

ANDRE VINICIUS ZABINI

**DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DO CAFEIRO POR MEIO DA
ANÁLISE DE FLORES, FOLHAS E EXTRATO FOLIAR**

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

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

T

Z12d
2010

Zabini, André Vinicius, 1978-

Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de
flores, folhas e extrato foliar / André Vinicius Zabini.

– Viçosa, MG, 2010.

viii, 78f. : il. ; 29cm.

Orientador: Hermínia Emília Prieto Martinez.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Café - Nutrição. 2. Análise foliar. 3. Café - Análise.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

ANDRÉ VINICIUS ZABINI

**DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DO CAFEIEIRO POR MEIO DA
ANÁLISE DE FLORES, FOLHAS E EXTRATO FOLIAR**

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de novembro de 2010.



Prof. Julio Cesar Lima Neves
(Coorientador)



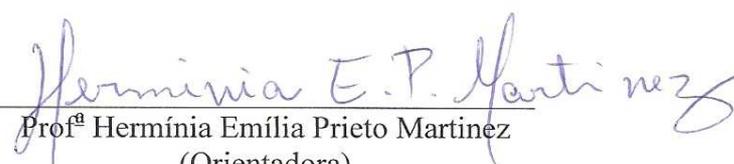
Prof. Cosme e Damião Cruz
(Coorientador)



Dr. Paulo Cesar de Lima



Prof. Ney Sussumo Sakyama



Profª Hermínia Emília Prieto Martinez
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade oferecida para minha qualificação profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Hermínia Emília Prieto Martinez, minha orientadora, pela amizade, pela orientação, pela paciência e pelo apoio sempre.

Aos professores coorientadores, Julio Cesar Lima Neves, Cosme Damião Cruz e Paulo Fontes, pelos ensinamentos e pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Domingos e Itamar, pela amizade e pelo auxílio na realização das análises químicas.

Aos amigos, Fabio (baiano), Diego (caboclo) e Cláudio Barbosa, parceiros em todos os momentos e dos quais tenho certeza que existem pessoas em que podemos confiar.

Aos amigos, Paulo Sérgio e Luiz Cláudio, técnicos agrícolas de Manhuaçu-MG, pelo apoio na seleção das lavouras e pela coletas.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio incondicional.

À minha esposa, Egislaine, pelo carinho, pela paciência e pelo companheirismo na fase final desta etapa tão importante em nossas vidas.

Aos amigos, Robledo Schmidt, Cezar Lima e Ivanor Carissimi, companheiros de trabalho, pela compreensão e pelo apoio na reta final de elaboração da tese.

A todos os produtores de café de Manhuaçu-MG, que abriram as porteiras de suas fazendas para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Diagnose nutricional.....	5
2.2 Diagnose visual.....	7
2.3 Análise de tecidos.....	8
2.3.1 Análise foliar.....	9
2.3.2 Análise de flores.....	13
2.3.3 Testes rápidos para diagnose nutricional.....	15
2.4 Acúmulo de nutrientes em flores.....	16
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
Efeito de doses de potássio em mudas se cafeeiro e avaliação do medidor de íons K⁺ para diagnose nutricional.....	23
Resumo.....	23
Abstract.....	24
1 Introdução.....	25
2 Material e Métodos.....	26

	Página
3 Resultados e Discussão	27
3.1 Características de crescimento do cafeeiro	27
3.2 Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes	29
3.3 Teor de potássio no extrato foliar avaliado com medidor de íons K ⁺	32
4 Conclusões	34
5 Referências Bibliográficas	34
Dinâmica de macronutrientes em folhas e botões florais de cafeeiro em cultivo de sequeiro e irrigado	37
Resumo	37
Abstract	38
1 Introdução	39
2 Material e Métodos	40
3 Resultados e Discussão	42
3.1 Dados climáticos e antese	42
3.2 Teores de macronutrientes em folhas e botões florais de cafeeiro	43
3.3 Massa de matéria seca e conteúdo de macronutrientes de folhas de cafeeiro.	45
3.4 Massa de matéria seca e conteúdo de macronutrientes de botões florais de cafeeiro	47
4 Conclusões	51
5 Referências Bibliográficas	52
Análise química de flores e de folhas para o diagnóstico nutricional do cafeeiro	54
Resumo	54
Abstract	55
1 Introdução	56
2 Material e Métodos	57
3 Resultados e Discussão	59
3.1 Teores de nutrientes em flores de diferentes posições no ramo de cafeeiro.	59
3.2 Produtividade de café e teores de nutrientes em flores e folhas do cafeeiro	61
3.3 Relação entre teores de macronutrientes e de micronutrientes em flores e folhas de cafeeiro	69
3.4 Relação entre produtividade de café e teores de macronutrientes e micronutrientes em flores e folhas de cafeeiro	70
3.5 Faixas críticas de concentração de nutrientes em flores e folhas de cafeeiro	73
4 Conclusões	76
5 Referências Bibliográficas	76
4 CONCLUSÕES GERAIS	78

RESUMO

ZABINI, Andre Vinicius, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2010.
Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores, folhas e extrato foliar. Orientadora: Hermínia Emilia Prieto Martinez. Coorientadores: Cosme Damião Cruz, Julio Cezar Lima Neves e Paulo Cezar Rezende Fontes.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar técnicas alternativas para diagnóstico nutricional do cafeeiro e a dinâmica de acúmulo de nutrientes em seus botões florais. O trabalho foi dividido em três experimentos e o primeiro teve por objetivo avaliar a técnica de diagnose foliar rápida de potássio com uso de cartão medidor de íons. Plantas de cafeeiro foram cultivadas em casa de vegetação por dez meses, no delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições e os tratamentos foram doses de K (50, 150, 300, 450 e 600 mg dm⁻³). Foram avaliados as características de crescimento, os teores foliares de macro e de micronutrientes e o teor de K no extrato foliar, este último, com medidor específico de íons. Houve redução das características de crescimento com o aumento das doses de K. O incremento no fornecimento de K reduziu a absorção dos nutrientes Ca, Mg, Zn e Mn. Os teores de K determinados no extrato foliar com o medidor portátil *Cardy Potassium meter* correlacionaram-se com os teores de K total determinados na matéria seca. O segundo experimento estudou o acúmulo de nutrientes por botões florais e folhas de cafeeiros cultivados no sistema de sequeiro e irrigado. O ensaio foi conduzido em lavoura comercial localizada em Alfenas, MG, no período de 34 dias entre a pré-floração e o florescimento pleno. Foram coletados botões florais e flores em nove épocas durante o período de condução do ensaio, para determinação de

massa de matéria seca, teores e conteúdos de macronutrientes. Os resultados permitiram concluir que o crescimento dos botões florais e a data da antese não foram alterados pela irrigação. Os teores de macronutrientes em folhas ou botões florais não foram alterados no período do ensaio e não diferiram entre plantas cultivadas em sistema de sequeiro ou irrigadas. O incremento de matéria seca e do conteúdo de macronutrientes nos botões florais foi linear e não diferiu entre plantas de sequeiro e irrigadas. O terceiro experimento estudou a composição mineral de flores em diferentes posições do ramo de cafeeiro, estudou a relação entre os teores de nutrientes em flores e folhas e a relação desses teores com a produção de café, e estimou as faixas críticas de nutrientes em flores e folhas de cafeeiro. Foram avaliados os teores de nutrientes em flores e folhas e a produtividade de café em 26 lavouras comerciais na região de Manhuaçu, MG, durante três anos, separadamente em lavouras de alta e de baixa produtividade, sendo 13 lavouras de cada nível de produtividade. Observou-se que os teores de nutrientes nas flores não variam da primeira à sexta roseta floral a partir do ápice do ramo do cafeeiro. Lavouras de cafeeiros de alta e de baixa produtividade não diferiram quanto ao estado nutricional das plantas no momento da floração. Os teores foliares de nutrientes são melhor correlacionados com a produtividade de café. A análise de flores mostrou-se uma técnica sensível às variações do estado nutricional do cafeeiro em concordância com a análise foliar, porém não para todos os nutrientes, sugerindo que ambas as técnicas devem ser consideradas de maneira complementar.

ABSTRACT

ZABINI, Andre Vinicius, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2010.
Nutritional diagnosis of coffee plants by flowers and leafs and foliar extracts.
Adviser: Hermínia Emilia Prieto Martinez. Co-advisers: Cosme Damião Cruz, Julio Cezar Lima Neves and Paulo Cezar Rezende Fontes.

The objectives of this work were to evaluate alternative techniques for nutritional diagnosis of coffee plants. The work was divided into three experiments and the first experiment aimed to evaluate the technique of rapid foliar potassium using ion meter card. Coffee seedlings were grown in a greenhouse for ten months in a completely randomized design with four replications and treatments were doses of K (50, 150, 300, 450 and 600 mg dm⁻³). Were evaluated the growth characteristics, foliar concentrations of macro and micronutrients and K content in leaf extracts with specific ion meter. There was a reduction of the growth characteristics with increasing doses of K. The provision of K reduced the absorption of Ca, Mg, Zn and Mn. The K content in leaf extracts determined with the portable meter card was correlated with the K in total dry matter. The second experiment studied the nutrient uptake by the flower buds and leaves of coffee grown in irrigated systems and no-irrigated. The test was conducted on a commercial farm located in Alfenas, MG, in the period of 34 days between the pre-bloom and full bloom of coffee plants. We collected flower buds and flowers at nine times during the driving test for determination of dry matter contents and macronutrients. The results showed that the growth of flower buds and anthesis date were not affected by irrigation. The content of macronutrients in leaves or flower buds

have not changed during the trial and did not differ between plants grown under irrigated system or no- irrigated. The increase of dry matter and macronutrient content in flower buds was linear and did not differ between plants with and without irrigation. The third experiment studied the mineral composition of flowers in different positions of the coffee branch, studied the relationship between nutrient contents in leaves and flowers and to correlate these contents with the production of coffee, and estimated the critical ranges of nutrients in leaves and flowers coffee. The concentrations of nutrients in flowers and leaves and productivity of coffee in 26 commercial crops in the region of Manhuaçu Brazil, during three years, alone among the farms of high and low productivity, 13 per crop productivity level. It was observed that nutrient contents in flowers do not differ between the first and sixth floral rosette from the apex of the coffee branch. Coffee plantations of high and low productivity level did not differ as to the nutritional status of plants at the time of flowering. The nutrient content is better correlated with the productivity of coffee. The analysis of flowers proved to be a technique sensitive to changes in nutritional status of coffee in agreement with the leaf analysis but not for all nutrients, suggesting that both techniques should be considered in a complementary manner.

1 INTRODUÇÃO

O café foi introduzido no Brasil em 1727 no estado do Pará, com sementes e mudas oriundas da Guiana Francesa. A partir daí, pequenas lavouras foram plantadas no Maranhão, Bahia e em 1774 a cultura chegou ao Rio de Janeiro, onde teve forte expansão. Nos estados de Minas Gerais e São Paulo a cultura foi estabelecida por volta de 1825 e no Paraná em 1928, proporcionando a geração de renda que viabilizou a abertura de estradas e a fundação de importantes cidades (NEVES, 1974). O Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de café e atualmente a produção brasileira compõe cerca de 30% da produção mundial. (ICO, 2010).

O parque cafeeiro do Brasil é cerca de 2,111 milhões de ha e 5,610 bilhões de pés de café. A safra brasileira de café entre 2005 e 2009 foi de 32,9; 42,5; 36,1; 45,9 e 39,5 milhões de sacas beneficiadas, respectivamente. O estado de Minas Gerais, com aproximadamente 1,008 milhão de ha ocupados pelo café e 3,104 bilhões de pés de café, responde por cerca de 50% da produção nacional (CONAB, 2010).

O café é uma cultura de elevada demanda nutricional e significativa exportação de nutrientes pelos frutos. Tradicionalmente o café era implantado em áreas recém desmatadas e, portanto em solos de alta fertilidade, ao menos inicialmente. O esgotamento das reservas de nutrientes minerais dos solos, a expansão da cafeicultura para regiões de solos ácidos e de baixa fertilidade natural e a necessidade de incremento de produtividade para manter a viabilidade econômica da cultura foram fatores que determinaram a necessidade crescente do uso de corretivos e fertilizantes. No entanto, os fertilizantes minerais são insumos responsáveis por uma parcela considerável dos

custos de produção de café. Ademais, vários nutrientes minerais possuem reservas naturais limitadas. Neste cenário, o diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro é essencial para o ajustamento do programa de adubação buscando a maximização da eficiência de produção.

O diagnóstico do estado nutricional das plantas baseia-se na avaliação de suas condições em relação à nutrição mineral, com o objetivo de dar suporte ao manejo da adubação da cultura com base nas técnicas de aplicação de doses variáveis de fertilizantes ou adubação adaptada a locais distintos. O estado nutricional das plantas pode ser avaliado por meio de procedimentos diretos e indiretos. Os métodos indiretos procuram relacionar a concentração de determinado nutriente com alguma característica tal como a atividade de uma enzima, a concentração de clorofila ou a intensidade de energia irradiada pelas folhas. Os procedimentos diretos determinam a concentração total do nutriente, ou uma fração desta concentração, destacando-se a análise química da matéria seca de partes da planta, notadamente as folhas (FONTES, 2001).

A técnica de análise de tecidos tem sido empregada para fins de diagnose nutricional devido à relação existente entre a composição mineral e a produção vegetal. A interpretação da análise de tecidos requer o estabelecimento prévio de padrões adequados para comparações, obtidos a partir do conhecimento dos teores de nutrientes em plantas normais e produtivas. Esses padrões devem considerar a parte da planta a ser analisada, a época de amostragem e o número de sub-amostras para compor uma amostra composta representativa (MARTINEZ *et al.*, 2004).

Na cultura do cafeeiro a análise foliar permite avaliar o estado nutricional da planta, detectar deficiências ou excessos nutricionais e ajustar o programa de adubação, e essa técnica assume grande importância devido à constatação de baixa relação entre a disponibilidade de nutrientes no solo, na fase que antecede o ciclo de crescimento e produção, e a produtividade da cultura, especialmente em solos com baixa CTC (SOUZA *et al.*, 2000), o que provavelmente seja devido às adubações realizadas durante o ciclo de crescimento, nas quais a dose de nutrientes fornecida compensa eventuais déficits apontados pela análise de solo. Erros no processo de amostragem do solo também podem ocorrer. Oliveira *et al.* (2008) compararam o método de amostragem convencional de solo e a amostragem espacial e verificaram que a análise espacial identificou zonas de déficit e de excesso que não poderiam ser identificadas por meio do método convencional de amostragem.

A análise foliar avalia o que efetivamente foi absorvido pela planta, independentemente de fatores do solo que possam limitar ou comprometer a disponibilidade dos nutrientes, e é empregada com sucesso, havendo inclusive, para o estado de Minas Gerais, faixas críticas de concentração de nutrientes nas folhas específicas para diferentes regiões produtoras de café (MARTINEZ *et al.*, 2003a).

A coleta de folhas do cafeeiro para fins de diagnose do estado nutricional é recomendada no período que antecede a fase de expansão rápida dos frutos, ou seja, a fase fenológica conhecida como 'chumbinho' devido ao baixo efeito de dreno metabólico que os frutos exercem nesta fase. A fase de chumbinho geralmente coincide, no Brasil, com os meses de novembro, dezembro ou janeiro, de acordo com as condições climáticas características de cada região. No entanto, nessa época o diagnóstico nutricional por meio de análise foliar poder ser apenas parcialmente eficaz, por não haver tempo hábil para correção de eventuais deficiências ou excessos antes que perdas irreversíveis de produtividade tenham ocorrido. Neste sentido, Martinez *et al.* (2003b) sugeriram que a antecipação da avaliação do estado nutricional do cafeeiro por meio da análise química de flores é de grande interesse, por proporcionar o ajuste do programa de adubação no início da estação de crescimento. A análise química de flores vem sendo estudada como forma auxiliar de diagnóstico nutricional em espécies frutíferas perenes, particularmente na Europa (SANZ; MONTAÑÉS, 1995; SANZ; MACHÍN, 1999; IGARTUA *et al.*, 2000).

A demanda nutricional durante a fase de floração do cafeeiro é elevada. A composição nutricional e a extração de nutrientes por flores de cafeeiro foi estudada por Malavolta *et al.* (2002) e os autores verificaram grandes quantidades de nutrientes contidos nesses órgãos, indicando que as flores do cafeeiro constituem um forte dreno temporário de nutrientes. Obviamente o suprimento da demanda nutricional de botões em crescimento dependerá da absorção de nutrientes pelas raízes e do transporte dos nutrientes no sistema vascular, entretanto pouco se sabe sobre a variação nos teores de nutrientes durante a fase de crescimento dos botões florais.

Além das análises químicas rotineiras para diagnóstico do estado nutricional de plantas, os testes rápidos de tecido têm se mostrado método alternativo e eficiente comparativamente à análise foliar tradicional, a qual é dependente de tempo, mão de obra qualificada e estrutura específica de laboratório e equipamentos. O uso de micropotenciômetros portáteis e específicos para alguns íons, com destaque para NO₃ e K, possibilita a determinação dos teores solúveis no extrato de pecíolos ou limbo foliar

(FONTES, 2001), tendo como principais vantagens a rapidez na determinação, a simplicidade da técnica e o baixo custo operacional.

O presente trabalho apresenta-se dividido em três capítulos. No primeiro capítulo estudou-se o crescimento e a composição mineral de plantas jovens de cafeeiro em resposta a doses de potássio em casa de vegetação, e determinou-se a relação entre o teor de potássio total e solúvel com objetivo de avaliar a técnica de diagnose foliar rápida de potássio com uso de cartão medidor de íons. O segundo capítulo determinou a composição mineral de folhas e botões florais de cafeeiro, no período que antecede a antese, e comparou a extração de nutrientes entre plantas de cafeeiro cultivadas no sistema de sequeiro e irrigado. O terceiro capítulo determinou a composição mineral de flores e de folhas de cafeeiros de alta e de baixa produtividade, estudou a relação entre os teores de nutrientes em flores e folhas e a relação desses teores com a produção de café, e estimou as faixas críticas de nutrientes em flores e folhas de cafeeiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Diagnose nutricional

Nutriente vegetal é um ‘elemento químico essencial’ para o crescimento e reprodução da planta, ou então se emprega simplesmente o termo ‘nutriente’, o qual subentende essencialidade. Para um elemento químico ser considerado um nutriente ele precisa satisfazer os seguintes critérios de essencialidade (ARNON; STOUT, 1939, citados por MARSCHNER, 1995): a) a planta não é capaz de completar seu ciclo vital na ausência do elemento; b) a função do elemento não pode ser substituída por outro elemento e, c) o elemento deve participar diretamente do metabolismo vegetal, fazendo parte de algum constituinte vegetal ou ser requerido em alguma etapa específica do metabolismo. Atualmente são reconhecidos 14 elementos essenciais, classificados em função da quantidade requerida pela planta em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl, Mo e Ni). Entretanto, a presença do elemento na composição vegetal não indica necessariamente essencialidade. É o caso do Na, Co e Si, denominados ‘elementos benéficos’ por incrementarem o crescimento de algumas espécies. Com o aperfeiçoamento de técnicas de análise e purificação dos meios de cultivo, alguns elementos benéficos poderão no futuro ser considerados essenciais (BARKER; PILBEAM, 2007).

A concentração do nutriente nos tecidos vegetais é relacionada com a produção de matéria seca ou produto comercial, e se essa concentração estiver abaixo do valor adequado para crescimento ótimo a planta é dita deficiente. A relação entre crescimento

e concentração de nutrientes nos tecidos se caracteriza por uma curva com cinco regiões, ilustrada na Figura 1, extraída de Martinez *et al.* (1999).

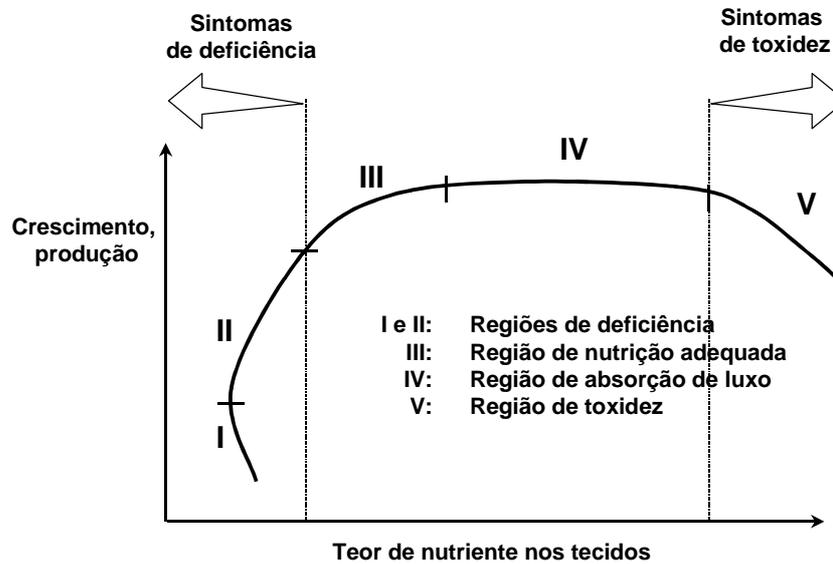


Figura 1 – Relação entre o crescimento ou a produção e os teores de nutrientes em tecidos vegetais.

A primeira e a segunda regiões são chamadas de regiões de deficiência e o aumento no suprimento de determinado nutriente, acompanhado pelo incremento do seu teor nos tecidos da planta, resulta em aumento de crescimento ou produção (BOUMA, 1983; REUTER; ROBINSON, 1988; MILLS; JONES JR, 1996). Na terceira região, ou região de adequação, o aumento do suprimento do nutriente e seu teor nos tecidos da planta não são acompanhados por aumentos proporcionais no crescimento ou produção. Na quarta região, ou região de absorção de luxo, o aumento do suprimento do nutriente e de sua concentração nos tecidos já não incrementa o crescimento ou a produção, e na quinta região nota-se decréscimo no crescimento ou produção se o suprimento e o teor do nutriente nos tecidos continuam a aumentar, caracterizando uma região de toxidez. Conhecendo-se os teores de nutrientes nos tecidos relacionados a cada uma dessas regiões, é possível, por meio de sua análise, avaliar o estado nutricional das culturas (BOUMA, 1983; REUTER; ROBINSON, 1988; MILLS; JONES JR, 1996).

Diversos mecanismos regulatórios em nível celular ou da planta inteira são acionados em resposta a sinais da deficiência nutricional. Esses sinais podem ser a concentração do próprio íon, fitohormônios ou metabólitos, e as respostas incluem alterações na cinética de absorção radicular de íons, incremento no número de carregadores específicos, transporte e compartimentalização de íons em diferentes

órgãos. Certos nutrientes, como o cálcio, atuam eles próprios como mensageiros secundários para uma ampla gama de respostas fisiológicas. A deficiência de fósforo induz genes que codificam para transportadores de fosfato (EPSTEIN; BLOOM, 2006), assim como os transportadores de K de alta afinidade tem a síntese incrementada sob baixa concentração de K no meio externo ou em tecidos específicos (SCHACHTMAN, 2000).

