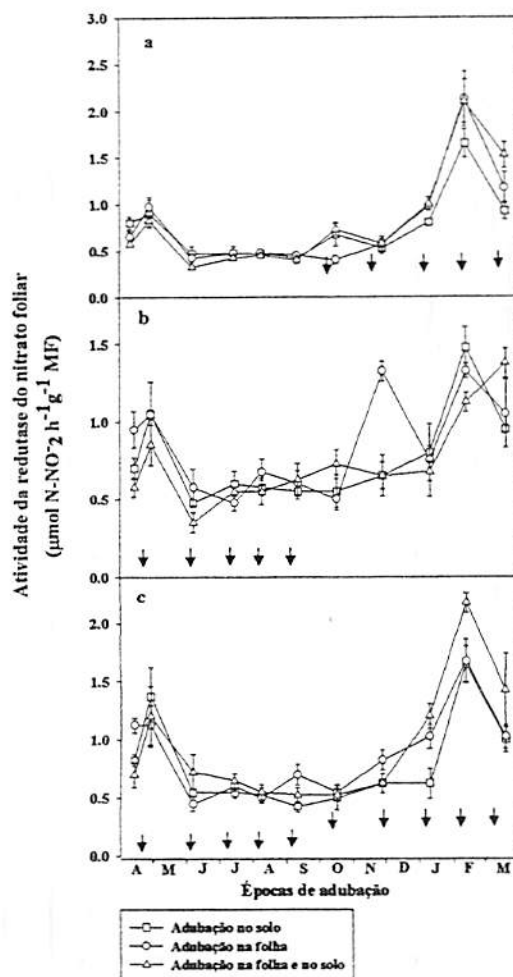


FIGURA 4. Atividade da redutase do nitrato foliar de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, e na folha e no solo, nos períodos de primavera-verão (a), outono-inverno (b) e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.

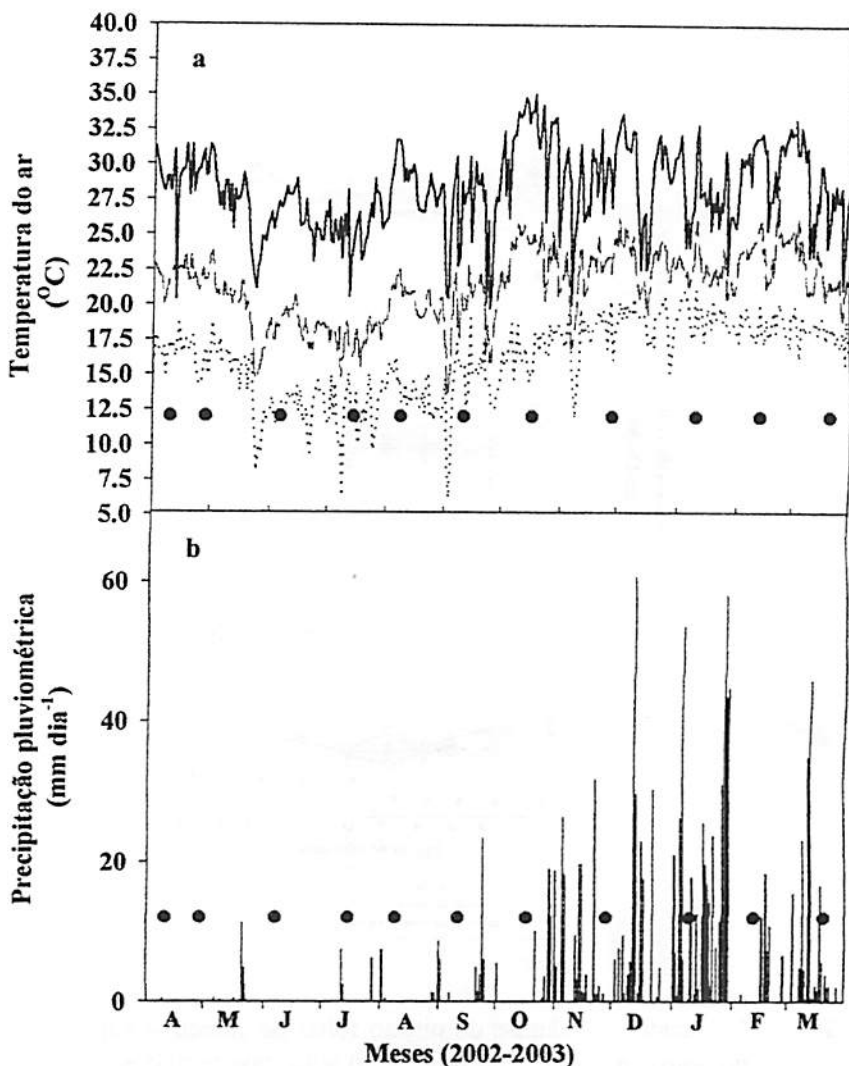


FIGURA 5. Valores diários de temperaturas (a) máxima (—), média (---), mínima (····) e precipitação diária (mm) (b), observados durante os meses de abril de 2002 a março de 2003. Fonte: Estação Climatológica de Lavras. UFLA, Lavras, MG, 2004 (os pontos indicam as datas em que foi determinada a atividade da redutase do nitrato).

Ao se analisar os teores de nitrato (Figura 6a) e a atividade da redutase do nitrato nas raízes (Figura 7a), observou-se que os tratamentos não diferiram de forma significativa nessas duas características não se verificando, assim, a mesma relação entre dose e local de aplicação do adubo. Observou-se também que, embora a temperatura do solo (Figura 8) tenha permanecido em valores considerados adequados para a atividade dessa enzima (Amaral, 1991), esta atividade foi considerada baixa nesse período. Portanto, essa pequena atividade da redutase do nitrato na raiz provavelmente está ligada aos baixos teores de substrato encontrados no solo naquela época (Figura 9), possivelmente em função de perdas provocadas por fortes precipitações pluviométricas ocorridas (Figura 5b).

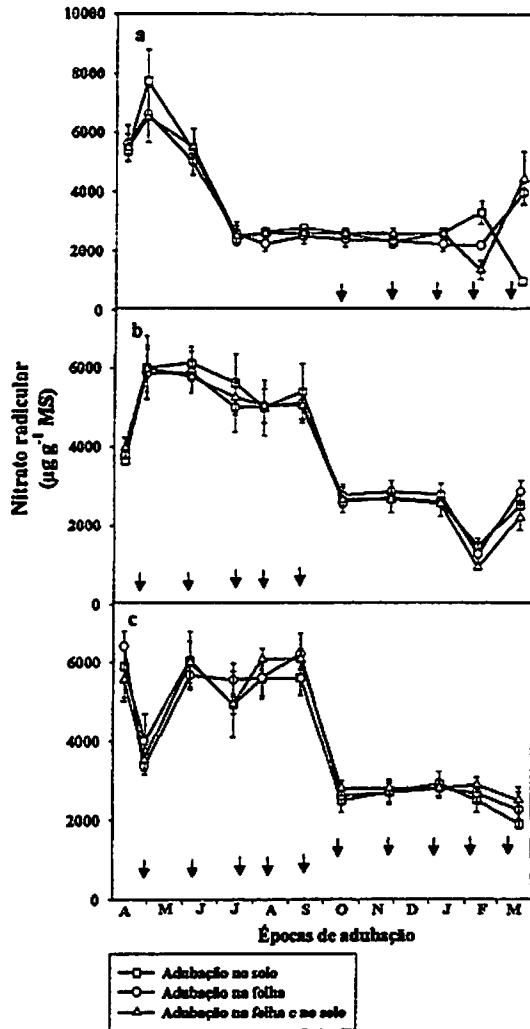


FIGURA 6. Teores de nitrato nas raízes de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, e na folha e no solo, nos períodos de primavera-verão (a), outono-inverno (b) e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.

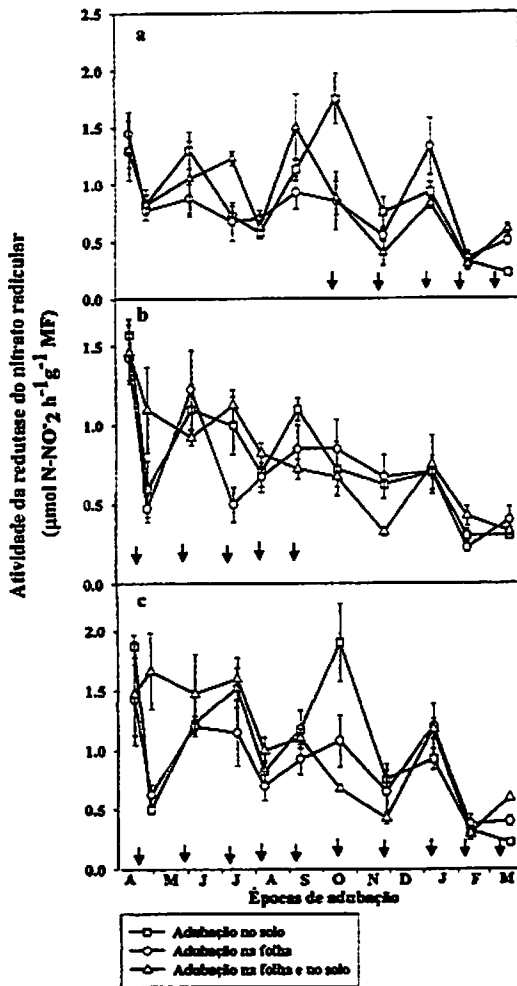
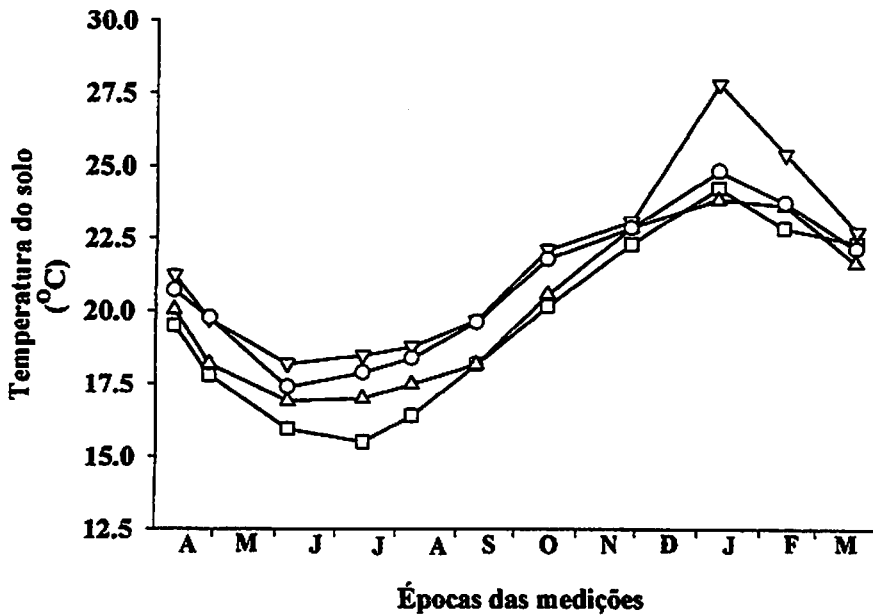


