

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA CULTURA DO CAFÉ
(Coffea arabica L.)

MAURICIO ANTONIO CUZATO MANCUSO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP
Julho de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA CULTURA DO CAFÉ
(Coffea arabica L.)

MAURICIO ANTONIO CUZATO MANCUSO

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP
Julho de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M269f Mancuso, Mauricio Antonio Cuzato, 1986-
Fontes e doses de potássio na cultura do café (Coffea arabica L.) / Mauricio Antonio Cuzato Mancuso. - Botucatu : [s.n.], 2012
viii, 61 f. : gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Rogério Peres Soratto
Inclui bibliografia

1. Café - Cultivo. 2. Plantas - Efeito dos minerais.
3. Plantas - Nutrição. 4. Plantas - Efeito do potássio.
5. Produtividade agrícola. I. Soratto, Rogério Peres. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
III. Título.

Palavras-chave: cafeicultura, nutrição mineral, adubação potássica, pó-de-rocha, exportação de nutrientes, produtividade de grãos.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA CULTURA DO CAFÉ (Coffea arabica L.)

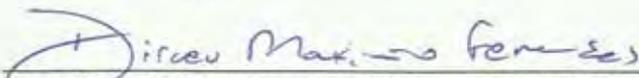
ALUNO: MAURICIO ANTONIO CUZATO MANCUSO

ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. ENÉS FURLANI JUNIOR

Data da Realização: 30 de julho de 2012.

Aos meus pais Maria José e Marcos

Ao meu irmão Matheus

À minha esposa Kathia

DEDICO

À minha família e amigos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida.

Ao Professor Doutor Rogério Peres Soratto, pela confiança, orientação e amizade.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas, pela oportunidade e suporte para a realização do mestrado.

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

À Mineração Curimbaba, por fornecer a rocha fonolito moída (MC YOORIN F2).

Ao doutorando Gustavo Spadotti Amaral Castro (“Spirro”), da FCA/Botucatu, pelo auxílio na condução do experimento.

À coordenação de curso do programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), pela eficiência e qualidade de ensino.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura) da FCA/UNESP, pela atenção e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal-Agricultura (Vera, Lana, Amanda, Valéria, Dorival) e aos funcionários do setor de campo (Célio, Casimiro, “Cidão”, “Fio”, Mateus e Camargo), pela essencial contribuição nas atividades do experimento.

Aos funcionários da biblioteca e da seção de Pós Graduação, pela atenção e serviços prestados.

Aos estagiários Aline C. Frasca (“Freska”), Daniele D. Becero (“Rosela”), Dênis E. Bôa (“Meu Pau”), Luiz E. Ricardo (“Smilinguido”), Manoela Carvalho (“Perdigão”), Mariana Damha (“Toska”), Rafael Soares (“Zé Ruela”), Tamires Ferreira (“Sadomazoquista”) e Yuri Kacuta (“Salário”), pela essencial ajuda na condução desse trabalho e também pela amizade.

Aos meus grandes amigos Jayme Ferrari Neto (“Magrão”), Gustavo Spadotti Amaral Castro (“Spirro”), Marcella Leite Campos Menegale (“Canola/Zélia”), Fabio Rafael Echer (“Gauchão”), Claudio Hideo Martins Costa (“Ass Down”), Lucas Perim (“Mamão Teta”), Eduardo Negrisoli, André Alencar Giorgetti (“Godofredo”), Laércio Pivetta (“Lala 1”), Laerte Pivetta (“Lala 2”), Samuel Fioreze (“Smeago1”), Gustavo Castoldi (“Gay”), Ana Claudia Silva (“Cráudia”), Fabiany Lilianny (“Gaveta”), Camila T. Aquino (“Tostines”), Renata Pereira Marques (“Renatinha”), Caroline Caum (“Marmota”), Bárbara Vogt (“Cafeina”), Livia

Ribeiro, Camila Conti Fochi (“Capeta”), Angelo Martins Júnior (“Juninho Gabiru”), pela amizade e companheirismo.

Aos meus pais Maria José e Marcos, e ao meu irmão Matheus e sua namorada Carol, pelo incentivo, amor e apoio incondicional.

A toda minha família, pelo apoio e orações.

Aos meus sogros Sabina e Aurélio Zarate, pelo apoio e carinho.

À minha esposa Kathia, por seu amor, dedicação, apoio, companheirismo, paciência, entre outras qualidades que me fortalecem.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização dessa pesquisa, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1. A Cultura do Café	8
2.2. O K e a adubação potássica	12
2.3. Fontes alternativas de fertilizantes potássicos	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	25
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	27
3.3 Rocha fonolito moída F2	27
3.4 Cultivar utilizada.....	28
3.4 Condução do experimento	29
3.5 Amostragens e avaliações.....	30
3.5.1 Teor de macronutrientes e silício nas folhas.....	30
3.5.2 Produtividade de grãos.....	30
3.5.3 Produtividade relativa	31
3.5.4 Índice de Eficiência Agronômica	31
3.5.5 Rendimento	31
3.5.6 Teor de macronutrientes nos grãos em coco.....	32
3.5.7 Exportação de macronutrientes pelos grãos.....	32
3.6 Análise estatística.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Teor de macronutrientes e silício nas folhas.....	33
4.2 Produtividade de grãos	39
4.3 Teor de macronutrientes nos grãos em coco.....	44
4.3.1 Exportação de macronutrientes pelos grãos em coco.....	48
5. CONCLUSÕES	53
6. REFERÊNCIAS.....	54

