



DIEGO JÚNIOR MARTINS VILELA

**CRESCIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE
CAFEIRO COM DIFERENTES DOSES DE
NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO**

LAVRAS - MG

2014

DIEGO JÚNIOR MARTINS VILELA

**CRESCIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE CAFEEIRO COM
DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO**

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

Orientador

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Vilela, Diego Júnior Martins.

Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio / Diego Júnior Martins Vilela. – Lavras : UFLA, 2014.

65 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Gladyston Rodrigues Carvalho.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Cultivares. 3. Nutrição mineral. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7323

DIEGO JÚNIOR MARTINS VILELA

**CRESCIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE CAFEEIRO COM
DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO**

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

APROVADA em 14 de fevereiro de 2014.

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes UFLA

Dr. Cesar Elias Botelho EPAMIG

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães EPAMIG

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho
Orientador

LAVRAS - MG

2014

*A Deus,
pelo dom da vida e porque sem Ele nada somos.*

AGRADEÇO

Aos meus pais, Djalma e Alice, por sempre estar ao meu lado e nunca medirem esforços para que este momento acontecesse.

Ao meu irmão, Alysson Vinício, pela amizade e companheirismo.

A todos os meus amigos e familiares, em especial à tia Anna, por sempre me incentivarem e estarem comigo nos momentos mais difíceis.

OFEREÇO

Ao cafeicultor brasileiro, razão deste estudo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade e honra de ter estudado nesta renomada instituição.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao pesquisador (orientador) Gladyston Rodrigues Carvalho, pelos ensinamentos e amizade nestes anos.

Ao pesquisador (coorientador) Cesar Elias Botelho, pelo incentivo, ensinamentos e convivência diária ao longo destes anos.

Aos membros da banca avaliadora, ao pesquisador Paulo Tácito Gontijo Guimarães (EPAMIG) e ao professor Antônio Nazareno Guimarães Mendes (UFLA), pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

Ao professor Rubens José Guimarães (UFLA) e ao pesquisador Rodrigo Luz da Cunha (EPAMIG), pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Marli dos Santos Túlio, por toda atenção, disponibilidade e ajuda durante todo o curso.

Aos funcionários da Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso (FESP), em especial ao técnico Mario Aparecido Amaral, pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

Aos funcionários da EPAMIG de Lavras (URESMA), em especial aos funcionários do “Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas” Delane Ribeiro e Juliano Batista, pela convivência e ensinamentos diários durante as análises.

Aos bolsistas, Allan Pasqualotto, Estevam Reis, Felipe Hayashi, Fernando Fernandes, Guilherme Tassone, Janaína Menezes, José Roberto, Laís Resende, Marina Praxedes, Milena Santos, Renato Bottrel e Thiago Naves, pela ajuda nas avaliações e condução do experimento.

Aos amigos da república Vakatulada: Alysson Vinício, Anderson, André Luiz, Danilo, Elvis, Elder, Felipe e Leonardo, pelo companheirismo, amizade e paciência em todos estes anos.

Aos amigos do Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF), reservando-me não citar nomes em particular, pois posso esquecer-me de alguém com quem convivi por todos estes anos, em momentos de companheirismo, contribuições e sugestões, nas dificuldades e superações e pela amizade, tudo isso de muito valor em minha formação.

Ao contribuinte brasileiro, por financiar os meus estudos com o dinheiro dos seus impostos, o qual me proporcionou um ensino público gratuito e de qualidade.

*Você não sabe o quanto eu caminhei
Pra chegar até aqui
Percorri milhas e milhas antes de dormir
Eu não cochilei
Os mais belos montes escalei
Nas noites escuras de frio chorei, ei, ei
(...)*

Cidade Negra – A estrada

*Quem cultiva a semente do amor
Segue em frente não se apavora
Se na vida encontrar dissabor
Vai saber esperar sua hora*

*Às vezes a felicidade demora a chegar
Aí é que a gente não pode deixar de sonhar
Guerreiro não foge da luta e não pode correr
Ninguém vai poder atrasar quem nasceu pra vencer*

*É dia de sol, mas o tempo pode fechar
A chuva só vem quando tem que molhar
Na vida é preciso aprender se colhe o bem que plantar
É Deus quem aponta a estrela que tem que brilhar*

*Erga essa cabeça mete o pé e vai na fé
Manda essa tristeza embora
Pode acreditar que um novo dia vai raiar
Sua hora vai chegar*

Grupo Revelação - Tá Escrito

RESUMO

A nutrição mineral do cafeeiro é de vital importância para a produtividade do mesmo e diversos locais que, anteriormente, eram considerados inaptos ao cultivo da cultura, hoje em dia, apresentam lavouras altamente produtivas, onde a correção da fertilidade do solo, ao longo do tempo, aliada com uma nutrição mineral adequada, são um dos principais pilares para esse sucesso. Observa-se que diferentes cultivares de diversas espécies exigem níveis de nutrição diferenciados, para expressarem seu máximo potencial produtivo sob determinadas condições de cultivo. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar quatro novas cultivares de cafeeiro quanto ao seu crescimento inicial, sob diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso – MG, em fevereiro de 2012. Foram utilizados quatro cultivares de cafeeiro que foram submetidos a doze tratamentos (esquema fatorial, sendo quatro cultivares, três nutrientes e quatro doses), contendo três repetições, sob delineamento em blocos casualizados. Foi feita uma análise conjunta dos dados. As características avaliadas foram: altura, diâmetro do colo, crescimento do primeiro ramo plagiotrópico, número de ramos plagiotrópicos, índice de clorofila e foram feitas análises de solo e foliares. Concluiu-se que nas condições químicas iniciais do solo utilizado no experimento podem-se reduzir em até 50% as adubações com N, P e K, tanto em adubação de cobertura como para adubação de primeiro ano, em lavouras cafeeiras plantadas com as cultivares Pau Brasil MG1, Paraíso MG H419-1 e Topázio MG 1190.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Cultivares. Nutrição mineral.

ABSTRACT

Mineral nutrition of the coffee tree is of vital importance to its productivity, since in many locations considered previously unfit for coffee cultivation, today have highly productive plantations, in which, over time, soil fertility correction coupled with adequate mineral nutrition are one of the main pillars for this success. It is known that different cultivars of several species require distinct nutrition levels in order to express its full productive potential under certain cultivation conditions. The objective of this study was to evaluate four new coffee tree cultivars in regard to their initial growth under different levels of nitrogen, phosphorus and potassium. The experiment was installed at the EPAMIG Experimental Farm, in São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, Brazil, in February of 2012. We used four coffee tree cultivars which were submitted to twelve treatments (factorial scheme with four cultivars, three nutrients and four doses), with three replicates, in a randomized block design. A joint data analysis was performed. The characteristics evaluated were: height, collar diameter, growth of the first plagiotropic branch, number of plagiotropic branches and chlorophyll content. Soil and foliar analyses were also conducted. We concluded that, in the initial chemical conditions of the soil used in the experiment, we were able to reduce 50% of N, P and K fertilization, both for topdressing fertilization as for first year fertilization, on coffee plantations planted with cultivars Pau Brazil MG1, Paraíso MG H419-1 and Topázio MG 1190 cultivars.

Key words: *Coffea arabica*. Cultivars. Mineral nutrition.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características químicas da amostra de solo da área onde foi implantado o experimento. Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EPAMIG, Lavras – MG.....	34
Tabela 2	Esquema dos tratamentos do experimento (nutrientes x doses) para cada cultivar adotada	35
Tabela 3	Quantidade total (g/planta) da dose de 100% do recomendado, para adubação da cova de plantio, na sua cobertura após o plantio e em cobertura no primeiro ano do plantio	35
Tabela 4	Resultado das análises de solo dos ensaios após a aplicação dos tratamentos (valores médios das quatro cultivares). Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EPAMIG, Lavras – MG.....	39
Tabela 5	Resumo da análise de variância das características vegetativas avaliadas em campo. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG.....	40
Tabela 6	Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para a característica altura de plantas. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG	41
Tabela 7	Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para a característica diâmetro do colo. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG	43

Tabela 8	Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para a característica crescimento do primeiro ramo plagiotrópico. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG.....	45
Tabela 9	Valores médios de índice de clorofila (SPAD) de diferentes cultivares de cafeeiro. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG.....	47
Tabela 10	Resumo da análise de variância dos teores foliares de N, P e K. Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EPAMIG, Lavras – MG.....	48
Tabela 11	Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para o teor foliar de N. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG.....	49
Tabela 12	Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para o teor foliar de P. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG.....	51
Tabela 13	Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para o teor foliar de K. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG.....	53

LISTA DE FIGURAS E FOTOS

Figura 1	Altura da progênie 1189-12-52-2 em função de diferentes doses de P_2O_5	42
Figura 2	Diâmetro do colo da cultivar Pau Brasil MG1 em função de diferentes doses de K_2O	44
Figura 3	Crescimento do primeiro ramo plagiotrópico da cultivar Paraíso MG H419-1 em função de diferentes doses de P_2O_5	46
Figura 4	Teor foliar de nitrogênio da cultivar Topázio MG 1190 em função de diferentes doses de N.....	50
Figura 5	Teor foliar de fósforo da cultivar Topázio MG 1190 em função de diferentes doses de P_2O_5	52
Foto 1	Imagem da área experimental após um parcelamento da adubação de cobertura. São Sebastião do Paraíso – MG, 20 de abril de 2012	32
Foto 2	Imagem da área experimental. São Sebastião do Paraíso – MG, 9 de abril de 2013.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Fertilidade do solo e nutrição mineral do cafeeiro	16
2.1.1	Nitrogênio	21
2.1.2	Fósforo	23
2.1.3	Potássio	25
2.2	Eficiência nutricional	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Disposições gerais	31
3.2	Avaliações realizadas	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Avaliação do solo	38
4.2	Desenvolvimento vegetativo	40
4.3	Análises foliares	47
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro, assim como qualquer ser vivo, necessita de vários nutrientes para o seu completo desenvolvimento. Os cafeicultores já dispõem de boletins técnicos com as recomendações para a nutrição do cafeeiro em todas as fases do seu ciclo (plantio, primeiro e segundo ano de formação e lavouras em produção).

Várias instituições de pesquisa do País dispõem de excelentes programas de melhoramento genético, lançando todos os anos novas cultivares, com características agrônômicas favoráveis, tais como: mais produtivas, com superior qualidade de bebida, resistentes às doenças e pragas, adaptadas a diferentes condições de cultivo, dentre outras.