FIGURA 7. Atividade da redutase do nitrato radicular de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, na folha e no solo, no período de primavera-verão (a), outono-inverno (b) e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão de quatro repetições e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.



- Temperatura do solo na camada de 0-10cm às 9:00h
- △ Temperatura do solo na camada de 0-20cm às 9:00h
- ▽ Temperatura do solo na camada de 0-10cm às 14:00h
- Temperatura do solo na camada de 0-20cm às 14:00h

FIGURA 8. Temperatura do solo nas camadas de 0-10 e de 0-20cm, medida nos horários entre 9:00 e 10:00h e 14:00 e 15:00h, no período de abril de 2002 à março de 2003. UFLA, Lavras, MG, 2004.

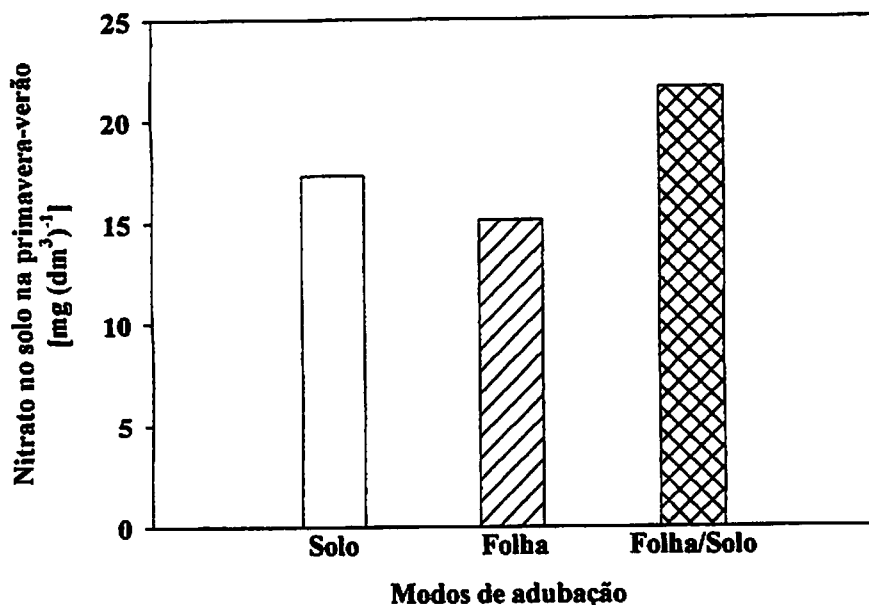


FIGURA 9: Teor de nitrato no solo no período de primavera-verão, relacionados aos diferentes modos de adubação na primavera-verão. UFLA, Lavras, MG, 2004.

O efeito de diferentes modos de aplicação do nitrato de potássio no período de primavera-verão mostrou que a adubação combinada de folha e solo proporcionou, durante todo o espaço de tempo de avaliação, maior crescimento dos ramos plagiotrópicos (Figura 10a) e de número de nós (Figura 11a). Em posição intermediária, encontra-se a adubação somente no solo e, por último, a aplicação foliar. Ao final do experimento, para os cafeeiros submetidos à adubação foliar complementar à do solo, observou-se um aumento de 39,1% no comprimento de ramo plagiotrópico, quando comparados ao tratamento em que este nutriente foi administrado somente na folha e de 14,2%, quando foi administrado no solo. A emissão de nós também foi favorecida quando parte da

adubação foi fornecida à folha e outra parte ao solo, proporcionando, em média, um aumento de 35% no número de nós em comparação às plantas que receberam o nitrato de potássio somente na folha, e de 26% em relação às conduzidas de forma tradicional, ou seja, no solo. Com relação ao crescimento das folhas, não foram observadas diferenças significativas em relação aos três modos de aplicação do adubo (Figura 12a).

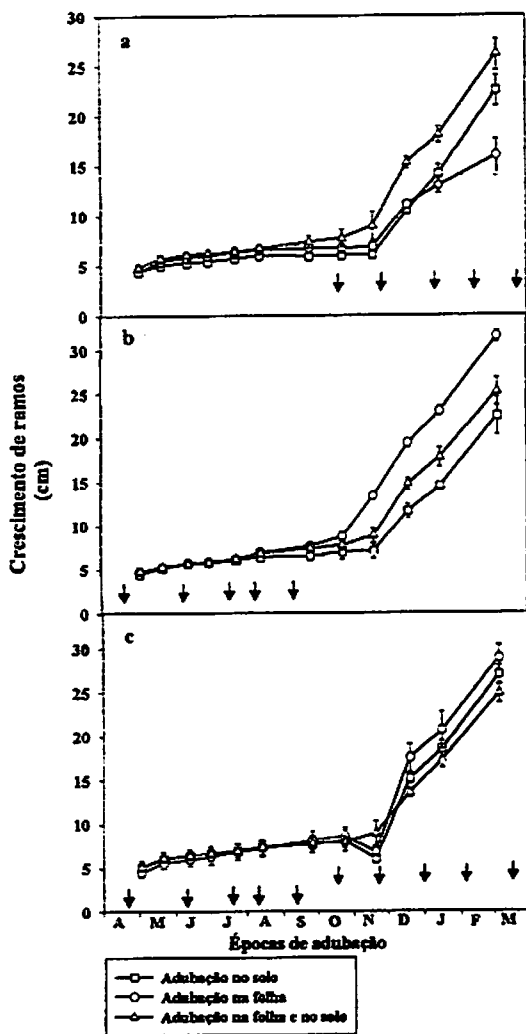


FIGURA 10. Crescimento de ramos plagiotrópicos de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, e na folha e no solo, nos períodos de primavera-verão (a), outono-inverno (b) e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições de doze ramos cada e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.

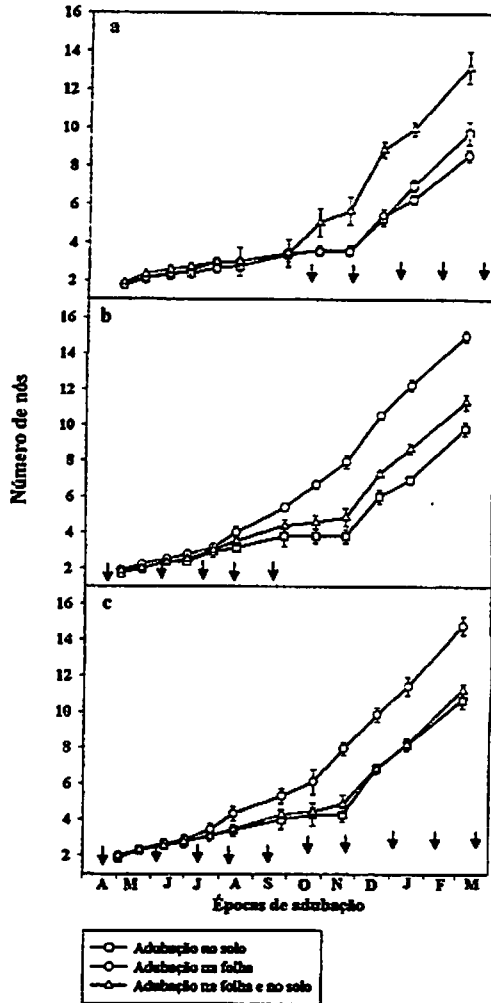


FIGURA 11. Número de nós de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, e na folha e no solo, no período de primavera-verão (a), outono-inverno (b) e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições de doze ramos cada e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.