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características químicas do solo em agosto de 2008, antes da instalação do experimento. 27
- Tabela 2.** Características químicas da rocha fonolito (“MC YOORIN F2”), procedente da Mineração Curimbaba - Poços de Caldas (MG)..... 28
- Tabela 3.** Aumento da produtividade (AP) e produtividade relativa (PR) de grãos de café em coco em função de fontes e doses de K. Índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses da fonte F2, comparadas ao KCl. Ano agrícola 2008/09..... 43
- Tabela 4.** Aumento da produtividade (AP) e produtividade relativa (PR) de grãos de café em coco em função de fontes e doses de K. Índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses da fonte F2, comparadas ao KCl. Ano agrícola 2009/10..... 43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais obtidas na área experimental durante o período de setembro de 2008 a agosto de 2010. Pirajú-SP..... 26
- Figura 2.** Teores de N, P e K nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). .. 37
- Figura 3.** Teores de Ca, Mg e S nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05)..... 38
- Figura 4.** Teor de Si nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). 39
- Figura 5.** Produtividade de grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). .. 42
- Figura 6.** Rendimento de grãos de café beneficiados em função de fontes e doses de K no ano agrícola 2008/2009. ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). 44
- Figura 7.** Teores de N, P e K nos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05)..... 46
- Figura 8.** Teores de Ca, Mg e S nos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * e ** são significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05)..... 47
- Figura 9.** Exportação de N, P e K pelos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * e ** são significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05)..... 51
- Figura 10.** Exportação de Ca, Mg e S pelos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05)..... 52

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo esse um dos mais importantes produtos agrícolas de exportação, gerando riquezas e divisas ao País. Com isso, a produção de plantas bem nutridas, através da utilização de fertilizantes, torna-se cada vez mais importante. O Brasil é um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o 4º maior consumidor dos mesmos. Só de KCl, em 2009, o Brasil consumiu cerca de 3,2 milhões de toneladas. Isso se deve a fatores como a extensa área cultivada, refletindo na dimensão da produção agrícola brasileira, as características dos seus solos muito pobres quanto aos macronutrientes K e P e a insuficiente produção doméstica de fertilizantes. Para diminuir a dependência nacional do K utilizado na agricultura, a pesquisa vem buscando opções para obtenção desse nutriente com base em minerais contidos em rochas brasileiras, especialmente mediante a moagem de rochas potássicas. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de uma rocha fonolito moída em fornecer K para a cultura do café. Para tanto, o experimento foi desenvolvido em uma propriedade no município de Pirajú-SP, sendo conduzido nos anos agrícolas de 2008/09 e 2009/10. Os tratamentos foram duas fontes de K (KCl e rocha fonolito moída F2) e três doses (75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O), correspondente à ½, 1 e 2 vezes a dose de K₂O recomendada para a cultura, aplicadas em um cafezal cultivar Mundo Novo, já formado e produtivo, e mais uma testemunha (sem aplicação de K). O delineamento experimental

utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 3 + 1$, com quatro repetições. As avaliações mais importantes foram teor foliar de N, P, K, Ca, Mg, S e Si, teor desses mesmos nutrientes, exceto Si, nos grãos de café em coco e exportação de nutrientes pelos grãos. As doses aplicadas influenciaram significativamente o teor foliar de K no ano agrícola 2008/09, com resultados maiores para o KCl. Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre o teor foliar de K no ano agrícola 2009/10. Os teores foliares de todos os nutrientes estavam dentro da faixa considerada adequada para a cultura. Para teor de nutrientes dos grãos, os tratamentos afetaram apenas o teor de K e de Ca no primeiro ano agrícola estudado e o teor de Ca no segundo ano agrícola. Os tratamentos proporcionaram efeito significativo para exportação de todos os nutrientes estudados, exceto o Ca no primeiro ano agrícola. Os tratamentos influenciaram significativamente a produtividade em ambos os anos agrícolas. O K e o N foram os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos de café. A cultura do café responde ao aumento das doses de K, independentemente da fonte utilizada, obtendo-se as maiores produtividades com a dose de 150 kg ha^{-1} de K_2O . A aplicação de K aumenta a exportação de macronutrientes pela cultura do café. A aplicação do produto F2 aumenta a produtividade de café em coco semelhante ao KCl na dose de K_2O recomendada para a cultura, sendo um produto eficiente em fornecer K à cultura do café, além de também aumentar o teor de Si nas folhas.

Palavras-chave: cafeicultura, nutrição mineral, adubação potássica, pó-de-rocha, exportação de nutrientes, produtividade de grãos.

SOURCES AND DOSES OF POTASSIUM ON COFFEE CROP (*Coffea arabica* L.). Botucatu, 2012, 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Mauricio Antonio Cuzato Mancuso

Adviser: Rogério Peres Soratto

SUMMARY

Brazil is the largest coffee producer in the world, which it is one of the most important agricultural export products, generating wealth and currency to this country. Therefore, a well-nourished plants production by fertilizers use becomes more and more important. Brazil is one of the largest importers and the 4th consumer of fertilizers in the world. In 2009, Brazil consumed about 3.2 million tons of KCl only. This is due to factors such as the huge planted area, what it is reflected in the size of Brazilian agricultural production, the characteristics of their soils, which are very poor in relation of the macronutrients K and P, and the insufficient fertilizer domestic production. To reduce the national dependency of K used in agriculture, research has sought options to obtain this element based on Brazilian minerals contained in rocks, especially through the grinding of potassic rocks. Thus, this study aimed to evaluate the effectiveness of a crushed rock to provide potassium to coffee crop. The experiment was carried out in the crop seasons 2008/09 and 2009/10, in a farm placed in Piraju-SP. The experimental treatments consisted in two K sources (KCl and ground phonolite rock F2) and three doses (75, 150 and 300 kg ha⁻¹ of K₂O), corresponding to ½, 1 and 2 times the recommended dose of K₂O for coffee, applied to the cultivar Mundo Novo plants and these were already productive, besides a control (without K application). The experiment was in a randomized block design, in a factorial scheme (2 x 3 + 1), with four replications. The most important evaluations were leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, S and Si, grain contents of the same nutrient, except Si, non-processed grain yield and

nutrient export by non-processed grains. The doses significantly affected K leaf content in the crop season 2008/09, with higher results for KCl. It is not observed significant effect of treatments on K leaf content in the crop season 2009/10. All nutrients leaf contents were in the adequate range for coffee crop. In relation to grain content, the treatments affected only K and Ca contents in the first crop season and Ca content in the second. The treatments provided significant effect on export of all studied nutrients, except Ca in the first crop season. The treatments influenced significantly the yield in both crop seasons. K and N were the nutrients exported in larger amounts by coffee grains. Coffee crop responses to increasing of K doses, regardless of used source, observing that the largest yields are obtained with 150 kg ha⁻¹ of K₂O. The application of K increases macronutrients export by coffee crop. The application of phonolite F2 increases grain yield similarly to KCl in the K₂O recommended dose to coffee crop, and it is efficient to provide K to coffee crop, besides increasing Si content in the coffee leaves.