A deficiência nutricional produz alterações no metabolismo e crescimento, inicialmente retardando os processos metabólicos em que o nutriente participa diretamente e, se a deficiência for agravada, outras etapas do metabolismo serão afetadas indiretamente. Deficiências severas apresentam sintomas típicos, entretanto, distúrbios no metabolismo vegetal, redução de crescimento e de produtividade podem acontecer mesmo sem a manifestação de sintomas visuais (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Diagnosticar uma deficiência nutricional e corrigir tal deficiência é uma das funções da ciência da nutrição mineral de plantas. Para isso, várias técnicas de diagnose e interpretação dos resultados têm sido desenvolvidas e aprimoradas ao longo de décadas, entre elas a análise visual, a análise de tecidos, testes bioquímicos e a análise de solo.

2.2 Diagnose visual

As alterações metabólicas causadas pela deficiência de nutrientes eventualmente se manifestam em sintomas macroscópicos e a aparência de estruturas celulares pode mostrar mudanças passíveis de serem estudadas com microscópio (EPSTEIN; BLOOM, 2006) e assim, a diagnose visual consiste na observação de sintomas de deficiência ou toxidez de nutrientes.

Os sintomas foliares podem ser divididos em cinco classes (BENNETT, 1993): a) clorose, uniforme ou internerval; b) necrose, nas pontas, margens ou entre as nervuras das folhas; c) perda da dominância apical, com morte da gema apical e, ou, superbrotamento; d) acúmulo de antocianina e desenvolvimento de coloração avermelhada e, e) deformação, com coloração normal ou amarelecimento.

Alguns nutrientes apresentam sintomas típicos de deficiência para um grande número de culturas, tais como a clorose em folhas velhas (deficiência de N), tons roxos em folhas velhas (deficiência de P), clorose seguida de necrose marginal em folhas velhas (deficiência de K), e clorose internerval em folhas novas (deficiência de Fe) (MALAVOLTA, 2006). Na cultura do cafeeiro esses sintomas podem ser facilmente

encontrados no campo (MATIELLO *et al.*, 2005). A ocorrência do sintoma em folhas velhas ou novas depende da mobilidade do elemento no floema. Elementos móveis, como N, P, K e Mg, manifestarão a deficiência primeiramente em folhas velhas, de onde foram translocados para suprir as regiões de dreno metabólico, enquanto que as folhas novas sentirão primeiramente a deficiência de elementos pouco móveis, como Ca, Mn, Cu, Zn, Fe e B (MALAVOLTA, 2006).

A diagnose visual, apesar de rápida e pouco dispendiosa, apresenta sérias limitações, pois, quando há manifestação visível de sintomas de carência ou excesso nutricional, uma parte significativa da produção das plantas já foi comprometida. Além disso, em condições de campo comumente tem-se deficiência de mais de um elemento ao mesmo tempo, dificultando a diagnose. Fatores bióticos e, ou abióticos que possam alterar o estado nutricional da planta ou induzir padrões de danos similares à deficiência ou toxidez de nutrientes devem ser avaliados, tais como o déficit hídrico ou excesso do suprimento de água, variações bruscas de temperatura, textura e compactação do solo, reações entre misturas de produtos fitossanitários, toxidez causada por herbicidas, senescência natural de folhas, ataque de pragas e doenças e práticas de cultivo inadequadas, entre outros fatores (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

2.3 Análise de tecidos

A análise de tecidos consiste na determinação da concentração de um elemento ou da fração extraível desse elemento em amostra tomada de uma porção particular da planta, num momento ou estágio de desenvolvimento morfológico definido. De modo geral esse tipo de análise é realizado em tecidos foliares, determinando-se a quantidade total do nutriente e expressando o resultado com base na matéria seca. Outros órgãos como flores, frutos ou pecíolos também podem ser empregados em casos específicos. Segundo Barker e Pilbeam (2007), alguns métodos de aplicação mais restrita determinam frações não assimiladas de nutrientes no filtrado do extrato de tecidos foliares, tecidos de raízes ou na seiva de pecíolos, sendo esses designados geralmente de 'testes rápidos' e realizados muitas vezes no próprio campo onde a cultura se encontra, com uso de equipamentos portáteis.

2.3.1 Análise foliar

Na abordagem clássica de Ulrich (1948), citado por Malavolta (2006), a diagnose foliar é “uma ajuda para solução de problemas nutricionais das plantas crescendo em condições de campo”, e que atualmente é usada em conjunto com outros métodos, em particular a análise de solo. Ao descrever anteriormente a relação existente entre a curva de crescimento e a concentração de nutrientes nos tecidos da planta, nota-se a validade e importância da análise foliar que, ao determinar o teor de um determinado nutriente, possibilita a diagnose nutricional do mesmo por comparação com os teores previamente definidos, ou padrões, para cada região da curva.

A composição mineral dos tecidos vegetais é influenciada por uma série de fatores que interagem até o momento da coleta, fatores esses relacionados à própria planta (espécie, variedade, relação porta-enxerto/copa, estágio vegetativo, idade da planta e da folha amostrada, produção pendente e estado fitossanitário) e ao ambiente (variações climáticas, práticas culturais, disponibilidade de nutrientes, condições físicas e manejo do solo) (MALAVOLTA, 2006). Assim, a interpretação da análise foliar requer o estabelecimento prévio de padrões adequados para comparações, ou seja, teores de nutrientes em folhas de posições determinadas e em época adequada para plantas normais e produtivas (MARTINEZ *et al.*, 2004).

As amostras foliares de lavouras devem seguir rigorosamente o método de coleta empregado na obtenção dos teores de referência ou padrões, quanto ao tipo de folha e posição na planta, época e intensidade de amostragem. Para o cafeeiro, tais informações baseiam-se principalmente na experiência acumulada e em alguns trabalhos científicos. Lott *et al.* (1956) provavelmente foram os primeiros a sugerirem, com base em dados experimentais e análise estatística, a amostragem da 3^a ou 4^a folha a partir do ápice do ramo, considerando que a 1^a folha deve ter ao menos “meia polegada” de comprimento, ou equivalente a 1,25 cm. Certamente esses autores presumiram o que Martinez *et al.* (2004) afirmam, ou seja, que as folhas recém-maduras são o local da produção de carboidratos pela fotossíntese, desempenham importantes funções no metabolismo vegetal e são também o principal local para onde são transportados os nutrientes absorvidos pelas raízes, sendo por isso consideradas os órgãos da planta que melhor refletem seu estado nutricional. A recomendação de Malavolta *et al.* (1997) é a coleta do 3^o e 4^o pares de folhas, no início do verão, em 25 plantas por talhão homogêneo, a

meia altura nos quatro quadrantes da planta, ou nos lados livres no caso de plantios adensados.

Os teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro variam ao longo do tempo com o desenvolvimento dos frutos. Laviola (2004) estudou a dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos em três variedades de cafeeiro submetidos a três níveis de adubação e constatou que os teores de macronutrientes no 3^o e 4^o pares de folhas foram influenciados tanto pelos níveis de adubação quanto pela carga pendente. Esse autor verificou que os teores foliares de N, Ca e Mg diminuíram entre as fases fenológicas de ‘chumbinho’ (0-42 dias após a antese) e ‘crescimento estacionário’ (105-133 dias após a antese); os teores de K e S, apesar de não apresentarem um padrão regular de variação, sofreram pequenas alterações na fase inicial de desenvolvimento dos frutos. Esses resultados sugerem que a amostragem de folhas para fins de diagnose nutricional do cafeeiro deve ser feita quando os frutos encontram-se na fase de chumbinho, pois nesta fase são mínimas as alterações nos teores foliares de macronutrientes.

Após a amostragem e processamento das folhas no laboratório, a interpretação dos resultados das análises foliares pode ser feita por simples comparação entre a concentração de um elemento na amostra em teste e sua norma, como os métodos de nível crítico, faixas de suficiência e fertigramas, ou por meio de métodos que usam relações entre dois ou mais elementos, como o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) (MARTINEZ *et al.*, 1999), e ainda por outros métodos de uso menos freqüente, como os Índices Balanceados de Kenworthy (KENWORTHY, 1961) e o Desvio Percentual do Ótimo (MONTAÑÉS *et al.*, 1993). As faixas de suficiência ou faixas críticas constituem o método de interpretação mais difundido atualmente.

O nível crítico corresponde à concentração foliar do elemento relacionada à intensidade máxima de algum processo fisiológico determinante do crescimento e da produção (MALAVOLTA, 2006). Alguns autores estabelecem como nível crítico o teor foliar de um nutriente associado a 90% da produção ou crescimento máximo verificado na curva de resposta, ou 80% em se tratando de agricultura menos intensiva (MARSCHNER, 1995). A definição de Lagatu e Maume (1934), citados por Smith (1988), sugere que se o teor foliar de um nutriente esta acima do nível crítico, a probabilidade de resposta a adição desse nutriente é baixa, e se o teor foliar esta abaixo do nível crítico, o crescimento, a produção e a qualidade do produto diminuem.

As principais vantagens do uso de níveis críticos são a facilidade de interpretação dos resultados e a independência entre os níveis de diferentes nutrientes.

Entretanto, sendo o nível crítico um valor fixo, têm-se como desvantagens a impossibilidade de se determinar o grau de deficiência ou de excesso e a limitação em identificar qual nutriente é o mais problemático quando mais de um nutriente é deficiente. Nesse contexto, o uso de faixas críticas aumenta a flexibilidade da diagnose, no entanto, com alguma redução de precisão. Para o cafeeiro, o método das faixas críticas tem sido o mais empregado (MARTINEZ *et al.*, 1999).

Os primeiros relatos de análise foliar em cafeeiro são de Hehner (1874), citado por Malavolta (2006). No Brasil, o Instituto Agrônomo de Campinas realizou os primeiros ensaios utilizando análise foliar do cafeeiro a partir de 1954 (HIROCE, 1982). Desde então, a técnica da análise foliar é uma importante ferramenta na diagnose nutricional do cafeeiro, e imprescindível na confecção de curvas de resposta de crescimento ou produção em função dos teores de nutrientes foliares, na determinação dos níveis críticos ou das faixas críticas foliares, nos estudos de partição e dinâmica de nutrientes e demanda nutricional, no levantamento do estado nutricional de lavouras de uma determinada região, na diagnose de carências ou excessos de nutrientes, também para confirmação da diagnose visual e finalmente para o ajustamento do programa de adubação.

A análise foliar foi empregada por Martinez *et al.* (2003a, 2004) para determinação das faixas críticas de nutrientes em quatro regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais: Cerrado (Patrocínio), Matas de Minas (Manhuaçu e Viçosa), e Sul de Minas (São Sebastião do Paraíso e Guaxupé). Segundo esses autores, a motivação desse trabalho reside no fato de que as faixas de suficiência empregadas não são específicas para uma dada região e, muitas vezes, derivam de trabalhos de pesquisa relativamente antigos, quando os níveis de produtividade alcançados eram bastante inferiores aos atuais. Apesar de não serem constatadas diferenças significativas entre as regiões, os resultados obtidos mostraram que as faixas críticas dos teores de P e S foram mais elevadas nas folhas dos cafeeiros das Matas de Minas e as faixas críticas dos teores de N foram menores na região do Cerrado. Para Cu, Fe e Zn, as faixas críticas foram mais elevadas nas lavouras da região do Cerrado. Em relação ao Mn, as lavouras das Matas de Minas, no município de Viçosa, apresentaram os maiores valores de faixas críticas.

Análises foliares para levantamento do estado nutricional do cafeeiro foram usadas por Lott *et al.* (1961), os quais avaliaram 126 e 46 lavouras dos estados de São Paulo e Paraná, respectivamente, comparando os dados obtidos com os valores considerados adequados para o cafeeiro, segundo a literatura disponível na época. Os

micronutrientes Cu, Mn e B foram considerados adequados em praticamente todos os cafezais estudados, enquanto que os seguintes elementos foram encontrados em deficiência na seguinte ordem decrescente de frequência: N, Mo, Zn, K, Mg, Ca, S e P. A deficiência de N foi a mais generalizada, sendo constatada em 78 e 50% das lavouras de SP e PR, respectivamente. Nesta mesma linha de pesquisa, o estado nutricional das lavouras de café da região do Alto Paranaíba, MG, foi estudado por Borges *et al.* (2004) por meio de análises de solo e foliares em 52 lavouras, sendo os teores foliares de nutrientes interpretados pelo método DRIS. Os resultados permitiram a identificação de maiores limitações à produtividade, pelos teores foliares, para os nutrientes Mn, K, S, N e P. Martinez *et al.* (2003a) estudaram o estado nutricional de 44 lavouras de cafeeiro na região de Patrocínio, MG, e verificaram que o Cu encontrava-se deficiente em 61% das lavouras com produtividade inferior a 30 sc/ha e os nutrientes Mn, Zn, Fe e K igualmente deficientes em 31% nas mesmas lavouras. Garcia *et al.* (1983) avaliaram o estado nutricional das lavouras cafeeiras do Sul de Minas por meio de análises foliares e verificaram teores foliares adequados de N, P, K, Fe, Mn e Cu, e deficientes em Ca, Mg, Zn e B.

Os trabalhos de Lott *et al.* (1961), Garcia *et al.* (1983), Martinez *et al.* (2003a) e Borges *et al.* (2004), revelam diferenças substanciais no estado nutricional do cafeeiro em diferentes regiões, sinalizando a necessidade de estudos regionalizados que proporcionem maior refinamento na diagnose nutricional do cafeeiro.

A constatação de baixa correlação entre os teores de nutrientes no solo e a produtividade do cafeeiro reforça a importância da análise foliar. Segundo Martinez *et al.* (2004), a baixa capacidade preditiva dos modelos obtidos de resultados de análise de solo deve-se ao fato de que solos com baixos teores de nutrientes geralmente recebem maiores quantidades de fertilizantes, indicando que a produtividade sofre maior influência das adubações realizadas durante o ciclo produtivo que das características químicas do solo no período precedente. As concentrações foliares de nutrientes individualmente geralmente não possuem relação com a produção do cafeeiro, mas um modelo de regressão múltipla com oito variáveis de teores de nutrientes (P, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn e B) explicou 80% da variação na produção de café (MARTINEZ *et al.*, 2003b). Correia *et al.* (2002), embora tenham observado que os teores foliares de N, P, K, Zn, Fe e Mn isoladamente apresentaram boa correlação com a produção de *Ceratonia siliqua* L., relatam que o modelo de regressão múltipla gerado com os teores

desses elementos demonstrou coeficiente de determinação bastante superior àqueles dos elementos isolados.

2.3.2 Análise de flores

A composição mineral dos tecidos florais, similarmente ao que ocorre com a composição dos tecidos foliares, pode ser influenciada por uma série de fatores inerentes à própria planta e ao ambiente e, analogamente aos princípios da diagnose foliar, a interpretação da análise de flores requer o estabelecimento prévio de padrões adequados para comparações, ou seja, teores de nutrientes em flores de porções determinadas do ramo, de plantas normais e produtivas e em quantidade representativa do talhão amostrado.

Sanz e Montañés (1995) amostraram flores completas da porção central de ramos de pereira (*Prunus persica* L. Batsch), em cinco plantas de cada pomar, observando que 100 flores oferecem aproximadamente 24 g de matéria fresca ou 4 g de matéria seca. Em pereira e pessegueiro, Abadía *et al.* (2000) coletaram flores completas na região central do ramo, ao redor de toda a copa, sendo que a amostra de 60 flores foi composta por 30 flores da parte superior da copa e 30 flores da parte inferior, igualmente ao descrito por Igartua *et al.* (2000) na amostragem de flores de cinquenta plantas de pessegueiro. Pestana *et al.* (2004) coletaram 30 flores por planta, da porção distal do ramo, em toda a extensão da copa de vinte plantas de laranjeira cv. Valencia. No cafeeiro, Martinez *et al.* (2003b) coletaram flores da porção mediana de ramos localizados no terço médio das plantas, nos quatro quadrantes da copa, em parcelas de cinco plantas por lavoura.

De modo geral, predomina a coleta de flores na porção mediana do ramo e em todos os quadrantes da copa das plantas, de maneira similar a mesma região onde se coletam folhas para análises químicas. Entretanto, não foram encontrados trabalhos na literatura científica que definissem exatamente o local e a quantidade de flores a serem coletadas para obter uma boa representatividade de uma lavoura ou pomar comercial.

O estudo da composição mineral de flores para diagnose nutricional foi proposto inicialmente por Sanz *et al.* (1993) e atualmente esta técnica tem sido estudada com maior intensidade no continente Europeu, em espécies frutíferas como pessegueiro (SANZ; MONTAÑÉS, 1995; IGARTUA *et al.*, 2000), pereira (SANZ *et al.*, 1997) e macieira (SANZ; MACHÍN, 1999), particularmente para diagnose da deficiência de Fe.

Nas espécies, geralmente cultivadas em solos ricos em carbonatos, a clorose induzida por deficiência de Fe é uma das principais desordens nutricionais e acarreta perdas de produção e qualidade dos frutos. Devido ao hábito de crescimento característico destas plantas decíduas, a coleta de folhas é realizada cerca de 120 dias após o florescimento e, portanto, a análise foliar é um método ineficaz para a correção de eventuais deficiências nutricionais no mesmo ciclo produtivo, devido ao avançado estágio de desenvolvimento em que os frutos se encontram (PESTANA *et al.*, 2003).

O teor de Fe nas flores apresentou boa relação com o teor de Fe nas folhas de pereira (SANZ *et al.*, 1993) e pessegueiro (SANZ; MONTAÑÉS, 1995), e vários trabalhos posteriores demonstraram que o grau de clorose induzida por deficiência de Fe é melhor relacionado com os teores de Fe nas flores que nas folhas (SANZ *et al.*, 1997). Igartua *et al.* (2000) ressaltam a ineficiência da análise foliar no diagnóstico nutricional de Fe em pessegueiro (*Prunus persica*), devido ao momento recomendado para amostragem foliar ser muito próximo da colheita dos frutos, e a diagnose foliar nesse ponto ter pouco efeito prático, e também a baixa correlação entre os teores foliares de Fe e a concentração de clorofila. Römheld (2000) designou “paradoxo da clorose” a baixa correlação entre os teores de Fe e clorofila, e atribuiu as causas à inativação de Fe nas folhas, especialmente na forma de fitoferritina, ou a inibição do crescimento da folha devido à clorose, causando um efeito de concentração no teor de Fe.

A análise floral foi empregada com sucesso na diagnose do distúrbio fisiológico conhecido por *bitter pit* em macieira (*Malus pumila* Mill), em que Sanz e Machín (1999) puderam relacionar os teores florais de Ca e Fe e a ocorrência do distúrbio.

O padrão de acúmulo de nutrientes em flores varia entre espécies e pode variar até mesmo entre cultivares da mesma espécie. A partição de nutrientes em flores, folhas e ramos em duas cultivares de *Coffea arabica* foi estudada por Malavolta *et al.* (2002), os quais observaram teores mais elevados de N, P, Fe, Mn, Mo e Zn nas flores da cv. Catuaí Amarelo em relação à cv. Mundo Novo. Segundo esses autores, as variações observadas no conteúdo de alguns nutrientes devem-se a variação genética, a demanda do dreno – botões e flores, e as interações entre nutrientes. Laviola (2004) estudou a dinâmica de macronutrientes em flores, folhas e frutos de três cultivares de *Coffea arabica*, sob três níveis de adubação, e verificou que os teores de nutrientes em todas as partes foram influenciados pelos níveis de adubação e pela carga pendente de frutos.

A diagnose nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores foi estudada por Martinez *et al.* (2003b) com o objetivo de estabelecer faixas críticas de concentração de nutrientes em flores, estimar a correlação entre os teores de nutrientes em flores e folhas e a relação desses teores com a produção de café. Os resultados evidenciaram boa correlação entre os teores de N, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn nas flores e nas folhas coletadas cerca de 90 dias após o florescimento. Um modelo de regressão múltipla com seis variáveis de teores de nutrientes em flores (N, P, K, Ca, S e Fe) explicou 80% da variação na produção de café. Segundo os mesmos autores, o principal benefício da análise de flores é a antecipação da diagnose nutricional e a possibilidade de correção antes que perdas irreversíveis de produtividade tenham ocorrido. Além disso, como as flores são órgãos de curta duração, as reações metabólicas devem ser menos complexas que nas folhas, e o teor de nutrientes fisiologicamente disponíveis deve ser muito próximo dos teores totais determinados analiticamente.

2.3.3 Testes rápidos para diagnose nutricional

Os testes rápidos para diagnose nutricional têm sido impulsionados especialmente pela necessidade de resultados imediatos, muitas vezes no próprio campo ou outro local de cultivo das plantas. Isto se deve ao fato de que a análise foliar tradicional quantifica a concentração total de cada nutriente remanescente no extrato da digestão ou mineralização da matéria orgânica do tecido foliar, sendo esse procedimento moroso e dependente de estrutura laboratorial e mão de obra qualificada. Nesse contexto, os testes rápidos de tecido têm se mostrado um método alternativo e eficiente comparativamente à análise foliar tradicional. A dosagem dos elementos é feita na seiva, ou seja, no extrato composto de água apoplástica, citosólica e vacuolar, normalmente extraído do pecíolo, principalmente para os elementos NO_3 e K, determinando-se, portanto suas formas inorgânicas solúveis (FONTES, 2001).

A relação entre os teores solúveis e totais de elementos nos tecidos tem sido demonstrada para elementos como K em canola e em alfafa, NO_3 em tomateiro e batateira (QIAN *et al.*, 1995; KALLENBACH, 1997; WATERER, 1997 e GUIMARÃES *et al.*, 1999, respectivamente, citados por FONTES, 2001). A análise de NO_3 e K na seiva é simples e relativamente fácil, com procedimentos que podem inclusive ser executados no campo. Entre as técnicas disponíveis para essa avaliação, tem-se *kits* contendo misturas de reagentes específicos para cada nutriente. Os reagentes

podem ser encontrados em pó, líquido ou impregnados em pequenas fitas e mudam de cor em contato com o elemento mineral presente no extrato. A determinação da concentração do elemento na amostra é feita por comparação por meio de uma tabela-padrão de cores (FONTES, 2001).

Uma técnica mais precisa e igualmente fácil de ser executada no campo baseia-se no uso de potenciômetros portáteis dotados de microeletrodos específicos para alguns íons. A determinação é realizada diretamente em uma amostra de seiva do pecíolo ou extrato aquoso foliar, e a concentração do elemento (mg L^{-1}) mostrada em um visor digital. Esses pequenos aparelhos, comercialmente chamados cartão medidor de íons, foram eficientes na determinação de NO_3 na seiva de pecíolo de tomateiro em comparação com N determinado por cromatografia (YAMADA *et al.*, 1995). Folegatti *et al.* (2005) estimaram as correlações para os teores de NO_3 , K e Na na seiva de plantas de tomate com os teores quantificados na matéria seca e na solução do solo.

As principais vantagens do uso do cartão medidor de íons são a possibilidade de obtenção de dados no campo, num curto período de tempo, a ausência de preparação detalhada da amostra e o baixo custo da análise. Como desvantagem apresenta a interferência de outros íons, pois nenhum eletrodo é completamente específico ao elemento em questão (FOLEGATTI *et al.*, 2005).