Nota-se que entre diferentes cultivares, variedades ou híbridos de uma mesma espécie vegetal, a exigência em nutrição mineral pode ser diferenciada para seu pleno desenvolvimento, estando os dois nas mesmas condições de cultivo.

O atual parque cafeeiro brasileiro é formado, principalmente, por lavouras dos grupos Catuaí e Mundo Novo. As pesquisas científicas que originaram a base dos atuais boletins técnicos de recomendação de fertilizantes foram feitas nas décadas de 80 e 90, em lavouras com cultivares destes dois grupos.

Sendo assim, novas pesquisas na área de nutrição mineral do cafeeiro são necessárias, visto que não se sabe ao certo se essas novas cultivares lançadas são mais exigentes ou não em nutrição mineral. Na prática, alguns técnicos indicam uma adubação diferenciada em lavouras que foram plantadas com algumas dessas novas cultivares, mas sem nenhum respaldo científico, onde observações no campo ao longo dos anos fizeram com que os mesmos chegassem a essas conclusões.

Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar quatro novas cultivares de cafeeiro quanto ao seu crescimento inicial sob diferentes doses de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fertilidade do solo e nutrição mineral do cafeeiro

A recomendação de adubação de uma cultura depende de sua exigência nutricional para o crescimento vegetativo e reprodutivo e, também, deve-se levar em consideração a eficiência de aproveitamento dos adubos aplicados e a fração de nutrientes suprida pelo solo (LAVIOLA et al., 2007; PREZOTTI, 2001).

Grande parte do parque cafeeiro do Brasil está implantado em solos com sérias limitações de ordem química e nutricional ao desenvolvimento normal das plantas (GUIMARÃES, 1992). O cafeeiro, *Coffea arabica* L., é muito exigente em bases, sendo o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg), normalmente, fornecidos por corretivos da acidez. A calagem traz inegáveis benefícios às culturas, dentre os quais se destacam o fornecimento de Ca e Mg, a elevação do pH, com conseqüente diminuição da toxidez de alumínio (Al), manganês (Mn) e ferro (Fe), aumento da disponibilidade de P e da atividade microbológica do solo. Como conseqüência, a calagem constitui uma prática importante, dada a extensão de solos ácidos ocupados pela cafeicultura no Brasil, onde existem cerca de 320.000 propriedades rurais, em, aproximadamente, 2,5 milhões de hectares (MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA, 2006).

A recomendação da calagem para lavouras cafeeiras em produção é baseada em análises de solo considerando amostras coletadas na projeção da copa das plantas e profundidade de 0-10 cm. Um método muito utilizado para quantificar a prática da calagem é o do Índice de Saturação por Bases do solo (V%). O valor de V = 60% vem sendo considerado como o mínimo adequado para a cultura do cafeeiro (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVARES, 1999). Assim, a avaliação dos efeitos da aplicação de calcário nos teores dos nutrientes no solo e na folha, comparativamente aos níveis críticos citados na literatura,

para cultura do cafeeiro (MALAVOLTA et al., 1993; RAIJ et al., 1996), seria um suporte adicional para confirmação e estabelecimento de um valor de saturação por bases que fosse adequado, proporcionando uma nutrição adequada e a obtenção de maiores produtividades.

A falta ou o excesso de um nutriente para a planta traduzem-se em anormalidades, típicas de cada nutriente. O motivo pelo qual o sintoma é típico é o de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie de planta. Tais sintomas que aparecem nas folhas, caules e raízes contribuem para avaliar o estado nutricional do vegetal (GONTIJO; GUIMARÃES, 2008). Entretanto, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados: é o que se chama de fome oculta, que somente poderá ser detectada por meio da análise química do material vegetal ou da diagnose foliar (MALAVOLTA, 2006).

A fase vegetativa das plantas perenes é ininterrupta, variando de intensidade, durante o ano, em razão da fenologia da planta, força drenos dos órgãos e das condições ambientais. De maneira geral, as condições favoráveis ao crescimento da parte aérea são temperatura acima de 12,5° C, disponibilidade hídrica e fotoperíodo longo (ALVES; LIVRAMENTO, 2009).

Para Fontes (2001), por meio de procedimentos diretos ou indiretos, é possível determinar o estado nutricional das plantas. Os procedimentos diretos são aqueles em que as concentrações aparentes (análise visual) e ou reais (análise da matéria seca ou da seiva) dos nutrientes são determinadas. Os indiretos são aqueles em que a concentração de determinado nutriente na planta é estimada por meio de uma característica cujos valores sejam correlacionados com as concentrações do nutriente na planta.

Diversos experimentos foram realizados com o intuito de identificar a dose de N e K mais adequada ao cafeeiro, contudo, ainda há muitas contradições entre os resultados, em função das diversas variáveis envolvidas, como solo,

clima, cultivar, irrigação, espaçamentos, produtividade e fertirrigação. Tal fato demonstra serem necessários estudos específicos para cada região e sistemas de cultivo (SOBREIRA, 2010).

As exigências minerais do cafeeiro variam entre cultivares, de ano a ano, bem como durante o ano, sendo o período reprodutivo o de maior requerimento nutricional pela planta. O conhecimento da dinâmica dos nutrientes minerais nas cultivares de cafeeiro, principalmente no que se refere a flores e frutos, é importante para identificar o período de maior exigência nutricional pela planta e, dessa forma, melhorar a eficiência das práticas de adubação. Além disso, conhecer as variações nos teores de nutrientes nas folhas e sua mobilização para frutos, durante a fase reprodutiva de cultivares de cafeeiro, em diferentes ambientes, é importante para auxiliar no diagnóstico do status nutricional das plantas, podendo melhorar o manejo de fertilização da cultura (LAVIOLA; MARTINEZ, 2007a).

A resposta ao aumento das doses pode estar condicionada à idade fenológica da cultura, assim mostraram Magalhães, Sampaio e Silva (1987), em experimento conduzido por três anos agrícolas (1982/83 a 1984/85), concluindo que o cafezal formado não respondeu à aplicação de N, P e K nos dois primeiros anos. No entanto, no terceiro ano agrícola, houve resposta linear para N e K_2O .

A prática da adubação do cafeeiro, ainda, apresenta aspectos tradicionais ou de forma não correta, decorrentes das recomendações baseadas na reposição dos nutrientes, mas em quantidades mais elevadas do que a necessária, predominando a aplicação da fórmula 20-5-20, onde a análise de solo ou não é feita ou, então, não é seguida para uma correta recomendação.

As tabelas de adubação existentes no País recomendam para o cafeeiro a aplicação de calcário, P e K, com base na análise de solo, como é feito, de forma geral, para as demais culturas; no caso do café, ocorreu a adoção do teor de nitrogênio foliar para a adubação nitrogenada, conforme relatam Raij, Cantarella

e Quaggio (1997). Em condições de solos tropicais, os processos de mineralização e imobilização do N são muito instáveis, por isso da sua não avaliação nas análises de solo. Contudo, essas tabelas não têm sido motivação suficiente para minimizar a prática tecnicamente inadequada de adubação por fórmula de cultura citada.

Matiello et al. (2002) citam que, na fase de formação em uma lavoura conduzida em Varginha – MG, com as cultivares Mundo Novo e Catuaí, as exigências aumentaram de forma quase geométrica, da muda até a idade de 18 meses, sendo os nutrientes necessários exigidos na seguinte ordem: N, K, Ca, Mg, P e S para os macronutrientes e Fe, Mn, B, Cu e Zn para os micronutrientes.

Quando se faz uma adubação com N, P e K, deve-se ter atenção, também, para os teores de Ca, Boro (B), Fe, Mn e Zinco (Zn), não só para se conhecer seus teores como também para detectar possíveis antagonismos entre estes nutrientes e aqueles adicionados. Por outro lado, o fornecimento da calagem (alterando o pH do solo) para a cultura irá aumentar a necessidade de micronutrientes. Entretanto, há restrições aos aumentos nos teores de N, P e K, em decorrência do possível antagonismo entre estes nutrientes (LANA; OLIVEIRA, 2010).

A avaliação do estado nutricional de plantas pela análise química de tecidos vegetais proporciona a utilização racional de fertilizantes para a obtenção de máximos desenvolvimentos e produtividades. No caso do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), por ser uma cultura perene, os erros cometidos no início do cultivo podem comprometer as produtividades por toda a vida da cultura, especialmente quanto à nutrição de mudas e plantas em formação em campo. Para a nutrição adequada dos cafeeiros, o conhecimento das faixas de suficiência, sob determinados níveis de produtividade, tem sido utilizado por vários autores, que sugerem teores adequados de nutrientes em tecido vegetal para lavouras cafeeiras em produção, em Minas Gerais (MARTINEZ; CARVALHO; SOUZA,

1999), Espírito Santo (COSTA, 2001), São Paulo (RAIJ; CANTARELLA; QUAGGIO, 1997), Paraná (CHAVES; ANDROCIOLI FIHO, 2003), Bahia (ALMEIDA; LOPES; DEUS, 2003), Rio de Janeiro (ANDRADE et al., 2001).

As análises químicas do solo e da planta auxiliam no diagnóstico do estado nutricional das culturas, porém apresentam limitações. A análise do solo caracteriza a disponibilidade de nutrientes, ao passo que a análise de tecidos fornece indicações sobre o estado nutricional da planta. Resultados de análises de tecidos podem ser interpretados por meio de comparações com padrões obtidos de populações de plantas altamente produtivas, da mesma espécie e cultivar (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A análise química de tecido vegetal é uma ferramenta que vem sendo usada e aperfeiçoada, para a determinação da necessidade de adubação, usando-se basicamente as folhas, pois é o local onde ocorre a maior produção de fotossintatos e para onde se dirige a maior quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas. Assim, há a necessidade de se fazer a análise de tecido vegetal para se conhecer os teores de cada nutriente na planta em definido estágio fenológico e, portanto, proceder à interpretação. O teor de cada nutriente na planta pode ser interpretado por vários métodos de avaliação do estado nutricional (LANA; OLIVEIRA, 2010). Os métodos mais usados para o diagnóstico do estado nutricional são os Níveis Críticos, as Faixas Críticas de Concentração ou de Suficiência e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BATAGLIA; DECHEN; SANTOS, 1996; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), os quais, ultimamente, têm recebido bastante atenção.