Keywords: coffee crop, mineral nutrition, potassium fertilization, rock-for-crops, nutrients export, grain yield.

1. INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, sendo esse o maior produtor mundial do grão. A cultura continua sendo um dos mais importantes produtos agrícolas de exportação, gerando riquezas e divisas para o país e com grande função social. Ao longo dos anos, o produtor de café entendeu que é preciso produzir um produto diferenciado, com qualidade, para vencer as barreiras impostas pelos importadores que se tornam mais exigentes (ZAMBOLIM, 2007).

A produção brasileira de café está em torno de 43 milhões de sacas de 60 kg do grão beneficiado, sendo que a produtividade média é de aproximadamente 22 sacas beneficiadas ha⁻¹ (CONAB, 2011). Salienta-se, todavia, que o potencial produtivo dos cafeeiros, comprovado em pesquisas, é de mais de 100 sacas ha⁻¹ (MATIELLO et al., 2010). Dessa forma, para que esse nível de produção seja alcançado, as plantas de café necessitam de diversos nutrientes, especialmente o potássio (K). O K, para o cafeeiro, é tão exigido quanto o N, sendo, portanto, um nutriente extremamente importante para cultura. Ele confere à cultura maior resistência às doenças, especialmente as fúngicas, e a estresses hídricos, por ser regulador da turgescência, atuando na abertura e fechamento estomático. Além disso, atua na formação dos frutos e grãos de café, pois influi na atividade enzimática, síntese e transporte de carboidratos, proporcionando, assim, maior qualidade de bebida para plantas bem nutridas em K.

Caso haja deficiência desse nutriente, as folhas velhas são as primeiras a serem afetadas, apresentando um amarelecimento das pontas e bordos, que posteriormente secam e ficam marrons ou pretas. Os ramos com frutos podem secar da ponta para a base. Ocorre um aumento na porcentagem de frutos chochos e diminuição no tamanho dos grãos, comprometendo a qualidade de bebida. Por fim, a planta fica menos tolerante a estresses hídricos, frio e incidência de doenças. Para se manter a planta bem nutrida e evitar problemas com deficiências, além de sustentar uma elevada produção, a demanda por fertilizantes pelos cafezais torna-se cada vez mais intensa.

O Brasil encontra-se como um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o 4^o maior consumidor, atrás da China, EUA e Índia e à frente de países como a França, a Alemanha e o Canadá. Só de cloreto de potássio (KCl), em 2009, o Brasil consumiu cerca de 3,2 milhões de toneladas (BRASIL, 2009). Isso se deve aos seguintes fatores: i) à extensa área cultivada refletindo na dimensão da produção agrícola brasileira, ii) às características dos seus solos muito pobres quanto aos macronutrientes K e fósforo (P) e iii) à insuficiente produção doméstica de K, de fosfatos, de compostos nitrogenados e de enxofre (S) (MELAMED et al., 2009).

A fonte de K mais utilizada para fornecer esse nutriente para a cultura do café é o KCl. Entretanto, apenas uma pequena parte do fertilizante é produzida no Brasil, sendo o restante importado de outros países. Estima-se que o Brasil importe quase 90% de toda a demanda nacional de K, visto que a indústria nacional não consegue atender as necessidades do mercado interno (apenas a Companhia Vale do Rio Doce produz K no Brasil) (MELAMED et al., 2009). Além disso, o KCl possui o ânion cloreto (Cl⁻) que, entre outros fatores, pode prejudicar o cafeeiro devido ao seu elevado índice salino, causando toxidez nas plantas e também redução da atividade da enzima polifenoloxidase, o que acarretaria um efeito negativo na qualidade de bebida. Outro fator a ser considerado é que o Cl⁻ proporciona maior umidade dos frutos e, conseqüentemente, haveria maior proliferação de microorganismos, acarretando uma fermentação indesejada.

Outro nutriente que vem sendo estudado na cultura do café é o silício (Si). Esse é um elemento considerado benéfico às culturas, especialmente às gramíneas (acumulam Si em suas folhas). Apesar do cafeeiro não ser uma planta que

acumula Si, alguns estudos são realizados no sentido do nutriente apresentar certo controle de doenças que acometem a cultura, especialmente associado ao K, pois ambos podem influenciar na qualidade de bebida no sentido que uma menor incidência de doenças preserva o enfolhamento do cafeeiro, proporcionando maior uniformidade de grãos, os quais estão diretamente relacionados com a qualidade de bebida do café (CHALFOUN; CARVALHO, 2002).

Assim sendo, tem-se utilizado diversos tipos de fertilizantes alternativos para fornecer K e Si para os cafeeiros, entre eles o “pó-de-rochas” potássicas, que nada mais é que a utilização de rochas finamente moídas como fonte de nutrientes. A aplicação de rocha moída ou pó-de-rocha é uma prática agrícola empregada há muito tempo e proporciona uma redução dos custos de produção, pois utiliza um produto alternativo simples e de beneficiamento com custo reduzido ou, ainda, serve como suplementação aos adubos químicos solúveis industrializados. Além disso, essa prática promove a liberação gradual dos nutrientes, que diminui as perdas por lixiviação, evita a salinização do solo e favorece uma ação de longo prazo do fertilizante aplicado (MELAMED et al., 2009).