2.4 Acúmulo de nutrientes em flores

O ciclo fenológico do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil leva dois anos para ser completado e durante esse período a planta passa por diversos estádios: crescimento vegetativo, indução de gemas florais, florescimento, expansão dos frutos, granação e maturação (CAMARGO; CAMARGO, 2001). O desenvolvimento dos botões e flores do cafeeiro ocorre com as primeiras chuvas da primavera e é dependente da atividade da planta no inverno, período em que a taxa de crescimento da parte aérea é reduzida, porém as raízes continuam fisiologicamente ativas, devido ao maior saldo de carboidratos, pois a fotossíntese não é reduzida na mesma proporção que o crescimento da parte aérea (RENA, 2000). Assim, compostos nitrogenados e hormônios vegetais são acumulados nas raízes e transportados para a parte aérea, contribuindo para o crescimento no início da primavera (DA MATTA *et al.*, 1999). Segundo vários autores, o vingamento médio das flores do cafeeiro é da ordem de 50% em condições climáticas normais, no entanto, sob déficit hídrico essa porcentagem pode

ser reduzida significativamente, conforme verificado por Garcia et al. (2008), os quais detectaram o abortamento de 67,7% das flores do cafeeiro nesta condição.

Malavolta *et al.* (2002) afirmam que as flores do cafeeiro constituem um forte dreno temporário de nutrientes. Os autores verificaram que a quantidade média de macronutrientes extraídas pelas flores dos cultivares Mundo Novo e Catuaí Amarelo foi de 74,3 kg ha⁻¹ de N, 79,5 kg ha⁻¹ de K, 69,0 kg ha⁻¹ de Ca, 39,0 kg ha⁻¹ de Mg e 5,4 kg ha⁻¹ de S. Os resultados encontrados por esses autores são bastante expressivos e se pode presumir que o atendimento desta demanda nutricional dependeria de uma intensa absorção de nutrientes pelas raízes num curto intervalo de tempo. Especialmente em se tratando de um período do ano em que o suprimento de água é relativamente restrito, seria esperada a contribuição das reservas de nutrientes contidos em ramos e folhas para o atendimento da necessidade de botões e flores.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIA, J.; TAGLIAVINI, M.; GRASA, R.; BELKHODJA, R., ABADIA, A.; SANZ, M.; FARIA, E. A.; TSIPOURIDIS, C.; MARANGONI, B. Using de flower Fe concentration for stimating crop chlorosis status in fruit tree orchards. A summary report. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 2023-2033, 2000.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. New York: Taylor & Francis, 2007. 662 p.

BENNETT, W. F. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. In: W.F. BENNETT, W. F. (Ed.). **Nutrient deficiencies and toxicities in plants**. St. Paul, Minn.: APS Press, 1993. p. 1-7.

BORGES, I. B.; LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S.; MELO, B; BORGES, E. N. Estado nutricional de lavouras de café na região do Alto Paranaíba-MG. **Biosci. J.**, v. 20, n. 2, p. 197-206, 2004.

BOUMA, D. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. Springer Verlag, Berlim, Heidelberg: New York, Tokyo, 1983. p. 126-140.

CAMARGO, A. P.; CAMAGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamento da safra de café 2009**. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/boletim_cafe09.pdf>. Acesso em: 11 abril 2010.

CORREIA, P. J.; ANASTÁCIO, I.; CANDEIAS, M. F.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A. Nutritional diagnosis in carob-tree: relationships between yield and leaf mineral concentration. **Crop Sci.**, v. 42, p, 1577-1583, 2002.

DA MATTA, F. M.; AMARAL, J. F. T.; RENA, A. B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, v. 60, p. 223-229, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. Princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F.; BOARETTO, R. M.; BOARETTO, A. E. Calibration of cardy-ion meters to mensure nutrient concentrations in soil solutions and plant sap. **Sci. Agric.**, v. 62, n. 1, p. 8-11, 2005.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122 p.

GARCIA, A. L. A.; FAGUNDES, A. V.; PAIVA, R. N.; JAPIASSU, L. B. Efeito do déficit hídrico sobre o abortamento de flores e frutos em *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 34., 2008. Caxambu-MG. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro-RJ: MAPA/PROCAFE, 2008. p.63-65.

GARCIA, A. W. R.; CORREA, J. B.; FREIRE, A.C. (1983). Levantamento das características químicas dos solos e estado nutricional das lavouras cafeeiras do Sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas-MG. **Anais...** IBC/GERCA: Rio de Janeiro, 1983. p. 5-8.

HIROCE, R. Diagnose foliar em cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.;YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. (Ed.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba-SP: Potafos, 1982. 226 p.

ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Disponível em: <http://www.ico.org/pt/new_historical_p.asp?section=Estatistica>. Acesso em: 10 abr. 2010.

IGARTUA, E.; GRASA, R.; SANZ, M.; ABADÍA, A.; ABADÍA, J. Prognosis of iron chlorosis from the mineral composition of flowers in peach. **Journal of Agricultural Science & Biotechnology**, v. 75, n. 1, p. 111-118, 2000.

KENWORTHY, L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In. REUTHER, W. (Ed.). **Plant analysis and fertilizers problems**. Washington, DC: American Institute of Biological Science, 1961. p. 28-43.

LAVIOLA, B. G. **Dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2004.

LOTT, W. L.; NERY, J. P.; GALLO, J. R.; MEDCALF, J. C. A técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro. Campinas-SP: Instituto Agrônômico & IBEC Research Institute, 1956. 40 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo-SP: Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. E OLIVEIRA, S. A. **Diagnóstico do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba-SP: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, flores e folhas do cafeeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P.; GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. 2ª ed. Belo Horizonte: Epamig, 2004. 60 p. (Boletim técnico, 72).

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003a.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; BAYONA, J. A.; ALVAREZ V., V. H.; SANZ, M. Coffee-tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 7, p. 1467-1482, 2003b.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa-MG: CFSMG, 1999. p. 143-168.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. E. FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**. Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro-RJ: MAPA/Procafé, 2005. 438 p.

MILLS, H. A.; JONES JR., J. B. **Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparations, analysis and interpretation guide**. 2. ed. Athens, Georgia: MicroMacro, 1996. 422 p.

MONTAÑÉS, L.; HERAS, L.; ABADÍA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation based a new index: deviation from optimum percentage (DOP). **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 7, p. 1289-1308, 1993.

NEVES, C. *A história do café*. Rio de Janeiro-RJ: Instituto Brasileiro do Café, 1974.52 p.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S.; XAVIER, A. C.; PASSO, R. R.; SILVA, S. A.; SILVA, A. F. Comparação entre métodos de amostragem de solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conillon. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal-SP, v. 28, n. 1, p. 176-186, 2008.

PESTANA, M.; VERENNES, A.; GOSS, M. J.; ABADÍA, J.; FARIA, E. A. Floral analysis as a tool to diagnose iron chlorosis in orange trees. **Plant and Soil**, v. 259, p. 287-295, 2004.

PESTANA, M.; VERENNES, A.; FARIA, E. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. **Food, Agriculture & Environment**, v. 1, n. 1, p. 46-51, 2003.

RENA, A. B. Adubação de inverno do cafeeiro. Epamig/CBP&D-Café, 2000. 2 p. (Circular técnica, 120).

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

RÖMHELD, V. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 1629-1643, 2000.

SANZ, M.; MACHÍN, J. Aplicación del análisis floral al pronóstico y diagnóstico del bitter pit. **ITEA**, v. 95, n. 2, p. 118-124, 1999.

SANZ, M.; BELKHODJA, R.; TOSELLI, M.; MONTANES, L.; ABADIA, A.; TAGLIAVINI, M.; MARANGONI, B.; ABADIA, J. Floral analysis as a possible tool of iron deficiency in peach. **Acta Horticulturae**, v. 448, p. 241-245, 1997.

SANZ, M.; MONTAÑÉS, L. Flower analysis as a new approach to diagnosing the nutritional status of the peach tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 8, p. 1667-1675, 1995.

SANZ, M.; CARRERA, M.; MONTAÑÉS, L. El estado nutricional del peral. Posibilidad del diagnóstico floral. **Hortofruticultura**, v. 10, p. 60-62, 1993.

SCHACHTMAN, D. P. Molecular insight into the structure and function of K⁺ transport mechanisms. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, p. 127-139, 2000.

SMITH, F. W. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In: REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. (Ed.). **Plant analysis: an interpretation manual**. Melbourne: Inkata Press, 1988. 218 p.

SOUZA, R. B.; MARTINEZ, H. E. P.; ALVAREZ V., V. H.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; OLIVEIRA, M. H. Produtividade do cafeeiro em função de características químicas de solos de diferentes regiões de cultivo em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000. Poços de Caldas-MG, **Resumos expandidos**. Brasília-DF: Embrapa Café e Minasplan, 2000. p. 1299-1303.

YAMADA, R.; KATO, T.; IDO, Y.; SEKI, M.; HAYAKAWA, I. Rational manuring management of greenhouse tomatoes based on real-time nutritional diagnosis of plant and soil. 1. Diagnostic standard according to nitrate concentration of petiole juice. **Research Bulletin of the Aichi Agricultural Research Center**, v. 27, p. 205-211, 1995.

Efeito de doses de potássio em mudas de cafeeiro e avaliação do medidor de íons K⁺ para diagnose nutricional

Resumo – O cafeeiro é uma planta perene e o estabelecimento da cultura no campo requer uma nutrição adequada, que por sua vez deve ser ajustada mediante técnicas de diagnose do estado nutricional. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de doses de K sobre o crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv Catuaí 144) e avaliar a eficácia do teste rápido para diagnose nutricional de potássio. O ensaio foi conduzido em vasos e casa de vegetação, no delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições e os tratamentos foram doses de K (50, 150, 300, 450 e 600 mg dm⁻³). Foram avaliadas as características de crescimento, os teores foliares de macro e de micronutrientes e o teor de K no extrato foliar com medidor específico *Cardy Potassium meter*. As mudas de cafeeiro foram sensíveis às doses de K empregadas e sofreram redução linear das variáveis de crescimento com seu aumento. O fornecimento de K foi antagônico para a aquisição dos nutrientes Ca, Mg, Zn e Mn. O medidor portátil *Cardy Potassium meter* foi eficiente na predição do estado nutricional do cafeeiro para K em comparação com a técnica convencional que determina o teor foliar de K total na matéria seca.

Palavras-chave: matéria seca; extrato foliar; análise foliar; absorção de nutrientes.

Effect of potassium doses on coffee seedlings and evaluation of K⁺ meter for nutritional diagnoses

Abstract – Coffee tree is a perennial plant and the establishment of the culture on the field requires a proper nutrition, which in turn has to be fitted by techniques of nutritional diagnoses. The objective of this work was to study the effect of K doses on the initial growth of coffee tree (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí 144) and to evaluate the effectiveness of the fast test of tissue with specific microelectrodes for nutritional diagnoses of potassium. The trial was carried out in plots and greenhouse, in a complete random design with four replicates and the treatments were potassium doses (50, 150, 300, 450 and 600 mg dm⁻³). It was evaluated characteristics of growth, leaf contents of macro and microelements and content of K in the foliar extract by using *Cardy Potassium meter*. Coffee seedlings were sensitive do K doses and they were linearly reduced by growth variables. Supply of K was incompatible for acquisition of Ca, Mg, Zn and Mn. The portable meter *Cardy Potassium meter* was efficient in predicting nutritional status of coffee tree for K in comparison to leaf content of total K.

key-words: dry matter; leaf extracts; leaf analysis; nutrients uptake.

1 Introdução

As plantas necessitam um adequado suprimento de nutrientes durante os estádios de crescimento e reprodução para expressar seu potencial produtivo. Por isso é necessário monitorar os níveis de nutrientes no solo e na planta por meio de técnicas de diagnose nutricional disponíveis, notadamente a análise de solo e a análise foliar. O cafeeiro (*Coffea arabica* L.), por se tratar de uma planta perene, deve receber os cuidados necessários quanto à nutrição mineral na fase de produção de mudas e implantação da lavoura a campo, pois tanto a deficiência quanto o excesso de nutrientes nestas fases poderão comprometer o potencial produtivo da lavoura.

A adubação potássica de pós-plantio do cafeeiro baseia-se nos teores de K no solo e a recomendação segundo Guimaraes *et al.* (1999) varia de zero a trinta gramas de K_2O por planta, dividindo-se a dose em três a quatro parcelamentos. Furlani *et al.* (1976) verificaram que mudas de cafeeiro foram sensíveis a doses acima de 8 g de K_2O por planta na forma de KCl. A resposta do cafeeiro adulto a nutrição potássica é muito variável e definida em função do teor de K no solo e da produtividade esperada, podendo variar de zero a mais de quatrocentos quilos de K_2O por hectare em lavouras com alto potencial produtivo (GUIMARAES *et al.*, 1999). No entanto, Garcia *et al.* (2004) verificaram que não houve resposta de produtividade de café à adubação potássica por um período de 6 anos quando o teor de K no solo variou de 53 a 75 $mg\ dm^{-3}$, ou equivalente a 4% da CTC em dois solos estudados.

Embora a análise de solo seja o método mais difundido para diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação de adubação, a importância da análise foliar na diagnose do estado nutricional do cafeeiro é evidenciada devido à constatação de baixa correlação entre os teores de nutrientes no solo e a produtividade do cafeeiro (MARTINEZ *et al.*, 2004). No entanto, a análise foliar tradicional é um procedimento relativamente demorado e dependente de infra-estrutura, equipamentos específicos e recursos humanos capacitados, o que muitas vezes compromete o uso eficiente dessa técnica. Neste sentido, tem sido desenvolvidos equipamentos e técnicas para testes rápidos em tecido, especialmente pela necessidade de resultados imediatos, muitas vezes no próprio campo ou outro local de cultivo das plantas (FONTES, 2001).

O uso de potenciômetros portáteis equipados com microeletrodos específicos para alguns íons foi avaliado em diversos cultivos. A operação é simples e rápida, e a determinação é realizada diretamente em uma amostra de seiva do pecíolo ou extrato

aquoso foliar, e a concentração do elemento (mg L^{-1}) mostrada em um visor digital. Folegatti *et al.* (2005) verificaram boas correlações para os teores de N-NO_3 , K e Na determinados com microeletrodos específicos na seiva de plantas de tomate com aqueles teores quantificados na matéria seca e na solução do solo. Na cultura do milho, White *et al.* (1996) observaram relação bastante similar de teores de NO_3 e K determinados na seiva e os teores totais de N e K na matéria seca de folhas.

Os objetivos deste trabalho foram estudar o efeito de doses de potássio no crescimento e estado nutricional de mudas de cafeeiro, e avaliar a eficácia do teste rápido em tecido com microeletrodo específico para diagnose nutricional de potássio.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no período de março a dezembro de 2008. O substrato utilizado foi uma mistura de solo e areia grossa na proporção 7/3 com as seguintes características físico-químicas: 460, 441 e 99 g kg^{-1} de argila, areia e silte; 5,40; 3,20; 0,88; 0,07 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de H+Al, Ca, Mg e K respectivamente, 4,52 e 3,05 mg dm^{-3} de P e S, e $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$ 5,05;. O substrato foi peneirado em malha 2 mm e corrigido com Ca e Mg para elevação da saturação de bases a 70% com uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 na proporção 7/3 e dose 8,75 g da mistura por vaso de 7,0 dm^3 de capacidade. O substrato foi mantido umedecido por trinta dias, quando então as mudas de cafeeiro Catuaí 144 com quatro pares de folhas foram transplantadas. O ensaio foi conduzido no delineamento inteiramente ao acaso com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada repetição constou de um vaso com uma muda de cafeeiro, e os tratamentos foram doses de K (50, 150, 300, 450 e 600 mg dm^{-3} de K_2O). A nutrição das plantas com os demais macronutrientes e micronutrientes foi preparada a partir de sais P.A e fornecida via líquida em três parcelamentos quinzenais para evitar elevada pressão osmótica nas raízes. A aplicação foi iniciada aos quinze dias a partir do transplante das mudas para os vasos, e todos os tratamentos receberam igualmente as doses 150, 400, 50 mg dm^{-3} de N, P e S, e 1,33, 1,56, 3,67, 4,00 e 0,81 mg dm^{-3} de Cu, Fe, Mn, Zn e B. As plantas foram irrigadas diariamente com água destilada e os vasos eram reposicionados aleatoriamente a cada 15 dias. Ao final do ensaio foram avaliadas as características de crescimento altura de

planta (Alt, cm), número de ramos plagiotrópicos (Plag, unidade), número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nós 1P, unidade), diâmetro de caule (Dcaule, cm), área foliar total (AF, cm²), massa de matéria seca de folhas (MSF, g), massa de matéria seca de caule e ramos (MSC, g), massa de matéria seca de raízes (MSR, g) e massa de matéria seca total MST, g). Após as avaliações de crescimento, as folhas das plantas de cafeeiro foram lavadas em água deionizada, secas em estufa de circulação forçada a 70 °C por 72 horas e o material moído em moinho tipo Wiley de aço-inóx, armazenado em envelopes de papel e posteriormente submetido à análise química de nutrientes minerais. Para determinação de N, foi realizada digestão sulfúrica e quantificação do teor de N-amoniaco nas amostras através do método colorimétrico de Nessler (JACKSON, 1958). Para determinação dos nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe e Mn foi efetuada a digestão nítrico-perclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959) e para o B a digestão via seca em mufla, a 550 °C durante 3 horas (MALAVOLTA *et al.*, 1997). O P foi determinado por redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974), o K por fotometria de chama (MALAVOLTA *et al.*, 1997), o S por turbidimetria do sulfato (JACKSON, 1958), e os elementos Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). O B foi determinado pelo método da azometina H (MALAVOLTA *et al.*, 1997). O teor de K no extrato foliar foi determinado em uma amostra de dois discos foliares de 14,0 mm de diâmetro, extraídos do quarto par de folhas a partir do ápice do ramo plagiotrópico mediano da planta. Os discos foliares foram coletados pela manhã, entre 7 e 8 horas, macerados com adição de 1,0 mL de água deionizada e o teor de K determinado com o uso do medidor específico de íons *Cardy Potassium meter* fabricado pela Spectrum Technologies, Inc. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e análise de regressão, adotando-se o modelo de melhor ajuste aos dados com base no coeficiente de determinação. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo computacional em genética e estatística “Genes” (CRUZ, 1997).

3 Resultados e Discussão

3.1 Características de crescimento do cafeeiro

As mudas de cafeeiro foram cultivadas em casa de vegetação por um período de oito meses e atingiram em média 47,45 cm de altura e 13,95 ramos plagiotrópicos ou

equivalente a aproximadamente a sete pares de ramos plagiotrópicos. Na Tabela 1 encontra-se o resumo da análise de variância das características de crescimento e nota-se que houve efeito dos tratamentos para as variáveis número de ramos plagiotrópicos (Plag), área foliar total (AF) e matéria seca de folhas (MSF). Os dados foram submetidos à análise de regressão e as equações encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para os caracteres de crescimento do cafeeiro em resposta a doses de potássio em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2008

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios								
		Alt	Plag	Nós1P	Dcaule	AF	MSF	MSC	MSR	MST
Doses de K	4	8,6740 ^{ns}	0,5500*	0,3250 ^{ns}	0,0235 ^{ns}	473378,68*	15,1053*	3,1145 ^{ns}	19,1001 ^{ns}	94,8743 ^{ns}
Resíduo	15	8,0167	0,1833	0,2167	0,0149	119156,66	5,3865	3,0180	20,2055	49,9925
Média		47,45	13,95	6,85	1,04	2752,86	21,00	11,21	16,97	49,19
CV (%)		5,97	3,07	6,80	11,73	12,54	11,05	15,50	26,48	14,38

*; + significativos a 5 e 10% de probabilidade, pelo teste F; e ^{ns} não significativo.

Tabela 2 – Equações de regressão e respectivos coeficientes de determinação (R^2) para as variáveis de crescimento de plantas de cafeeiros em resposta a doses de potássio em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2008

Variável	Equação	R^2
Área foliar (cm ²)	$Y = 3224 - 1,522x$	0,964*
Matéria seca de folhas (g)	$Y = 23 - 0,08x$	0,913*

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

O modelo de equação linear foi o que melhor se ajustou aos dados de crescimento, evidenciando efeito depressivo das doses de K sobre a área foliar e a matéria seca de folhas das mudas de cafeeiros durante o período de estudo. Não se obteve ajuste de nenhum modelo de regressão para as médias de número de ramos plagiotrópicos.

A redução da AF de plantas de cafeeiro possivelmente foi devida a redução da expansão foliar, tendo em vista que não houve efeito dos tratamentos sobre o número de ramos e o número de nós por ramo, sugerindo que o número de folhas por planta não tenha sido alterado significativamente. Segundo Taiz e Zeiger (1998), a expansão foliar é governada principalmente pela pressão osmótica exercida pelo conteúdo de água celular. Neste sentido, o efeito salino das doses de K no solo pode ter contribuído para reduzir a absorção de água pela planta e contribuído para a redução da expansão foliar. O efeito da salinidade da água de irrigação em mudas de cafeeiro foi estudado por

Karasawa *et al.* (2003), e estes autores verificaram redução das médias das características de crescimento das plantas em função da irrigação com água salina, com destaque para a redução da área foliar, o que corrobora com os resultados obtidos no presente experimento e indica a sensibilidade de mudas de cafeeiro a salinidade.

Furlani *et al.* (1976) estudaram o efeito de doses de potássio em mudas de cafeeiro cultivar Catuaí. As plantas foram cultivadas durante sete meses em vasos de 10 dm⁻³ de capacidade e doses de K₂O entre 0,0 a 32,0 g planta⁻¹, equivalente a 0,0 a 2.667 mg dm⁻³ de K, na forma de KCl e K₂SO₄. O crescimento das mudas foi comprometido com doses de K₂O acima de 8,0 g planta⁻¹, ou equivalente a 667 mg dm⁻³ de K, na forma de KCl. Embora os autores tenham constatado grandes quantidades de Cl⁻ absorvido pelas plantas, não foi possível associar os teores de Cl⁻, que atingiram 7600 mg dm⁻³ na média de todas as folhas, com o efeito depressivo das doses 2,0 e 4,0 g planta⁻¹ de K₂O no crescimento das mudas. Nas doses 8,0 a 32,0 g planta⁻¹ houve sintomas de necrose e queda de folhas associados a teores foliares de Cl⁻ entre 12000 a 60.000 mg dm⁻³ respectivamente, ocasionando a morte de plantas na maior dose estudada. Ademais, constatou-se elevado efeito antagônico para o Ca, que teve forte queda nos teores foliares em função do incremento das doses de K.

3.2 Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes

Relativamente aos teores foliares de macronutrientes e micronutrientes foi observado diferença significativa entre as médias dos tratamentos para os teores de K, Ca, Mg, Zn e Mn (Tabelas 3 e 4). Procedeu-se a análise de regressão e o modelo de equação linear foi o que melhor se ajustou aos dados de teores foliares dos nutrientes, evidenciando efeito direto das doses de K nos teores foliares de K, e efeito indireto das doses de K nos teores de Ca, Mg, Zn e Mn (Figura 1). Os teores foliares dos demais nutrientes não foram afetados pelos tratamentos.

Os teores de macronutrientes observados neste trabalho, em dag kg⁻¹, variaram de 2,37 a 2,57 para N, 0,13 a 0,17 para P, 2,39 a 3,30 para K, 0,89 a 1,22 para Ca, 0,23 a 0,29 para Mg e 0,086 a 0,091 para S. Comparando os resultados obtidos com os valores de faixas críticas de teores foliares de macronutrientes definidas por Clemente *et al.* (2008) para o cafeeiro de 1^o ano pós-plantio, se nota que os teores de N, P, K e Mg estão acima da faixa crítica, enquanto os teores de Ca e S neste experimento ficaram abaixo da faixa crítica.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para os caracteres teores de macronutrientes nas folhas do cafeeiro, em resposta a doses de potássio em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2008

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios								
		N	P	K ⁽¹⁾	K ⁽²⁾	Ca	Mg	S	N	P
Doses de K	4	0,0368 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	0,4691**	3220,00 ^{ns}	0,0697**	0,0026**	0,00001 ^{ns}	0,0368 ^{ns}	0,0012 ^{ns}
Resíduo	15	0,1492	0,0008	0,491	2453,33	0,0110	0,0004	0,00019	0,1492	0,0008
Média		2,45	0,16	2,87	316,00	1,04	0,27	0,09	2,45	0,16
CV (%)		15,74	18,49	7,72	15,67	10,06	7,84	15,61	15,74	18,49

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; e ^{ns} não significativo.