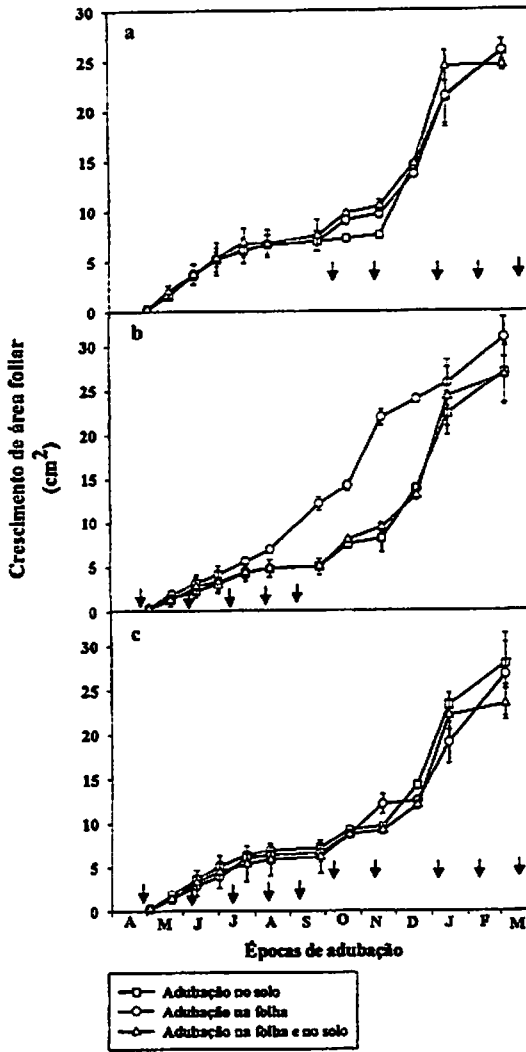


FIGURA 12. Crescimento de área foliar de cafeeiros supridos com N no solo, na folha, e na folha e no solo, no período de, primavera-verão (a), outono-inverno (b) e outono-inverno e primavera-verão (c) (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições de seis folhas cada e as setas, os meses em que os cafeeiros foram adubados). UFLA, Lavras, MG, 2004.

A superioridade do tratamento empregado, quando da ação conjugada da aplicação do nitrato de potássio na folha e no solo sobre o crescimento vegetativo do cafeeiro corrobora aqueles verificados por Camargo & Silva (1975), que propuseram substituir 20% da adubação de solo pela via foliar, divididos em três pulverizações.

A capacidade do cafeeiro de reduzir o nitrato tanto na raiz como na folha pode ser a explicação pelos melhores resultados encontrados ao se fornecer adubo através desses dois órgãos. Sabe-se que as temperaturas do ar abaixo de 12,5°C são inadequadas para o funcionamento da redutase do nitrato foliar (Amaral, 1991). Entretanto, no período de calor e de maiores precipitações, esses valores geralmente são superiores, contribuindo, dessa forma, para o funcionamento da enzima nas folhas. Já no sistema radicular, a redutase do nitrato é favorecida também neste mesmo período, por temperaturas acima de 15°C (Amaral, 1991), as quais mantêm as raízes metabolicamente ativas. Sendo assim, o crescimento global da planta é mais favorecido no período da primavera-verão, visto que os cafeeiros, além das temperaturas mais favoráveis, não sofrem pela falta de água, devido às maiores precipitações pluviométricas, características do período.

Acrescenta-se, ainda, uma maior disponibilidade metabólica de carboidratos nesta época, seja pelas folhas, por meio do processo fotossintético ou raízes, que transportam os compostos metabolizados para a parte aérea, traduzindo, então, maiores taxas de crescimento. Além disso, a localização do adubo próximo aos locais de absorção pode contribuir de forma a evitar as perdas provocadas pelas fortes chuvas no período de calor e, conseqüentemente, proporcionar uma maximização dos nutrientes fornecidos. Esses resultados mostram que o crescimento do cafeeiro não se relaciona isoladamente com o metabolismo do nitrato na raiz ou na folha e, sim é dependente do conjunto. Portanto, a eficiência da aplicação do nitrato de potássio na folha e no solo, ao

estimular o metabolismo do N nos dois órgãos, proporciona maiores ganhos de matéria seca do que o seu estímulo somente em uma das duas partes da planta.

De maneira geral, a literatura mostra que a pulverização de adubos nitrogenados, bem com de macronutrientes, não é eficiente para garantir um adequado desenvolvimento do cafeeiro (Garcia et al., 1983; Santinato & Pereira, 1996; Santinato & Camargo, 1989; Viana, 1981; Martins et al., 1980). Esses resultados, de certa forma, estão de acordo com os encontrados nesse trabalho, uma vez que a aplicação foliar de nitrato de potássio, no período de primavera-verão, foi o tratamento menos eficaz para promover o crescimento vegetativo das plantas. A não eficácia da pulverização de N para o cafeeiro normalmente tem sido atribuída às baixas concentrações empregadas, que giram em torno de 2%, cuja quantidade não é suficiente para satisfazer às suas exigências no período de desenvolvimento vegetativo (Rena et al, 2000). Entretanto, os experimentos até então realizados eram conduzidos na época da primavera-verão (Garcia et al., 1983; Santinato & Pereira, 1996, Santinato & Camargo, 1989; Viana, 1981, Martins et al., 1980). Desse modo, além das baixas doses empregadas, a época do ano em que foram realizados os experimentos pode ter influenciado decisivamente para a baixa eficiência das adubações foliares em cafeeiros em produção.

Quando a adubação foi realizada no período de outono-inverno, observou-se que a aplicação do nitrato de potássio nas folhas aumentou, como era de se esperar, para este mesmo período, os teores de nitrato foliar (Figura 3b) sem, no entanto, estimular a atividade da redutase do nitrato neste mesmo órgão (Figura 4b), provavelmente devido às baixas temperaturas do ar observadas nessa época (Figura 5a). Este fator ambiental também se apresentou como limitante para o metabolismo do N nas folhas das plantas que receberam o nitrato na folha e no solo, uma vez que os teores de N neste órgão estavam adequados e permaneceram mais ou menos inalterados no período.

Os três tratamentos no período do outono-inverno não diferenciaram entre si quanto à sua influência no padrão de resposta para essas duas características no posterior período de primavera-verão. O que se observa é que, de dezembro em diante, e independentemente da forma de aplicação do adubo, as folhas tiveram a atividade da redutase do nitrato aumentada, possivelmente em função de elevações na temperatura do ar (Figura 5a). É interessante observar que a pulverização dos cafeeiros com nitrato de potássio não aumentou os teores de nitrato no solo (Figura 13), o que vem comprovar que as quantidades que possivelmente o atingiram foram mínimas.

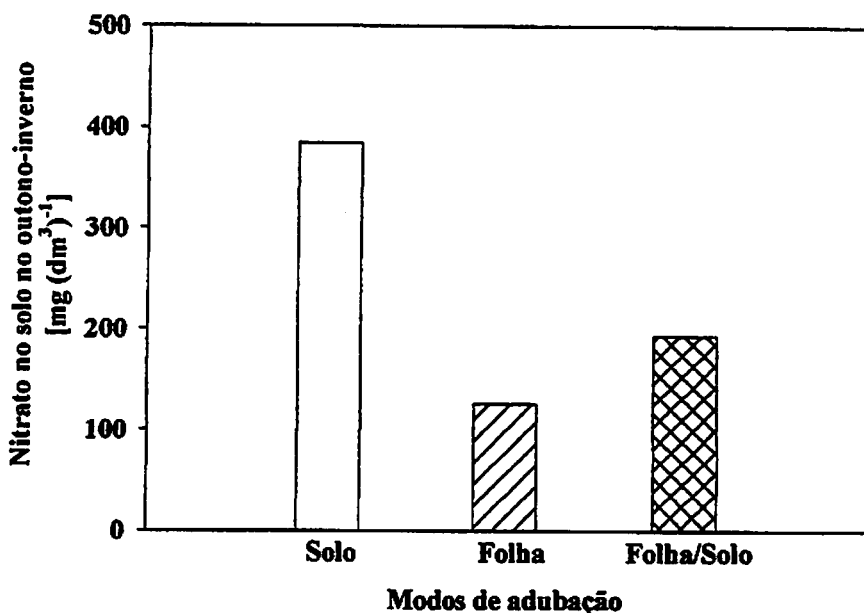


FIGURA 13. Teor de nitrato no solo no período de outono-inverno, relacionados aos modos de adubação no outono-inverno. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Na raiz, os modos de aplicação do nitrato de potássio não proporcionaram diferenças no teor de nitrato (Figura 6b) e na atividade da redutase do nitrato (Figura 7b), durante todo o período experimental. O que se observou, entretanto, é que, durante o outono-inverno, a atividade da enzima permaneceu alta e, posteriormente, na primavera-verão, ela diminuiu. Este padrão de resposta mostra que, no período de outono-inverno, a temperatura do solo não foi limitante, já que não atingiu valores inferiores a 15°C . Portanto, o estímulo na atividade da redutase do nitrato no outono-inverno em relação à primavera-verão, deve-se à adição do seu substrato e à translocação do mesmo entre as partes da planta, uma vez que a atividade da enzima nas raízes de plantas que receberam o nitrato nas folhas foi semelhante àquelas que o receberam no solo ou na folha e no solo

Quanto ao desenvolvimento vegetativo, observa-se que, quando a adubação com nitrato de potássio foi realizada na época do outono-inverno, neste período, entre os meses de maio a agosto, houve um crescimento mínimo de comprimento de ramos (Figura 10b), número de nós (Figura 11b) e de folha (Figura 12b) que não diferiram entre si, com os tratamentos aplicados. Esta baixa taxa de crescimento da parte aérea do cafeeiro possivelmente estava relacionada às baixas temperaturas observadas no período (Figura 5a). É importante destacar, ainda, que, ao pulverizar os cafeeiros com soluções de nitrato de potássio a 25%, ocorreu um acúmulo de sais na superfície foliar, que provocou uma necrose insignificante das folhas e não influenciou no desenvolvimento dessas plantas, no período de primavera-verão, a partir de setembro (Figuras 10b, 11b, 12b, 14). Desse modo, verifica-se que as plantas que receberam, no período de outono-inverno, nitrato de potássio nas folhas, seguidas por aquelas que o receberam nas folhas e no solo, foram as que apresentaram as maiores taxas de crescimento dos ramos no período de primavera-verão. Esses resultados demonstram que as adubações nitrogenadas

de outono-inverno, principalmente aquelas realizadas nas folhas, trazem efeitos benéficos na retomada do crescimento vegetativo do cafeeiro no período de primavera e verão.