Observados os fatos expostos acima, parte-se da hipótese que o uso do pó-de-rochas potássicas poderia ser uma fonte alternativa de K, de ampla distribuição geográfica, o que poderia diminuir a dependência com importação e ampliar as alternativas para o mercado consumidor. Além disso, existem poucos estudos a respeito dos efeitos dessas fontes na cultura do café. Portanto, o objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o efeito de uma rocha fonolito moída (F2) como fonte de K para a cultura do café.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura do Café

Tem-se como origem do cafeeiro, mais especificamente da espécie *C. arabica* L., a Etiópia, país do nordeste da África. Essa região é caracterizada por altitudes elevadas, com excelente precipitação pluvial anual média. Da Etiópia, teria sido levado para a Arábia, em data não estabelecida corretamente. Entretanto, já no século XV os árabes tomavam café, competindo a eles a exclusividade da lavoura até o século XVII. Assim sendo, considerando-se essa a primeira região em que o uso do café difundiu-se em larga escala, pode-se dizer que a denominação de uma de suas principais espécies comerciais ser "*Coffea arabica*" é bastante adequada (FERRÃO, 2004).

No Brasil, a entrada das primeiras sementes de café ocorreu em 1727, por intermédio de Francisco de Melo Palheta, sargento-mor, oficial de linha do Exército Português, o qual foi enviado à Guiana Francesa pelo governador da Província do Maranhão e Grão-Pará para resolver assuntos relacionados à fronteira. Do Maranhão e Grão-Pará, o café foi difundido para diversas regiões do País, tendo seu apogeu na região Sudeste (FERRÃO, 2004), especialmente nos Estados de São Paulo (séculos XIX e meados do XX) e Minas Gerais, sendo esse, atualmente, o maior produtor nacional do grão.

Esse produto tornou-se fator determinante no processo de formação

do capitalismo brasileiro sendo, por isso, alvo de constantes intervenções e regulamentações. Nas regiões do País em que o cafeeiro é cultivado ainda gera, em todas as suas etapas (produção, industrialização e comércio interno e externo), grandes receitas e milhões de empregos, direta e indiretamente, e, portanto, continua sendo um dos produtos mais importantes para o País (CLEMENTE, 2010).

Em relação à classificação botânica, o cafeeiro é pertencente ao grupo das plantas Fanerógamas, classe Angiosperma, subclasse Dicotiledônea, ordem Rubiales, família das Rubiaceas, tribo *Coffeae*, subtribo *Coffeinae* e gênero *Coffea*. As espécies do gênero *Coffea* podem ser agrupadas em quatro seções: *Eucoffea*, *Mascarocoffea*, *Argocoffea* e *Paracoffea*, sendo as três primeiras originárias da África e a última da Índia, da Indochina, do Sri Lanka e da Malásia. Dentre essas, a seção de maior importância econômica é a *Eucoffea*, pois nela estão contidas as espécies *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre (MATIELLO et al., 2010). No Estado de São Paulo, são cultivados principalmente cafeeiros da espécie *C. arabica*.

A espécie *C. arabica* é a mais complexa, com 44 cromossomos, e só pode fazer cruzamentos com plantas da mesma espécie, o que evita casamentos negativos. É uma planta mais delicada, desenvolvendo-se em altitudes mais elevadas, acima de 800 m (os melhores cafeeiros são plantados acima de 1000 m), e requer um clima ameno, com temperaturas entre 15° e 20°C e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Geralmente é plantada entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, ou seja, atendem a todas essas especificações certas regiões do Estado de São Paulo e regiões de cerrado e florestas de altitude (Zona da Mata) de Minas Gerais, além do Sul desse Estado (ROSSETTI, 2007).

O cafeeiro é uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso, lignificado, reto e quase cilíndrico. Os ramos são dimórficos, sendo o seu dimorfismo relacionado à direção dos ramos em seu crescimento: os que crescem em sentido vertical são os ramos ortotrópicos, que formam as hastes ou troncos; aqueles que crescem lateralmente são os produtivos e saem dessas hastes, crescem na horizontal e são chamados ramos plagiotrópicos (MATIELLO et al., 2010).

O Brasil continua sendo o maior produtor mundial da cultura, com uma safra estimada em 43 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado no ano de 2011,

sendo cultivada em 2,3 milhões de hectares. Desse total, 90,3%, (2,0 milhões de hectares) estão em produção e os 9,7% (221,6 mil hectares) restantes estão em formação. A espécie de cafeeiro mais produzida, tanto no Brasil quanto no mundo, é a *C. arabica*. Os Estados brasileiros que se destacam na produção dessa espécie são Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Bahia. Ainda hoje, a produção de café arábica tem grande importância na geração de riquezas para o Estado de São Paulo, no qual foram colhidas 4,3 milhões de sacas de café beneficiado (CONAB, 2011).

O café brasileiro é consumido principalmente pelo seu apreciado sabor. Além disso, é utilizado na produção de chás, expresso, gourmet, *cappuccino*, *frappuccino*, balas, entre outros, e dele ainda pode se extrair um óleo normalmente utilizado como aditivo na indústria alimentícia. O óleo extraído do café verde atualmente é utilizado pela indústria cosmética (SAES; JAYO, 1998).