⁽¹⁾ Teor de K total (dag/kg); e ⁽²⁾ teor de k no extrato foliar (mg/L).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para os teores de micronutrientes nas folhas do cafeeiro em resposta a doses de potássio em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2008

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Zn	Cu	Fe	Mn	B
Doses de K	4	7,4500*	0,0438 ^{ns}	884,66 ^{ns}	32292,36**	79,4455 ^{ns}
Resíduo	15	2,3958	0,4083	1024,22	1490,55	105,7167
Média		9,53	2,90	108,38	197,30	78,78
CV (%)		15,25	22,03	29,53	19,57	13,05

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

^{ns} Não significativo.

Os resultados sugerem que o K não interferiu negativamente na nutrição de N, P, S e mesmo mostrando efeito depressivo nos teores de Mg, a necessidade fisiológica deste nutriente não foi afetada pelo K. No entanto, no caso do Ca o antagonismo com K resultou em concentrações abaixo da faixa crítica definida por Clemente *et al.* (2008), mesmo com boa disponibilidade de Ca no solo mediante a correção inicial do substrato. Segundo Malavolta (2006), a absorção radicular de Ca é seriamente afetada pelo excesso de K na solução do solo ou vice-versa, especialmente devido à inibição competitiva por sítios de absorção na membrana plasmática de células das raízes. Os baixos teores de S observados neste experimento podem ser associados a várias causas, em especial o baixo teor no solo, a inibição competitiva com Cl⁻ oriundo do KCl, e a lixiviação de S na forma sulfatos de Ca, Mg e K.

Os teores foliares médios de micronutrientes neste trabalho, em mg kg⁻¹, foram 8,13 a 11,38 para Zn, 2,75 a 3,00 para Cu, 93,00 a 125,88 para Fe, 96,38 a 305,88 para Mn e 75,53 a 86,26 para B. Comparados com as faixas críticas determinadas por Gontijo *et al.* (2007) em mudas de cafeeiros, constata-se teores mais elevados para Zn,

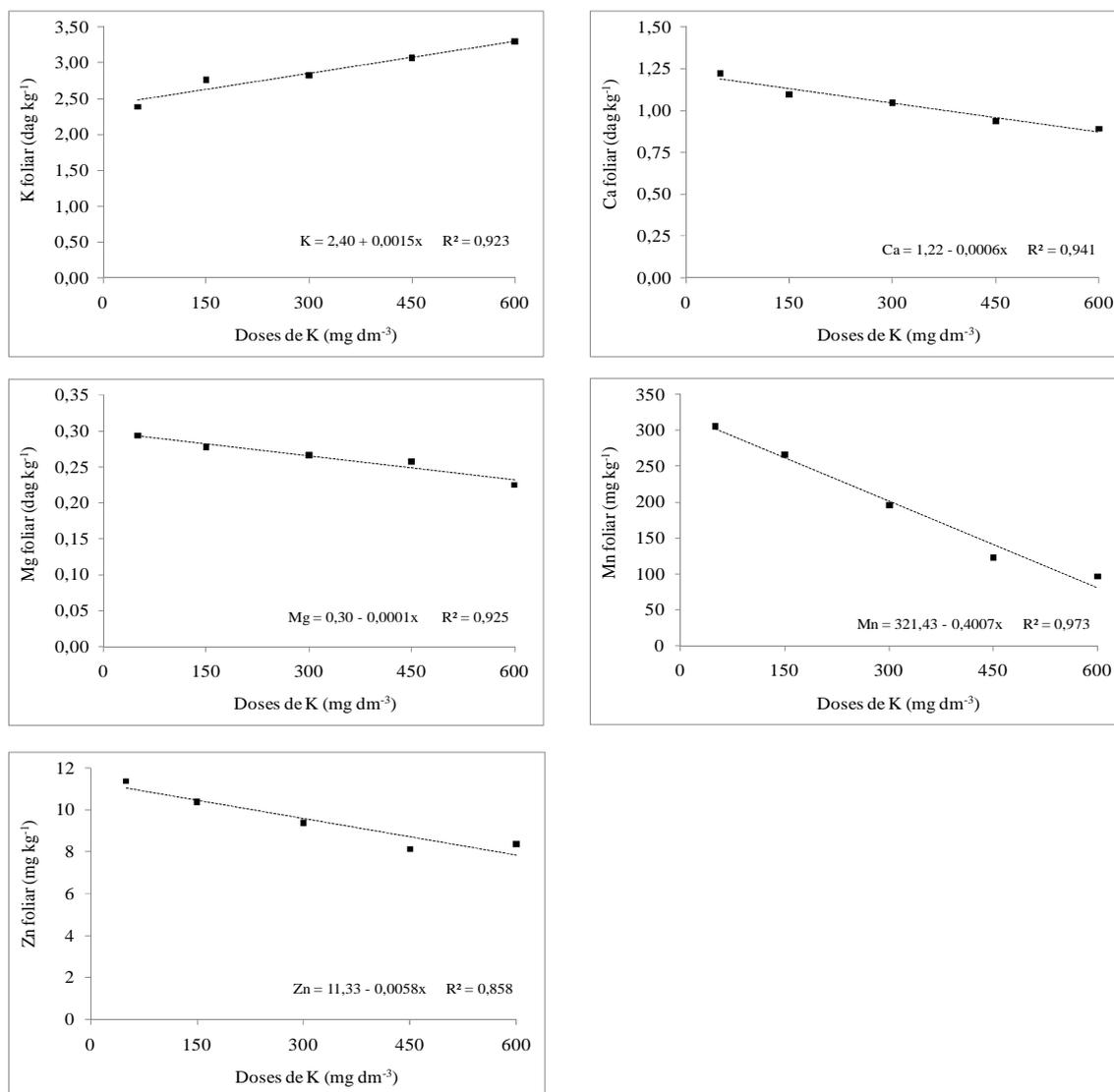


Figura 1 – Equações de regressão ($p < 0,05$) para os teores foliares de K, Ca, Mg, Mn e Zn em plantas de cafeeiro em função de doses de K em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2008.

Mn e B, e teores inferiores a faixa crítica para Cu e Fe. No entanto, estes autores avaliaram as plantas jovens, até seis pares de folhas verdadeiras, o que difere do estágio vegetativo que se encontravam as plantas deste experimento. Ainda assim, os teores de Cu no presente trabalho podem ser considerados muito baixos, provavelmente devido a carência do elemento no substrato associada à possibilidade de dose insuficiente via fertilização.

Os teores foliares dos micronutrientes Zn e Mn decresceram linearmente com o aumento da dose de K (Figura 1)

Ao final do ensaio foram constatados sintomas visuais de deficiência de Mn nas folhas novas das plantas de cafeeiro, que foram mais severos nas plantas dos

tratamentos que receberam as maiores doses de K, contudo não foram observados sintomas de deficiência de Zn. Embora não tenham sido encontrados relatos da interação entre K e Zn ou Mn na literatura sobre a nutrição do cafeeiro, é admissível que esta interação seja do tipo antagônica, a exemplo das reconhecidas interações entre outros nutrientes catiônicos como Ca, Mg e K (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006).

Pelos resultados do presente trabalho, embora a redução no crescimento das mudas de cafeeiro seja numericamente pequena, as equações de regressão significativas indicam que mesmo num solo com baixo teor de K, como o utilizado no preparo do substrato para as mudas, a menor dose equivalente a 50 mg dm^{-3} de K foi suficiente para manutenção do crescimento das mudas de cafeeiro até os oito meses após o transplante. Considerando uma profundidade de 20 cm, a dose 50 mg dm^{-3} corresponderia a 100 kg ha^{-1} de K ou 120 kg ha^{-1} de K_2O , ou 30 g planta^{-1} de K_2O , em se tratando de um cultivo de cafeeiro com população de $4.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, o que esta de acordo com a dose de K_2O recomendada por Guimarães *et al.* (1999) para cafeeiro recém plantado em solo com baixo teor de K. Assim, as doses superiores a 50 mg dm^{-3} reduziram o crescimento do cafeeiro provavelmente devido a interação antagônica do K com Ca, Mg, Zn e Mn.

3.3 Teor de potássio no extrato foliar avaliado com medidor de íons K^+

O teor de potássio no extrato foliar, determinado com uso do medidor portátil de íons K^+ , variou de 240 a 410 mg L^{-1} , incrementou com o aumento das doses de K fornecidas ao cafeeiro, e o modelo de regressão linear foi o que proporcionou melhor ajuste aos dados (Figura 2). Os resultados indicam que os teores foliares de K não atingiram o valor máximo dentro do intervalo de doses estudadas. Na Figura 1 se observa que os teores de K total, determinados na matéria seca das folhas de cafeeiro, também incrementaram linearmente com as doses de K, indicando que há uma relação entre o teor de K total e o teor de K determinado no extrato foliar, e para verificar esta condição foi realizada análise de regressão. A relação entre os teores de K total e K no extrato foliar foi direta (Figura 2) e apresentou coeficiente de determinação igual a 0,725, demonstrando que o medidor portátil de íons K^+ foi eficiente na predição do estado nutricional do cafeeiro para este nutriente.

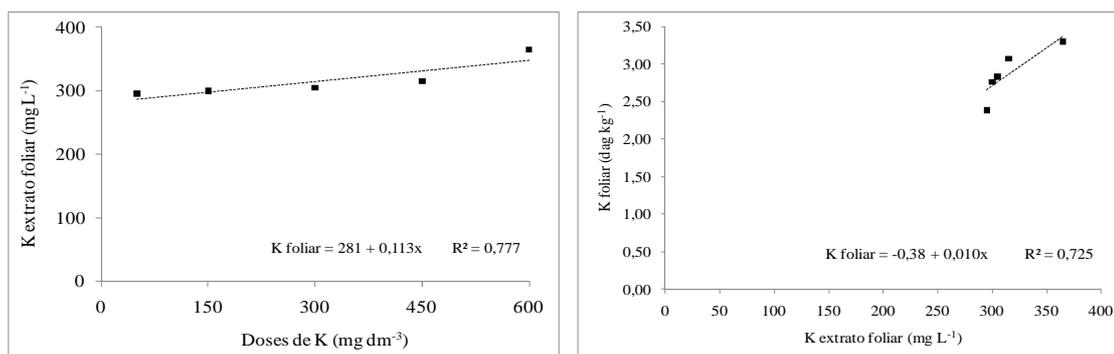


Figura 2 – Equações de regressão ($p < 0,05$) para os teores de K no extrato foliar em função de doses de K e relação entre teor de K no extrato foliar e teor de K total em folhas de cafeeiro em casa de vegetação. Viçosa, MG, 2008.

Embora não tenham sido encontrados trabalhos desta natureza na literatura para a cultura do cafeeiro, em outras culturas a eficiência dos medidores portáteis de íons foi comprovada. Folegatti *et al.* (2005) avaliaram medidores específicos de íons NO_3^- , K^+ e Na^+ na determinação desses nutrientes na solução do solo e na seiva do pecíolo de tomateiro, e os teores foram comparados com os teores foliares determinados pelo método tradicional de análise de solo ou de tecidos. Os autores constataram que houve alta correlação entre os teores de K no solo e na seiva do tomateiro, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,96, e também entre os teores de K na seiva e na matéria seca, entretanto com menor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,68$) comparado aos dados obtidos neste experimento.

Os teores de K na seiva do pecíolo de tomateiro, segundo Folegatti *et al.* (2005), variaram de pouco menos de 2.000 a quase 10.000 mg L^{-1} , evidenciando valores muito superiores aos encontrados nas folhas de cafeeiro do presente trabalho. Na cultura do melão, os teores de K na seiva do pecíolo variaram de 2.700 a 5.000 mg L^{-1} (PERKINS-VEAZIE; ROBERTS, 2002). Estes resultados provavelmente são devidos a diferença genética entre as espécies e a elevada demanda nutricional de K pelo tomateiro e melão em relação à mudas de cafeeiro. Ademais, o K foi determinado diretamente na seiva do pecíolo de folhas de tomateiro e melão, sem diluição em água. Ao contrário, neste ensaio com cafeeiro foi necessário adicionar água à amostra para possibilitar a obtenção de um volume adequado de extrato foliar a partir da maceração das folhas do cafeeiro, as quais são muito resistentes ao atrito.

4 Conclusões

Plantas jovens de cafeeiro Catuaí 144 foram sensíveis às doses de K e sofreram redução das médias das variáveis de crescimento área foliar e matéria seca de folhas, o que sugere baixo requerimento nutricional de K por mudas de cafeeiro e que a nutrição potássica deve ser realizada segundo critérios muito bem definidos.

O fornecimento de K afetou a aquisição dos nutrientes Ca, Mg, Zn e Mn por mudas de cafeeiro e essa relação foi antagônica, com redução das médias dos teores foliares destes nutrientes com o aumento das doses de K, enquanto que os teores foliares N, P, S, Cu, Fe e B não foram alterados pelas doses de K.

O teor de K no extrato foliar aumentou com as doses de K fornecidas ao cafeeiro e a relação entre os teores de K total e K no extrato foliar foi direta, demonstrando que o medidor portátil de íons K^+ foi eficiente na predição do estado nutricional do cafeeiro para este nutriente.

5 Referências Bibliográficas

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed. Washington, DC, 1975. 1094 p.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

CLEMENTE, F. M. V. T.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio – primeiro ano. **Coffee Science**, v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa-MG: Editora UFV, 1997. 442 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição Mineral de Plantas. Princípios e perspectivas*. 2ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F.; BOARETTO, R. M.; BOARETTO, A. E. Calibration of cardy-ion meters to mensure nutrient concentrations in soil solutions and plant sap. *Sci. Agric.*, v. 62, n. 1, p. 8-11, 2005.

FONTES, P. C. R. *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa-MG: UFV, 2001. 122 p.

FURLANI, A. M. C.; CATANI, R. A.; MORAES, F. R. P; FRANCO, C. M. Efeitos da aplicação de cloreto e de sulfato de potássio na nutrição do cafeeiro. **Bragantia**, v. 35, n. 29, p. 349-364, 1976.

GARCIA, A. W. R.; JAPIASSÚ, L. B.; FROTA, G. B. Determinação do índice de potássio ideal no solo para a nutrição do cafeeiro. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, v. 1, n. 1, p. 17-18, 2004.

GONTIJO, R. A. N; CARVALHO, J. G.; GUIMARAES, R. J.; MENDES, A. N. G.; ANDRADE, W. E. B. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 2, n. 2, p. 135-141, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ V., V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5^a Aproximação. Viçosa-MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

JAKCSON, 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**. Vol. 766. Los Angeles: University of California, 1959. p. 32-33.

KARASAWA, S.; EGUCHI, E. S.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; KARASAWA, M. M. G. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigadas com água salina. **Engenharia Rural**, v. 14, p. 1-12, 2003.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo-SP: Ceres, 2006. 638 p.

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

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P. e GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. 2. ed. Belo Horizonte: Epamig, 2004. 60 p. (Boletim técnico, 72.)

PERKINS-VEAZIE, P.; ROBERTS, W. Can potassium application affect the mineral and antioxidant content of horticultural crops? In: SYMPOSIUM ON FERTILIZING CROPS FOR FUNCTIONAL FOOD, November 11, Chapter 2, 2002. 5 p. Disponível em: <<http://www.ppi-ppic.org/functionalfood>>. Acesso em: 14 maio 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 1998. 792 p.

WHITE, J. M.; TYSON, R. V.; HANLON, E. A.; HOCHMUTH, G. J.; NEAL, C. A.
Plant petiole sap testing for nitrogen and potassium in sweet corn growing in mineral
soil. **Proc. Fla. State Hort. Soc.**, v. 109, p. 149-151, 1996.

Dinâmica de macronutrientes em folhas e botões florais de cafeeiro em cultivo de sequeiro e irrigado

Resumo – Pouco se conhece sobre a demanda nutricional de botões florais e flores. O objetivo do presente trabalho foi estudar a dinâmica de macronutrientes em folhas e botões florais no período que antecede a antese, em cafeeiros cultivados em sistema de sequeiro e irrigado. O ensaio foi conduzido em lavoura comercial localizada em Alfenas-MG, no período de 30 de agosto a 2 de outubro de 2008. Foram coletados botões florais e flores em nove épocas durante o período de condução do ensaio a campo, para determinação de matéria seca, teores e conteúdos de macronutrientes. Os resultados permitiram concluir que o crescimento dos botões florais e a data da antese não foram alterados pela irrigação. Os teores de macronutrientes em folhas ou botões florais não foram alterados no período do ensaio e não diferiram entre plantas cultivadas em sistema de sequeiro ou irrigação. O incremento de massa de matéria seca e do conteúdo de macronutrientes nos botões florais foi linear e não diferiu entre plantas de sequeiro e irrigadas.

Palavras-chave: matéria seca; análise foliar; análise de flores; conteúdo de nutrientes.

Macronutrient dynamics in leaves and floral bud of coffee trees in rainfed and irrigated systems

Abstract – Little is known about nutritional requirements of coffee floral buds and flowers. The objective of this work was to study dynamics of macronutrients in coffee leaves and floral buds in the period before anthesis, in orchards grown in rainfed and irrigated systems. The trial was carried out in a commercial crop in Alfenas-MG, from August 30th to October 2nd, 2008. Floral buds and flowers were collected in nine dates during the bud development for determination of dry matter, concentration and total contents of macronutrients. It was concluded by the results that floral bud growth and anthesis date were not affected by irrigation. Contents of macronutrients in leaves and floral bud did not change during the trial and did not differ among plants grown in rainfed or irrigated system. Dry matter production and total content of macronutrients increased linearly in floral buds and did not differ among plants in rainfed and irrigated systems.

Key-words: dry matter; leaf analysis; floral analysis; nutrients content.

1 Introdução

O cafeeiro é uma planta de elevada demanda nutricional e a obtenção de produtividades economicamente viáveis requer um programa de nutrição ajustado à necessidade da planta. Segundo alguns autores, a demanda nutricional do cafeeiro varia pouco com a carga pendente de frutos, tendo em vista que quando a frutificação é baixa, o crescimento vegetativo compensa o efeito de dreno de carboidratos e nutrientes (MALAVOLTA *et al.*, 2002).

O número de flores viáveis, para a grande maioria dos cultivos, é sabido que depende de vários fatores, entre os quais a temperatura, a disponibilidade de água e o estado nutricional da planta. Segundo Melotto (1987), a principal fonte de carboidratos para os botões florais é a fotossíntese corrente e não as reservas contidas nas folhas e ramos, entretanto, as exigências minerais de flores e depois frutos devem ser satisfeitas pela mobilização de nutrientes do solo, dos fertilizantes e dos órgãos vegetais (folhas, ramos e raízes) (MALAVOLTA *et al.*, 2002). Neste sentido, Rena *et al.* (1996) indicam que existe uma grande dependência do estado nutricional e da relação funcional entre folha e fruto para a produtividade do cafeeiro.

O ciclo fenológico do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil, esquematizado por Camargo e Camargo (2001), leva dois anos para ser completado e compreende seis fases distintas: 1^a fase: vegetação e formação das gemas foliares (setembro a março); 2^a fase: indução das gemas florais (abril a junho), finalizada com um período de repouso (julho a agosto); 3^a fase: antese e expansão dos frutos (setembro a dezembro); 4^a fase: granação dos frutos (janeiro a março); 5^a fase: maturação dos frutos (abril a junho); e 6^a fase: senescência dos ramos produtivos não-primários (julho e agosto).

O período limiar entre o final da 2^a e início da 3^a fase, ou seja, entre a quebra de dormência do botão floral e a antese, varia de 7 a 15 dias e é caracterizado por um incremento rápido no estado hídrico do botão floral (RENA; MAESTRI, 1987). Barros *et al.* (1978) sugeriram que as condições que podem promover a antese no cafeeiro são a queda rápida de temperatura, independentemente de déficit hídrico, chuvas abundantes ou irrigação após um longo período de seca e as quedas bruscas de temperatura, seguidas por um abundante fornecimento de água, quer seja por chuva ou irrigação. Estes autores estudaram o efeito do déficit hídrico programado no florescimento do cafeeiro e concluíram que não houve quebra de dormência dos botões

florais devido ao déficit hídrico imposto e a posterior irrigação. A quebra de dormência ocorreu em todos os tratamentos após a ocorrência de precipitações acompanhadas de queda brusca de temperatura.

O desenvolvimento dos botões e flores do cafeeiro ocorre, portanto, com as primeiras chuvas da primavera e é dependente da atividade da planta no inverno, período em que a taxa de crescimento da parte aérea é reduzida, porém as raízes continuam fisiologicamente ativas, devido ao maior saldo de carboidratos, pois a fotossíntese não é reduzida na mesma proporção que o crescimento da parte aérea (RENA, 2000). Assim, compostos nitrogenados e hormônios vegetais são acumulados nas raízes e transportados para a parte aérea, contribuindo para o crescimento no início da primavera (DA MATTA *et al.*, 1999).

Malavolta *et al.* (2002) afirmam que as flores do cafeeiro constituem um forte dreno temporário de nutrientes. Os autores verificaram que a quantidade média de macronutrientes extraídas pelas flores dos cultivares Mundo Novo e Catuaí Amarelo foi de 74,3 kg ha⁻¹ de N, 79,5 kg ha⁻¹ de K, 69,0 kg ha⁻¹ de Ca, 39,0 kg ha⁻¹ de Mg e 5,4 kg ha⁻¹ de S. Naturalmente, o atendimento dessa demanda nutricional depende da absorção pelas raízes e do transporte no xilema, e os autores enfatizam a tese da antecipação da adubação como forma de manutenção do estado nutricional adequado do cafeeiro para possibilitar altos rendimentos.

A maioria dos trabalhos sobre nutrição mineral do cafeeiro recai sobre os teores de nutrientes em folhas, ramos e frutos, e pouco se sabe sobre a demanda nutricional de botões florais e flores. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi estudar a dinâmica de macronutrientes em folhas e botões florais no período que antecede a antese, e determinar a extração de macronutrientes por flores de cafeeiros cultivados em sistema de irrigação e sequeiro.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em lavoura comercial de café cv. Catuaí com 7 anos de idade, espaçamento 3,80 x 0,70 m, de propriedade da Fazenda Iara, localizada em Alfenas, MG, durante o período de agosto a outubro de 2008. A unidade experimental foi constituída por três fileiras de 75 plantas em duas partes da lavoura, uma sob irrigação por pivô central e outra cultivada em sistema de sequeiro, e a fileira central foi considerada área útil, onde foram demarcadas três parcelas de 25 plantas

cada, constituindo as três repetições do ensaio, e as coletas de botões florais e folhas, e posteriormente flores no momento da antese, foram realizadas nas 15 plantas centrais de cada parcela. A coleta de material vegetal foi iniciada em 30.8.2008, quando eram perceptíveis os botões florais em início de desenvolvimento, com cerca de 3 mm comprimento cada, e prosseguiu até 2.10.2008 quando ocorreu a antese, perfazendo nove coletas no total em intervalos de tempo que variaram de 3 a 7 dias entre coletas. As amostragens foram realizadas no quarto nó partir do ápice de ramos localizados na porção mediana da planta, nos lados voltados para a entre linha da lavoura.