A utilização do clorofilômetro, para se estimar os teores de clorofila nas folhas, apresenta algumas vantagens, com relação ao método químico de análise de N na folha: a leitura pode ser realizada em poucos minutos; o aparelho tem custo mínimo de manutenção, ao contrário de outros métodos que exigem

compra sistemática de produtos químicos (PIEKIELEK; FOX, 1992); não há necessidade de envio de amostras para laboratório, com economia de tempo e dinheiro; e podem ser realizadas quantas amostragens forem necessárias, sem implicar em destruição de folhas (DWYER; TOLLENAAR; HOUWING, 1991). Em trabalho que visava estabelecer valores para calibração do clorofilômetro Minolta SPAD-502, para a cultura do café, França, Souza e Alves (2007), trabalhando com diferentes tonalidades de folhas de cafeeiro, classificou-as da seguinte maneira: verde amarelado (10-25 unidades SPAD), verde claro (25-40 unidades SPAD), verde (40-55 unidades SPAD) e verde escuro intenso (55-70 unidades SPAD).

Na avaliação do estado nutricional do cafeeiro, também, deve ser considerada a interação entre os nutrientes, ou seja, a capacidade que um determinado nutriente tem de alterar a concentração de outro em virtude do antagonismo, à inibição ou ao sinergismo entre ambos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; SOBRAL, 1998 citado por SILVA et al., 2008).

2.1.1 Nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do café (MALAVOLTA et al., 1993), em consequência das funções que exerce como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, dentre outros. Quando o fertilizante nitrogenado é aplicado, parte dele é recuperada pelo sistema radicular e parte aérea, parte permanece no solo enquanto outra porção pode ficar imobilizada na serrapilheira ou pode se perder do sistema solo-planta. Resultados obtidos, sob os mais diversos sistemas agrícolas, mostraram que raramente uma cultura aproveita mais de 60% do N aplicado como fertilizante.

Em relação ao N, tais efeitos podem ser resumidos da seguinte forma: aumento da área foliar da planta, com consequente aumento da fotossíntese e

dos compostos fundamentais, como proteínas, ácidos nucleicos e constituintes de membranas; a nutrição nitrogenada adequada, não havendo outros fatores limitantes, é evidenciada no desenvolvimento rápido, no aumento da ramificação dos galhos produtivos e na formação de folhas verdes e brilhantes; existe, ainda, relação direta entre fornecimento de N, número de folhas no florescimento e número de gemas floríferas; o crescimento da área foliar, mediante adubação nitrogenada suficiente, acarretará maior produção de amido e de outros carboidratos indispensáveis para a formação e o crescimento dos frutos. A deficiência de N aparece com intensidade, durante o crescimento dos frutos, quando as folhas formadas são geralmente menores. Nestas condições, as folhas mais velhas e, posteriormente, as mais novas apresentam uma clorose uniforme do limbo e se a deficiência for muito severa, as folhas ficam quase brancas e entram em necrose; o desfolhamento é comum, observando-se, ainda, em um estágio muito avançado de deficiência, a morte descendente dos ramos frutíferos (PEREIRA, 1999).

As quantidades de N, adicionadas às culturas, dependem do teor de N mineral que o solo pode fornecer em determinada fase de desenvolvimento da cultura. A matéria orgânica (MO) é a principal fonte de N no solo, onde mais de 85% do N encontram-se na forma orgânica; seu teor é muito variável e depende do processo de mineralização (MALAVOLTA, 1986). De acordo com as recomendações oficiais, para cafeeiros em produção, as doses de N baseiam-se na produção esperada e no teor do nutriente na folha. São recomendadas doses que variam até 450 kg ha⁻¹ de N por ano agrícola, fornecidas no período chuvoso, de setembro a março, compreendendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RAIJ; CANTARELLA; QUAGGIO, 1997; RENA; MAESTRI, 1987; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVARES, 1999).

O N é bastante exigido pelo cafeeiro e, se adubado adequadamente, promove crescimento rápido com folhas novas e verdes e brilhantes

(MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Também proporciona aumento da ramificação dos ramos plagiotrópicos, maior área foliar, maior produção de amido e outros carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

O excesso de N desequilibra as relações N/P e N/K diminuindo a produção e aumentando a vegetação, prejudicando, também, a bebida (GUIMARÃES; MENDES, 1997). A relação adequada de N/P está na faixa de 16–18, de N/K 1,3 – 1,4 e N/S 16 – 18 (MALAVOLTA, 1993).

2.1.2 Fósforo

Em relação à adubação fosfatada, observa-se que a falta desse nutriente causa distúrbios imediatos no metabolismo e no desenvolvimento das plantas (LAWLOR; CORNIC, 2002). Também, não deve ser fundamentada, exclusivamente, na produção de grãos em formação, pois as aplicações de fertilizantes, também, devem ter por objetivo o crescimento de novos ramos e internódios para a safra futura (GUERRA et al., 2006).

Decréscimos da ciclagem de P entre o citoplasma e o estroma, gerados por redução da absorção de P no solo (HENDRICKSON; CHOW; FURBANK, 2004; SANTOS et al., 2006), podem levar a diminuições no consumo e na produção de ATP e NADPH, menor carboxilação/regeneração de RuBP (SHUBHRA et al., 2004), decréscimo na expressão de genes relacionados à fotossíntese (LAWLOR; CORNIC, 2002), fechamento estomático (FLÜGGE et al., 2003) e menor condutância do mesófilo (LAWLOR; CORNIC, 2002).

As recomendações de adubação oficiais do cafeeiro (GUIMARÃES et al., 1999; RAIJ et al., 1997) sugerem que a exigência de P em cafeeiros adultos é pequena em decorrência, principalmente, da baixa exportação desse elemento pelos grãos e que as doses máximas recomendadas de P_2O_5 situam-se em torno $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, considerando a produtividade esperada e a quantidade de P

disponível no solo. Andrade (2004) recomenda doses máximas de 160 kg.ha^{-1} para solos com baixo teor de P e com potencial de produção superior a 80 sc.ha^{-1} . Por outro lado, Guerra et al. (2007) obtiveram resultados indicando a necessidade de ajustar o fornecimento de nutrientes, notadamente o P, para reduzir os efeitos da bienalidade do cafeeiro. Isso porque os cafeeiros normalmente produzem em ramos novos, portanto, necessitam de energia para crescer e formar novas gemas reprodutivas para produzir adequadamente todos os anos.

Por muitos anos, o cafeeiro foi considerado como não responsivo à aplicação de P durante a fase de produção. No entanto, alguns trabalhos têm mostrado que a cultura é capaz de responder a aumentos das doses de P, principalmente, quando cultivados em solos de baixa fertilidade natural (GUERRA et al., 2008; PREZOTTI; ROCHA, 2004). Reis et al. (2013) obtiveram respostas lineares do cafeeiro ao estender a dose até de 400 kg.ha^{-1} de P_2O_5 .

A disponibilidade adequada de P proporciona cafeeiros bem desenvolvidos e vigorosos, o que, em última instância, determina boas produtividades. Observações de campo têm demonstrado que há aumento da produtividade com o uso de adubo fosfatado acima das quantidades recomendadas (SILVA et al., 2010). Todavia, a maior parte dos estudos publicados, sobre a presença de P, referem-se aos efeitos da baixa disponibilidade desse elemento no metabolismo vegetal, crescimento e nutrição das plantas (HENDRICKSON; CHOW; FURBANK, 2004; LÓPEZ-BUCIO et al., 2002; REIS JUNIOR; MARTINEZ, 2002), com pouca ênfase aos possíveis efeitos de altas concentrações desse nutriente no solo.

2.1.3 Potássio

A exigência do K aumenta com a idade e, principalmente, com a frutificação, ocorrendo a translocação do K das folhas para os frutos em função da alta mobilidade do nutriente (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A absorção de K é semelhante a do N, com maior destaque em épocas chuvosas, quando se encontram maiores teores de K nas folhas e, durante as épocas mais secas menores teores foliares em face da menor absorção e extração dos K pelos frutos. O teor foliar, considerado adequado, é de 1,9 a 2,4 g Kg⁻¹ e a relação de P/K ideal para que não ocorra desequilíbrio é de 16 a 18 (MALAVOLTA, 1993).

Em relação ao K, sua importância pode ser resumida da seguinte maneira: é um cátion de alta mobilidade na planta, sendo de fundamental importância em sua atividade metabólica, como, por exemplo, no transporte de longa distância via xilema e floema, no equilíbrio osmótico de células e de tecidos, na ativação de enzimas, no movimento de estômatos e na lignificação de feixes vasculares; a quantidade de K nas partes vegetativas e nos frutos do cafeeiro demonstra que este elemento desempenha um papel muito importante na nutrição do cafeeiro; há correlação positiva entre o teor de K nas folhas e o seu conteúdo de amido, de tal forma que, ao baixar o nível de K, a produção de amido diminui e, conseqüentemente, reduzindo o desenvolvimento das plantas, o aparecimento de novos ramos e de novas folhas e a produção; a primeira indicação da falta de K aparece nas folhas mais velhas, como resultado da translocação para as folhas novas ou para os ramos em crescimento e, ou, para os frutos em formação; as manchas pardas, inicialmente formadas, gradualmente coalescem e uma faixa marrom-escura se forma na ponta da folha e nas margens adjacentes, levando ao desprendimento fácil do ramo; e, com frequência, apenas um ou dois pares de folhas permanecem presos ao ramo, que começa a morrer da ponta para a base (“dieback”) (PEREIRA, 1999).

O excesso de K pode levar a uma deficiência de Ca e Mg por antagonismo. Em solos desequilibrados com esses elementos não ocorre resposta de produção para níveis de K, aplicados na adubação (MATIELLO, 2008). O fornecimento de P tende a diminuir o efeito depressivo do K no teor foliar do Mg (MALAVOLTA, 2006).