Contudo, com a elevação dos custos de produção, além do crescente aumento na competição do mercado interno e externo, torna-se necessário eliminar fontes de perdas nas lavouras cafeeiras (MATIELLO; ALMEIDA, 1997). A deficiência nutricional, o manejo inadequado da lavoura, as pragas e as doenças são os principais responsáveis pela redução da qualidade e da produtividade do cafeeiro. Para que isso não ocorra, torna-se de suma importância a realização de boas práticas agrícolas, em especial na nutrição dos cafeeiros. Exemplificando a questão, Castaño (1956) e Buitrago e Fernandez-Borrero (1982) observaram maior nível de infecção por *Cercospora coffeicola* em lavouras de café depauperadas por adubações insuficientes e/ou desequilibradas. Vale ressaltar que a cultura apresenta elevada exigência nutricional, não apenas para a produção de grãos, mas também para a manutenção da planta como um todo. Portanto, deve-se levar em consideração não só a quantidade de nutrientes necessários para uma elevada produção, mas do mesmo modo é preciso atender a demanda nutricional para a produção de novos ramos, folhas e raízes, bem como a proteção das plantas de café contra fatores adversos, estando elas bem nutridas.

Nesse sentido, a recomendação de adubação para uma nutrição adequada de cafeeiros adultos e produtivos não deve ficar restrita à estimativa de produtividade em determinado ano, pois a pesquisa mostra que em anos de safra baixa a

necessidade para a reposição da vegetação do cafeeiro é maior, enquanto que nos anos de safra alta é maior a necessidade para produção (MATIELLO et al., 2010). Por isso, a retirada total de nutrientes, a cada ano, é relativamente constante, não sendo diretamente proporcional à produção pendente. Desse modo, a necessidade nutricional, para a indicação de adubação é, normalmente, estimada pela média de 2 safras, ou seja, pelo potencial produtivo de uma determinada lavoura ou talhão. Usa-se, na prática, o raciocínio de cálculo da necessidade nutricional para a produção prevista ou pendente de um ano mais a necessidade de vegetação correspondente ao que se prevê, ou o que se deseja no ano seguinte.

Os nutrientes mais exigidos pelos cafeeiros são nitrogênio (N), P, K, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e S (macronutrientes), além de boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) (micronutrientes). O Si é um elemento benéfico às plantas de café, atuando na proteção das mesmas contra fatores adversos. Entre esses nutrientes, os mais exigidos são o N e o K, sendo o primeiro mais exigido em anos de safra baixa (formação de vegetação) e o segundo em anos de safra alta (formação de frutos) (MATIELLO et al., 2010).

Na média de 4 safras em um trabalho realizado em Varginha (média das cultivares Mundo Novo e Catuaí), para uma produtividade média de 18,5 sacas beneficiadas mil pés⁻¹, foram necessárias, por planta de café e por ano, 123 g de N e 104 g de K₂O. Para os demais nutrientes, a exigência média anual foi de 56 g de CaO, 35 g de MgO, 12 g de P₂O₅, 6 g de S, 1.850 mg de Fe, 190 mg de Mn, 185 mg de Zn, 121 mg de B e 163 mg de Cu (MATIELLO et al., 2010). Dessa forma, evidencia-se que os nutrientes mais exigidos pelas plantas de café foram N e K, variando de acordo com a intensidade da safra.

Matiello et al. (2010) relatam que, em média, para cada saca produzida, o cafeeiro adulto e produtivo necessita, para vegetar e produzir, de 6,2 kg de N, 0,6 kg de P₂O₅, 5,9 kg de K₂O, 3,0 kg de CaO, 1,9 kg de MgO, 0,3 kg de S, 110 g de Fe, 10 g de Mn e Zn, 8,8 g de Cu e 6,5 g de B. Os autores também comentam que a necessidade de nutrientes por saca não varia muito de região para região. O que varia são os níveis de

produtividade alcançados nas lavouras, podendo-se, assim, usar esses índices para estimar a necessidade de nutrientes nos cafezais adultos.

2.2. O K e a adubação potássica

O K é um elemento alcalino, de número atômico 19 e peso atômico 39,0983. É um dos metais mais reativos e eletropositivos e o segundo mais leve depois do lítio. Os melhores minerais de K, formadores de minérios (minerais de minério), são a silvita, KCl e a carnalita, cloreto duplo de potássio e magnésio hidratado ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). O minério silvinita é uma mistura de halita (NaCl) e silvita (KCl) (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

O K une-se, solidamente, apenas com elementos halogêneos, como, por exemplo, o cloro. Litófilo, de acordo com as suas afinidades geoquímicas, entra na composição de mais de uma centena de minerais. Portanto, o K é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre (é o sétimo): 2,59% (MASON, 1971) ou 2,4% (LIDE, 1994). Nos solos, o K está estreitamente relacionado com o tipo de material parental e com a pedogênese, sendo a sua principal fonte os minerais argilosos (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

Dessa forma, é de suma importância conhecer bem a geoquímica e a mineralogia do K para uma correta avaliação da aptidão agrícola dos solos e como ela deve ser complementada por uma fertilização adequada e racional. Esse elemento encontra-se, predominantemente, incorporado nos minerais silicáticos, como os feldspatos, micas, feldspatoides (leucita, mais potássica, e nefelina, mais sódica), e nos sedimentos ricos em argilas. Tradicionalmente, apenas os sais solúveis de K são considerados apropriados para fertilizantes. Pesquisas realizadas no Brasil e em outros países indicaram que rochas vulcânicas ultrapotássicas (uganditos, kimberlitos) e rochas ricas em micas, como flogopita (carbonatitos, por exemplo) podem ser utilizadas, também, como fontes de K (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

É importante salientar que o conteúdo de K total no solo não é, apenas por si só, um índice de fertilidade, porque o elemento pode existir sob diferentes

formas e com índices de liberação distintos, sendo as mais comuns: i) em solução; ii) sob a forma iônica unido eletrostaticamente aos materiais que constituem a parte sólida; iii) ligado fortemente à fase sólida mineral (“K fixado” e “K estrutural”) – é o K de reserva ou de reposição dos solos. Constata-se, por um lado, que as reservas intercambiáveis dependem fundamentalmente da quantidade e tipo de argilas presentes e que, por outro lado, são os fertilizantes que compensam desequilíbrios provocados pela “exportação” resultante da atividade agrícola, principalmente quando ela é intensiva (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

O K é usado como fertilizante desde o século III a.C., na forma de adubo ou cinzas. Na América do Norte, os índios assim procediam, com cinzas de árvores, quando chegaram os primeiros colonizadores europeus. Nos séculos XVIII e XIX, o KCl era exportado em volumes substanciais da América do Norte para Inglaterra. A produção comercial em larga escala foi iniciada na Alemanha em meados do século XIX. (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009). A produção mundial de K é quase que totalmente utilizada como fertilizante (mais de 95%). Os outros usos dos compostos de K estão vinculados à indústria de detergentes, cerâmicas, produtos químicos e farmacêuticos (GREENWELL, 1999).