Após cada coleta o material vegetal era acondicionado em sacos de papel e encaminhado para o laboratório de análises de solo e plantas da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (EAFMUZ), onde se fazia a contagem das partes (botões, folhas e flores), em seguida o material era lavado em água deionizada e seco em estufa de circulação forçada a 70 °C por 72 horas para determinação da massa de matéria seca de cada parte. Posteriormente o material foi moído em moinho tipo Wiley de aço-inóx, armazenado em envelopes de papel e submetido à análise química de nutrientes minerais. Para determinação de N, foi realizada digestão sulfúrica e quantificação do teor de N-amoniaco nas amostras através do método colorimétrico de Nessler (Jackson, 1958). Para determinação dos nutrientes P, K, Ca, Mg e S, foi efetuada a digestão nítrico-perclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959). O P foi determinado por redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974), o K por fotometria de chama (MALAVOLTA *et al.*, 1997), o S por turbidimetria do sulfato (JACKSON, 1958), e os elementos Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). A partir dos resultados de teores de macronutrientes (dag kg^{-1} de matéria seca) e da massa de matéria seca de cada parte analisada (mg folha^{-1} ou mg botão^{-1}), foram calculados os conteúdos de nutrientes, expressados em mg folha^{-1} ou $\mu\text{g botão}^{-1}$. Os dados de colheita de frutos cereja por planta foram utilizados para estimativa da extração de nutrientes por flores de cafeeiro, com base no conteúdo de nutrientes nas flores e considerando que cada fruto é correspondente a uma flor.

Os dados utilizados para discussão deste experimento foram massa de matéria seca de botões florais, massa de matéria seca de folhas e teores e conteúdos de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S nas referidas partes. Os dados obtidos foram analisados separadamente para lavoura irrigada e lavoura de sequeiro, por se tratar de áreas descontínuas. Inicialmente, procedeu-se a análise de variância e o teste F, a 5% de probabilidade, sendo a data de coleta a fonte de variação, e em seguida análise de

regressão, adotando-se o modelo de melhor ajuste aos dados com base na significância da equação e no coeficiente de determinação. Com objetivo de verificar se a massa de matéria seca de botões, folhas e flores e a composição nutricional difere entre plantas irrigadas e plantas de sequeiro, as médias das massas de matéria seca das partes e as médias dos teores de macronutrientes das plantas cultivadas nos dois sistemas foram comparadas pelo teste *t* a 5% de probabilidade, com base nos intervalos de confiança. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo computacional em genética e estatística “Genes” (CRUZ, 1997).

3 Resultados e Discussão

3.1 Dados climáticos e antese

As coletas de material vegetal iniciaram-se dia 30.8.2008, quando os botões florais encontravam-se com cerca de 3 mm de comprimento, juntamente com a coletas de folhas, e a antese ocorreu dia 2.10.2008. Não foram percebidas diferenças visuais no desenvolvimento de botões florais entre a parcela irrigada e a parcela de sequeiro, e a antese ocorreu simultaneamente nas duas parcelas. Este fato pode ser explicado observando-se os dados climáticos no período de estudo (Tabela 1), registrados pela Cooxupé (2008), onde se nota baixíssimos índices pluviométricos até os dias 20 e 21.9.2008, quando ocorreram precipitações de 14,4 e 34,6 mm, respectivamente. Concomitantemente, se nota a queda brusca de temperatura, em que a mínima observada chegou a 9,4 °C e a máxima baixou de 26,5 para 19,4 °C entre os dias 20 e 22.9.2008.

A incidência de chuvas associada à queda de temperatura induziu a quebra de dormência dos botões florais e a antese ocorreu 11 dias após estes eventos climáticos. Estes dados corroboram com as observações de Barros *et al.* (1978), citados por Soares *et al.* (2005), que sugeriram que a queda rápida de temperatura, independentemente de déficit hídrico, contribuem para promover a antese no cafeeiro, e também que chuvas abundantes ou irrigação após um longo período de seca, associadas ao abaixamento da temperatura do ar, apresentam grande sinergismo no estímulo da antese do cafeeiro.

Aparentemente não houve efeito das irrigações na indução da antese do cafeeiro, provavelmente devido às baixas lâminas de água fornecidas, que variaram de 4 a 6 mm em intervalos irregulares de tempo, em função da ocorrência de chuvas. Ademais,

Tabela 1 – Pluviosidade, temperatura mínima e máxima diárias de Alfenas-MG, no período de 24 de agosto a 2 de outubro de 2008 e lâmina de água fornecida através da irrigação por pivô central. Alfenas-MG, 2008

Data	Precip. ⁽¹⁾	Irrig. ⁽²⁾	Mín. ⁽¹⁾	Máx. ⁽¹⁾	Data	Precip.	Irrig.	Mín.	máx.
	mm	mm	°C	°C		mm	mm	°C	°C
24.8.2008	0	4,0	13,8	27,3	13.9.2008	0	4,0	15,6	27,1
25.8.2008	0	0	15,1	27,6	14.9.2008	1,0	0	16,2	25,1
26.8.2008	0	0	15,0	29,2	15.9.2008	1,2	0	16,1	30,1
27.8.2008	0	6,0	13,9	29,7	16.9.2008	0,2	0	15,4	27,3
28.8.2008	0	0	12,7	30,6	17.9.2008	0	6,0	15,2	22,8
29.8.2008	0	0	13,1	30,4	18.9.2008	0	0	13,0	24,9
30.08.2008	4,0	0	14,8	23,1	19.9.2008	0	0	10,3	25,6
31.8.2008	0	0	11,4	23,9	20.9.2008	14,4	0	13,2	26,5
1.9.2008	0	4,0	11,0	26,8	21.9.2008	34,6	0	14,9	19,7
2.9.2008	0	0	11,7	28,9	22.9.2008	0	0	12,7	19,4
3.9.2008	0	0	13,7	30,0	23.9.2008	0	0	9,4	25,4
4.9.2008	0	6,0	11,8	29,9	24.9.2008	0	0	11,7	26,3
5.9.2008	0	0	12,7	31,6	25.9.2008	0	0	11,9	27,1
6.9.2008	0	0	15,3	33,1	26.9.2008	22,8	0	14,1	19,4
7.9.2008	0	4,0	17,6	30,9	27.9.2008	0	0	13,9	25,3
8.9.2008	0	0	17,6	31,5	28.9.2008	0	0	11,9	26,9
9.9.2008	0	0	17,3	29,8	29.9.2008	0	6,0	12,2	27,2
10.9.2008	0	6,0	15,4	31,5	30.9.2008	0	0	13,3	28,2
11.9.2008	0	0	17,9	32,3	1.10.2008	0	0	17,6	31,7
12.9./2008	0	0	16,6	32,3	2.10.2008	21,2	0	17,1	22,9

Fontes: ⁽¹⁾ Cooxupé (2008); ⁽²⁾ Departamento Técnico da Fazenda Iara (2008), Alfenas-MG.

existem fortes evidências de que a queda de temperatura seja mais importante que a umidade do solo para a antese do cafeeiro. Soares *et al.* (2005) estudaram o efeito do déficit hídrico programado e irrigação no florescimento do cafeeiro na região de zona da mata de Minas Gerais. Estes autores observaram que a quebra de dormência ocorreu em todos os tratamentos após a ocorrência de precipitações acompanhadas de queda brusca de temperatura e concluíram que não houve quebra de dormência dos botões florais devido ao déficit hídrico imposto e a posterior irrigação, sendo o efeito climático natural sobrepujante aos tratamentos avaliados.

3.2 Teores de macronutrientes em folhas e botões florais de cafeeiro

As médias dos teores foliares de nutrientes determinados no período de estudo encontram-se na Tabela 2. Não foram encontradas diferenças significativas entre as

Tabela 2 – Médias dos teores foliares de macronutrientes em cafeeiros cultivados em sistema de sequeiro e irrigado, e faixas críticas de nutrientes definidas por Martinez *et al.* (2003)

Sistema de Cultivo	Teor Foliar (dag kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Sequeiro	3,27	0,11	1,75	1,08	0,34	0,13
Irigado	3,52	0,12	1,87	1,14	0,34	0,18
Faixas críticas	2,78 – 3,10	0,13 – 0,16	2,07 – 3,05	0,87 – 1,41	0,26 – 0,44	0,14 – 0,18

épocas de amostragem e entre plantas cultivadas sob irrigação ou sequeiro, provavelmente devido à boa capacidade de armazenamento de água do solo em questão, associado ao curto período de tempo entre as amostragens, o que refletiu o estado nutricional uniforme entre as plantas nos dois sistemas de cultivo. Campos (2009) avaliou o estado nutricional de lavouras irrigadas e de sequeiro na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, e verificou teores mais elevados de N, P, K, Ca e Mg nas lavouras de sequeiro, atribuindo estes resultados ao fato da irrigação proporcionar fornecimento mais contínuo e equilibrado de nutrientes na solução do solo, fazendo com que a planta não necessite absorver grandes quantidades de nutrientes em curtos períodos de umidade adequada, como possivelmente ocorra nas condições de sequeiro.

Comparando-se os teores obtidos com as faixas críticas para a região de Guaxupé, definidas por Martinez *et al.* (2003), embora o período de amostragem no ensaio não corresponda exatamente ao período normal para análise foliar (frutos em estágio chumbinho), as lavouras estariam adequadamente nutridas em N, Ca e Mg, e ligeiramente deficientes em P, K e S, exceto a lavoura irrigada para S. No entanto, segundo dados apresentados por Malavolta *et al.* (1997) para a cultura do cafeeiro, os teores foliares de nutrientes móveis na planta (N, P, K e Mg) foram mais baixos no mês de agosto comparativamente a dezembro, enquanto os teores de Ca e S foram mais altos. Desta forma, pode-se admitir que as plantas do presente experimento, independentemente do sistema de cultivo, estavam adequadamente nutridas para os macronutrientes. Os teores foliares de macronutrientes não sofreram alteração significativa entre as datas de coleta no período de estudo, não sendo possível ajustar algum modelo aos dados através da análise de regressão.

Os teores médios de macronutrientes nos botões florais do cafeeiro são apresentados na Tabela 3 e não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos (datas de coleta) e não foi possível ajustes de modelos matemáticos

Tabela 3 – Médias dos teores de macronutrientes em botões florais de cafeeiros cultivados em sistema de sequeiro e irrigado. Alfena-MG, 2008

Sistema de Cultivo	Teor Foliar (dag kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Sequeiro	3,95	0,34	2,49	0,33	0,34	0,17
Irrigado	4,43	0,35	2,50	0,34	0,32	0,17

mediante análise de regressão. As médias de teores não foram diferentes nas plantas cultivadas sob irrigação e sequeiro, sendo que este resultado era esperado, uma vez que o estado nutricional avaliado por meio da análise foliar também não diferiu para plantas cultivadas nessas duas condições.

3.3 Massa de matéria seca e conteúdo de macronutrientes de folhas de cafeeiro

A Tabela 4 mostra o resumo da análise de variância para as médias de massa de matéria seca e conteúdo de macronutrientes em folhas de cafeeiro irrigado e de sequeiro, coletadas em diferentes datas.

Tabela 4 – Análise de variância das variáveis matéria seca de folhas (mg folha⁻¹) e conteúdo de macronutrientes (mg folha⁻¹) nas folhas de cafeeiros amostrados em diferentes datas em dois sistemas de cultivo. Alfenas-MG, 2008

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
		MS	N	P	K	Ca	Mg	S
Cultivo de sequeiro								
Data da coleta	8	4572,582*	2,999 ^{ns}	0,026 ^{ns}	3,898**	0,820 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,032 ^{ns}
Resíduo	18	1399,667	3,418	0,032	0,967	1,967	0,309	0,032
Média		531,17	17,35	0,56	9,26	5,74	1,78	0,65
CV (%)		7,04	10,66	31,58	10,62	24,43	31,29	27,52
Cultivo irrigado								
Data da coleta	8	7416,629 ^{ns}	12,052 ^{ns}	0,015 ^{ns}	2,447 ^{ns}	0,596 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,039 ^{ns}
Resíduo	18	13217,783	11,851	0,022	1,994	0,339	0,092	0,025
Média		447,27	15,72	0,54	8,34	5,08	1,52	0,78
CV (%)		25,70	21,90	27,96	16,93	11,47	20,04	20,40

** e * Significativos pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade; e ^{ns} Não significativo.

Na parcela cultivada em sistema de sequeiro verificou-se diferença significativa para massa de matéria seca de folhas e conteúdo de K foliar. Os dados foram submetidos à análise de regressão, e apenas para as médias de conteúdo de K foi possível o ajuste de um modelo significativo (Figura 1).

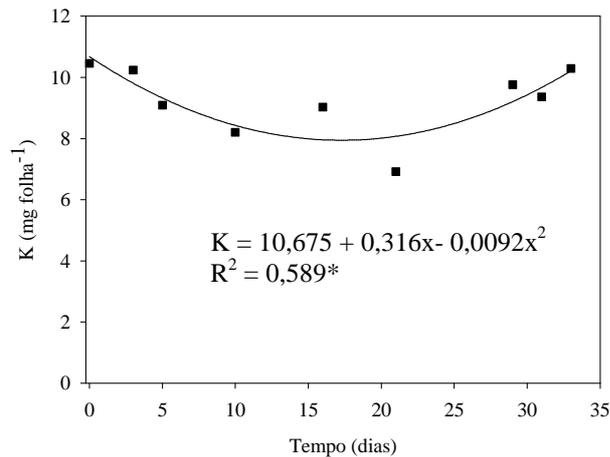


Figura 1 – Equação de regressão ($p < 0,05$) para o conteúdo de K em folhas de café cultivado em sistema de sequeiro, no período entre o início da coleta (30.8.2008) e a antese (2.10.2008). Alfenas-MG, 2008.

O conteúdo mais baixo para K foi determinado nas folhas coletadas em 22.9.2008. Observando-se os dados da Tabela 1, nota-se a ocorrência de chuvas nos dias 20 e 21.9.2008, o que coincide com o forte incremento no conteúdo de K dos botões a partir desta data, sugerindo que as folhas atuaram como fonte deste nutriente para os botões florais até a ocorrência de chuva. Após a chuva a elevação do teor de umidade no solo e o incremento na concentração de K na solução do solo permitiram ao café restabelecer o conteúdo foliar de K.

O crescimento celular ocorre mediante divisão e expansão, sendo que esta última é amplamente dependente do potencial de pressão, que, por sua vez, está associado ao potencial osmótico celular. Quanto maior a concentração de sais no citoplasma, menor o potencial osmótico e a célula tende a absorver água, aumentando o potencial de pressão e promovendo a expansão celular (TAIZ; ZEIGER, 1998). Este fato corrobora com a demanda de K pelos botões florais em crescimento, sendo este íon o principal responsável pelo balanço osmótico celular.

Na parcela cultivada sob irrigação, a análise de variância não revelou diferenças significativas para nenhuma das variáveis de massa de matéria seca e conteúdo de macronutrientes em folhas de café (Tabela 4).

As médias de massa de matéria seca e de teores de macronutrientes em todas as partes analisadas das plantas irrigadas e não irrigadas foram comparadas pelo teste *t*, e apenas a massa de matéria seca de folhas diferiu entre os dois sistemas de cultivo, verificando-se maiores valores para as folhas de plantas de sequeiro (Figura 2).

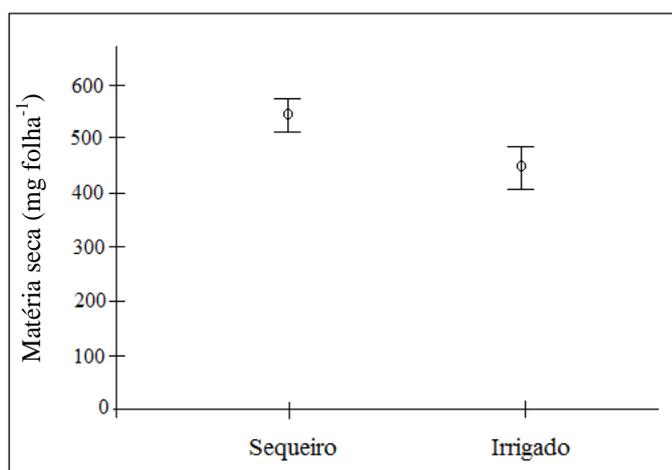


Figura 2 – Massa de matéria seca de folhas de cafeeiros cultivados em sistema de sequeiro e irrigado, comparadas pelo teste *t* a 5% de probabilidade com base nos intervalos de confiança. Alfenas, MG, 2008.

O cafeeiro é uma planta com plasticidade fenotípica e fatores ambientais influenciam diretamente a anatomia foliar, sendo que a condição hídrica é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento foliar (CASTRO *et al.*, 2009). O fato de plantas de sequeiro apresentarem folhas mais pesadas que plantas irrigadas parece ser uma resposta fenotípica a condição de sequeiro. Batista *et al.* (2010) constataram que as cultivares de café com maior potencial de tolerância a seca apresentaram maior espessura do limbo foliar devido a maior espessura de cutícula, de epiderme adaxial e de parênquima paliçádico. Cabe salientar que a maior espessura do parênquima paliçádico está associada às maiores taxas fotossintéticas. Em relação à massa foliar, dentro de certos limites biológicos, folhas mais espessas são também mais pesadas. Neste sentido, é provável que as plantas que não receberam irrigação tenham desenvolvido folhas mais espessas (epiderme adaxial e parênquima paliçádico) como mecanismo para evitar a perda excessiva de água.

3.4 Massa de matéria seca e conteúdo de macronutrientes de botões florais de cafeeiro

A Tabela 5 mostra o resumo da análise de variância para as médias de matéria seca e conteúdo de macronutrientes de botões florais de cafeeiro cultivados em sistema de sequeiro e irrigado. Nota-se que houve diferença significativa entre os tratamentos nas duas situações de manejo da lavoura, exceto para o conteúdo de S nos botões florais.

Tabela 5 – Análise de variância das variáveis matéria seca de botões florais (mg botão⁻¹) e conteúdo de macronutrientes (mg botão⁻¹) nos botões florais de cafeeiros em dois sistemas de cultivo

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
		MS	N	P	K	Ca	Mg	S
Cultivo de sequeiro								
Data da coleta	8	22,358**	44195,741**	236,381**	36838,785**	165,433**	203,801**	54,744 ^{ns}
Resíduo	18	0,919	6584,485	13,843	3510,005	12,954	7,935	26,969
Média		7,97	318,02	26,65	208,80	25,91	26,60	13,68
CV (%)		12,03	25,52	13,96	28,37	13,89	10,59	37,95
Cultivo irrigado								
Data da coleta	8	19,712**	41262,591**	409,051**	30638,785**	203,511**	171,549**	30,054 ^{ns}
Resíduo	18	1,137	6521,015	11,809	617,662	26,071	8,345	21,394
Média		7,58	336,57	27,13	197,98	25,85	24,44	12,48
CV (%)		14,06	23,99	12,67	12,55	19,76	11,82	37,05

** e * Significativos pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade; e ^{ns} Não significativo.

Buscando o entendimento do crescimento e do acúmulo de macronutrientes nos botões florais de cafeeiro, os dados foram submetidos à análise de regressão e verificou-se efeito direto, significativo para todas as variáveis em estudo (Figuras 3 e 4), nos dois sistemas de cultivo. A massa de matéria seca de botões florais incrementou linearmente no período de 30.8 a 2.10.2008 (Figura 3), evidenciando que partir do momento em que são perceptíveis os botões florais (3 mm de comprimento), o crescimento destes órgãos manteve-se praticamente constante até a antese. As médias de massa de matéria seca de botões florais não diferiram entre plantas de sequeiro e irrigadas pelo teste t a 5%.

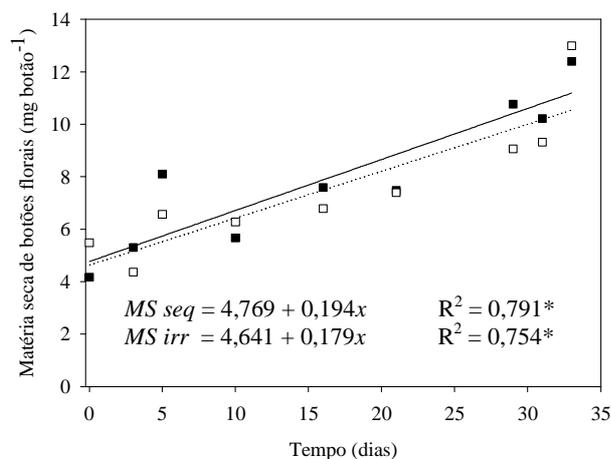


Figura 3 – Equações de regressão para massa de matéria seca de botões florais de cafeeiro, em função do tempo antes da antese, cultivado em sistema de sequeiro (linha sólida; ■) e irrigado (linha pontilhada; □). Alfenas, MG, 2008. (* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F).

Os dados da Figura 4 mostram claramente o incremento direto nos conteúdos de macronutrientes desde o início do ensaio, 33 dias antes da antese, até o momento da florada. Estes resultados foram devidos ao incremento de massa de matéria seca dos botões florais, que demandaram cada vez mais nutrientes para sustentar os seus ganhos de matéria seca que também foram lineares no período, pois os teores foliares não se alteraram significativamente durante o ensaio.

Observando os dados dos teores e conteúdos de macronutrientes nas folhas dos cafeeiros, os quais não se alteraram significativamente durante o período de estudo, pode-se presumir que as plantas se apresentavam adequadamente nutridas para sustentar a demanda nutricional dos botões florais, e que a aquisição de nutrientes através da absorção radicular e, ou mobilização das reservas de raízes, caule e ramos foram suficientes para manter o estado nutricional das folhas e dos botões florais.

As médias dos conteúdos de macronutrientes nos botões florais de cafeeiro foram comparadas pelo teste *t* a 5%, entre plantas cultivadas em sistema de sequeiro e irrigadas, e não foram encontradas diferenças significativas, sugerindo que nas condições do presente experimento o estado nutricional de botões florais do cafeeiro não foi afetado pela prática da irrigação.

Observando-se o conteúdo de macronutrientes alocados em botões florais se nota que a demanda por estes órgãos obedece à seguinte ordem decrescente: plantas cultivadas em sequeiro – N > K > P > Mg > Ca > S; plantas irrigadas – N > K > P > Ca > Mg > S. A demanda nutricional difere amplamente entre botões florais e frutos de cafeeiro. Valarini (2005) determinou, em ordem decrescente, a demanda nutricional de frutos de café em: K > N > Ca > S > Mg > P. O caso mais expressivo refere-se ao P, que nos botões florais é requerido em grande quantidade, provavelmente devido suas funções na constituição de fosfolipídios de membranas e na transferência de energia na forma de ATP, funções estas extremamente importantes nos tecidos vegetais em crescimento (TAIZ; ZEIGER, 1998).

A produção média de café cereja foi de 11,6 e 12,2 litros por planta nas parcelas sequeiro e irrigada, respectivamente, que correspondem a aproximadamente 91 e 96 sacas de café beneficiado por hectare. Na Tabela 6 têm-se os coeficientes técnicos utilizados para o cálculo da produção de matéria seca de flores por hectare e o acúmulo de macronutrientes pelas flores do cafeeiro.