A adubação potássica, particularmente, tem possibilitado aumentos significativos de produtividade e qualidade de grãos em cafeeiros (JAYARAMA et al., 1994; SILVA et al., 2001, 2002). O K, entre as suas inúmeras funções na planta, atua no processo de abertura e fechamento dos estômatos que, por sua vez, regula o processo de assimilação de carbono e perda de água, afetando a turgescência e a expansão foliar, o que propicia melhor aproveitamento da radiação solar (MALAVOLTA, 2006; SUBBARAO et al., 2003). Considerando-se que a fonte desse nutriente deve tornar-se escassa nas próximas décadas (ZHANG et al., 2006), contribuindo para elevar os preços dos formulados NPK, faz-se necessário intensificar pesquisas no âmbito de substituir e/ou elevar a eficiência de uso das fontes existentes.

Quanto ao K, pode haver pouco fornecimento pelo solo, uso de doses insuficientes na adubação e perdas de nutriente por lixiviação em virtude da menor adsorção, quando comparado com o Ca, Mg e Al. Pode, ainda, haver desbalanço no fornecimento desse elemento pelo solo em decorrência da sua relação com Mg, conforme relatam Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e Marschner (1997).

O K tem sido considerado, há muito tempo, como o “elemento da qualidade” em nutrição de plantas (MALAVOLTA, 1980). A qualidade dos produtos agrícolas não é facilmente definida ou medida como se faz no tocante à produção. O padrão de qualidade depende dos propósitos pelos quais a planta ou parte dela é utilizada (MENGEL; KIRKBY, 1987). No caso do cafeeiro, o reflexo da adubação na produção é tão importante quanto os efeitos sobre os

compostos orgânicos que identificam a qualidade da bebida desejada (SILVA et al., 1999).

2.2 Eficiência nutricional

O termo 'eficiência nutricional' é utilizado para caracterizar plantas em sua capacidade de absorver e utilizar nutrientes, estando relacionado à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes. A eficiência de absorção está relacionada à taxa de absorção de nutrientes por unidade de comprimento ou de massa de raiz e pode ser avaliada em estudos de cinética de absorção de nutrientes (BALIGAR; FAGERIA, 1998). Segundo Vose (1987), a definição de eficiência já é, em si mesma, um ponto de discussão; existem plantas, variedades e genótipos "responsivos" e "não-responsivos" ao acréscimo de um determinado nutriente; "eficientes" e "não-eficientes" na conversão do nutriente em matéria seca; "eficientes" e "ineficientes" para absorção ou translocação; e "acumuladores" ou "não-acumuladores" de certos elementos. O autor relatou, ainda, que devem ser consideradas, além dos fatores determinantes de produção da planta, a velocidade de crescimento, os métodos de cultivo, a fertilidade natural do solo e as exigências nutricionais.

Para Clark e Duncan (1991), também, há um grande e confuso número de definições, além da falta de consenso sobre quais características são as mais importantes para o estudo da eficiência, termo que é usado, frequentemente, em relação a diferenças de genótipos e espécies na absorção e uso dos nutrientes. Saurbeck e Helal (1990) consideram fundamental a pesquisa em busca de plantas com maior eficiência na utilização de nutrientes, portanto, indicam como aspectos mais importantes a serem considerados os que têm relação com as propriedades morfológicas e fisiológicas da raiz, as relações raiz/parte aérea que

influenciam a translocação e redistribuição de nutrientes e as interações solo-raiz relacionadas com a disponibilidade dos nutrientes.

Furtini Neto (1994) cita dois conceitos de eficiência de uso: um, do ponto de vista agrônomo (GRAHAM, 1984), que seria a eficiência de um genótipo em fornecer altas produções em um solo pobre em determinado nutriente, em relação a um genótipo considerado como padrão; e outro, do ponto de vista fisiológico (GODDARD; HOLLIS, 1984), que salienta a eficiência de um genótipo em absorver o nutriente do solo, distribuí-lo e utilizá-lo internamente.

Além das respostas dos nutrientes, a eficiência da adubação está relacionada, também, ao custo/benefício que esta proporciona; em outras palavras, a dose do adubo que proporciona o maior valor entre a receita e o custo do insumo representa a máxima produtividade econômica (MALAVOLTA, 1993).

Normalmente, a maior economicidade é encontrada na dose que proporciona entre 80 a 100% da produção máxima. No entanto, é consensual uma produção relativa de 90% como a produtividade máxima econômica (RAIJ, 1981).

A maior ou menor produção de frutos por unidade de nutrientes na planta pode ser explicada por diferenças na eficiência de aquisição, de translocação e/ou de utilização dos nutrientes. A aquisição de nutrientes depende da eficiência dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes e pode ser avaliada pelas eficiências de absorção e de produção de raízes. Por sua vez, a eficiência de utilização de nutrientes depende do seu transporte para a parte aérea e de sua exigência metabólica, sendo obtida pelo quociente entre a biomassa total da planta e a concentração do nutriente (SIDDIQI; GLASS, 1981). Tradicionalmente, a eficiência de utilização de nutrientes tem

sido definida como a razão entre a biomassa e a quantidade total de nutriente na biomassa (TOMAZ; AMARAL, 2008).

Pouco se conhece sobre a eficiência nutricional de cafeeiros, embora muitas informações com relação à nutrição mineral sejam encontradas na literatura, como a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes, que apresentam controle genético, existindo a possibilidade de melhorar e/ou selecionar cultivares mais eficientes quanto ao uso de nutrientes (GABELMAN; GERLOFF, 1983).

O ciclo fenológico do cafeeiro pode variar, de acordo com a região em que está estabelecido, sendo mais longo em regiões de elevada altitude. Em função disso, é possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados nessas regiões seja mais tardio que naquelas de baixa altitude. Dessa forma, as épocas e os intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando-se em conta o período de maior exigência nutricional do cafeeiro em cada região (LAVIOLA; MARTINEZ, 2007b).

A investigação da eficiência nutricional de Ca, Mg e enxofre (S) no cafeeiro se reveste de grande importância, tendo em vista que os solos de fronteiras agrícolas, para a cultura do cafeeiro, em sua maioria, apresentam acidez elevada, baixa capacidade de retenção de cátions (CTC) e baixos teores de bases trocáveis, como Ca e Mg e, frequentemente, de S (TOMAZ; SILVA, 2003). O acúmulo desses três nutrientes nos frutos do cafeeiro foi estudado por Laviola et al. (2007), que verificaram maiores acúmulos relativos de Ca, Mg e S no estágio de granação-maturação.

A cultivar 'Catuaí', comparada à 'Mundo Novo', é menos exigente em N e P, mais exigente em K, Ca, B, Fe, Mn e Zn e, praticamente, apresentam a mesma exigência em Mg, S e cobre (Cu) (MALAVOLTA, 1993). Por sua vez, a 'Mundo Novo', quando comparada à 'Rubi MG-1192', é menos eficiente na

utilização de S (SOUZA, 1999). Pereira (1999), também, discriminou linhagens de cafeeiros arábicos com base na eficiência de utilização de N e K.

É importante ressaltar que o conhecimento dos teores de nutrientes em vários órgãos do vegetal permite inferir sobre as exigências metabólicas desenvolvidas em cada compartimento, fornecendo base para o entendimento dessas variações e suas implicações nas respostas dos vegetais (AMARAL et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Disposições gerais

A área experimental está localizada no município de São Sebastião do Paraíso, na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais, à latitude de 20°55'00'' S e longitude 47°07'10'' W e altitude de 885m.

O relevo apresenta uma topografia leve ondulada e uma declividade média de 8%, o que facilita a ampla mecanização do solo. A precipitação média anual da região é de 1470,4 mm e apresenta temperatura média de 20,8°C, média máxima de 27,6 °C e média mínima de 14,1°C (ALCÂNTARA, 1997).

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), textura muito argilosa e mineralogia gibbsítica originado de basalto (ARAÚJO-JUNIOR, 2010).

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso (FESP), em fevereiro de 2012. Foram utilizadas quatro cultivares (progênie 1189-12-52-2, Pau Brasil MG1, Paraíso MG H419-1 e Topázio MG 1190), plantadas no espaçamento de 3,6 x 0,6m.

Foram estudados três nutrientes (N, P e K), em quatro doses (50%, 75%, 100% e 125%) da recomendação para a cultura, segundo o recomendado por Guimarães et al. (1999), calculada por meio da demanda aferida em análise de solo. As fontes de adubos utilizados foram: a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio.

O teor de P e K de cada parcela foi estabelecido por meio de uma coleta de solo e análise química dos mesmos em laboratório, realizada antes do início da aplicação dos tratamentos. Todo o P recomendado foi aplicado no sulco de plantio das mudas. Já o N e o K foram parcelados em três adubações de cobertura, que foram realizadas em intervalos médios de 30 dias, iniciando-se

em março. Em outubro de 2012, foi iniciada a adubação de primeiro ano, que foi parcelada em quatro vezes, sendo, também, realizadas em intervalos médios de 30 dias. Demais tratamentos culturais, como pulverizações contra pragas e doenças, as capinam, as desbrotas, entre outras, foram realizadas em todas as parcelas, conforme recomendado à cultura e na medida da necessidade.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, no esquema fatorial (4x3x4), quatro cultivares, três nutrientes e quatro doses, com três repetições, sendo oito plantas por parcela (onde foram avaliadas apenas as seis plantas centrais, consideradas úteis). Foi feita uma análise conjunta dos dados, sendo realizadas pelo software SISVAR (FERREIRA, 2000).

Detalhes da área experimental estão mostrados nas Fotos 1 e 2. Na Tabela 1 observa-se composição química do solo da área onde foi instalado o experimento e nas Tabelas 2 e 3 está a distribuição espacial e temporal dos tratamentos, respectivamente.