As reservas de sais de K encontram-se difundidas por todas as regiões do mundo. As principais são as da Ucrânia (50%), do Canadá (27%), do Reino Unido (11%), da Bielo-Rússia (5%), da Alemanha (4%), do Brasil (2%) e dos Estados Unidos (1%). Tratando-se de reservas medidas, o Canadá possui 60,2% do total mundial, enquanto o Brasil, com 1,9%, localiza-se na 10ª colocação, com 303,8 milhões de toneladas de K₂O (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

A produção concentra-se praticamente em seis países: Canadá (34%), Rússia (16%), Bielo-Rússia (15%), Alemanha (12%), Israel (7%), Estados Unidos (4%) e Jordânia (2%), que juntos representam 88% do total mundial. Os restantes produzem menos que um milhão de t ano⁻¹ cada, incluindo o Brasil (1,3%). Em todo o hemisfério sul, há apenas uma mina em operação, a de Taquari/Vassouras, em Sergipe, sob administração da Companhia Vale do Rio Doce. Em 2009, essa companhia produziu 452,70 mil toneladas de K₂O, o que satisfaz pouco mais de 18% das necessidades do País

em K, que é de 2,5 milhões de toneladas de K_2O (DNPM, 2010). Dessa forma, o Brasil gastou, no mesmo ano, R\$ 2,08 bilhões com a importação de cerca de 5,0 milhões de toneladas de KCl, o que representa quase 90% da demanda nacional. As importações foram provenientes, essencialmente, de apenas quatro países: Canadá, Rússia, Alemanha e Israel (MELAMED et al., 2009), o que evidencia a extrema dependência do Brasil em relação ao fertilizante potássico.

Para se entender melhor a importância da adubação potássica na agricultura, deve-se saber que o K tem sido considerado, há muito tempo, o “elemento da qualidade” em nutrição de plantas (ZEHLER et al., 1986; MALAVOLTA et al., 1997), pois está relacionado com o transporte dos aminoácidos e açúcares para os órgãos de armazenamento, como grãos, tubérculos e raízes, e com a ativação da conversão em amido, proteínas gordurosas, vitaminas, entre outras. A quantidade de K nas partes vegetativas e nos frutos do cafeeiro evidencia que esse elemento desempenha um papel extremamente importante na nutrição do café, havendo uma 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, o desenvolvimento da planta declina, bem como o aparecimento de novos ramos e de novas folhas, além da produção. Todavia, apesar de conferir qualidade e de aumentar a produção, geralmente ignora-se a extensão dos efeitos benéficos da adubação potássica.

O principal mecanismo de absorção de K pelas plantas é a difusão. Tisdale et al. (1985), em um experimento realizado com milho, observaram que o K foi absorvido pelas raízes nas seguintes formas: 2% por interceptação radicular, 20% por fluxo de massas e 78% por difusão. Sabe-se que a difusão de íons na solução do solo é influenciada, principalmente, pela concentração do nutriente, o seu coeficiente de difusão e a capacidade tampão da fase sólida para o elemento na fase líquida. A difusão ocorre lentamente e por curta distância na vizinhança das raízes. É estimado que a difusão do K aconteça até 0,2 cm das raízes (MELAMED et al., 2009).

O teor de K nas plantas é tipicamente de 1-5%. É absorvido pelas raízes na forma K^+ , embora ocorra principalmente em várias outras formas no solo (MELAMED et al., 2009). O K é, geralmente, o segundo elemento extraído em maior

quantidade pelos vegetais (MARSCHNER, 1995), podendo, em alguns casos, como na cultura do arroz, ser extraído em quantidade maior que todos os outros nutrientes, ou, como no caso da cultura da soja, ser o elemento fornecido em maior quantidade, já que nessa cultura, devido à fixação simbiótica, o N não é fornecido via adubação, ou ainda na cultura do café, em que as exigências de K pelo cafeeiro são equivalentes às de N. Assim, sua importância aumenta à medida que a agricultura torna-se mais intensiva e tecnificada, situação em que as maiores produtividades obtidas aumentam as exigências de nutrientes pelas culturas (NACHTIGALL; RAIJ, 2005).

Esse nutriente mineral não possui função estrutural alguma no metabolismo das plantas, mas é o cátion mais abundante no citoplasma e apresenta alta mobilidade na planta, contribuindo sobremaneira para a manutenção do potencial osmótico das células e tecidos, atuando como ativador enzimático e como neutralizador de macromoléculas aniônicas (MARSCHNER, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Em relação às enzimas, o K é essencial à ativação de mais de 60 enzimas. Sendo esse elemento não participante da estrutura de enzimas, provavelmente controla a atividade enzimática pela indução da mudança conformacional na molécula protéica, ao interferir no seu grau de hidratação. Dentre essas enzimas, as de maior destaque são: cinase do piruvato, H^+ -ATPase e sintase do amido. Além disso, o K está diretamente envolvido no processo de síntese protéica, sendo potencialmente essencial para a ligação do t-RNA aos ribossomos (MARSCHNER, 1995).