FIGURA 14. Aspecto de cafeeiros pulverizados com soluções de nitrato de potássio a 25% no período do outono-inverno (a, b) e posterior recuperação no período de primavera-verão (c, d). UFLA, Lavras, MG, 2004.

Quando aplicou-se o nitrato de potássio nas duas épocas, de outono-inverno e primavera-verão, constatou-se, de maneira geral, o mesmo padrão de resposta para o teor de nitrato foliar (Figura 3c), atividade da redutase do nitrato na folha (Figura 4c) teor de nitrato radicular (Figura 6c) e atividade da redutase do nitrato (Figura 7c), bem como no crescimento de ramos (Figura 10c), número de nós (Figura 11c) e área foliar (Figura 12c), daquele verificado quando a adubação foi realizada somente no outono-inverno. Vale ressaltar que, a exemplo do que aconteceu com as adubações de outono-inverno (Figura 13), a pulverização dos cafeeiros nos períodos de outono-inverno e primavera-verão não aumentou o teor de nitrato no solo (Figura 15), o que vem a comprovar que o nitrogênio aplicado, provavelmente, encontrava-se nas folhas durante o processo de absorção.

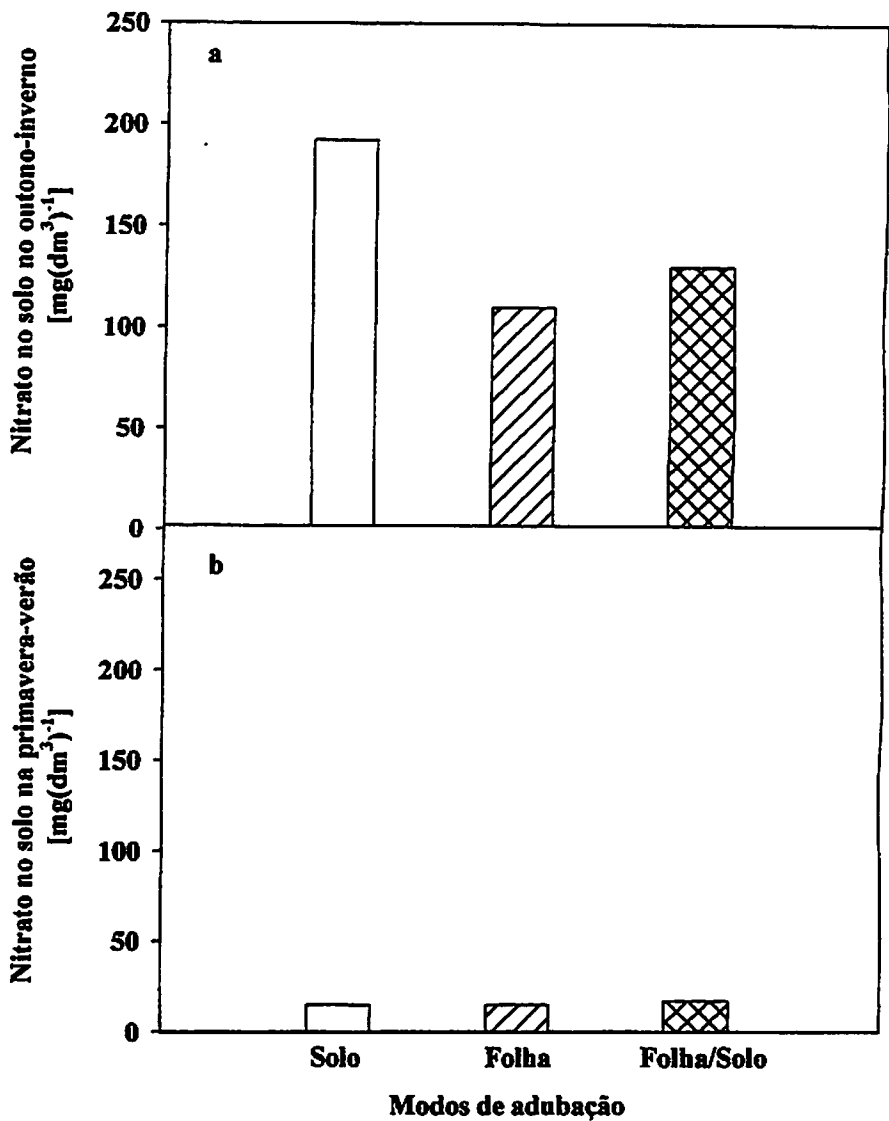


FIGURA 15. Teor de nitrato no solo, referente ao período de outono-inverno (a) e de primavera-verão (b), relacionados aos modos de adubação no outono-inverno e na primavera-verão. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Embora não tivessem sido constatadas diferenças significativas na atividade da redutase do nitrato, relacionadas com os modos de aplicação do adubo (Figuras 4b e 4c), verifica-se que a aplicação do nitrato de potássio nas folhas, no período de outono-inverno, aumentou, neste mesmo período, a atividade média da enzima em relação ao valor de $0,56 \mu\text{mol N-NO}_2 \text{ h}^{-1}\text{g}^{-1} \text{MF}$, encontrado nas plantas que iriam receber os tratamentos na primavera-verão e que, portanto, não receberam nenhum tipo de adubo nitrogenado nesta época (Figura 16a). O mesmo incremento foi observado nas plantas que receberam metade do adubo no outono-inverno e a outra metade posteriormente, no período de primavera-verão, na folha e no solo (Figura 16b). O teor de clorofila total, nessa mesma época, foi mais elevado em relação ao valor de $3,55 \text{ mg g}^{-1} \text{MF}$ das plantas que receberam toda a dose aplicada na folha e em complementação às adubações de solo, fornecidas tanto no período de outono-inverno (Figura 17a) ou parcelados no outono-inverno e na primavera-verão (Figura 17b). Estes resultados mostram, para ambos os casos, uma ativação na atividade e/ou síntese da enzima impostas pelo substrato, o nitrato e, ao mesmo tempo, evidencia que a temperatura naquela época (Figura 5a) não foi baixa o suficiente para inibir totalmente a atividade desta enzima na folha ou na raiz.

Estudos já comprovaram que as temperaturas do ar inferiores a $12,5^\circ\text{C}$ limitaram a atividade da redutase do nitrato nas folhas, sendo essa uma das possíveis causas da ausência da sua atividade no período de inverno (Amaral, 1991). No entanto, observa-se que, no período estudado, as temperaturas mínimas do ar, nas datas das avaliações, de maneira geral, permaneceram próximas ou acima do valor considerado limitante para o funcionamento dessa enzima, beneficiando sua ativação.

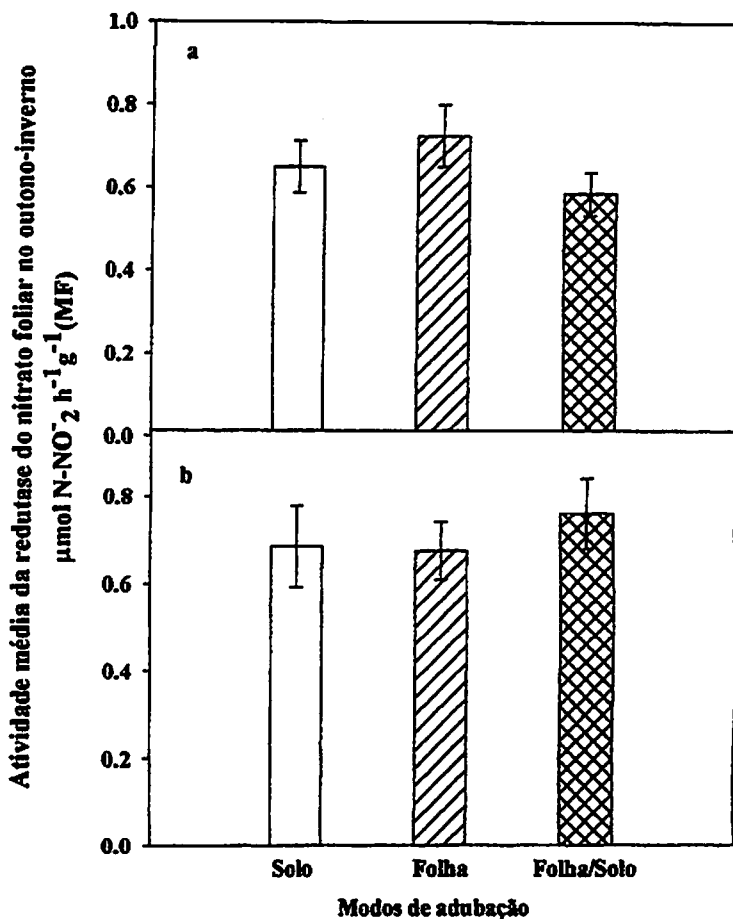


FIGURA 16. Atividade média da redutase do nitrato foliar avaliada no período de outono-inverno em função dos modos de aplicação do nitrato de potássio, no período de outono-inverno (a) e de outono-inverno e primavera-verão (b). No período de outono-inverno, o talhão planejado para receber a adubação nos períodos de outono-inverno e primavera-verão recebeu apenas a metade da dose. A segunda metade foi aplicada na primavera-verão. UFLA, Lavras, MG, 2004 (as barras representam o erro padrão da média de vinte repetições).