Foto 1 Imagem da área experimental após um parcelamento da adubação de cobertura. São Sebastião do Paraíso – MG, 20 de abril de 2012



Foto 2 Imagem da área experimental. São Sebastião do Paraíso – MG, 9 de abril de 2013

Tabela 1 Características químicas da amostra de solo da área onde foi implantado o experimento. Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EPAMIG, Lavras – MG

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem
H ₂ O	-- mg/dm ³ --		----- cmol _c /dm ³ -----							---- % ----		dag/kg	mg/l
6,3	19,5	73,0	3,9	1,3	0,0	2,1	5,4	5,4	7,5	72,0	0,0	3,1	36,6

Legenda:

pH: em água; P: extrator Mehlich-1; K: extrator Mehlich-1; Ca²⁺: extrator KCl 1N; Mg²⁺: extrator KCl 1N; Al³⁺: extrator KCl 1N; H+Al: extrator SMP; MO: dicromato de sódio em meio sulfúrico;

	Argila(%)	Silte(%)	Areia(%)
Solo do experimento	53	29	18
Classificação textural	Argiloso		

Tabela 2 Esquema dos tratamentos do experimento (nutrientes x doses) para cada cultivar adotada

Tratamentos	Dose de N	Dose de P₂O₅	Dose de K₂O
T1	50%	100%	100%
T2	75%	100%	100%
T3	100%	100%	100%
T4	125%	100%	100%
T5	100%	50%	100%
T6	100%	75%	100%
T7	100%	100%	100%
T8	100%	125%	100%
T9	100%	100%	50%
T10	100%	100%	75%
T11	100%	100%	100%
T12	100%	100%	125%

Tabela 3 Quantidade total (g/planta) da dose de 100% do recomendado, para adubação da cova de plantio, na sua cobertura após o plantio e em cobertura no primeiro ano do plantio

Época	Dose de N	Dose de P₂O₅	Dose de K₂O
Cova de plantio	0	80	0
Em cobertura após o plantio	12	0	20
Em cobertura no primeiro ano do plantio	40	0	20

3.2 Avaliações realizadas

Foram feitas avaliações para as características: altura da planta, diâmetro do colo, crescimento do primeiro ramo plagiotrópico e número de ramos plagiotrópicos. Para essas características foram feitas quatro avaliações, sendo a primeira feita no mês de outubro de 2012 e a última feita em abril de 2013. As amostragens de solo foram feitas no mês de maio de 2013, sendo realizados dois meses após o último parcelamento das adubações de primeiro ano. As amostragens de folha foram realizadas no mês de abril de 2013 (um mês após o último parcelamento da adubação de primeiro ano). O índice de clorofila (SPAD) foi determinado em abril de 2013.

As avaliações foram realizadas da seguinte maneira:

- a) **Altura da planta:** por meio da medição da altura das plantas (cm), utilizando uma régua graduada. Estabeleceu-se como parâmetro a ser analisado, estatisticamente, a diferença obtida entre a última e a primeira avaliação feita.
- b) **Diâmetro do colo:** por meio da medição do diâmetro das plantas (mm) na altura do colo, utilizando um paquímetro digital. Estabeleceu-se como parâmetro a ser analisado, estatisticamente, a diferença obtida entre a última e a primeira avaliação feita.
- c) **Número de ramos plagiotrópicos:** quando do crescimento dos ramos plagiotrópicos, onde foi feita a contagem, em pares, da sua quantidade ao longo do ano.
- d) **Crescimento do primeiro ramo plagiotrópico:** por meio da medição do ramo marcado (cm), fazendo-se as leituras do seu comprimento. Estabeleceu-se como parâmetro a ser analisado, estatisticamente, a diferença obtida entre a última e a primeira avaliação feita.

- e) **Índice de clorofila (SPAD):** para as amostragens, utilizou-se o clorofilômetro (Minolta SPAD-502), avaliando-se uma folha em cada um dos quatro pontos cardeais (norte, sul leste e oeste), em todas as plantas úteis da parcela.
- f) **Teor dos nutrientes no solo:** foram realizadas amostragens de solo de cada tratamento, aos sessenta dias após o último parcelamento das adubações de primeiro ano. Em cada parcela, foram coletadas três amostras simples, para composição de uma amostra composta, representativa da parcela. A metodologia de análise laboratorial foi baseada no “Manual de Métodos de Análise de Solo, 2ª edição”, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997).
- g) **Teores foliares dos nutrientes:** foram realizadas amostragens de folhas, para análise de cada tratamento, trinta dias após o último parcelamento das adubações de primeiro ano, sendo feito em duas repetições por tratamento. Foram coletadas amostras de 100 folhas de cada parcela, em seguida o material foi lavado em água destilada, seco em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante, pesado e triturado em moinho tipo Wiley. Do extrato obtido por digestão nitroperclórica foram determinados os teores de fósforo por colorimetria, de potássio por fotometria de chama. O teor de nitrogênio total foi obtido pelo método semimicro Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do solo

Os resultados das análises de solo do experimento após a aplicação dos tratamentos estão na Tabela 4. No geral, observou-se que com a aplicação dos tratamentos, aumentaram-se os teores de fósforo e potássio disponível no solo; no sentido contrário, os teores de cálcio e magnésio trocáveis diminuíram pelo processo de absorção realizado pelos cafeeiros. Outro detalhe importante verificado é que, com a aplicação da adubação nitrogenada, diminuiu-se o pH do solo e aumentou-se a acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H+Al). Os teores de matéria orgânica mantiveram-se estáveis.

Tabela 4 Resultado das análises de solo dos ensaios após a aplicação dos tratamentos (valores médios das quatro cultivares). Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EPAMIG, Lavras – MG

	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem
	H ₂ O	----- mg/dm ³ ----		----- cmol/dm ³ -----								----- % -----	dag/kg	mg/l
T1	5,18	30,05	134,13	1,52	0,33	0,35	4,54	2,19	2,54	6,73	33,77	13,52	2,97	12,66
T2	5,23	54,68	157,50	1,45	0,30	0,32	4,73	2,11	2,47	6,92	31,54	16,18	2,75	21,34
T3	5,00	58,31	147,63	1,66	0,36	0,23	4,18	2,40	2,62	6,57	36,15	10,66	3,07	12,96
T4	4,79	42,30	146,25	1,46	0,32	0,29	4,38	2,15	2,44	6,53	31,96	15,36	2,91	10,03
T5	5,56	99,92	149,38	2,36	0,46	0,28	4,05	3,20	3,48	7,25	44,34	13,95	2,82	12,64
T6	5,25	100,84	180,25	2,65	0,47	0,19	4,15	3,58	3,78	7,73	43,98	8,93	2,89	12,71
T7	4,98	118,25	127,25	3,37	0,39	0,22	4,34	4,09	4,31	8,43	47,31	7,37	3,08	13,41
T8	5,36	116,46	161,13	3,00	0,41	0,19	4,01	3,82	4,01	7,83	47,32	7,70	2,73	15,70
T9	5,36	56,24	122,63	1,90	0,46	0,19	3,72	2,67	2,86	6,40	41,15	11,27	2,87	13,42
T10	4,89	78,97	122,50	1,85	0,41	0,37	4,15	2,57	2,94	6,72	36,54	20,52	2,74	10,74
T11	5,03	86,60	113,50	1,77	0,43	0,42	5,01	2,49	2,91	7,50	34,71	20,47	2,97	12,70
T12	4,95	73,94	127,88	1,44	0,34	0,33	4,42	2,11	2,43	6,53	32,75	16,68	2,62	12,46

4.2 Desenvolvimento vegetativo

O resumo da análise de variância das características vegetativas avaliadas em campo está na Tabela 5.

Tabela 5 Resumo da análise de variância das características vegetativas avaliadas em campo. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	ALT	DIA	CPRP	NRP	SPAD
		Quadrado médio				
Cultivar (C)	3	163,5573*	24,2833*	133,9759*	17,0979*	495,3376*
Nutriente (N)	2	51,4269 ^{ns}	6,6502 ^{ns}	79,4085*	3,7371 ^{ns}	25,4990 ^{ns}
Dose (D)	3	5,8575 ^{ns}	3,8368 ^{ns}	17,9953 ^{ns}	1,8119 ^{ns}	38,9750*
C*N	6	48,4785 ^{ns}	6,0311 ^{ns}	31,9218 ^{ns}	3,6994 ^{ns}	16,0023 ^{ns}
C*D	9	22,6105 ^{ns}	4,3134 ^{ns}	19,8648 ^{ns}	0,5924 ^{ns}	31,6725*
N*D	6	29,0428 ^{ns}	7,1807 ^{ns}	29,0813 ^{ns}	3,5933 ^{ns}	7,2741 ^{ns}
C*N*D	18	26,2636 ^{ns}	4,1030 ^{ns}	25,8765 ^{ns}	1,5958 ^{ns}	13,3676 ^{ns}
Bloco (Cultivar)	8	43,4868 ^{ns}	7,3652 ^{ns}	46,7705*	4,4841*	52,7896*
erro	88	24,9954	4,0644	19,1476	1,6967	12,2094
CV (%)		17,78	15,13	12,62	10,63	5,01

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; ALT: altura da planta (cm); DIA: diâmetro do colo (mm); CPRP: crescimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm); NRP: número de ramos plagiotrópicos; SPAD: índice de clorofila;

Observa-se, para as características analisadas, que a interação tripla (cultivar x nutriente x dose) não foi significativa para nenhuma das características avaliadas. Houve significância para o fator cultivares em todas as características avaliadas, do fator nutriente para o crescimento do primeiro ramo plagiotrópico e do fator dose e da interação cultivar com dose para o índice de clorofila (SPAD). Todavia, como o foco do estudo foi a interação tripla, realizou-se o desdobramento desta interação, mesmo da não significância estatística desejada para o teste F.

A altura de plantas (cm) apresentou significância para doses de P_2O_5 na progênie 1189-12-52-2, conforme está mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para a característica altura de plantas. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	Quadrado Médio
Dose: 1189-12-52-2: K_2O	3	37,0392 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: N	3	26,4004 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: P_2O_5	(3)	(52,1748)**
Efeito 1º grau	1	24,1173 ^{ns}
Efeito 2º grau	1	132,2688*
Efeito 3º grau	1	0,1382 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: K_2O	3	22,3011 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: N	3	15,7407 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: P_2O_5	3	8,0794 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: K_2O	3	31,9862 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: N	3	5,2102 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: P_2O_5	3	20,1558 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: K_2O	3	32,7633 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: N	3	22,1071 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: P_2O_5	3	15,398 ^{ns}
erro	88	24,9954

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

** : significativo a 11% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A progênie 1189-12-52-2 apresentou comportamento quadrático de resposta (tendência de aumento) na altura em função do aumento nas doses de P₂O₅ fornecidas via adubação no solo, atingindo um ponto máximo em altura de 34,8 cm na dose de 92% de P₂O₅, conforme mostrado na Figura 1. Este resultado contraria os resultados encontrados por Melo et al. (2003), que, trabalhando em casa de vegetação com mudas de cafeeiro em tubetes sob diferentes substratos, fontes e doses de P₂O₅, observaram diminuição na altura dos cafeeiros, em função do aumento nas doses para os dois substratos utilizados e para as duas fontes fosfatadas utilizadas: superfosfato simples e termofosfato magnesiano (yoorin). Todavia, Clemente et al. (2008), em trabalho com faixas críticas de macronutrientes, em vasos em pós plantio e primeiro ano com a cultivar Topázio MG 1190, encontraram para a característica altura de plantas de cafeeiro o mesmo comportamento deste ensaio, ou seja, em torno de 100% da adubação utilizada. Os cafeeiros apresentaram crescimento máximo em altura e logo após isso (adubações mais elevadas), houve decréscimo na mesma, provavelmente, causada por uma toxidez.