O K interfere no processo fotossintético por ser o principal cátion a fazer o balanço de cargas elétricas durante o fluxo de prótons através da membrana do tilacóide, para a formação do gradiente de pH necessária à fosforilação do ATP. É também o principal cátion envolvido com o sistema de controle do movimento estomático em células-guarda, logo, está envolvido na entrada de CO_2 pelos estômatos. Somando-se a isso, o K é o ativador da enzima carboxilase e da ribulose bifosfato (Rubisco) que catalisa a ligação da molécula de CO_2 à ribulose bifosfato. Por fim, é fundamental para a manutenção estrutural dos cloroplastídeos (MARSCHNER, 1995).

A resistência das plantas às doenças é influenciada por uma adubação potássica adequada. Além disso, o K ativa a maturação e favorece a formação dos

grãos, tornando-os mais pesados e volumosos, as panículas e as vagens mais cheias e perfeitas (MALAVOLTA et al., 1974).

Barbosa Filho (1987) comenta que um dos efeitos benéficos do K está ligado ao incremento da capacidade de transporte do floema, refletindo no maior enchimento do grão com assimilados, como também a resistência ao acamamento, que está relacionada com a espessura da parede celular e com grau de silificação das células da epiderme.

A adubação adequada com esse nutriente proporciona uma minimização do efeito negativo de deficiências hídricas, pelo fato do K exercer influência na abertura e fechamento dos estômatos nas folhas, mantendo, durante períodos de seca, mais água em seus tecidos em relação às plantas que não receberam K (NEIVA, 1977). Por fim, uma adubação potássica adequada pode contribuir em aumento expressivo da produtividade de culturas, como ocorre com o café.

A deficiência de K em plantas de café, de um modo geral, causa clorose e posteriormente necrose das margens e pontas das folhas, a partir das mais velhas para as mais jovens. As folhas amarelecem e em seguida tornam-se marrons e, por fim, secam e morrem. Segundo autores como Epstein (1972) e Malavolta (1980), a necrose ocorre do provável acúmulo de putrescina (tetrametileno diamina), cuja síntese é desencadeada pela ausência de K. Em plantas deficientes em K, ocorre acúmulo de carboidratos solúveis e decréscimo no conteúdo de amido, como também aumento de compostos nitrogenados solúveis. Em plantas C3, como o cafeeiro, a deficiência de K causa redução no conteúdo de ribulose 1-5 bisfosfato carboxilase oxigenase nos cloroplastos, interferindo na fixação de CO₂ e síntese de carboidratos (MARSCHNER, 1995).

Como já mencionado anteriormente, as exigências do cafeeiro em K são equivalentes às de N, sendo que esse é mais exigido no crescimento foliar (vegetativo), ao passo que o K aparece com maior concentração nos frutos, em particular na polpa do café, mas sem participar de moléculas orgânicas. As quantidades de K nas partes vegetativas são suficientes para mostrar que esse nutriente desempenha um papel importante na nutrição dessa cultura. Em geral, altos teores de K estão associados com colheitas elevadas (MALAVOLTA, 1993).

Frequentemente, o cafeeiro responde à aplicação dos fertilizantes potássicos, dependendo do tipo de solo: nos do Brasil e de Porto Rico ocorrem resposta, enquanto que em outros a lavoura não é responsiva em pesquisas de curta e, eventualmente, de longa duração (CARVAJAL, 1984; SILVA et al., 1999). No entanto, deve-se estar atento à quantidade de K disponível no solo para não haver excesso de aplicação do fertilizante. Malavolta (1986) afirma que a faixa adequada de K disponível no solo para cafeeiro é de 117 a 156 mg dm⁻³ (3,0 a 4,0 mmol_c dm⁻³). Além disso, para culturas perenes, como é o caso do café, há maior possibilidade de se diagnosticar os problemas nutricionais pela análise foliar e tentar corrigi-los no mesmo ano agrícola, existindo, inclusive, ajustes na recomendação de adubação para o cafeeiro que levam em conta resultados da diagnose foliar (MALAVOLTA, 1993). A faixa adequada de K na matéria seca das folhas de cafeeiro deve estar entre 18 e 25 g kg⁻¹ (RAIJ et al., 1997), caso contrário haverá deficiência desse nutriente ou desequilíbrio nutricional nas plantas.

Malavolta (2005), trabalhando com doses de fertilizantes potássicos na cultura do café, observou que de 2 a 4 aplicações de nitrato de potássio (KNO₃) a 1%, com intervalo de aproximadamente 10 dias, começando com os frutos apresentando 1/3 do diâmetro final, aumentou significativamente a porcentagem de frutos cereja em relação aos secos e verdes. Dessa maneira, tem-se o melhoramento da qualidade quando se fez o chamado “cereja descascada”. Segundo o mesmo autor, em lugar do KNO₃ pode-se usar KCl a 0,25% + NH₄NO₃ a 0,25%. Isso demonstra que o cafeeiro é responsivo à aplicação de K, tanto na produtividade quanto na qualidade de sua bebida.

Martin (1989) também constatou que o K se move no floema da folha para outros órgãos com alta demanda de assimilados, como nas regiões de crescimento ou de armazenamento (frutos e grãos de diversas culturas, colmos de cana, tubérculos, raízes de mandioca), fazendo-o junto com produtos de fotossíntese. A redistribuição ou translocação da folha para outros órgãos – folha mais velha para mais nova, folha para o fruto, etc. – é evidenciada facilmente pela ocorrência dos sintomas de deficiência. O denominador comum é muito conhecido: inicialmente, folhas mais velhas mostram clorose das margens e pontas, que é acompanhada de necrose com aspecto de ferrugem – daí o nome “cotton rust”, ferrugem do algodoeiro, como é conhecida nessa

cultura. A drenagem para o fruto do café se reflete na diminuição do teor de K na folha. Esse fato tem implicações na interpretação dos dados de diagnose foliar para avaliar o estado nutricional das culturas (MALAVOLTA, 1986).