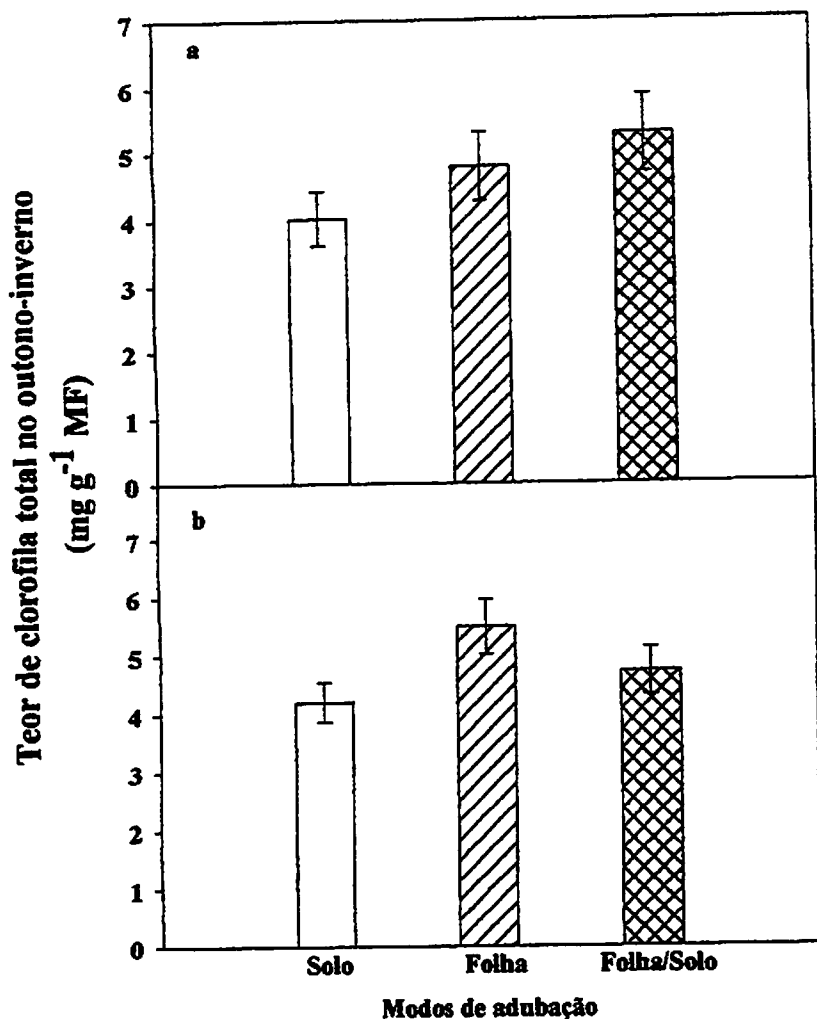


FIGURA 17. Teor de clorofila total avaliado no período de outono-inverno em função dos modos de aplicação do nitrato de potássio, no período de outono-inverno (a) e de outono-inverno e primavera-verão (b). No período de outono-inverno, o talhão planejado para receber a adubação nos períodos de outono-inverno e primavera-verão recebeu apenas a metade da dose. A segunda metade foi aplicada na primavera-verão. UFLA, Lavras, MG, 2004 (as barras representam o erro padrão da média de vinte repetições).

As avaliações feitas no período de primavera-verão (Figura 18), mostraram que, embora a atividade da redutase do nitrato foliar tenha aumentado em todos os tratamentos (Figuras 4a, 4b, 4c), as plantas que receberam o adubo na folha e no solo, no período da primavera-verão (Figura 18b), ou parcelados nas duas épocas (Figura 18c), apresentaram maior atividade média que aquela verificada nas que foram adubadas somente no solo, nesta ocasião.

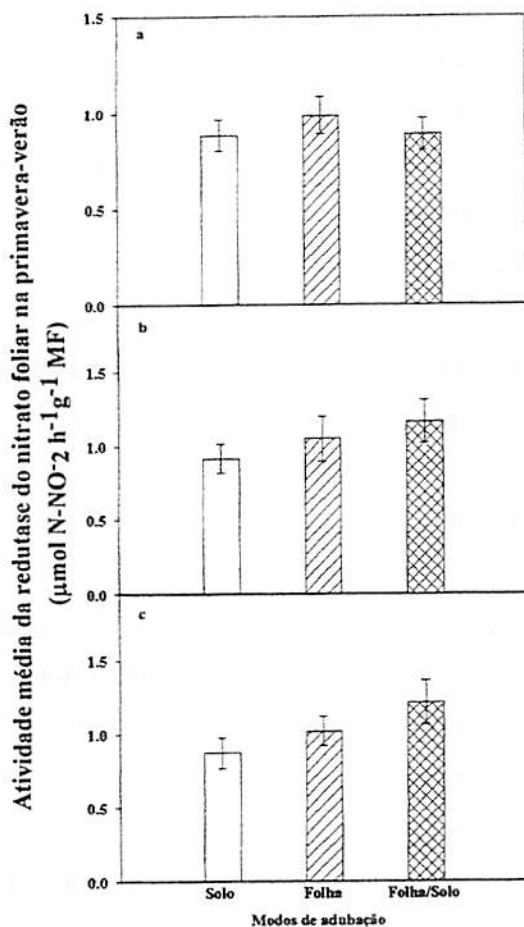



FIGURA 18. Atividade média da redutase do nitrato foliar avaliada no período da primavera-verão em função dos modos de aplicação do nitrato de potássio, no outono-inverno (a), primavera-verão (b) e no outono-inverno e primavera-verão (c). No período da primavera-verão, o talhão planejado para receber os adubos nos períodos de outono-inverno e primavera-verão, recebeu a segunda metade da dose UFLA, Lavras, MG, 2004 (as barras representam o erro padrão da média de vinte repetições).



Comparando-se, então, os incrementos na atividade foliar da redutase do nitrato do período do outono-inverno para o de primavera-verão, verifica-se que as plantas que foram adubadas no outono-inverno (Figura 19a), nos três modos de aplicação do adubo, apresentaram o mesmo aumento na atividade desta enzima. Por outro lado, as plantas que receberam o adubo via pulverização foliar ou na folha em complemento ao solo, no período da primavera-verão (Figura 19b), experimentaram maiores incrementos que aquelas que foram adubadas somente no solo.

Este fato também ocorreu quando aplicou-se o adubo na folha e no solo, em ambas as épocas (Figura 19c), comparativamente à que recebeu o adubo, nas mesmas épocas, somente no solo. Nesse período de primavera-verão, não foram observadas diferenças no teor de clorofila total para os cafeeiros adubados no solo em relação aos que receberam a adubação na folha e na folha e no solo (Figura 20b). Entretanto, quando as plantas receberam adubação nas folhas em complemento ao solo, no período de outono-inverno (Figura 20a), os teores de clorofila em relação às que foram adubadas no solo e na primavera-verão (Figura 20b) não diferenciaram. Ao administrar a segunda parcela da adubação de folha e solo na primavera-verão (Figura 20c), foi possível observar uma superioridade deste tratamento em relação ao que recebeu adubação convencional, ou seja, no solo.

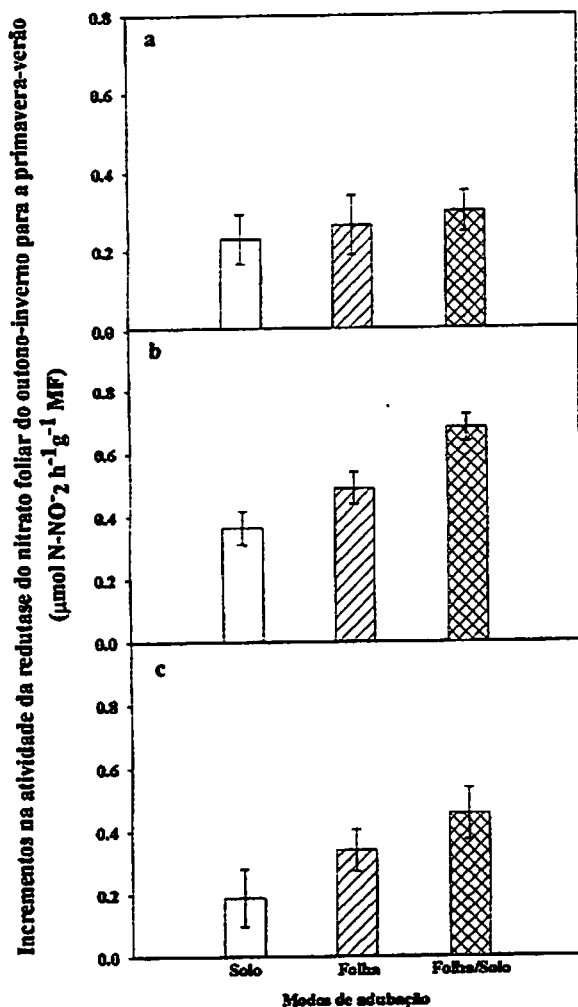


FIGURA 19. Incrementos na atividade foliar da redutase do nitrato do período de outono-inverno para o de primavera-verão, relacionados com as adubações nos períodos de outono-inverno (a), primavera-verão (b) e outono-inverno e primavera-verão (c). UFLA, Lavras, MG, 2004 (as barras representam o erro padrão da média de vinte repetições).