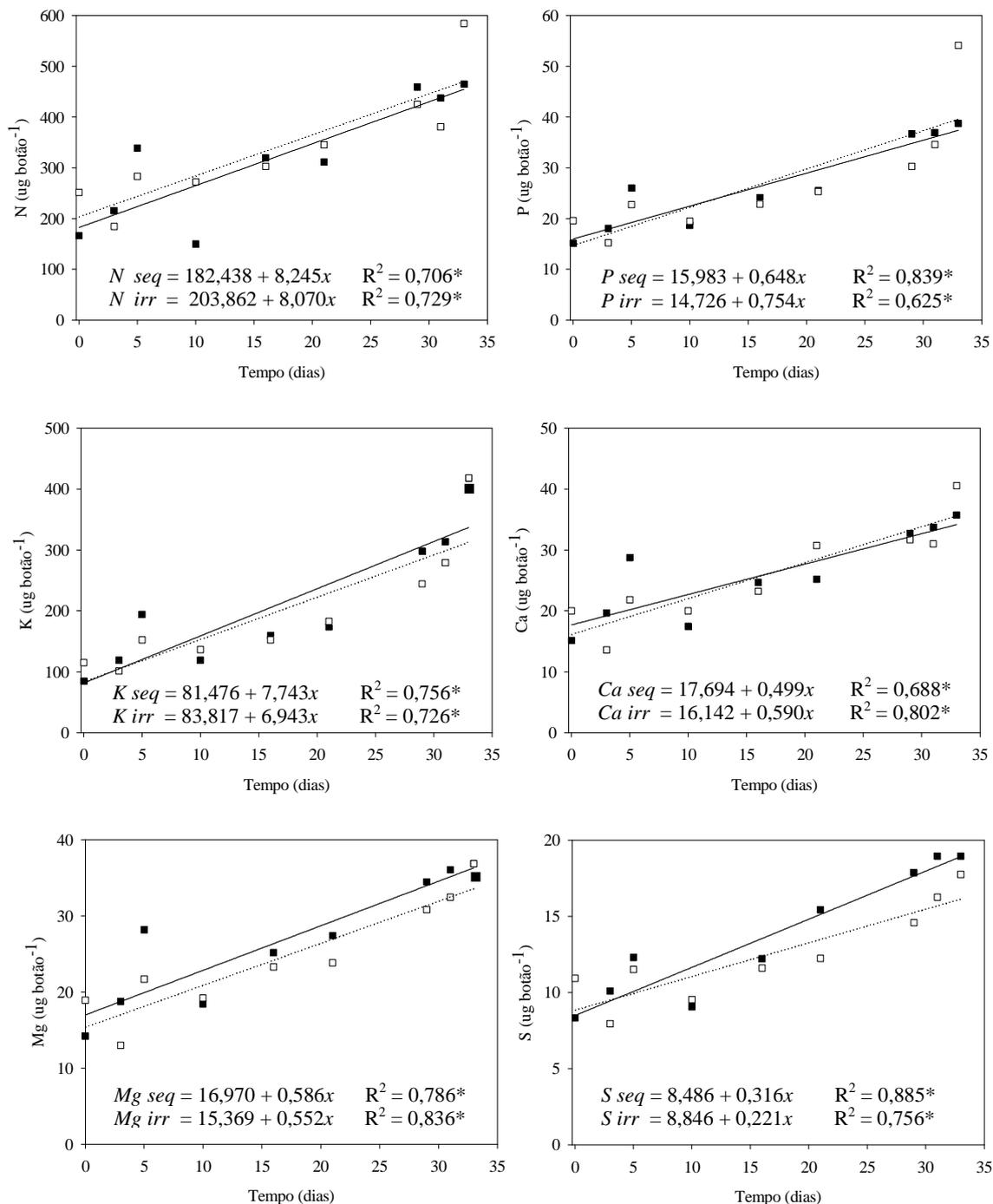


Figura 4 – Equações de regressão para conteúdos de macronutrientes nos botões florais de cafeeiro cultivado em sistema de sequeiro (linha sólida; ■) e irrigado (linha pontilhada; □). Alfenas, MG, 2008. (*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F).

A Tabela 6 demonstra que a produção estimada de matéria seca de flores variou de 180,07 a 198,55 kg ha^{-1} , nas plantas de sequeiro e irrigadas, respectivamente, o que proporcionou maior acúmulo de nutrientes pelas flores de plantas irrigadas.

Tabela 6 – Coeficientes técnicos usados na determinação do acúmulo de macronutrientes por flores de cafeeiro em dois sistemas de cultivo. Alfenas-MG, 2008

Sistema de Cultivo	Sequeiro	Irrigado	Unidades
População de plantas	3759,00	3759,00	plantas ha ⁻¹
Café cereja	11,60	12,20	litros planta ⁻¹
Frutos	333,30	333,30	frutos litro ⁻¹
	3866,28	4066,26	frutos planta ⁻¹
Flores	3866,28	4066,26	flores planta ⁻¹
	14533346,52	15285071,34	flores ha ⁻¹
Matéria seca de flores	12,39	12,99	mg flor ⁻¹
	180,07	198,55	kg ha ⁻¹
Acúmulo de macronutrientes			
Nitrogênio (N)	6,75	8,93	kg ha ⁻¹
Fósforo (P)	0,56	0,83	kg ha ⁻¹
Potássio (K)	6,07	6,39	kg ha ⁻¹
Cálcio (Ca)	0,52	0,62	kg ha ⁻¹
Magnésio (Mg)	0,54	0,56	kg ha ⁻¹
Enxofre (S)	0,28	0,27	kg ha ⁻¹

A repartição de nutrientes em nos ramos, folhas e flores foi estudada por Malavolta et al. (2002) em plantas de cafeeiro cv. Mundo Novo e Catuaí, e determinou-se o conteúdo de nutrientes nestas partes, fazendo-se a extrapolação dos valores por hectare. Os dados encontrados por estes autores para a cv. Catuaí foram 79,0 kg ha⁻¹ de N, 7,8 kg ha⁻¹ de P, 77,3 kg ha⁻¹ de K, 76,1 kg ha⁻¹ de Ca, 46,5 kg ha⁻¹ de Mg e 5,9 kg ha⁻¹ de S.

4 Conclusões

O crescimento dos botões florais e a data antese não foram alterados pela irrigação por pivô central em plantas de cafeeiro em relação a plantas não irrigadas.

Os teores de macronutrientes em folhas ou botões florais não foram alterados significativamente no período de 33 dias anteriores até a antese, e não diferiram entre plantas cultivadas em sistema de sequeiro ou irrigado.

Plantas cultivadas em sistema de sequeiro apresentaram maiores médias de massa de matéria seca de folhas, provavelmente devido a uma adaptação morfofisiológica do cafeeiro para reduzir as perdas de água em momentos de restrição hídrica.

O incremento de matéria seca e do conteúdo de macronutrientes dos botões florais do cafeeiro foi linear no período de estudo, e não diferiu entre plantas irrigadas ou não irrigadas.

Cada flor de cafeeiro acumula em média 525, 46, 418, 38, 37 e 18 μg de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

A quantidade de nutrientes por hectare, imobilizada pelas flores numa lavoura com produção média de 93 sc ha^{-1} é de 7,84 kg de N, 0,69 kg de P, 6,23 kg de K, 0,57 kg de Ca, 0,55 kg de Mg e 0,27 kg de S.

5 Referências Bibliográficas

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed., Washington, DC, 1975. 1094 p.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee. A review. **Journal of Coffee Research**, v. 8, n. 2-3, p. 29-73, 1978.

BATISTA, L. A.; GUIMARAES, R. J.; PEREIRA, F. J.; CARVALHO, G. R.; CASTRO, E. M. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3p. 475-481, 2010.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

CAMARGO, A. P.; CAMAGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMPOS, R. A. **Diagnose foliar em cafeeiro de sequeiro e irrigado na região do Alto Paranaíba com o uso do DRIS**. 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2009.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: Estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras-MG: UFLA, 2009. 234 p.

COOXUPÉ – COOPERATIVA REGIONAL DE CAFEICULTORES DE GUAXUPÉ LTDA., 2008. Disponível em: <<https://www.cooxupe.com.br/meteorologia/antecedentes.php>>. Acesso em: 27 nov. 2008.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa-MG: Editora UFV, 1997. 442 p.

DA MATTA, F. M.; AMARAL, J. F. T.; RENA, A. B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, v. 60, p. 223-229, 1999.

JAKCSON, 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**. Vol. 766. Los Angeles: University of California, 1959. p. 32-33.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, flores e folhas do cafeeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

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

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MELOTTO, E. **Mobilização de carboidratos pelos botões florais de café (*Coffea arabica* L.) em expansão**. 1987. 47 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1987.

RENA, A. B. **Adubação de inverno do cafeeiro**. Belo Horizonte-MG: Epamig/CBP&D-Café, 2000. 2 p. (Circular técnica, 120).

RENA, A. B.; NACIF, A. P.; GONTIJO, P. T. G.; PEREIRA, A. A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO. LONDRINA, 1., 1994, Londrina-PR. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 71-85.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. F.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba-SP: Potafos, 1987. p.119-147.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 117-125, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 1998. 792 p.

VALARINI, V. **Demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica de porte baixo**. 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba-SP, 2005.

Análise química de flores e de folhas para o diagnóstico nutricional do cafeeiro

Resumo – A análise química de tecido foliar é uma prática comumente usada para diagnose do estado nutricional do cafeeiro, e a análise química de flores tem sido estudada com a finalidade de antecipar o diagnóstico nutricional. Os objetivos deste trabalho foram estimar a correlação entre os teores de nutrientes em flores e folhas de cafeeiros; a correlação entre os teores e a produção de café; e estimar as faixas críticas de nutrientes em flores e folhas de cafeeiro. Para isso foram avaliados os teores de nutrientes em flores e folhas e a produtividade de café em 26 lavouras comerciais na região de Manhuaçu, MG, durante três anos. Os resultados permitiram concluir que os teores de nutrientes em flores não variam entre a primeira e a sexta roseta floral a partir do ápice do ramo do cafeeiro. Lavouras de cafeeiros de alta e de baixa produtividade não diferiram quanto ao estado nutricional das plantas no momento da floração. Os teores foliares de nutrientes são melhor correlacionados com a produtividade de café. A análise de flores mostrou-se uma técnica sensível às variações do estado nutricional do cafeeiro em concordância com a análise foliar, porém não para todos os nutrientes, sugerindo que ambas as técnicas devem ser consideradas de maneira complementar.

Palavras-chave: análise foliar; análise de flores; teor de nutrientes; produtividade.

Chemical analyses of flowers and leaves for nutritional diagnoses of coffee tree

Abstract – Chemical analyses of leaf tissue is commonly performed to diagnose nutritional status of the coffee tree, and chemical analyses of the flowers has been studied to anticipate nutritional diagnoses. The objectives of this study were to study correlation among nutrient contents in flowers and leaves of coffee trees, the correlation among contents with coffee production and to determine critical ranges of nutrients in flowers and leaves of coffee trees. For this experiment, it was evaluated nutritional contents of flowers and leaves and coffee yield in 26 commercial crops in the region of Manhuaçu, MG, during three years. The results led to the conclusion that nutritional composition of flowers do not differ between the first and the sixth floral rosette from the apex of the coffee tree branch. Coffee crops of high and low yields do not differ in nutritional status of the plants at flowering. Nutrient contents in leaves explain yield variation of coffee trees better than the nutrient contents in flowers. Flower analyses showed to be a technique sensitive to changes on nutritional status of coffee tree in agreement to leaf analyses, not for all nutrients, however, suggesting that both techniques must be considered in a complementary manner.

Key-words: dry matter, leaf analysis, floral analysis, nutrients content, productivity.

1 Introdução

O diagnóstico do estado nutricional das plantas baseia-se na avaliação de suas condições em relação à nutrição mineral, com o objetivo de dar suporte ao manejo da adubação da cultura com base nas técnicas de aplicação de doses variáveis de fertilizantes ou adubação adaptada a locais distintos. O estado nutricional das plantas pode ser determinado por meio de diversas técnicas, das quais se destacam os procedimentos diretos, ou seja, aqueles que determinam a concentração total do nutriente, ou uma fração desta concentração, na matéria seca de tecidos da planta, notadamente as folhas (FONTES, 2001).

A técnica de análise de tecidos tem sido empregada para fins de diagnose nutricional devido à relação existente entre a composição mineral e a performance da planta. A interpretação da análise de tecidos requer o estabelecimento prévio de padrões adequados para comparações, obtidos a partir do conhecimento dos teores de nutrientes em plantas normais e produtivas. Esses padrões devem considerar a parte da planta a ser analisada, a época de amostragem e o número de sub-amostras para compor uma amostra composta representativa (MARTINEZ *et al.*, 2004).

Na cultura do cafeeiro a análise foliar é essencial para avaliar seu estado nutricional, detectar deficiências ou excessos de nutrientes minerais e ajustar o programa de adubação. Este tipo de análise vem sendo empregado com sucesso há vários anos, tendo-se inclusive, para o estado de Minas Gerais, definidas as faixas críticas de concentração de nutrientes nas folhas para diferentes regiões produtoras de café (MARTINEZ *et al.*, 2003).

O estudo da composição mineral de flores para diagnose nutricional de plantas foi proposto inicialmente por Sanz *et al.* (1993) e atualmente esta técnica tem sido estudada com maior intensidade no continente Europeu, em espécies frutíferas como pessegueiro (SANZ; MONTAÑÉS, 1995; IGARTUA *et al.*, 2000), pereira (SANZ *et al.*, 1993) e macieira (SANZ; MACHÍN, 1999), e a principal vantagem desta técnica tem sido a antecipação do diagnóstico nutricional em relação a análise foliar, possibilitando a correção de deficiências nutricionais no mesmo ciclo produtivo (PESTANA *et al.*, 2004). Segundo Martinez *et al.* (2003b), a antecipação da avaliação do estado nutricional do cafeeiro por meio da análise química de flores seria de grande interesse, por proporcionar o ajuste do programa de adubação no início da estação de

crescimento, antes da ocorrência de perdas irreversíveis de produtividade e, ou qualidade.

Os objetivos deste trabalho foram estudar a composição mineral de flores e de folhas de cafeeiros, estimar a correlação entre os teores de nutrientes em flores e folhas e a correlação destes teores com a produção de café, e estimar as faixas críticas de nutrientes em flores e folhas de cafeeiro.

2 Material e Métodos

O presente trabalho foi conduzido no município de Manhuaçu (MG), localizado na região das Matas de Minas, a uma altitude média de 750 m. A classe de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, a pluviosidade média é de 1.466 mm/ano e a temperatura média 21,2 °C. O trabalho foi realizado em duas partes e o primeiro ensaio teve o objetivo de estudar a composição química das flores em diferentes posições ao longo do ramo. Para isso foram coletadas rosetas completas de flores desde a primeira até a sexta roseta a partir do ápice do ramo do cafeeiro, sendo o material vegetal submetido à análise química para determinação de macro e micronutrientes. Os tratamentos foram rosetas de diferentes posições no ramo, empregando-se o delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições.

O segundo ensaio foi realizado com objetivo de estudar a relação entre teores de nutrientes em flores e folhas e determinar as normas para diagnóstico nutricional com base na análise floral. Este ensaio foi realizado em 26 lavouras comerciais de *Coffea arabica* cv. Catuaí em fase de produção, previamente selecionadas com base no histórico de produtividade de café dos últimos 3 anos antes do início das coletas a campo. Assim, foram escolhidas 13 lavouras consideradas de baixa produtividade média (≤ 30 sc/ha) e 13 lavouras de alta produtividade média (≥ 60 sc/ha), com estande variando entre 4 e 6 mil plantas/ha.

As parcelas experimentais foram constituídas por três linhas de dez plantas, considerando-se como parcela útil as cinco plantas centrais da linha central. As parcelas foram demarcadas com fita plástica colorida fixada internamente nas plantas, permitindo a identificação e coleta de material vegetal e frutos nas mesmas plantas durante os três anos de estudo. Os dados foram obtidos a partir da coleta de flores e folhas do cafeeiro para análise química e determinação dos teores de macro e

micronutrientes, e da avaliação da produção de café, durante as safras 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008.

As amostragens de flores foram realizadas no período principal de floração, que coincidiu entre o final do mês de setembro e início do mês de outubro nos três anos de estudo, e de folhas aos 60 dias após o florescimento. A coleta de flores foi realizada em uma roseta floral completa no quarto nó a partir do ápice do ramo, em 20 ramos por parcela, situados a altura mediana nos dois lados livres da copa das plantas. A amostragem de folhas foi feita no quarto nó a partir do ápice do ramo, segundo Malavolta *et al.* (1997).

O material vegetal de flores e folhas foi acondicionado em sacos de papel até ser levado ao laboratório, onde foi lavado em água deionizada, seco em estufa de circulação forçada a 70 °C por 72 horas, moído em moinho tipo Wiley de aço-inóx, armazenado em envelopes de papel e posteriormente submetido à análise química de nutrientes minerais. Para determinação de N, foi realizada digestão sulfúrica e quantificação do teor de N-amoniaco nas amostras através do método colorimétrico de Nessler (JACKSON, 1958). Para determinação dos nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe e Mn foi efetuada a digestão nítrico-perclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959) e para o B a digestão via seca em mufla, a 550 °C durante 3 horas (MALAVOLTA *et al.*, 1997). O P foi determinado por redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974), o K por fotometria de chama (MALAVOLTA *et al.*, 1997), o S por turbidimetria do sulfato (JACKSON, 1958), e os elementos Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). O B foi determinado pelo método da azometina H (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Quando os frutos de café se encontravam no ponto de colheita (cerca de 80 a 90% de frutos no estágio cereja), realizou-se a colheita manual das cinco plantas úteis da parcela para avaliação da produção e estimativa da produtividade. Os frutos colhidos foram secos ao sol até umidade constante (13,5%), separados em casca e grãos e pesados para obtenção da estimativa de produtividade em sacas de café beneficiado por hectare.

Os dados obtidos no primeiro experimento para quantificação de nutrientes em flores de diferentes posições no ramo foram submetidos a análise de variância e teste F a 5%, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. No segundo experimento, em cada ano, separaram-se os dados obtidos em lavouras com produtividade \geq que 60 sc/ha de café beneficiado dos obtidos em lavoura com

produtividade ≤ 30 sc/ha de café beneficiado, para compor as populações de alta e baixa produtividade nas quais as produtividades médias foram 78,90 e 15,66 sc/ha, respectivamente. A seguir compararam-se as médias dos teores de nutrientes em flores e folhas dos cafeeiros, de lavouras de alta e de baixa produtividade, separadamente, dentro de ano de amostragem pelo teste t , a 1%. Em seguida, compararam-se as médias trienais dos teores de nutrientes de flores e folhas dentro de lavouras de alta e de baixa produtividade pelo teste t , a 1%. Análises de regressão foram realizadas para estudar a relação entre os teores de nutrientes em flores e a produtividade de café, a relação entre os teores de nutrientes em folhas e a produtividade de café, e a relação entre teores de nutrientes de flores e de folhas. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo computacional em genética e estatística “Genes” (CRUZ, 1997).

As faixas críticas (FC) dos teores de nutrientes em flores e folhas foram calculadas a partir da equação $FC = X \pm (SX) k$, em que X é a concentração de referência do nutriente em cada parte analisada, obtida da população de alta produtividade, SX o desvio padrão da média e k uma constante em que $k = 1$ para os nutrientes com coeficiente de variação $CV < 20\%$, $k = 0,8$ para os nutrientes em que $20\% \leq CV \leq 40\%$ e $k = 0,6$ para os nutrientes em que $CV > 40\%$, para evitar faixas muito amplas devido ao elevado coeficiente de variação de alguns nutrientes, segundo Martinez *et al.* (2003).

3 Resultados e Discussão

3.1 Teores de nutrientes em flores de diferentes posições no ramo de cafeeiro

Os teores médios de macronutrientes nas flores coletadas entre a primeira e a sexta roseta do ramo do cafeeiro não diferiram significativamente entre si (Tabela 1). Observa-se que os valores dos quadrados médios do resíduo são superiores aos valores de quadrado médio dos tratamentos posição da roseta, o que resulta em valores de F menores que a unidade, indicando que a variação devida ao acaso ou erro experimental foi superior ao efeito dos tratamentos.

Os teores de micronutrientes não diferiram entre si (Tabela 2) quando avaliados em rosetas florais de diferentes posições do ramo do cafeeiro, sugerindo que a coleta de flores para diagnose nutricional pode ser feita indistintamente da primeira à sexta roseta.

Tabela 1 – Análise de variância dos teores de macronutrientes nas flores coletadas em diferentes posições do ramo do cafeeiro. Manhuaçu-MG, 2008

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
----- dag/kg -----							
Posição	5	0,0015 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0156 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	4,4x10 ⁻⁵ ^{ns}
Resíduo	18	0,0657	0,0007	0,1621	0,0037	0,0009	0,0002
Média		2,39	0,28	2,92	0,29	0,23	0,18
CV (%)		10,74	9,23	13,79	20,86	12,77	7,73

Tabela 2 – Análise de variância dos teores de micronutrientes nas flores coletadas em diferentes posições do ramo do cafeeiro. Manhuaçu-MG, 2005

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Zn	Cu	Fe	Mn	B
----- mg/kg -----						
Posição	5	1,7033 ^{ns}	0,8441 ^{ns}	327,4204 ^{ns}	10,0174 ^{ns}	28,9963 ^{ns}
Resíduo	18	0,7834	2,2774	1398,8874	4,8638	10,8937
Média		11,57	14,74	111,94	26,85	31,26
CV (%)		7,65	10,24	33,40	8,22	10,56

Para Cu e Fe a variação devida ao erro experimental foi, assim como para os macronutrientes, maior que a devida à posição da roseta no ramo. Com exceção do ferro (Fe), os teores dos demais micronutrientes apresentaram baixos coeficientes de variação.

Amaral *et al.* (2002) estudaram a variação estacional de nutrientes foliares em diferentes posições do ramo de aceroleira (*Malpighia emarginata*) e verificaram que as mínimas variações nos teores de nutrientes ocorreram no terço médio de ramos localizados na porção superior do dossel da plantas. Os autores verificaram maior concentração de N e P nas folhas apicais, o que é explicado devido à grande mobilidade destes nutrientes na planta associada à maior atividade metabólica na zona de crescimento intenso.

Estudando a variação nos teores nutricionais em folhas de diferentes posições no ramo de plantas de maracujazeiro (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), Correa *et al.* (2006) constataram que apenas os teores de P e Mn não sofreram alteração em função da posição da folha (apical, mediana e basal) no ramo. Os demais nutrientes apresentaram variações de teores nas diferentes posições de folhas, possivelmente devido à longevidade da folha e a intensa atividade metabólica deste órgão.

Lima *et al.* (2007) estudaram a composição mineral de folhas de gravioleira em diferentes partes da copa e do ramo. Estes autores verificaram que os teores de P, Ca, Mg, S, Cu, Fe e Zn não variaram em função da posição da folha no ramo (apical, mediana e basal) e que as folhas da parte mediana da copa das árvores, na posição mediana do ramo, refletem adequadamente os teores dos nutrientes na gravioleira, sendo elas as mais indicadas para amostragem e diagnóstico do estado nutricional da planta.