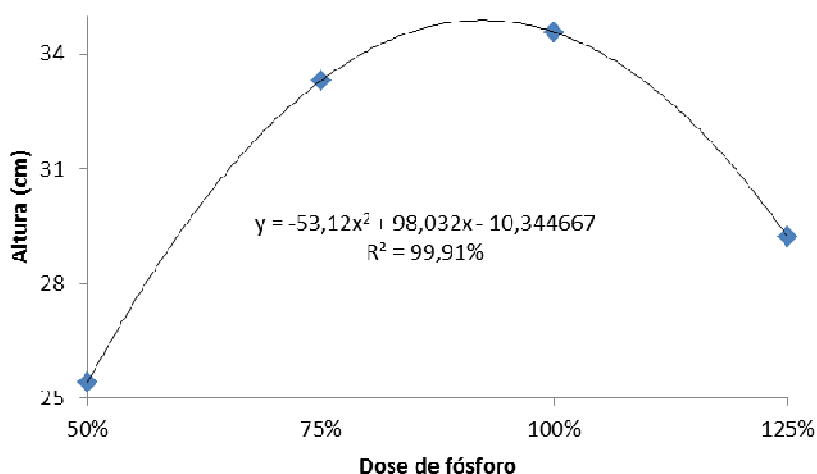


Figura 1 Altura da progênie 1189-12-52-2 em função de diferentes doses de P₂O₅.

O diâmetro do colo (mm) apresentou significância para doses de K_2O na cultivar Pau Brasil MG1, conforme está mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para a característica diâmetro do colo. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	Quadrado Médio
Dose: 1189-12-52-2: K_2O	3	1,2767 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: N	3	2,5096 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: P_2O_5	3	1,0289 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: K_2O	(3)	(12,5608)*
Efeito 1º grau	1	10,8120 ^{ns}
Efeito 2º grau	1	12,0600**
Efeito 3º grau	1	14,8106**
Dose: Pau Brasil MG1: N	3	1,3107 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: P_2O_5	3	1,8242 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: K_2O	(3)	(24,1406)*
Efeito 1º grau	1	3,5186 ^{ns}
Efeito 2º grau	1	60,9752*
Efeito 3º grau	1	7,9279 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: N	3	0,9538 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: P_2O_5	3	2,3241 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: K_2O	3	1,8601 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: N	3	1,8691 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: P_2O_5	3	4,0980 ^{ns}
erro	88	4,0644

** : significativo a 9% de probabilidade pelo teste F.

* : significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns} : não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns} : não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A cultivar Pau Brasil MG1 apresentou comportamento quadrático de resposta (tendência de diminuição) no diâmetro do colo (mm), em função do aumento nas doses de K_2O fornecidas, via adubação no solo, atingindo um ponto mínimo em diâmetro do colo de 10,9 mm na dose de 98% de K_2O , conforme mostrado na Figura 2. Clemente et al. (2008) obtiveram resultados contrastantes

ao encontrado neste ensaio, trabalhando com a cultivar Topázio MG1190, em ensaio conduzido com vasos em casa de vegetação, chegando a valores máximos de diâmetro do colo em torno de 75% da adubação, ocorrendo decréscimo com o consequente aumento na dose, causado, provavelmente, por uma toxidez.

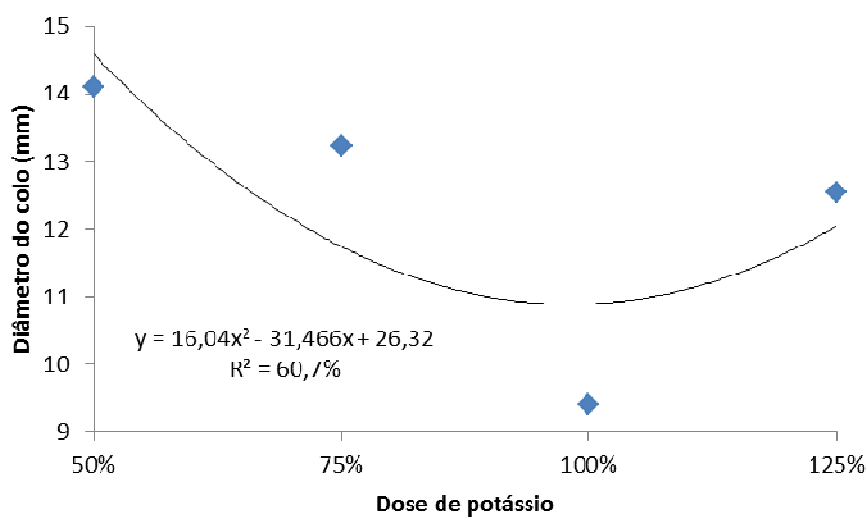


Figura 2 Diâmetro do colo da cultivar Pau Brasil MG1 em função de diferentes doses de K_2O

Para o crescimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm), houve significância para doses de P_2O_5 na cultivar Paraíso MG H419-1, conforme está mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para a característica crescimento do primeiro ramo plagiotrópico. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	Quadrado Médio
Dose: 1189-12-52-2: K ₂ O	3	28,0790 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: N	3	1,9231 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: P ₂ O ₅	3	18,9836 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: K ₂ O	3	25,0373 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: N	3	15,9945 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: P ₂ O ₅	3	7,7224 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: K ₂ O	(3)	(63,2852)*
Efeito 1º grau	1	0,0516 ^{ns}
Efeito 2º grau	1	188,3376*
Efeito 3º grau	1	1,4664 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: N	3	30,8859 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: P ₂ O ₅	(3)	(69,5949)*
Efeito 1º grau	1	176,3020*
Efeito 2º grau	1	25,0274 ^{ns}
Efeito 3º grau	1	7,4553 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: K ₂ O	3	18,4533 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: N	3	3,5710 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: P ₂ O ₅	3	7,4810 ^{ns}
erro	88	19,1476

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A cultivar Paraíso MG H419-1 apresentou comportamento linear de resposta no crescimento do primeiro ramo plagiotrópico, em função do aumento nas doses de P₂O₅ fornecidas, via adubação no solo, decrescendo 0,13cm em crescimento para cada 1% de incremento na dose de P₂O₅, conforme mostrado na Figura 3. Clemente (2005) encontrou comportamento oposto na cultivar Topázio MG 1190, em ensaio em casa de vegetação e houve aumento no crescimento do ramo plagiotrópico com aumento nas doses de nutrientes. Uma possível causa dessa diminuição do crescimento do primeiro ramo plagiotrópico

seriam efeitos iônicos de inibição ou antagonismo entre os vários nutrientes utilizados no experimento, como exemplo, entre o K e o Ca (advindo do superfosfato simples) e suas influências na Lei do Mínimo, desequilibrando-a, conforme relata Malavolta (1980).

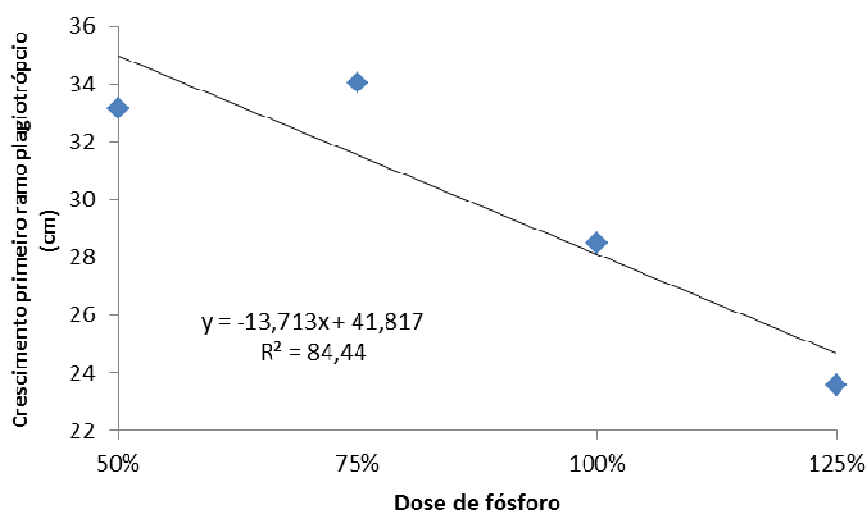


Figura 3 Crescimento do primeiro ramo plagiotrópico da cultivar Paraíso MG H419-1em função de diferentes doses de P_2O_5

O índice de clorofila (SPAD) foi estudado somente ao nível de cultivares, conforme está mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 Valores médios de índice de clorofila (SPAD) de diferentes cultivares de cafeeiro. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

Cultivares	Médias
1189-12-52-2	73,13 a
Pau Brasil MG1	64,95 c
Paraíso MG H419-1	68,55 b
Topázio MG 1190	72,08 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Com a aplicação do teste de médias, houve a formação de três grupos de cultivares, onde a progênie 1189-12-52-2 e a cultivar Topázio MG 1190 apresentaram médias iguais entre si e superiores em relação as duas demais e a Pau Brasil MG1 apresentou média inferior a todas as demais. França, Souza e Alves (2007), trabalhando com diferentes tonalidades de folhas de cafeeiro, classificaram as folhas de cafeeiro que apresentaram índice de clorofila (SPAD) entre 55-70 unidades SPAD como sendo “verde escuro intenso”; sendo assim, todas as cultivares se encaixam dentro desta faixa, apresentando um índice de clorofila elevado.

4.3 Análises foliares

O resumo da análise de variância das análises foliares das cultivares está na Tabela 10.