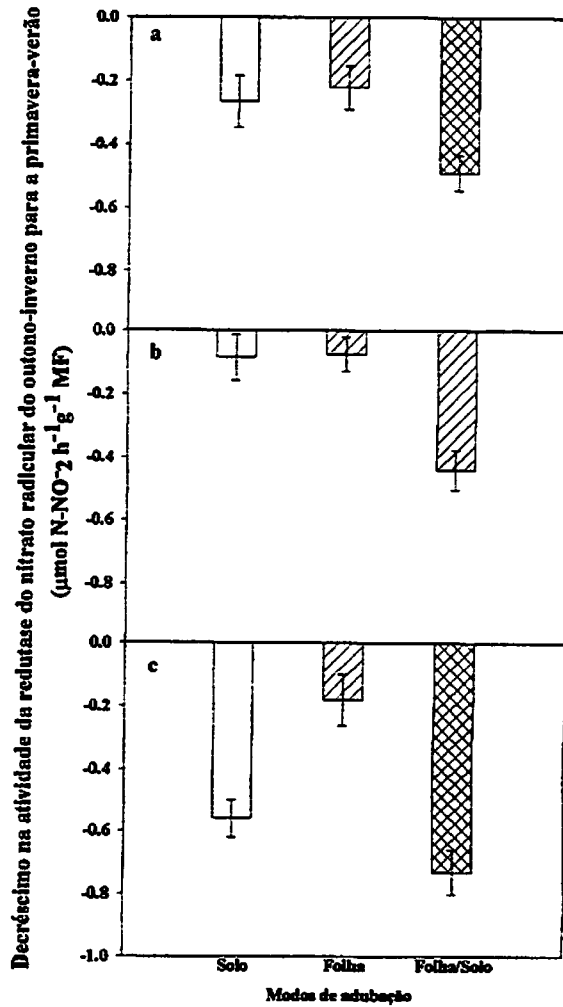


FIGURA 21. Decréscimo na atividade da redutase do nitrato radicular do período de outono-inverno para o de primavera-verão, relacionados com as adubações nos períodos de outono-inverno (a), primavera-verão (b) e outono-inverno e primavera-verão (c). UFLA, Lavras, MG, 2004 (as barras representam o erro padrão da média de vinte repetições).

A partir de setembro, com o aumento da temperatura (Figura 5a), o comprimento de ramo (Figuras 10a, 10b, 10c), o número de nós (Figuras 11a, 11b, 11c) e a área da folha (Figuras 12a, 12b, 12c) apresentaram incrementos crescentes em sua taxa de crescimento, tendo a pulverização do nitrato de potássio sido o tratamento mais eficiente, seguido daquele no qual o adubo foi aplicado conjuntamente nas folhas e no solo e, por último, somente no solo. Este grande aumento na taxa de crescimento em plantas com adubação complementar no outono-inverno, principalmente nas folhas, pode estar associado à manutenção do metabolismo do nitrogênio nas raízes na época fria já que naquele mesmo local, a temperatura não era limitante segundo (Amaral 1991).

Esse aumento na atividade radicular da enzima está ligado ao fato de que a redutase do nitrato tem sua síntese e atividade induzidas pelo nitrato (Beever & Hageman, 1980; Campbell, 1988; Crawford et al., 1992). Portanto, as raízes dos cafeeiros que receberam o nitrogênio suplementar no outono-inverno possuíam, além de redutases do nitrato mais ativas, um maior número de moléculas dessas enzimas por unidade de volume. Como consequência prática deste evento bioquímico, as raízes de cafeeiros adubados com nitrogênio no inverno mostraram uma intensa atividade metabólica, o que permitiu um crescimento extra de pêlos radiculares neste período de outono-inverno.

O crescimento da parte aérea das plantas que, nesse período, estava paralisado em função das baixas temperaturas, experimentou também, a partir de setembro, uma taxa extra no seu crescimento, cuja intensidade se estendeu desde a primavera até o verão, quando as condições ambientais estavam mais favoráveis. Isto provavelmente ocorreu devido a um suprimento adequado de água e sais minerais, advindo de um maior volume de absorção propiciado pelas radículas recém-crescidas. Portanto, a adição de N suplementar no outono-inverno teve um efeito estimulante no crescimento, certamente como consequência da formação de metabólitos nitrogenados orgânicos sintetizados e

acumulados nas raízes durante o inverno o que suportou maior demanda da parte aérea nas estações subseqüentes, proporcionando maiores intensidades de crescimentos vegetativo.

Em função da época de adubação nitrogenada, os resultados da análise das produções permitem concluir que, no outono-inverno (Figura 22a), deve-se dar preferência pela pulverização de toda a dose do fertilizante na folha ou aplicação de 80% do nitrato de potássio no solo e o restante suplementado via foliar. Estes dois modos de adubação foram também os mais eficientes na retomada do crescimento vegetativo (Figuras 10b, 11b, 12b). A adubação de parte do adubo na folha e parte no solo também deve ser a preferida nas adubações realizadas na primavera-verão (Figura 22b) porque proporcionaram também maiores taxas de crescimento vegetativo (Figuras 10a, 11a). Por outro lado, qualquer um dos três modos de aplicação do nitrato de potássio no presente estudo pode ser utilizado quando as adubações ocorrerem nos dois períodos (Figura 22c).

Se a adubação de solo no período de primavera-verão (Figura 22c), for considerada como adubação padrão, normalmente empregada pelos cafeicultores, o melhor modo de aplicação do nitrato de potássio, neste período, seria a pulverização foliar em complementação à adubação de solo (Figura 22b). Já para o período de outono-inverno, a preferência deve ser dada para o fornecimento de toda a dose somente na folha (Figura 22a). Estes tratamentos também foram os que proporcionaram maiores taxas de crescimento de ramos (Figuras 10a, 10b). Para a adubação nos dois períodos (Figura 22c), os melhores meios são a aplicação total no solo ou nas folhas em combinação com o solo. Portanto, esperam-se efeitos positivos na próxima safra, pelo fornecimento de toda a dose de nitrato de potássio nas folhas ou em complemento às adubações no solo, visto que estes tratamentos foram os que mais contribuíram para o crescimento vegetativo.

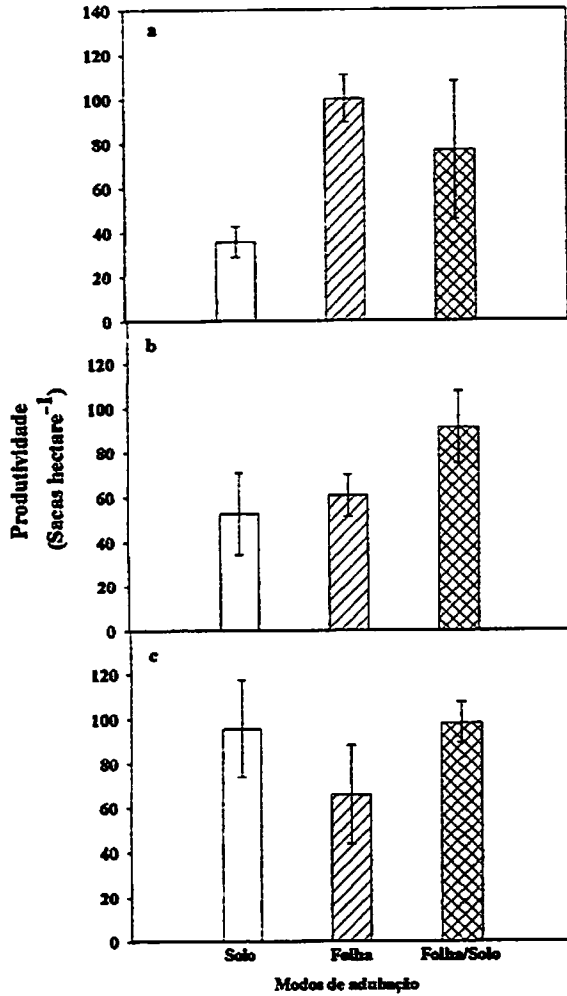


FIGURA 22. Produtividade do cafeeiro em função dos diferentes modos de aplicação do nitrato de potássio no outono-inverno (a), primavera-verão (b), e no outono-inverno e primavera-verão (c). UFLA, Lavras, MG, 2004 (as barras representam o erro padrão da média de quatro repetições).

5 CONCLUSÕES

Ao se verificar o efeito da adubação de cafeeiros de quatro anos de idade com nitrato de potássio (100g/ano/planta), dividida em três épocas (outono-inverno, primavera-verão, outono-inverno e primavera-verão) e em três modos de aplicação do nitrato de potássio, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) a pulverização do fertilizante na folha ou a aplicação de 80% no solo e o restante suplementado via foliar, no outono-inverno, foram os tratamentos que proporcionaram as maiores produções e retomada do crescimento vegetativo. A adubação de parte do adubo nas folhas e parte no solo também deve ser a preferida nas adubações realizadas na primavera verão, porque proporcionaram maiores taxas de crescimento vegetativo. Por outro lado, qualquer um dos três modos de aplicação do nitrato de potássio no presente estudo pode ser utilizado quando as adubações ocorrerem nos dois períodos.
- b) se considerarmos a adubações de solo, no período de primavera-verão, como a adubação padrão normalmente empregada pelos cafeicultores, o melhor modo de aplicação do nitrato de potássio neste período é a pulverização foliar, em complementação à adubação de solo. Já para o período de outono-inverno, a preferência deve ser dada para o fornecimento de toda a dose somente na folha. Estes tratamentos também foram os que proporcionaram maiores taxas de crescimento de ramos. Para a adubação nos dois períodos, os melhores meios são a aplicação total no solo ou nas folhas em combinação com o solo.
- c) apesar da inviabilidade de um grande número de pulverizações, conforme as que foram realizadas neste experimento, os dados

permitem concluir que, eventualmente, uma ou mais pulverizações com nitrato de potássio a 25% podem substituir eficientemente a adubação nitrogenada no solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. D. **Relação entre a redutase do nitrato e a fotossíntese no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1985. 38 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALVES, J. D.; CORDEIRO, A. T.; RENA, A. B. Influência da idade da folha, da concentração de gás carbônico e da temperatura sobre a fotossíntese de diversos germoplasmas de *Coffea arabica* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro, MIC/IBC, 1985. p. 134-135.

AMARAL, J. A. T. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas inter-relações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação de nitrogênio**. 1991. 139 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ARNON, D. I. Cooper. Enzymes in isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase. In *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, n. 1, p. 1-15, Jan./Mar. 1949.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA, F. L. J. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L cv Bourbon Amarelo). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, jan./mar. 1973.