Particularmente para o cafeeiro, não foram encontrados trabalhos científicos que pudessem ser utilizados na discussão dos resultados, o que sugere que este seja um trabalho pioneiro e indicativo inicial para o procedimento de coleta de flores para diagnose nutricional do cafeeiro. A partir destes dados, para as análises químicas nas lavouras comerciais selecionadas a campo, optou-se pela padronização da coleta da quarta roseta floral a partir do ápice do ramo do cafeeiro.

3.2 Produtividade de café e teores de nutrientes em flores e folhas do cafeeiro

A produtividade média das lavouras de cafeeiros nos três anos de amostragem encontra-se na Tabela 3. Nota-se claramente o efeito da bienalidade de produção, uma característica do cafeeiro cultivado a pleno sol em regiões tropicais e subtropicais (MATIELLO *et al.*, 2005). A análise de variância e teste F a 5% para a variável produtividade de café beneficiado revelou diferenças significativas entre as médias das duas classes de lavouras amostradas. As lavouras de alta produtividade apresentaram média dos três anos de estudo 78,90 sc/ha e as de baixa produtividade produziram 15,66 sc/ha na média dos três anos.

As médias dos teores de macro e de micronutrientes em flores e em folhas foram comparadas dentro de anos de amostragem em lavouras de alta e de baixa produtividade. Os teores médios de nutrientes nas flores de cafeeiros tanto de alta quanto de baixa produtividade não diferiram entre si dentro dos três anos de amostragem (Tabela 4), o que demonstra homogeneidade quanto ao estado nutricional destas lavouras ao longo do tempo. Esses resultados indicam que para compor um banco de dados com vistas à definição de faixas críticas de nutrientes em flores de cafeeiro os dados de concentração podem ser tomados em qualquer um dos anos do ciclo bienal de produção.

Tabela 3 – Produtividade média estimada de café beneficiado (SC/ha) em lavouras de cafeeiros de alta e de baixa produtividade em três anos de amostragem. Manhuaçu-MG, 2008

Identificação da Lavoura	Alta Produtividade			Baixa Produtividade		
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3
1	86,81	52,08	57,87	5,21	25,32	31,25
2	104,17	61,55	81,02	3,47	23,15	28,41
3	108,33	49,31	58,33	4,31	8,33	18,49
4	132,58	57,87	85,23	8,29	7,10	23,15
5	11,74	47,62	66,29	1,79	23,67	17,86
6	89,29	77,52	47,62	2,91	8,93	9,69
7	109,72	72,92	66,67	10,59	14,58	31,25
8	86,35	52,08	88,18	10,07	7,72	20,83
9	58,22	57,29	60,00	17,53	6,67	31,25
10	118,30	58,33	98,04	5,00	19,61	25,00
11	142,36	79,37	86,81	1,59	8,68	23,81
12	83,33	60,92	58,33	7,31	12,50	36,55
13	154,96	32,35	77,48	19,41	17,22	32,35
Média	106,63	58,40	71,68	7,50	14,11	25,38
CV (%)	24,90	22,06	21,37	75,63	49,11	29,32

Os teores foliares médios de macro e de micronutrientes nos três anos de estudo nas lavouras de cafeeiros encontram-se na Tabela 5. Nas lavouras de alta produtividade, houve diferença significativa dentro de anos apenas para os teores de K e magnésio (Mg) (Figura 1). O teor de K foi mais elevado no primeiro ano de amostragem, sem diferir do segundo ano. Não houve diferença nos teores de K entre o segundo e o terceiro, porém o teor médio do primeiro foi superior ao do terceiro ano de avaliação. Se nota que a diminuição dos teores foliares médios de K foi gradativa do primeiro para o terceiro ano e não corrobora com a variação da produtividade de café. No entanto, parece haver uma associação com os teores de Ca, os quais aumentaram gradativamente, embora este incremento não seja significativo estatisticamente. Estes resultados podem indicar efeito residual de calagem associado a fertilizações menos intensas ou com uso de adubos menos concentrados em K.

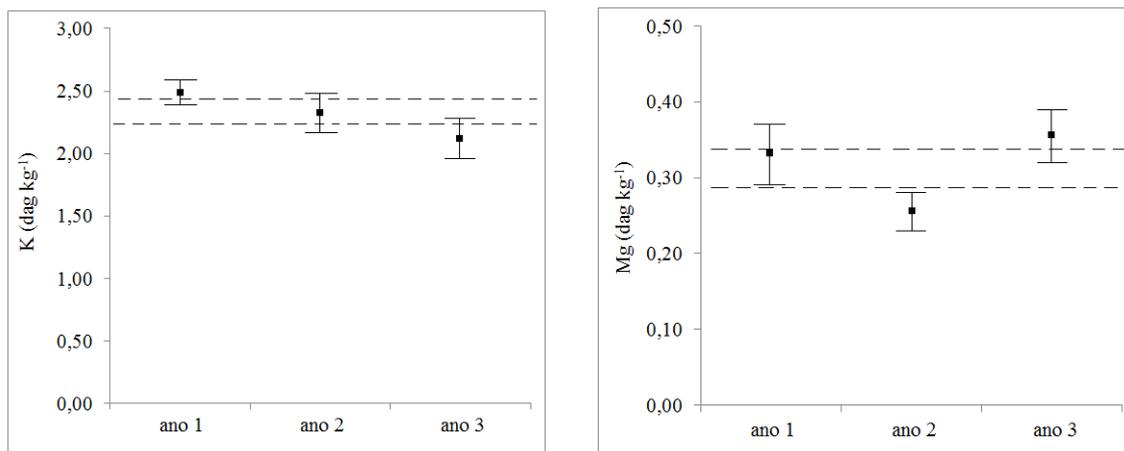
Aparentemente nota-se uma associação de teores foliares mais baixos de Ca, Zn e Cu ao teor mais elevado de K, sugerindo desequilíbrio nutricional, provavelmente causado por adubação potássica em excesso. É amplamente reconhecido que o excesso de um nutriente catiônico inibe a absorção de outros cátions em menor abundância ou disponibilidade no solo (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Observando-se os dados de

Tabela 4 – Médias, coeficientes de variação (CV, %) e intervalos de confiança (IC) das concentrações de macronutrientes e micronutrientes em flores de cafeeiro de alta e de baixa produtividade, em três anos de amostragem, na região de Manhuaçu-MG

Nutriente	Ano 1			Ano 2			Ano 3		
	Média	CV	IC	Média	CV	IC	Média	CV	IC
Lavouras de alta produtividade									
N (dag kg ⁻¹)	2,90	14,48	2,57 – 3,23	3,00	12,46	2,71 – 3,29	3,03	5,23	2,90 – 3,15
P (dag kg ⁻¹)	0,27	10,43	0,25 – 0,29	0,25	12,26	0,23 – 0,27	0,25	20,41	0,21 – 0,29
K (dag kg ⁻¹)	2,95	10,76	2,70 – 3,19	2,99	6,23	2,84 – 3,13	2,95	8,88	2,74 – 3,15
Ca (dag kg ⁻¹)	0,30	15,42	0,27 – 0,34	0,33	23,65	0,27 – 0,39	0,34	40,97	0,23 – 0,45
Mg (dag kg ⁻¹)	0,24	10,97	0,22 – 0,26	0,25	13,06	0,22 – 0,28	0,28	52,50	0,16 – 0,39
S (dag kg ⁻¹)	0,15	8,72	0,14 – 0,16	0,17	15,05	0,15 – 0,19	0,18	15,81	0,16 – 0,20
Zn (mg kg ⁻¹)	18	25,01	15 – 21	20	32,52	15 – 25	19	16,03	17 – 22
Cu (mg kg ⁻¹)	15	29,15	12 – 19	17	30,62	13 – 21	13	45,91	8 – 18
Mn (mg kg ⁻¹)	53	22,57	44 – 62	74	35,76	53 – 94	72	34,57	52 – 91
Fe (mg kg ⁻¹)	30	35,40	22 – 38	47	67,92	22 – 70	27	55,31	15 – 38
B (mg kg ⁻¹)	34	27,97	26 – 41	36	43,26	24 – 48	29	15,63	21 – 27
Lavouras de baixa produtividade									
N (dag kg ⁻¹)	2,86	4,98	2,75 – 2,97	3,01	7,12	2,84 – 3,17	2,88	8,21	2,69 – 3,06
P (dag kg ⁻¹)	0,27	5,51	0,26 – 0,28	0,26	16,13	0,23 – 0,29	0,27	19,51	0,23 – 0,30
K (dag kg ⁻¹)	2,99	7,33	2,82 – 3,17	2,98	4,75	2,80 – 3,15	3,00	6,64	2,85 – 3,16
Ca (dag kg ⁻¹)	0,33	13,89	0,30 – 0,27	0,35	23,88	0,28 – 0,41	0,28	26,75	0,22 – 0,34
Mg (dag kg ⁻¹)	0,25	10,89	0,23 – 0,22	0,30	14,83	0,26 – 0,34	0,29	20,75	0,24 – 0,33
S (dag kg ⁻¹)	0,17	31,06	0,13 – 18	0,19	19,54	0,16 – 0,22	0,17	29,10	0,13 – 0,21
Zn (mg kg ⁻¹)	15	17,56	13 – 20	24	33,93	17 – 30	14	19,09	9 – 19
Cu (mg kg ⁻¹)	17	16,98	15 – 84	17	33,15	12 – 20	18	31,75	14 – 22
Mn (mg kg ⁻¹)	66	35,34	48 – 46	61	23,35	50 – 72	78	40,29	53 – 102
Fe (mg kg ⁻¹)	35	41,61	23 – 46	33	56,67	18 – 48	31	42,31	21 – 41
B (mg kg ⁻¹)	46	26,02	36 – 55	31	39,48	22 – 41	37	24,42	30 – 44

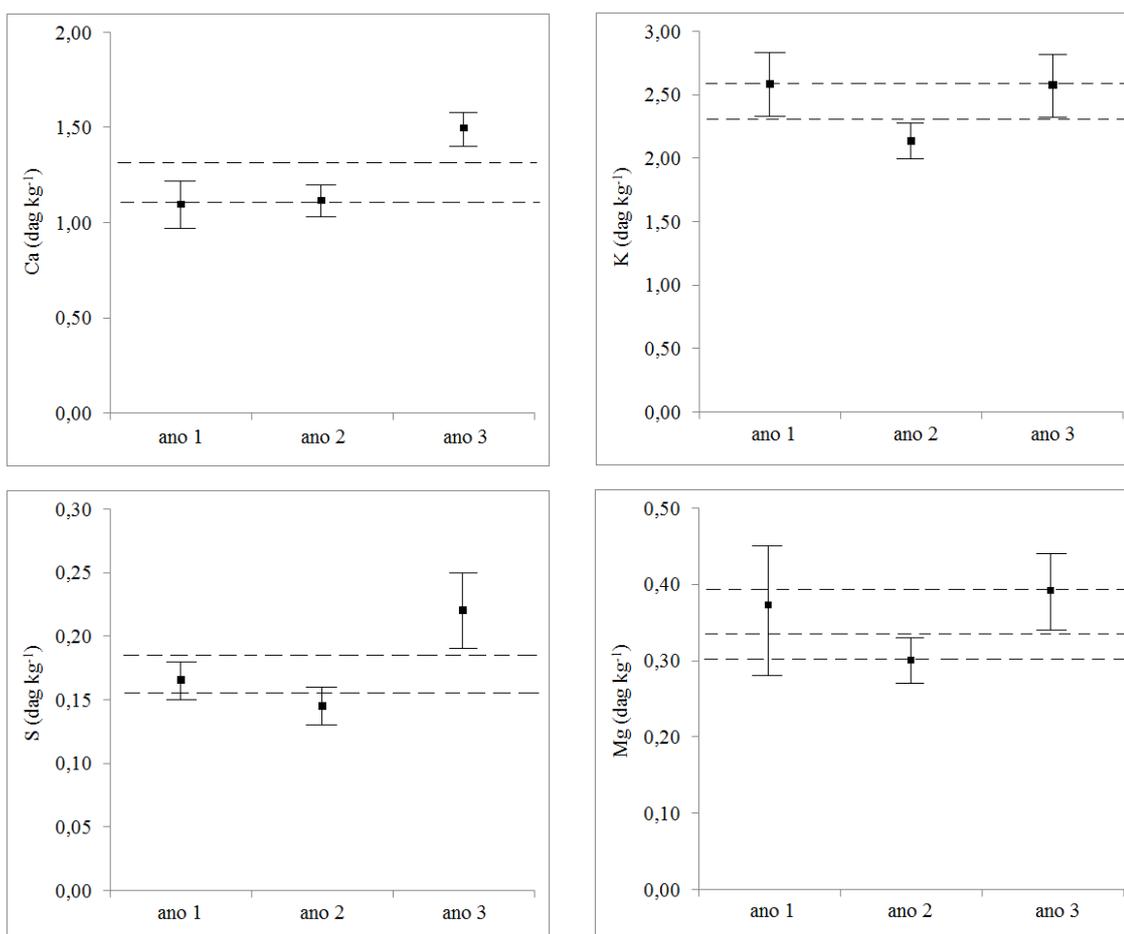
Tabela 5 – Médias, coeficientes de variação (CV, %) e intervalos de confiança (IC) das concentrações de macronutrientes e micronutrientes em folhas de cafeeiro de alta e baixa produtividade, em três anos de amostragem, na região de Manhuaçu-MG

Nutriente	Ano 1			Ano 2			Ano 3		
	Média	CV	IC	Média	CV	IC	Média	CV	IC
Lavouras de alta produtividade									
N (dag kg ⁻¹)	2,75	7,11	2,60 – 2,90	2,72	5,53	2,60 – 2,83	2,76	5,85	2,64 – 2,87
P (dag kg ⁻¹)	0,12	14,97	0,11 – 0,14	0,14	11,20	0,13 – 0,15	0,15	8,71	0,14 – 0,16
K (dag kg ⁻¹)	2,49	5,19	2,39 – 2,59	2,33	8,33	2,17 – 2,48	2,12	9,88	1,96 – 2,28
Ca (dag kg ⁻¹)	1,07	15,12	0,95 – 1,20	1,15	7,28	1,08 – 1,21	1,18	15,38	1,03 – 1,32
Mg (dag kg ⁻¹)	0,33	16,74	0,29 – 0,37	0,25	11,33	0,23 – 0,28	0,36	11,88	0,32 – 0,39
S (dag kg ⁻¹)	0,17	19,31	0,14 – 0,19	0,16	15,07	0,14 – 0,18	0,17	15,45	0,14 – 0,19
Zn (mg kg ⁻¹)	10	21,19	8 – 11	12	39,2	8 – 16	13	46,65	8 – 17
Cu (mg kg ⁻¹)	12	47,96	7 – 16	19	50,1	11 – 26	25	39,06	15 – 29
Mn (mg kg ⁻¹)	107	28,56	86 – 128	86	36,5	61 – 110	100	21,90	83 – 118
Fe (mg kg ⁻¹)	115	23,93	89 – 141	147	63,3	74 – 120	107	70,69	48 – 1,67
B (mg kg ⁻¹)	31	24,93	25 – 37	33	23,6	27 – 39	46	13,85	41 – 51
Lavouras de baixa produtividade									
N (dag kg ⁻¹)	2,84	10,39	2,61 – 3,07	2,99	5,33	2,86 – 3,11	2,78	9,02	2,59 – 2,98
P (dag kg ⁻¹)	0,13	15,59	0,11 – 0,15	0,14	10,12	0,13 – 0,15	0,15	10,67	0,14 – 0,16
K (dag kg ⁻¹)	2,58	12,32	2,33 – 283	2,15	8,02	2,01 – 2,29	2,57	12,34	2,32 – 2,82
Ca (dag kg ⁻¹)	1,10	14,55	0,97 – 1,22	1,11	9,27	1,03 – 1,20	1,48	7,82	1,40 – 1,58
Mg (dag kg ⁻¹)	0,37	30,56	0,28 – 0,45	0,30	12,96	0,27 – 0,33	0,39	16,90	0,34 – 0,44
S (dag kg ⁻¹)	0,17	13,20	0,15 – 0,18	0,15	14,41	0,13 – 0,16	0,22	17,93	0,19 – 0,25
Zn (mg kg ⁻¹)	10	24,0	8 – 12	12	45,29	8 – 16	10	52,2	6 – 14
Cu (mg kg ⁻¹)	17	37,8	12 – 22	18	38,09	13 – 23	22	31,2	17 – 27
Mn (mg kg ⁻¹)	65	18,2	56 – 74	100	18,03	92 – 109	93	34,0	68 – 117
Fe (mg kg ⁻¹)	84	39,7	58 – 110	122	48,56	76 – 169	114	57,2	63 – 165
B (mg kg ⁻¹)	35	13,3	31 – 38	30	18,83	26 - 35	43	14,0	38 - 47



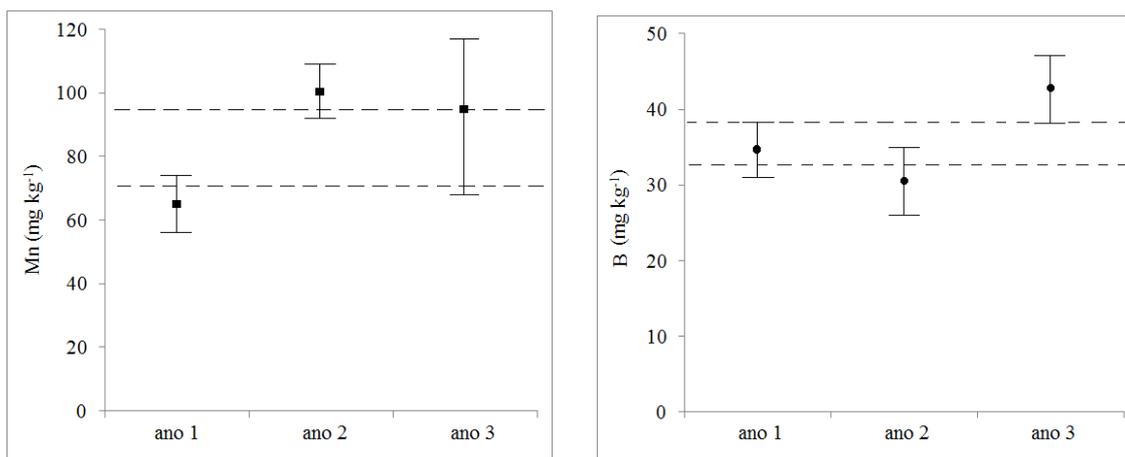
(Barras verticais interceptadas pela linha pontilhada indicam que as médias não diferem entre si pelo teste t a 1% de probabilidade).

Figura 1 – Médias (■) e intervalos de confiança (barras verticais) dos teores foliares de potássio (K) e magnésio (Mg) de lavouras de cafeeiros de alta produtividade em três anos de amostragem.



(Barras verticais interceptadas pela linha pontilhada indicam que as médias não diferem entre si pelo teste t a 1% de probabilidade).

Figura 2 – Médias (■) e intervalos de confiança (barras verticais) dos teores foliares de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) de lavouras de cafeeiros de baixa produtividade em três anos de amostragem.



(Barras verticais interceptadas pela linha pontilhada indicam que as médias não diferem entre si pelo teste t a 1% de probabilidade).

Figura 3 – Médias (■) e intervalos de confiança (barras verticais) dos teores foliares de boro (B) e manganês (Mn) de lavouras de cafeeiros de baixa produtividade em três anos de amostragem.

produtividade (Tabela 1) nota-se que maior produtividade foi obtida justamente no primeiro ano de amostragem, o que pode ter estimulado os produtores a incrementar a adubação potássica diante da perspectiva de alta produtividade, contribuindo para induzir tais alterações, que se refletiram nos teores foliares.

A variação nos teores foliares de Mg coincidiu com a variação da produtividade de café, e evidenciou teores mais elevados no primeiro e terceiro anos, que não diferiram entre si, e teores mais baixos no segundo ano. Estes resultados reforçam a importância da nutrição adequada quanto ao Mg e sua relação com produtividade de café. Segundo Taiz e Zeiger, (1998), o Mg forma um composto ternário com enzimas no qual a ligação de cátions é necessária para estabelecer uma geometria precisa entre enzima e substrato, como por exemplo a RuBP carboxilase. Uma grande proporção do Mg total está envolvido na regulação do pH celular e no balanço cátion-ânion. Nas folhas a principal função do Mg é certamente como átomo central da molécula de clorofila.

Nas lavouras de baixa produtividade houve diferença significativa para os teores foliares de K, Ca, Mg, S, Mn e B dentro de anos de amostragem (Figuras 2 e 3). Os teores de K foram inferiores no segundo ano de amostragem, e não diferiram entre o primeiro e terceiro anos. Os teores foliares de Ca foram semelhantes entre o primeiro e segundo ano e superiores no terceiro ano, assim como ocorreu também para os teores foliares de S e B. Os teores de Mg diferiram apenas entre o segundo e terceiro ano.

Os teores foliares dos nutrientes Ca, S e B foram maiores no terceiro ano de amostragem, enquanto os teores de K, Mg e Mn, embora sem diferir estatisticamente entre o primeiro e terceiro anos, também mostraram tendência de incremento no terceiro ano de estudo. Estes resultados estão de acordo com os dados de produtividade das lavouras, os quais foram crescentes e mais elevados no terceiro ano, o que parece sugerir incremento na quantidade de adubação e calagem e seus reflexos nos teores foliares e na produtividade de café. Deste modo, embora consideradas lavouras de baixa produtividade média, as mesmas parecem responder a adubação, com melhorias no estado nutricional e de produtividade.

Os teores florais de macronutrientes e micronutrientes, média dos três anos de amostragem, são mostrados na Tabela 6 e não foram constatadas diferenças significativas entre as médias dos teores de lavouras de alta e de baixa produtividade. O teor floral de B, apesar da não significância, mostra tendência de ser mais elevado nas flores de lavouras de baixa produtividade. Este fato pode estar associado a baixa mobilidade do elemento na planta e ao efeito de diluição entre flores e folhas. O B é um elemento de mobilidade restrita no floema de grande parte das plantas e seu transporte no xilema obedece ao fluxo transpiratório (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Lavouras de alta produtividade, além da maior quantidade de flores por planta, apresentavam-se mais enfolhadas no momento do florescimento em relação às lavouras de baixa produtividade. Desta forma, o teor B mais baixo em flores de lavouras de alta produtividade pode estar associado ao efeito de diluição produzido pela maior quantidade de flores e também ao efeito da maior alocação do B nas folhas, considerando a maior área foliar e que o fluxo transpiratório seja maior em folhas que em flores.

Os teores de macronutrientes e micronutrientes nas folhas dos cafeeiros, média dos três anos de amostragem, são mostrados na Tabela 7 e igualmente ao ocorrido com os teores em flores, não houve diferença estatística entre médias de teores foliares de nutrientes de lavouras de alta e de baixa produtividade.