Tabela 10 Resumo da análise de variância dos teores foliares de N, P e K.
Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EPAMIG, Lavras –
MG

FV	GL	Quadrado Médio		
		Nf	Pf	Kf
Cultivar (C)	3	0,1018 ^{ns}	0,0080 ^{ns}	1,1240*
Nutriente (N)	2	0,0567 ^{ns}	0,0092 ^{ns}	0,0188 ^{ns}
Dose (D)	3	0,1200 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	0,0343 ^{ns}
C*N	6	0,2279 ^{ns}	0,0135 ^{ns}	0,0944 ^{ns}
C*D	9	0,1617 ^{ns}	0,0099 ^{ns}	0,0306 ^{ns}
N*D	6	0,0763 ^{ns}	0,0062 ^{ns}	0,0195 ^{ns}
C*N*D	18	0,1390 ^{ns}	0,0087 ^{ns}	0,0378 ^{ns}
Bloco (Cultivar)	4	0,1630 ^{ns}	0,0110 ^{ns}	0,0759 ^{ns}
erro	44	0,1236	0,0087	0,0408
CV (%)		11,60	56,89	6,86

Legenda:

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Nf: teor foliar de nitrogênio (dag/kg); Pf: teor foliar de fósforo (dag/kg);

Kf: teor foliar de potássio (dag/kg).

Conforme, também, aconteceu com as características vegetativas avaliadas em campo, a interação tripla (cultivar x nutriente x dose) não foi significativa, porém foi feito o desdobramento da mesma. Somente houve significância no teste F para o fator cultivar, no teor foliar de K.

Para o teor foliar de N, com o desdobramento da interação tripla, houve significância para a dose de N na cultivar Topázio MG 1190, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para o teor foliar de N. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	Quadrado Médio
Dose: 1189-12-52-2: K ₂ O	3	0,1009 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: N	3	0,0435 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: P ₂ O ₅	3	0,2381 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: K ₂ O	3	0,0513 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: N	3	0,0527 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: P ₂ O ₅	3	0,1244 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: K ₂ O	3	0,0553 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: N	3	0,0435 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: P ₂ O ₅	3	0,0939 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: K ₂ O	3	0,3155 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: N	(3)	(0,3792)*
Efeito 1º grau	1	0,1000 ^{ns}
Efeito 2º grau	1	1,0368*
Efeito 3º grau	1	0,0010 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: P ₂ O ₅	3	0,0932 ^{ns}
erro	44	0,1236

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na cultivar Topázio MG 1190, o teor foliar de N apresentou comportamento quadrático de resposta, em função do aumento nas doses de N fornecidas, via adubação no solo, atingindo um ponto máximo de 3,5 dag.kg⁻¹ na dose de 84% de N, conforme mostrado na Figura 4. Clemente et al. (2008), em trabalho com faixas críticas de macronutrientes em vasos em pós plantio e primeiro ano, também, com a cultivar Topázio MG 1190, chegaram a valores de faixa crítica para o nitrogênio na folha que variaram de 1,92 dag.kg⁻¹ à 2,31 dag.kg⁻¹, sendo estes valores bem superiores ao encontrado para o valor mínimo do experimento, que foi na dose de 125% de N, refletindo 2,53 dag.kg⁻¹ de N na folha. Sobreira (2010), trabalhando com cafeeiros jovens fertirrigados em campo da cultivar Catiguá MG3, encontrou para condições de quatro parcelamentos nas

adubações com N e K, valores para o teor foliar de N quer variaram no mês de maio de $2,17 \text{ dag.kg}^{-1}$ à $2,5 \text{ dag.kg}^{-1}$ (sem diferenças estatísticas entre si), com relação ao aumento nas doses que refletiam os tratamentos utilizados no referido ensaio. Gontijo (2004), em trabalho com mudas de saquinho, encontrou valores de faixa crítica para o nitrogênio que variou entre $2,57 \text{ dag.kg}^{-1}$ a $2,78 \text{ dag.kg}^{-1}$.

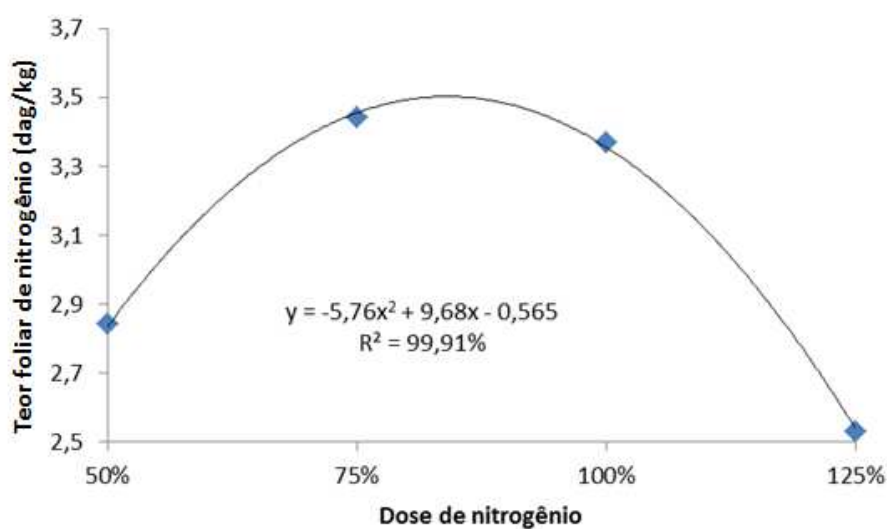


Figura 4 Teor foliar de nitrogênio da cultivar Topázio MG 1190 em função de diferentes doses de N

Para o teor foliar de P, houve significância para o aumento na dose de P_2O_5 na cultivar Topázio MG 1190, conforme mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para o teor foliar de P. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	Quadrado Médio
Dose: 1189-12-52-2: K ₂ O	3	0,0009 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: N	3	0,0007 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: P ₂ O ₅	3	0,0025 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: K ₂ O	3	0,0012 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: N	3	0,0007 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: P ₂ O ₅	3	0,0000 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: K ₂ O	3	0,0005 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: N	3	0,0000 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: P ₂ O ₅	3	0,0014 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: K ₂ O	3	0,0007 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: N	3	0,0002 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: P ₂ O ₅	(3)	(0,0903)*
Efeito 1º grau	1	0,1575*
Efeito 2º grau	1	0,0946*
Efeito 3º grau	1	0,0189 ^{ns}
erro	44	0,0087

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na cultivar Topázio MG 1190, o teor foliar de P apresentou comportamento quadrático de resposta, em função do aumento nas doses de P₂O₅ fornecidas, via adubação no solo, atingindo um ponto mínimo de 0,1 dag.kg⁻¹ na dose de 73% de P₂O₅, conforme mostrado na Figura 5. Clemente (2005), em trabalho com faixas críticas de macronutrientes em vasos em pós - plantio e primeiro ano, também, com a cultivar Topázio MG 1190, chegou a valores de faixa crítica para o fósforo na folha que variaram de 0,11 dag.kg⁻¹ à 0,12 dag.kg⁻¹, valor bem próximo do ponto mínimo encontrado no experimento, que foi de 0,1 dag.kg⁻¹. Gontijo (2004) encontrou valores de faixa crítica em mudas de saquinho que variou de 0,33 dag.kg⁻¹ a 0,38 dag.kg⁻¹.

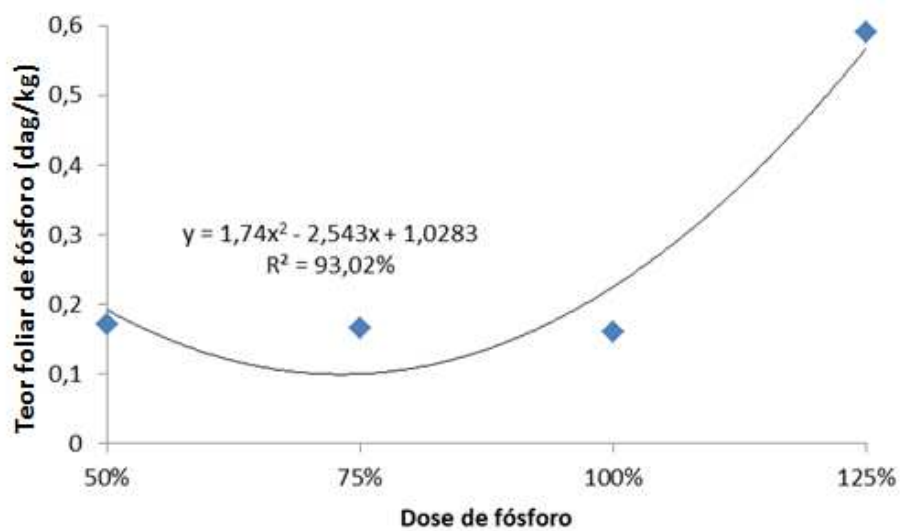


Figura 5 Teor foliar de fósforo da cultivar Topázio MG 1190 em função de diferentes doses de P_2O_5

No teor foliar de K houve significância para o aumento na dose de P_2O_5 na progênie 1189-12-52-2, conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 Análise do desdobramento da interação de doses, dentro de cada nível de cultivar e nutriente, para o teor foliar de K. Fazenda Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso – MG

FV	GL	Quadrado Médio
Dose: 1189-12-52-2: K ₂ O	3	0,0202 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: N	3	0,0082 ^{ns}
Dose: 1189-12-52-2: P ₂ O ₅	(3)	(0,2111)*
Efeito 1º grau	1	0,0081 ^{ns}
Efeito 2º grau	1	0,4278*
Efeito 3º grau	1	0,1974 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: K ₂ O	3	0,0067 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: N	3	0,0154 ^{ns}
Dose: Pau Brasil MG1: P ₂ O ₅	3	0,0040 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: K ₂ O	3	0,0048 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: N	3	0,0286 ^{ns}
Dose: Paraíso MG H419-1: P ₂ O ₅	3	0,0761 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: K ₂ O	3	0,0103 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: N	3	0,0040 ^{ns}
Dose: Topázio MG 1190: P ₂ O ₅	3	0,0028 ^{ns}
erro	44	0,0408

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Num contexto geral, a progênie 1189-12-52-2 se mostrou mais exigente em nutrição fosfatada, visto que houve resposta em altura e no teor foliar de potássio para aumento na dose de P₂O₅. Na cultivar Pau Brasil MG1, houve decréscimo no diâmetro do colo, em razão do aumento nas doses de K₂O, significando que a menor dose utilizada (50% do recomendado) é o mais indicado nas condições do experimento. Já na cultivar Paraíso MG H419-1, o comportamento de queda linear no crescimento do primeiro ramo plagiotrópico, em função do aumento nas doses de P₂O₅, também, permite-nos dizer que, para as condições do experimento, a menor dose recomendada (50%) é a mais indicada. A cultivar Topázio MG 1190 se mostrou mais eficiente em assimilar o nitrogênio e o fósforo aplicado, via adubação de solo, no teor foliar dos mesmos,

onde o nitrogênio foliar sobe até determinadas doses de adubação nitrogenada e para o fósforo foliar a tendência é de aumento em função do aumento na adubação fosfatada.