BARROS, U. V.; SANTINATO, R.; MATIELO, J. B.; BARBOSA, C. M. Níveis nutricionais - NPK, Ca, Mg, S, Zn e B na implantação do cafeeiro em sistemas super adensado, adensado e largo em renque nas condições de solo LVH na zona da mata-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 1997, Manhuaçu-MG. **Resumos...** Manhuaçu-MG, 1997. p. 205-206.

BEEVERS, L.; HAGEMAN, R. H. Nitrate and nitrite reduction. In: MIFLIN, B. J. (Ed.). **The biochemistry of plants**, New York: Academic Press, 1980. v. 5, p. 115-168.

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo-SP: Ed. E Distribuidora Herba, 1975. 258 p.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase and its role in nitrate assimilation in plants. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 74, n. 1, p. 214-219, Sept. 1988.

CARVALHO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; FURLANI-JÚNIOR, E.; BUZETTI, S.; SÁ, E. M.; ATHAÍDE, M. L. F. Uso de adubação foliar nitrogenada e potássica no algodoeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 3, p. 239-244, 2001.

CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YONGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, New York, v. 6, n. 1, p. 71-8, 1975.

CLAUSSEM, W. Influence of fruit load and environmental factors on nitrate reductase activity and on concentration of nitrate and carbohydrates in leaves of eggplant (*Solanum melongena*). *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 67, n. 1, p. 73-80, 1986.

CRAWFORD, N. M.; WILKINSON, J. Q.; LABRIE, S. T. Control of nitrate reduction in plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, Collingwood, v. 19, n. 4, p. 377-385, 1992.

FRANCO, C. M. A ineficiência de adubação foliar com uréia em café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. *Anais...* Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1984. p. 2-4.

FRANCO, C. M.; GROHMANN, F. Quantidade de solução de uréia pulverizada, retida na superfície das folhas do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, *Resumos...* 1984. p. 1-2.

GARCIA, A. W. R. Calagem para o café. In: VAN RAIJ, B.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. (Coord). *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: SBCS, 1983. p. 309-319

GARCIA, A. W. R.; PEREIRA, J. M.; SALGADO, A. R.; VENGA, R. Estudo da substituição e/ou, complementação de nutrientes (N, P, e K) por via foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. *Resumos...* Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1983. p. 215-220.

GUIMARÃES, P. T. G. O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1982, Uberaba. *Anais...* São Paulo: IBRAFOS, 1982. p. 145-168.

GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: Características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 115-161.

HUXLEY, P. A.; TURK, A. Preliminary investigations with arabica coffee in a root observation laboratory in kenya. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 41, p. 349-60, 1976.

KUPPER, A. Consumo mensal de nitrogênio pelo cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 4., 1976, Caxambu. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1976. p. 215-217.

MACHADO, J. R.; ROSOLEM, C. A.; BALDUCCI JR., J. J.; NAKAGAWA, J. Adubação foliar do feijoeiro: I. Estudos de épocas de aplicação de nitrogênio. **Turrialba**, San José, v. 32, n. 4, p. 417-421, oct./dic. 1982.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas.** São Paulo: Agronomica Ceres, 1980. p. 80-94.

MALAVOLTA, E. **História do café no Brasil.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2000. 456 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação.** 3. ed. São Paulo, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 165-274.

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

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V. Diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada de café**. Viçosa-MG, 2003. p. 397-442.

MARTINS, M.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; NOBRE, G. W.; FIORAVANTE, N. Adubação foliar suplementar de NPK na formação e produção do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 8., 1980, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1980. p. 333-337.

MATIELO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro, 1997. 262 p.

MEDCALF, J. C.; LOTT, W. L.; J. P. TEETER; QUINN, L. R. **Experimental programs in Brazil**. New York, 1955. (Bulletin IBEC Research Institute, n. 6).

MEGURO, N. E.; MAGALHÃES, A. C. Water stress affecting nitrate reduction of leaf diffusive resistance in *Coffea arabica* L. Cultivars. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 58, p. 147-152, Jan. 1983.

MIRANDA NETO, A. T. **Assimilação do azoto em mudas de café (*Coffea arabica* L.) cultivadas sob diferentes níveis de sombra e formas de azoto**. 1970. 38 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOTA, J. W. S. **Fatores associados a queda sazonal do crescimento do cafeeiro arábico em Viçosa-MG**. 1988. 68 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PEDROSO, P. A. C. **Efeitos de doses crescentes de fertilizante nitrogenado na atividade da redutase do nitrato, na produção e rendimento do café (*Coffea arabica* L.) cv Mundo Novo**. 1977. 65 p. Dissertação mestrado (Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

QUEIROZ, C. G. S. **Distribuição e regulação da atividade da redutase do nitrato no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1986. 51 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

QUEIROZ, C. G. S.; RENA, A. B.; CORDEIRO, A. T.; ALVES, J. D. Ritmo diurno na atividade da redutase do nitrato em folhas e raízes de *coffea arabica* L. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 7, p. 787-795, jul. 1993.

RAYNE, R. W. Growth and bearing habitats of *Coffea arabica* in Kenya and in southern India. *East African Agricultural Journal*, Nairobi, v. 11, p. 251-255, 1946.

RENA, A. B.; FÁVARO, J. R. A. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIM, L. *Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade*. Viçosa-MG, 2000. p. 149-208.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa-MG, 1999. 359 p.

RODRIGUES, O. **Efeito da deficiência hídrica na fotossíntese, na resistência estomática, na atividade da redutase do nitrato e no acúmulo de prolina livre em *Coffea arabica* L.** 1988. 52 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BALDUCCI JR., J. J.; LIEM, T. H. Adubação foliar do feijoeiro: II. Efeitos do nitrogênio com e sem cobertura nitrogenada. *Turrialba*, San José, v. 32, n. 4, p. 423-428, oct./dic. 1982.

RUFTY, T. W.; VOLK, R. J. M. C.; CLURE, P. R.; ISRAEL, D. W.; RAPER, JUNIOR, C. D. Relative content of NO₃ and reduced N in seylem exudate as an indicator of root reduction of concurrently absorbed ¹⁵NO₃. *Plant Physiology*, Rockville, v. 69, p. 166-170, 1982.

SANTINATO, R.; CAMARGO, R. P. Efeitos da adubação foliar completa no período inicial de frutificação do cafeeiro em formação em diferentes tipos de desfolha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá, PR. **Trabalhos Apresentados....** Maringá, 1989. p. 213-215.

SANTINATO, R.; PEREIRA, E. M. Efeitos do KNO₃ (nitrato de potássio) Haifa, via foliar, em cafeeiros em produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1996. p. 130-132.

SANZONOWICZ, C.; NAZARENO, R. B. Efeito de dose e parcelamento do nitrogênio na flutuação bienal da produção do cafeeiro no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas, 2000. p. 1386-1388.

SCHUCH, L. A. B.; MUNDSTOCK, C. M. Resposta do girassol a doses e ao parcelamento da aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 381-387, mar. 1994.

VIANA, A. S. Adubação foliar com macro e micronutrientes em cafeeiros em produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 9., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1981. p. 243-246.

VIANA, A. S. Estudo de doses e parcelamentos de N e K na formação de cafeeiros em solos Led E TRe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 8., 1980, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1980. p. 205-211.

ANEXOS A

TABELA 1A. Resumo da análise mineral do solo do período de outono-inverno. Departamento de Ciências do Solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	61
TABELA 2A. Resumo da análise mineral do solo do período de primavera-verão. Departamento de Ciências do Solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.	63
TABELA 3A. Resumo da análise mineral foliar do período de primavera-verão. Departamento de Ciências do Solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.....	65

TABELA 1A. Resumo da análise mineral do solo do período de outono-inverno. Departamento de Ciências do Solo, UFPA, Lavras, MG, 2004.

Treatments	Subplots	Local das adubagens	Nutrients	Results
1	Solo	Outono-inverno	Nitrato [mg (dm ⁻³)]	384,4
			Potássio (mg dm ⁻³)	870,0
			Fósforo (mg dm ⁻³)	5,8
			Cálcio (cmol. dm ⁻³)	1,0
			Magnésio (cmol. dm ⁻³)	0,9
			Alumínio (cmol. dm ⁻³)	0,8
			Nitrato [mg (dm ⁻³)]	125,3
2	Folha	Outono-inverno	Nitrato [mg (dm ⁻³)]	400,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	10,0
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,3
			Cálcio (cmol. dm ⁻³)	0,5
			Magnésio (cmol. dm ⁻³)	1,2
			Alumínio (cmol. dm ⁻³)	192,60
			Nitrato [mg (dm ⁻³)]	669,0
3	Folha e solo	Outono-inverno	Nitrato [mg (dm ⁻³)]	91,9
			Potássio (mg dm ⁻³)	144,0
			Fósforo (mg dm ⁻³)	7,5
			Cálcio (cmol. dm ⁻³)	1,5
			Magnésio (cmol. dm ⁻³)	0,8
			Alumínio (cmol. dm ⁻³)	0,4
			Nitrato [mg (dm ⁻³)]	50,1
5	Folha	Primavera-verão	Nitrato [mg (dm ⁻³)]	116,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	7,8
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,3
			Cálcio (cmol. dm ⁻³)	0,8
			Magnésio (cmol. dm ⁻³)	0,7
			Alumínio (cmol. dm ⁻³)	0,8
			Nitrato [mg (dm ⁻³)]	101,6
6	Folha e solo	Primavera-verão	Nitrato [mg (dm ⁻³)]	8,9
			Potássio (mg dm ⁻³)	7,8
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,1
			Cálcio (cmol. dm ⁻³)	0,6
			Magnésio (cmol. dm ⁻³)	1,0
			Alumínio (cmol. dm ⁻³)	192,2
			Nitrato [mg (dm ⁻³)]	147,0
7	Solo	Outono-inverno e primavera-verão	Potássio (mg dm ⁻³)	7,5
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,5
			Cálcio (cmol. dm ⁻³)	1,4
			Magnésio (cmol. dm ⁻³)	0,7
			Alumínio (cmol. dm ⁻³)	384,4
			Potássio (mg dm ⁻³)	870,0
			Fósforo (mg dm ⁻³)	5,8

Continua.