Os resultados obtidos sugerem que, desde o momento do florescimento e o período posterior até a amostragem de folhas aos 60 dias após o florescimento, o estado nutricional das plantas não foi a causa principal da diferença de produtividade observada entre as lavouras. Estes resultados podem estar associados ao fato de que a amostragem de folhas ocorreu no período em que os frutos ainda não representavam um dreno significativo de nutrientes por estarem em fase inicial de expansão, e que por isso mesmo é o indicado para se realizar a tomada de amostras para diagnóstico. Cabe

Tabela 6 – Médias, coeficientes de variação (CV, %) e intervalos de confiança (IC) das concentrações de macronutrientes e micronutrientes em flores de cafeeiro de alta e de baixa produtividade. Manhuaçu-MG, 2008

Nutrientes	Alta Produtividade			Baixa Produtividade		
	Média	CV	IC	Média	CV	IC
N (dag kg ⁻¹)	2,98	11,19	2,84 – 3,11	2,91	7,11	2,83 – 3,00
P (dag kg ⁻¹)	0,26	14,91	0,24 – 0,27	0,27	14,61	0,25 – 0,28
K (dag kg ⁻¹)	2,96	8,59	2,86 – 3,06	2,96	6,56	2,88 – 3,03
Ca (dag kg ⁻¹)	0,33	23,63	0,30 – 0,36	0,32	23,10	0,29 – 0,35
Mg (dag kg ⁻¹)	0,27	23,25	0,25 – 0,30	0,27	17,09	0,25 – 0,29
S (dag kg ⁻¹)	0,17	15,32	0,16 – 0,18	0,18	26,23	0,16 – 0,20
Zn (mg kg ⁻¹)	19	25,48	17 – 21	18	36,27	15 – 21
Cu (mg kg ⁻¹)	15	35,70	13 – 17	17	27,61	15 – 19
Mn (mg kg ⁻¹)	66	35,40	57 – 76	68	35,81	58 – 78
Fe (mg kg ⁻¹)	34	65,14	25 – 43	33	46,41	27 – 39
B (mg kg ⁻¹)	33	33,09	29 - 37	38	32,79	33 – 43

Tabela 7 – Médias, coeficientes de variação (CV, %) e intervalos de confiança (IC) das concentrações de macronutrientes e micronutrientes em folhas de cafeeiro de alta e de baixa produtividade. Manhuaçu-MG, 2008

Nutrientes	Alta Produtividade			Baixa Produtividade		
	Média	CV	IC	Média	CV	IC
N (dag kg ⁻¹)	2,74	6,08	2,68 – 2,81	2,82	8,34	2,72 – 2,92
P (dag kg ⁻¹)	0,14	13,77	0,13 – 0,15	0,14	13,25	0,13 – 0,15
K (dag kg ⁻¹)	2,23	8,66	2,15 – 2,31	2,43	13,89	2,30 – 2,57
Ca (dag kg ⁻¹)	1,13	13,33	1,07 – 1,19	1,23	17,97	1,14 – 1,32
Mg (dag kg ⁻¹)	0,30	17,77	0,28 – 0,32	0,29	21,05	0,26 – 0,31
S (dag kg ⁻¹)	0,17	16,58	0,15 – 0,18	0,17	18,38	0,15 – 0,18
Zn (mg kg ⁻¹)	12	39,65	10 – 13	11	42,53	9 – 12
Cu (mg kg ⁻¹)	19	45,91	16 – 23	19	36,50	16 – 22
Mn (mg kg ⁻¹)	98	28,37	87 – 109	90	25,21	81 – 99
Fe (mg kg ⁻¹)	123	58,55	94 – 153	107	52,13	84 – 129
B (mg kg ⁻¹)	34	22,25	31 - 38	34	16,46	31 – 36

salientar que a análise de tecidos informa o estado nutricional da planta no momento em que são retiradas as amostras, que pode não ser mantido com o decorrer do tempo, se as demandas de nutrientes não forem satisfeitas nas fases de crescimento e produção subsequentes.

O fruto do cafeeiro apresenta quatro estádios de desenvolvimento; o primeiro denominado “chumbinho” ocorre logo após a floração e caracteriza-se por intensa divisão e multiplicação celular com pequeno acúmulo de matéria seca; o segundo estádio é chamado de “rápida expansão” e devido à expansão celular o fruto atinge

metade de seu tamanho final; em seguida, tem-se o estágio de “granação”, caracterizado pelo endurecimento do endosperma da semente, ganhos expressivos de matéria seca e acúmulo de nutrientes; por fim o estágio de “maturação”, caracterizado pelas alterações visíveis como mudança na coloração da casca do fruto (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Segundo Laviola (2004), em Viçosa-MG, a duração do estágio de chumbinho foi de 42 dias após a floração, o estágio de rápida expansão ocorreu dos 42 aos 105 dias após a floração, em seguida houve um estágio de crescimento estacionário (105 – 133 dias) e posterior granação (133 – 224 dias). Assim, nota-se que a coleta de folhas 60 dias após o florescimento coincide com o período final da fase de chumbinho e início da fase de rápida expansão, e ambas exerceram pequena força de dreno metabólico até então.

3.3 Relação entre teores de macronutrientes e de micronutrientes em flores e folhas de cafeeiro

Os teores florais e foliares médios dos três anos de estudo foram submetidos a análise de regressão para estudar a relação entre os teores nas diferentes partes analisadas, flores e folhas. Lavouras de alta produtividade apresentaram relação direta entre os teores dos nutrientes N, P, Cu, Fe e Mn em flores e folhas coletadas 60 dias após o florescimento, e sob condições de ensaio de campo, foram estimados elevados coeficientes de determinação para P, Fe e Mn (Tabela 8).

Tabela 8 – Coeficientes de correlação de Pearson, equações de regressão e coeficientes de determinação que expressam a relação entre os teores de nutrientes nas flores (x) e nas folhas (y) do cafeeiro, em lavouras de alta e baixa produtividade média. Manhuaçu-MG, 2008

Nutrientes	Alta Produtividade			Baixa Produtividade		
	Coefficiente	Equação	R ²	Coefficiente	Equação	R ²
N	0,578*	$y = 1,70 + 0,35x$	0,334	0,324		
P	0,707**	$y = 0,05 + 0,33x$	0,500	0,255		
K	-0,079			0,385		
Ca	-0,039			0,611*	$y = 0,90 + 1,02x$	0,373
Mg	0,433			0,073		
S	0,200			-0,160		
Zn	0,009			0,456		
Cu	0,574*	$y = 6,67 + 0,83x$	0,330	0,437		
Fe	0,926**	$y = 37,87 + 0,91x$	0,857	0,805**	$y = 52,19 + 0,55x$	0,648
Mn	0,715	$y = 53,96 + 2,02x$	0,511	0,510		
b	0,282			0,347		

** e * Significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente,

Nas lavouras de baixa produtividade a relação foi direta e significativa apenas para os nutrientes Ca e Fe. Sanz e Montañés (1995) verificaram que existe relação entre os teores de N, P, K, Ca e Mn nas flores e nas folhas de pessegueiro coletadas 60 dias após o florescimento. Na cultura do cafeeiro, Martinez *et al.* (2003b) observaram que a relação direta para os teores de N, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn entre flores e folhas, exceto para os teores de Cu, nos quais o modelo quadrático apresentou melhor ajuste aos dados.

Os resultados encontrados no presente trabalho sugerem que a análise química de flores apresenta boa capacidade preditiva do estado nutricional do cafeeiro aos 60 dias após o florescimento para alguns nutrientes, o que possibilita a antecipação de ajustes no programa nutricional antes da época normal de diagnóstico com base na análise foliar.

3.4 Relação entre produtividade de café e teores de macronutrientes e micronutrientes em flores e folhas de cafeeiro

A produtividade de café foi pouco relacionada com os teores de nutrientes em folhas e não apresentou relação com os teores em flores de cafeeiro (Tabela 9). Nas lavouras de alta produtividade apenas os teores foliares médios de P apresentaram coeficiente de correlação linear estimado significativo, enquanto nas lavouras de baixa produtividade a relação foi direta entre os teores de S e a produtividade de café, e indireta entre os teores de Mn e a produtividade. Martinez *et al.* (2003b) estudaram a relação entre os teores de nutrientes em flores e a produtividade de café, e encontraram relação inversa entre a os teores de P, K, Ca e Cu nas flores e a produtividade de café, que foi atribuído pelos autores ao possível efeito de diluição devido à grande quantidade de flores e a pequena concentração de nutrientes.

A relação existente entre o estado nutricional e a produtividade das plantas nem sempre é significativa, devido à inter-relação existente tanto na absorção quanto no transporte e uso dos nutrientes pela planta. Correia *et al.* (2002) estimaram coeficientes de correlação positivos entre a produtividade e os teores foliares de N, K e Mn em *Ceratonia siliqua* L., e negativos para os teores foliares de P, Zn e Fe, e atribuíram estes resultados a elevada demanda destes últimos elementos durante a fase de florescimento, contribuindo para o decréscimo nos teores foliares.

Embora as concentrações de nutrientes individualmente apresentem pouca relação com a produtividade, modelos de regressão múltipla podem proporcionar melhor ajuste aos dados e explicar as variações de produtividade em função dos teores

Tabela 9 – Coeficientes de correlação de Pearson entre a concentração de nutrientes nas flores (x) e a produtividade de café (y), a concentração de nutrientes nas folhas e a produtividade de café, de lavouras de alta e de baixa produtividade. Manhuaçu-MG, 2008

Nutrientes	Flores		Folhas	
	Alta Produtividade	Baixa Produtividade	Alta Produtividade	Baixa Produtividade
N	0,142	0,293	-0,018	0,398
P	0,482	-0,304	0,636*	-0,095
K	0,409	0,386	0,412	0,448
Ca	0,111	0,383	0,172	0,185
Mg	0,277	0,076	0,075	-0,448
S	0,122	-0,373	0,147	0,578*
Zn	0,092	0,117	0,478	0,113
Cu	-0,044	0,045	0,078	0,172
Fe	-1,107	0,247	-0,083	-0,141
Mn	-0,209	-0,087	-0,386	-0,629*
b	0,238	0,278	0,086	-0,014

**, * Significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

de nutrientes em flores ou folhas. No presente estudo, nas lavouras de alta produtividade um modelo de duas variáveis de teores de nutrientes em flores e a produtividade de café (\hat{Y} , sc ha⁻¹) apresentou significância e alto coeficiente de determinação:

$$\hat{Y} = 29,07 + 570,08 \cdot P - 364,38 \cdot Mg \quad R^2 = 0,78$$

Nas lavouras de baixa produtividade não foi possível ajustar um modelo de regressão múltipla para a produtividade em função dos teores de nutrientes em flores.

O modelo de quatro variáveis com alto coeficiente de determinação foi ajustado para produtividade de café em função dos teores foliares em lavouras de alta produtividade média:

$$\hat{Y} = -17,80 + 611,90 \cdot P + 4,87 \cdot Zn - 1,25 \cdot Cu - 0,17 \cdot Mn \quad R^2 = 0,85$$

Nas lavouras de baixa produtividade média, um modelo de duas variáveis foi ajustado aos dados de produtividade em função dos teores foliares:

$$\hat{Y} = -75,61 + 20,48 \cdot N + 202,69 \cdot S \quad R^2 = 0,58$$

Martinez *et al.* (2003b) ajustaram modelos de regressão múltipla com alto coeficiente de determinação para concentração de nutrientes em flores ou folhas e a produtividade do cafeeiro. Segundo estes autores, um modelo com seis variáveis (N, P, K, Ca, S e Fe) de teores florais explicou 80% da variação de produtividade, no entanto um modelo com duas variáveis (P e Fe) apresentou coeficiente de determinação de 69%. Para os teores foliares, um modelo com oito variáveis (P, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn e B) foi capaz de prever 80% da variação de produtividade.

Os resultados obtidos neste estudo refletem o estado nutricional das plantas e apontam para respostas positivas de produtividade para o nutriente P determinado nas flores, e quanto ao Mg quanto mais elevados os teores em flores, menor será a resposta de produtividade. Nas lavouras de alta produtividade se espera respostas positivas de produtividade com o incremento dos teores de P e Zn, e negativa para os teores de Cu e Mn, enquanto lavouras de baixa produtividade indicam maior dependência dos nutrientes N e S.

É importante ressaltar que a produtividade é influenciada por vários fatores, sendo a nutrição apenas um deles, e que especialmente no caso do cafeeiro, a arquitetura da planta e o crescimento vegetativo do ano anterior têm um efeito preponderante. Ademais, os aspectos climáticos e fitossanitários (controle de pragas e doenças) interferem grandemente na produtividade. No presente estudo, a grande diferença de produtividade entre as lavouras de alta e baixa produtividade deveu-se, provavelmente, a outros fatores que não os nutricionais.

3.5 Faixas críticas de concentração de nutrientes em flores e folhas de cafeeiro

O nível crítico de um nutriente é definido como o valor da concentração que separa a zona de deficiência da zona de suficiência; acima dele há baixa probabilidade de resposta a adição do nutriente e abaixo, a taxa de crescimento, a produção e a qualidade diminuem significativamente (SMITH, 1988, citado por MARTINEZ *et al.*, 2003). Segundo Martinez *et al.* (1999), para aumentar a flexibilidade da diagnose nutricional deve-se então considerar uma faixa e não apenas um único valor crítico.

Os teores de nutrientes em flores e folhas obtidos das treze lavouras selecionadas com base na produtividade média dos três anos de estudo (78,90 sc ha⁻¹) foram utilizados na determinação das faixas críticas de nutrientes e os dados são apresentados na Tabela 10. As faixas críticas dos teores de N, P, K e Zn nas flores foram superiores

Tabela 10 – Médias, faixas críticas (FC), coeficientes de variação (CV, %) e intervalos de confiança (IC) das concentrações de macronutrientes e micronutrientes em flores e folhas de cafeeiro na região de Manhuaçu-MG, 2008

Nutrientes	Flores				Folhas			
	Média	FC	CV	IC	Média	FC	CV	IC
N (dag kg ⁻¹)	2,98 a	2,78 – 3,17	6,48	2,85 – 3,08	2,74 b	2,63 – 2,86	4,28	2,66 – 2,81
P (dag kg ⁻¹)	0,26 a	0,23 – 0,28	9,21	0,24 – 0,27	0,14 b	0,13 – 0,14	7,72	0,13 – 0,15
K (dag kg ⁻¹)	2,96 a	2,80 – 3,12	5,36	2,85 – 3,05	2,23 b	2,13 – 2,33	4,51	2,16 – 2,29
Ca (dag kg ⁻¹)	0,33 b	0,30 – 0,37	13,51	0,30 – 0,36	1,13 a	1,04 – 1,22	8,23	1,07 – 1,18
Mg (dag kg ⁻¹)	0,27 a	0,24 – 0,30	12,40	0,25 – 0,30	0,30 a	0,27 – 0,33	9,20	0,28 – 0,31
S (dag kg ⁻¹)	0,17 a	0,15 – 0,18	9,79	0,15 – 0,18	0,16 a	0,15 – 0,18	9,40	0,15 – 0,18
Zn (mg kg ⁻¹)	19 a	17 – 21	12,04	18 – 21	12 b	9 – 14	19,30	10 – 13
Cu (mg kg ⁻¹)	15 a	12 – 18	23,81	13 – 17	19 a	15 – 23	27,13	16 – 22
Mn (mg kg ⁻¹)	66 b	52 – 80	26,94	55 – 77	98 a	80 – 115	17,84	86 – 108
Fe (mg kg ⁻¹)	34 b	26 – 43	31,85	27 – 40	123 a	99 – 148	25,05	103 – 141
B (mg kg ⁻¹)	33 a	28 – 48	16,42	29 – 36	34 a	31 – 37	8,48	33 – 36

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste *t*, a 5% de probabilidade.

as faixas críticas destes nutrientes em folhas, enquanto para Ca, Fe e Mn as faixas críticas foliares foram superiores. As faixas críticas para os nutrientes Mg, S, Cu e B foram semelhantes entre flores e folhas. Estes resultados provavelmente sejam devidos as funções metabólicas e a mobilidade destes nutrientes. Segundo Marschner (1995), o N e o P são importantes em processos metabólicos que demandam grande quantidade de compostos estruturais e energia para crescimento, o K exerce função osmótica na expansão celular e é ativador de mais de 60 enzimas, e o Zn é essencial para síntese de triptofano, precursor do ácido indol acético, que, por sua vez, tem participação importante no crescimento celular. Ca, Mn e Fe, devido à baixa mobilidade na planta e de transporte governado pelo fluxo transpiratório, apresentam maiores teores na folhas.

As faixas críticas para flores obtidas neste trabalho foram comparadas aos dados obtidos por Martinez *et al.* (2003b) na região de Viçosa-MG. Foi verificado que as faixas críticas para N, K, Ca, Mg, Zn, Cu e B obtidas neste trabalho foram superiores aquelas determinadas por Martinez *et al.* (2003b), enquanto para P, S, Fe e Mn foram semelhantes as estes autores. Estes resultados podem estar associados às características do solo das duas regiões de estudo. É sabido que o solo da região de Manhuaçu-MG apresenta maior capacidade de troca de cátions (CTC), maior teor de matéria orgânica (Martinez *et al.*, 2004) e desta forma são mais férteis que os solos da região de Viçosa, o que justificaria os maiores teores de nutrientes em flores, especialmente onde se cultiva as lavouras de alta produtividade. Um aspecto importante a ser considerado é que a média de produtividade das lavouras neste trabalho foi superior aquela das lavouras estudadas por Martinez *et al.* (2003b), sugerindo que a nutrição mais intensiva fornecida as lavouras mais produtivas de Manhuaçu-MG seja responsável pela expressão de faixas críticas mais elevadas. Uma diferença importante é que no presente experimento os dados obtidos são referentes a média de três anos de amostragem, enquanto Martinez *et al.* (2003b) obtiveram dados em apenas um ano de estudo.

As faixas críticas foliares foram comparadas àquelas obtidas por Martinez *et al.* (2003) na mesma região em estudo e verificou-se similaridade para todos os nutrientes. Entretanto, os intervalos de confiança neste trabalho foram mais estreitos, devido aos menores coeficientes de variação registrados em comparação com aqueles autores, provavelmente porque este trabalho abrangeu maior período de tempo de estudo e lavouras mais homogêneas.

Comparando-se as faixas críticas foliares obtidas neste trabalho àquelas citadas por Matiello *et al.* (2005), nota-se que as lavouras de Manhuaçu-MG seriam

consideradas deficientes em N, Mg e B, e adequadamente nutridas em P, K, Ca, S, Zn, Cu, Fe e Mn. Isto reforça a necessidade de que as faixas críticas de nutrientes sejam regionalizadas, como já argumentado por Martinez *et al.* (2003).

As faixas críticas para os micronutrientes são mais amplas, tanto em flores quanto em folhas. Isso decorre da maior variabilidade de resultados obtidos nas análises destes elementos quando da obtenção das faixas, e essa maior variabilidade está relacionada a várias causas, tais como os métodos analíticos, a prática de adubação foliar e de pulverizações foliares com defensivos que contém micronutrientes.

4 Conclusões

As flores localizadas entre a primeira e a sexta roseta floral, a partir do ápice do ramo do cafeeiro, não diferem quanto aos teores de nutrientes e podem ser tomadas indistintamente para o diagnóstico do estado nutricional.

A diagnose nutricional do cafeeiro pode ser antecipada com a análise de flores para os nutrientes N, P, Cu, Fe e Mn em lavouras de alta produtividade, e para os nutrientes Ca e Fe em lavouras de baixa produtividade.

A análise de flores mostrou-se uma técnica sensível às variações do estado nutricional do cafeeiro em concordância com a análise foliar, porém não para todos os nutrientes, sugerindo que ambas as técnicas devem ser consideradas de maneira complementar.

5 Referências Bibliográficas

AMARAL, J. F. T.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; CRUZ, C. D.; GODOY, C. L.; CAIXETA, S. L. Determination of leaf sampling techniques to assess the nutritional status of Barbadus cherry (*Malpighia emarginata* D.C.). **Fruits**, v. 57, p. 161-171, 2002.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed. Washington, DC, 1975. 1094 p.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas-SP, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CORREA, H. C. T. **Composição nutricional de folhas com e sem pecíolos em três posições nos ramos ao longo de doze meses em maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa-MG, 2006.

CORREIA, P. J.; ANASTÁCIO, I.; CANDEIAS, M. F.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A. Nutritional diagnosis in carob-tree: relationships between yield and leaf mineral concentration. **Crop Sci.**, v. 42, p. 1577-1583, 2002.

CORREA, J. B.; GARCIA, A. W. R.; COSTA, P. C. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 13., 1986, São Lourenço-MG. **Anais...** Rio de Janeiro-RJ: IBC/GERCA, 1986. p. 35-41.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 1997. 442 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. Princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina-PR: Editora Planta, 2006. 403 p.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122 p.

IGARTUA, E.; GRASA, R.; SANZ, M.; ABADÍA, A.; ABADÍA, J. Prognosis of iron chlorosis from the mineral composition of flowers in peach. **Journal of Agricultural Science & Biotechnology**, v. 75, n. 1, p. 111-118, 2000.

JACKSON, 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**. Vol. 766. Los Angeles: University of California, 1959. p. 32-33.

LAVIOLA, B. G. **Dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2004.

LIMA, R. L. S.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O. Diagnose foliar da gravioleira (*Annona muricata* L.): efeito da posição de ramos e folhas. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras-MG, v. 31, n. 5, p. 1320-1325, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Diagnóstico do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba-SP: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A. P. e GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé.** 2. ed. Belo Horizonte-MG: Epamig, 2004. 60 p. (Boletim técnico, 72).

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; BAYONA, J. A.; ALVAREZ V., V. H. & SANZ, M. Coffee-tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 7, p. 1467-1482, 2003b.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: Ribeiro, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5^a Aproximação. Viçosa-MG: CFSMG, 1999. p. 143-168.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. E FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil.** Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé, 2005. 438 p.

PESTANA, M.; VERENNES, A.; GOSS, M. J.; ABADÍA, J.; FARIA, E. A. Floral analysis as a tool to diagnose iron chlorosis in orange trees. **Plant and Soil**, v. 259, p. 287-295, 2004.

SANZ, M.; MACHÍN, J. Aplicación del analisis floral al pronóstico y diagnóstico del bitter pit. **ITEA**, v. 95, n. 2, p. 118-124, 1999.

SANZ, M.; MONTAÑÉS, L. Flower analysis as a new approach to diagnosing the nutritional status of the peach tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 8, p. 1667-1675, 1995.

SANZ, M.; CARRERA, M.; MONTAÑÉS, L. El estado nutricional del peral. Posibilidad del diagnóstico floral. **Hortofruticultura**, v. 10, p. 60-62, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 1998. 792 p.

4 CONCLUSÕES GERAIS

Plantas jovens de cafeeiro apresentam baixo requerimento de potássio e seu fornecimento em excesso provoca redução de crescimento e da absorção de Ca, Mg, Zn e Mn.

A concentração de potássio foliar em plantas jovens de cafeeiro pode ser determinada por meio de microeletrodos portáteis, que quantificam o teor do elemento em amostras do extrato foliar.

A matéria seca e o acúmulo de nutrientes de botões florais do cafeeiro crescem linearmente no período de pré-floração até o florescimento pleno.

Cada flor de cafeeiro acumula em média 525, 46, 418, 38, 37 e 18 μg de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

A quantidade de nutrientes por hectare, imobilizada pelas flores numa lavoura com produção média de 93 sc ha^{-1} é de 7,84 kg de N, 0,69 kg de P, 6,23 kg de K, 0,57 kg de Ca, 0,55 kg de Mg e 0,27 kg de S.

A concentração de macro e micronutrientes em flores de cafeeiro não varia da primeira à sexta roseta a partir do ápice do ramo produtivo, podendo estas serem tomadas indistintamente para fins de diagnóstico do estado nutricional.

A análise química de flores mostrou-se uma técnica promissora para uso na diagnose do estado nutricional do cafeeiro, em concordância com a análise foliar para alguns nutrientes, sugerindo que ambas as técnicas devem ser consideradas de maneira complementar.