Como efeito, pode-se concluir que, nas condições químicas iniciais do solo utilizado no experimento (Tabela 1), pode-se reduzir em até 50% o recomendado por Guimarães et al. (1999) nas adubações com N, P e K, tanto em adubação de cobertura como para adubação de primeiro ano, em lavouras cafeeiras plantadas com as cultivares Pau Brasil MG1, Paraíso MG H419-1 e Topázio MG 1190. Todavia, deve-se ressaltar que a área experimental já era cultivada há mais de 40 anos com lavouras cafeeiras. A fertilidade do solo foi corrigida e construída ao longo desse tempo, podendo ser considerada como muito boa para implantação de uma lavoura cafeeira.

Redução na dose recomendada, também, foi relatada em trabalhos com adubação líquida, para cultivos em sequeiro. Fagundes (2006) mostrou que, para a fase de cobertura pós-plantio, a adubação via líquida permite reduzir em 50% a dose proposta por Guimarães et al. (1999). Sobreira (2010) mostrou que a adubação de N e K_2O do cafeeiro fertirrigado em formação na região de Lavras – MG (1º e 2º anos pós - plantio) pode ser 30% inferior à recomendada por Guimarães et al. (1999) para o cultivo em sequeiro.

Há a necessidade de mais estudos entre diferentes cultivares de cafeeiro (principalmente entre as cultivares mais novas no mercado) e a influência sobre elas de diferentes padrões de nutrição mineral, pois são poucos os relatos na literatura, sobremaneira para condições de lavouras novas. Estudos complementares com solução nutritiva, envolvendo marcha de absorção, também, colaboram em muito nos resultados obtidos em campo.

5 CONCLUSÕES

Nas condições químicas iniciais do solo utilizado no experimento pode-se reduzir em até 50% o recomendado por Guimarães et al. (1999) nas adubações com N, P e K, tanto em adubação de cobertura como para adubação de primeiro ano, em lavouras cafeeiras plantadas com as cultivares Pau Brasil MG1, Paraíso MG H419-1 e Topázio MG 1190.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. N. de. **Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade de um latossolo roxo distrófico**. 1997. 133 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

ALMEIDA, F. P. de; LOPES, M. A.; DEUS, V. P. de. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional do cafeeiro: *Coffea arabica* L. no oeste da Bahia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2003. p. 395-396.

ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Morfologia e fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2009. 46 p. (Textos Acadêmicos).

AMARAL, J. F. T. et al. Nutrients use efficiency by coffee cultivars. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 621-629, 2011.

ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2004. p. 317-366.

ANDRADE, W. E. de B. et al. **Diagnose nutricional de cafeeiros da região Norte Fluminense: safras 1998/1999 e 1999/2000**. Niterói: PESAGRO-RIO, 2001. 5 p. (Comunicado Técnico, 267).

ARAÚJO-JUNIOR, C. F. **Capacidade de suporte de carga de um latossolo após três décadas de diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira**. 2010. 158 p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Ed.). **Inter-relação fertilidade,**

biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 183-204.

BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Princípio da diagnose foliar. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 647-660.

CHAVES, J. C. D.; ANDROCIOLI FILHO, A. Estado nutricional de cultivares de cafeeiros sob densidades diferentes de plantio em quatro níveis de fertilização. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2003. p. 415-416.

CLARK, R.; DUNCAN, R. R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 219-240, Oct. 1991.

CLEMENTE, F. M. V. T. **Faixas Críticas de terrores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura.** 2005. 60 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

CLEMENTE, F. M. V. T. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio-primeiro ano. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008.

COSTA, A. N. da. Método de interpretação e diagnose foliar em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade.** Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 617-646.

DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M.; HOUWING, L. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 71, n. 3, p. 505-509, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGUNDES, A. V. **Adubação líquida na implantação da lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L.)**. 2006. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235.

FLÜGGE, U. I. et al. Functional genomics of phosphate antiport systems of plastids. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 118, n. 4, p. 475-482, Aug. 2003.

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

FRANÇA, A. C.; SOUZA, I. F.; ALVES, L. W. R. Calibração do medidor de clorofila minolta spad-502 para avaliação do conteúdo de clorofila em cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: EMBRAPA Café, 2007. 1 CD-ROM.

FURTINI NETO, A. E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus spp.*** 1994. 99 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

GABELMAN, W. H.; GERLOFF, G. C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant and Soil**, The Hague, v. 72, p. 335-350, 1983.

GODDARD, R. E.; HOLLIS, C. A. The genetic basics of forest tree nutrition. In: BOWEN, G. D.; NAMBIER, E. K. S. (Ed.). **Nutrition of plantation forest**. London: Academic, 1984. p. 237-258.

GONTIJO, R. A. N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

GONTIJO, R. A. N.; GUIMARÃES, R. J. Crescimento e teor foliar de nutrientes em cafeeiro decorrente da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 124-132, jul./dez. 2008.

GRAHAM, R. D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P. B.; LAUCHLI, A. (Ed.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 57-102.

GUERRA, A. F. et al. Aprimoramento do sistema de produção de café (*Coffea arabica*, L.) irrigado no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA; CBP&D Café, 2007. 1 CD-ROM.

GUERRA, A. F. et al. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 83-115.

GUERRA, A. F. et al. Resposta do cafeeiro arábica a aplicação de fósforo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10., 2008, Araguari. **Resumos Expandidos...** Araguari: EMBRAPA Café, 2008. p. 62-66.

GUIMARÃES, P. T. G. O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** Uberaba: IBRAFOS, 1992. p. 175-190.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Nutrição mineral do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 70 p.

HENDRICKSON, L.; CHOW, W. S.; FURBANK, R. T. Low temperature effects on grapevine photosynthesis: the role of inorganic phosphate. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, n. 8, p. 789-801, Aug. 2004.

JAYARAMA, R. P. et al. Latest concept of fertilizer usage in coffee plantations with respect to nitrogen, phosphorus and potassium. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 58, n. 9, p. 9-12, 1994.

LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S. A. de. Coffea arabica L. nutritional status survey based on dris, in the upper Paranaíba region - Minas Germs. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 1147-1156, 2010.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, 2007.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de Coffea arabica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 319-329, mar./abr. 2007a.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1439-1449, 2007b.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 275-294, Feb. 2002.

LÓPEZ-BUCIO, J. et al. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 129, n. 1, p. 244-256, May 2002.

MAGALHÃES, J. C. A. J.; SAMPAIO, J. B. R.; SILVA, J. E. da. Adubação de manutenção de cafezais em solos de cerrado. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1982-1985**. Planaltina, 1987. p. 346-349.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 43 p.

MALAVOLTA, E. et al. **Seja o doutor do seu cafezal**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 1993. Encarte.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic, 1997. 889 p.

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

MATIELLO, J. B. Redução do potássio na adubação de cafeeiros em solos desequilibrados, na zona da Mata de Minas. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, Varginha, n. 13, p. 14-15, 2008.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387 p.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubos, corretivos e defensivos para a lavoura cafeeira: indicações de uso**. Varginha: Fundação PROCAFÉ, 2006. 112 p.

MELO, B. et al. Substratos, fontes e doses de P₂O₅ na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 35-44, maio/ago. 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principales of plant nutrition**. 4th ed. Berna: International Potash Institute, 1987. 687 p.

PEREIRA, J. B. D. **Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.)**. 1999. 99 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict side dress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 607-615.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, maio/ago. 2004.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Estimulantes. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1997. p. 91-103. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van et al. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, p. 347-355, 1996.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/FUNDAG, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REIS, T. H. P. et al. Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 757-764, jul. 2013.

REIS JUNIOR, R. dos A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 537-542, jul./set. 2002.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 359 p.

SANTOS, M. G. dos et al. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. **Plant Science**, Shannon, v. 170, n. 3, p. 659-664, Mar. 2006.

SAUERBECK, D. R.; HELAL, H. M. Factors affecting the nutrient efficiency of plants. In: EL BASSAN, N. et al. (Ed.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Braunschweig: Kluwer Academic, 1990. p. 11-17.

SHUBHRA, J. et al. Influence of phosphorus application on water relations, biochemical parameters and gum content in cluster bean under water deficit. **Biologia Plantarum**, Copenhagen, v. 48, n. 3, p. 445-448, Mar. 2004.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, E. B. de et al. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 335-345, mar. 1999.

SILVA, E. B. de et al. Qualidade dos grãos de café em função de doses de potássio. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1291-1297, 2002.

SILVA, E. B. de et al. Resposta do cafeeiro à adubação potássica em safras de baixa e alta produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1331-1337, nov. 2001.

SILVA, L. et al. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 965-972, set. 2010.

SILVA, R. A. et al. Avaliação do estado nutricional do coqueiro anão verde fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p. 17-28, out./dez. 2008.

SOBREIRA, F. M. **Adubação do cafeeiro fertirrigado em fase de formação no Sul de Minas Gerais**. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SOUZA, R. B. **Níveis críticos de enxofre em solos e folhas de cultivares de café**. 1999. 88 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

SUBBARAO, G. V. et al. Sodium: a functional nutrient in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 22, n. 5, p. 391-416, 2003.

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Eficiência nutricional em plantas. In: _____. **Estudos avançados em produção vegetal**. Alegre: UFES, 2008. v. 1, p. 23-41.

TOMAZ, M. A.; SILVA, S. R. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 885-892, set./out. 2003.

VOSE, P. B. Genetical aspects of mineral nutrition: progress to date. In: GABELMAN, H. W.; LOUHMANN, A. (Ed.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Boston: Lancaster, 1987. p. 3-13.

ZHANG, Y. et al. Effects of partial replacement of potassium by sodium on cotton seedling development and yield. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 29, n. 10, p. 1845-1854, Oct. 2006.