Cont. TABELA 1A.

8	Outono-inverno e primavera-verão	Folha	Nitrato [mg (dm ³) ⁻¹]	110,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	282,0
			Fósforo (mg dm ⁻³)	8,9
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,7
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,7
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,9
9	Outono-inverno e primavera-verão	Folha e solo	Nitrato [mg (dm ³) ⁻¹]	130,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	180,0
			Fósforo (mg dm ⁻³)	6,8
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,5
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,6
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,5

TABELA 2A. Resumo da análise mineral do solo do período de primavera-verão. Departamento de Ciências do Solo, UFLA, Lavras, MG, 2004.

Treatamento	Periodos das adubagens	Local das adubagens	Nutrientes	Resultados
1	Outono-inverno	Solo	Nitrató	21,6
			Potássio (mg dm ⁻³)	103
			Fósforo (mg dm ⁻³)	4,6
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,3
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,7
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,3
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	17,3
2	Outono-inverno	Folha	Nitrató	133,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	7,8
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,6
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,7
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,3
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,3
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	15,1
3	Outono-inverno	Folha e solo	Nitrató	197,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	6,2
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,7
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,2
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	17,3
4	Primavera-verão	Solo	Nitrató	288,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	9,3
			Fósforo (mg dm ⁻³)	2,2
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,3
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	15,1
5	Primavera-verão	Folha	Nitrató	294,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	9,6
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,4
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,0
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,3
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,3
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	21,6
6	Primavera-verão	Folha e solo	Nitrató	120,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	7,8
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,7
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,8
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	15,1
7	Outono-inverno e primavera-verão	Solo	Nitrató	127,0
			Potássio (mg dm ⁻³)	7,5
			Fósforo (mg dm ⁻³)	1,5
			Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,7
			Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,2
			Nitrató [mg (dm ⁻³) ⁻¹]	15,1

Continua.

Cont. TABELA 2A.

8	Outono-inverno e primavera-verão	Folha	Nitrato	[mg (dm ³) ⁻¹]	15,1
			Potássio	(mg dm ⁻³)	231,0
			Fósforo	(mg dm ⁻³)	8,5
			Cálcio	(cmol _c dm ⁻³)	1,2
			Magnésio	(cmol _c dm ⁻³)	1,2
			Alumínio	(cmol _c dm ⁻³)	0,3
9	Outono-inverno e primavera-verão	Folha e solo	Nitrato	[mg (dm ³) ⁻¹]	17,3
			Potássio	(mg dm ⁻³)	135,0
			Fósforo	(mg dm ⁻³)	6,2
			Cálcio	(cmol _c dm ⁻³)	1,3
			Magnésio	(cmol _c dm ⁻³)	0,7
			Alumínio	(cmol _c dm ⁻³)	0,8

TABELA 3A. Resumo da análise mineral foliar do período de primavera-verão.
Departamento de Ciências do Solo. UFLA, Lavras, MG, 2004.

Tratamento	Períodos das adubações	Local das adubações	Nutrientes	Resultados
1	Outono-inverno	Solo	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	30,2 ± 1,1150
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,8 ± 0,1546
			Potássio (g kg ⁻¹)	13,8 ± 0,8329
			Zinco (mg kg ⁻¹)	8,5 ± 0,2290
			Cobre (mg kg ⁻¹)	23,0 ± 1,1239
			Manganês (mg kg ⁻¹)	429,0 ± 78,9718
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,5 ± 0,1102
			Cálcio (g kg ⁻¹)	10,3 ± 0,7585
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,7 ± 0,1843
			Ferro (mg kg ⁻¹)	67,1 ± 2,4934
			Boro (mg kg ⁻¹)	26,17 ± 1,0157
2	Outono-inverno	Folha	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	30,2 ± 1,2463
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,4 ± 0,4137
			Potássio (g kg ⁻¹)	12,8 ± 0,2540
			Zinco (mg kg ⁻¹)	8,7 ± 0,5445
			Cobre (mg kg ⁻¹)	20,1 ± 0,7712
			Manganês (mg kg ⁻¹)	433,1 ± 47,9150
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,5 ± 0,1043
			Cálcio (g kg ⁻¹)	12,6 ± 1,6997
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,7 ± 0,1499
			Ferro (mg kg ⁻¹)	61,79 ± 2,2840
			Boro (mg kg ⁻¹)	27,94 ± 2,5448
3	Outono-inverno	Folha e solo	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	30 ± 0,5188
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,8 ± 0,3294
			Potássio (g kg ⁻¹)	12,8 ± 0,5680
			Zinco (mg kg ⁻¹)	8,1 ± 0,6824
			Cobre (mg kg ⁻¹)	20,0 ± 1,8519
			Manganês (mg kg ⁻¹)	497,8 ± 90,2765
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,4 ± 0,0669
			Cálcio (g kg ⁻¹)	11,2 ± 1,7074
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,7 ± 0,1025
			Ferro (mg kg ⁻¹)	51,51 ± 6,1812
			Boro (mg kg ⁻¹)	28,57 ± 1,7444
4	Primavera-verão	Solo	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	31,2 ± 1,3266
			Fósforo (g kg ⁻¹)	4,3 ± 0,5025
			Potássio (g kg ⁻¹)	13,9 ± 1,0397
			Zinco (mg kg ⁻¹)	8,3 ± 0,4868
			Cobre (mg kg ⁻¹)	20,7 ± 1,5989
			Manganês (mg kg ⁻¹)	361,6 ± 76,3548
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,6 ± 0,1042
			Cálcio (g kg ⁻¹)	11,0 ± 0,7950
			Enxofre (g kg ⁻¹)	2,0 ± 0,2298
			Ferro (mg kg ⁻¹)	60,97 ± 4,1659
			Boro (mg kg ⁻¹)	27,25 ± 2,6737

Continua.

Cont. TABELA 3A.

5	Primavera-verão	Folha	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	31,1 ± 0,0957
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,8 ± 0,1275
			Potássio (g kg ⁻¹)	12,8 ± 0,5680
			Zinco (mg kg ⁻¹)	9,7 ± 0,3262
			Cobre (mg kg ⁻¹)	20,7 ± 2,3147
			Manganês (mg kg ⁻¹)	320,4 ± 56,9533
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,3 ± 0,0806
			Cálcio (g kg ⁻¹)	11,0 ± 0,9233
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,7 ± 0,0626
			Ferro (mg kg ⁻¹)	50,3125 ± 6,4758
Boro (mg kg ⁻¹)	38,64 ± 9,8335			
6	Primavera-verão	Folha e solo	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	31,8 ± 0,7136
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,8 ± 0,3103
			Potássio (g kg ⁻¹)	13,2 ± 0,3593
			Zinco (mg kg ⁻¹)	10,2 ± 0,8121
			Cobre (mg kg ⁻¹)	19,8 ± 0,8283
			Manganês (mg kg ⁻¹)	309,4 ± 10,1353
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,7 ± 0,1408
			Cálcio (g kg ⁻¹)	13,11 ± 1,2107
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,6 ± 0,0691
			Ferro (mg kg ⁻¹)	48,76 ± 5,7760
Boro (mg kg ⁻¹)	31,28 ± 1,95			
7	Outono-inverno e primavera-verão	Solo	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	31,6 ± 0,7042
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,9 ± 0,3129
			Potássio (g kg ⁻¹)	13,4 ± 0,4213
			Zinco (mg kg ⁻¹)	8,0 ± 0,6339
			Cobre (mg kg ⁻¹)	26,32 ± 6,2264
			Manganês (mg kg ⁻¹)	353,4 ± 39,6178
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,6 ± 0,1044
			Cálcio (g kg ⁻¹)	12,5 ± 1,1396
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,9 ± 0,2298
			Ferro (mg kg ⁻¹)	57,54 ± 1,4244
Boro (mg kg ⁻¹)	27,38 ± 1,6644			
8	Outono-inverno e primavera-verão	Folha	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	32,1 ± 0,0957
			Fósforo (g kg ⁻¹)	4,2 ± 0,2183
			Potássio (g kg ⁻¹)	13,2 ± 0,6223
			Zinco (mg kg ⁻¹)	9,0 ± 0,4801
			Cobre (mg kg ⁻¹)	19,8 ± 1,6993
			Manganês (mg kg ⁻¹)	426,5 ± 67,4545
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,3 ± 0,0842
			Cálcio (g kg ⁻¹)	11,1 ± 1,3714
			Enxofre (g kg ⁻¹)	2,1 ± 0,2775
			Ferro (mg kg ⁻¹)	51,71 ± 1,3344
Boro (mg kg ⁻¹)	29,31 ± 1,9801			
9	Outono-inverno e primavera-verão	Folha e solo	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	31,7 ± 0,5447
			Fósforo (g kg ⁻¹)	3,3 ± 0,0450
			Potássio (g kg ⁻¹)	13,2 ± 0,7185
			Zinco (mg kg ⁻¹)	9,2 ± 0,3319
			Cobre (mg kg ⁻¹)	21,0 ± 0,8131
			Manganês (mg kg ⁻¹)	361,6 ± 40,2525
			Magnésio (g kg ⁻¹)	2,7 ± 0,0771
			Cálcio (g kg ⁻¹)	12,1 ± 0,7710
			Enxofre (g kg ⁻¹)	1,72 ± 0,2348
			Ferro (mg kg ⁻¹)	47,80 ± 5,5051
Boro (mg kg ⁻¹)	29,28 ± 1,6447			