Durante o desenvolvimento do fruto do café, esse pode competir com as raízes pelos produtos de fotossíntese, de modo que essas passam a absorver menos K devido à falta de substrato respirável. A fase de crescimento dos frutos do cafeeiro é o período de maior absorção de K, como observado por Carvajal (1984). Malavolta (1993) também comenta que na ocasião de crescimento do fruto, o K é o elemento cujo conteúdo aumenta mais vezes nesse órgão.

Mesmo em condições “normais”, parte das exigências de K é satisfeita graças à mobilização de reservas (folhas, ramos, caule). Esse fato foi constatado na cultura do café por Lima Filho e Malavolta (2003), em um estudo de mobilização e reutilização das reservas do cafeeiro marcadas com ^{15}N e ^{86}Rb para o crescimento novo e formação do fruto em condição de casa de vegetação usando plantas “normais” e deficientes de 3 anos de idade.

No experimento mencionado anteriormente, foi verificado que as reservas de K são usadas em maior proporção que as de N. A exportação de N pelos órgãos de residência nas plantas “normais” obedece às seguintes proporções do total: folhas 47-58%; ramos e gemas floríferas 21-27%; raízes 21-32%. Os números, no caso das plantas deficientes em N, foram: folhas 49-65%; ramos e gemas 21-27%; raízes 14-25%. Por sua vez, a reutilização do K nas plantas não deficientes foi: folhas 54-64%; ramos e gemas floríferas 20-21%; raízes 30-40%. No caso das plantas deficientes em K, os números foram: folhas 62-79%; ramos e gemas 1,2-4,4%; raízes 20-33%. Nos tecidos formados depois da iniciação das gemas florais a demanda de N é satisfeita pelas reservas, nas plantas normais: frutos 20,6-24,8%; folhas 15,6-19,4%; brotos 19-20%. Nas plantas deficientes em N: frutos 43,5-48,5%; folhas 48,1-51,9%; brotos 46-53%. As necessidades de K para os tecidos novos são atendidas desse modo para plantas “normais”: fruto 40-45,8%; folhas 27-37,6%; ramos 26-33,1%. Para as plantas deficientes: frutos 65,7%-81,5%; folhas 52,6-68,4%; ramos 62-86,1%.

Contudo, normalmente as reservas de K tanto nas plantas quanto no solo não são suficientes para suprir as quantidades extraídas pelas culturas por um longo período de tempo e, portanto, a sua restituição às plantas deve ser feita através da adubação potássica (LOPES, 1983). Essa adubação é feita principalmente com KCl, fonte essa de alta solubilidade e, associada ao baixo potencial de cargas encontrado em grande parte dos solos brasileiros, pode acarretar perdas elevadas por lixiviação, causando danos ambientais e econômicos. Desse modo, é aconselhável a utilização de fontes alternativas de fertilizantes potássicos menos solúveis, como é o caso do pó-de-rocha.

2.3. Fontes alternativas de fertilizantes potássicos

Como já mencionado anteriormente, a cultura do café é bastante exigente em K, e o KCl é a fonte mais utilizada para fornecer o nutriente para essa cultura (95% do K aplicado em culturas é na forma de KCl em virtude da sua disponibilidade e pronto-fornecimento de K às culturas, além de apresentar maior oferta e melhor relação custo/benefício).

Entretanto, o KCl apresenta elevado índice salino, o que pode prejudicar as plantas quando aplicado em grandes quantidades (NOGUEIRA et al., 2001). Furlani et al. (1976) avaliaram o efeito do KCl e do sulfato de potássio (K_2SO_4) sobre as raízes de cafeeiro e observaram um grande número de raízes mortas nos vasos que receberam as doses mais elevadas de KCl. Segundo esses autores, isso pode ser explicado pela elevada pressão osmótica desenvolvida na solução do solo, pois se sabe que o KCl é um fertilizante potássico de maior índice de salinidade (ZEHLER et al., 1986).

Além disso, essa fonte também contém 47% de cloro, o que leva a planta a absorver e a acumular elevadas quantidades desse elemento. E altas doses de Cl podem causar toxidez ao cafeeiro. De acordo com Amorim et al. (1973), em cafeeiros adubados com KCl, o ânion cloreto (Cl^-) pode exercer um efeito negativo na qualidade da bebida. Malavolta (1986) comenta como efeito indireto, que o excesso do ânion acompanhante Cl^- pode provocar uma queda maior de frutos que fermentam no solo, com conseqüente perda de qualidade do produto. Outra atuação do Cl^- estaria em transferir à

planta uma umidade maior (GOUNY, 1973), o que resultaria em um ambiente de proliferação de microorganismos, o qual levaria a fermentações indesejáveis, principalmente nos frutos de café, reduzindo assim a qualidade do produto (LEITE, 1991). O Cl⁻ pode reduzir, também, a atividade da enzima polifenoloxidase, que está correlacionada positivamente com a qualidade da bebida (NOGUEIRA et al., 2001). Dessa forma, esses mesmos autores recomendam às indústrias misturadoras de fertilizantes e aos produtores a isenção, ou pelo menos redução, do KCl nas formulações destinadas à cafeicultura.

Sendo assim, a pesquisa de fontes alternativas de K, livres do ânion Cl⁻ em sua composição, tem grande importância. Sabe-se que o ânion Cl⁻ é pouco móvel nas plantas. Geralmente ocorre uma acumulação crônica, a longo prazo, nos tecidos e existem poucas evidências de seu movimento dos tecidos velhos para os mais novos (EATON, 1966). Diante disso, é evidente que culturas perenes, como a do café, possam ser mais afetadas por esse ânion.

A toxidez causada pelo Cl⁻ manifesta-se pela queima da extremidade e margens das folhas, com bronzeamento prematuro e abscisão (EATON, 1966; N'GORAN, 1990). O uso intensivo de fertilizantes que contém o Cl⁻ no cultivo do cafeeiro pode provocar toxidez quando se atinge a concentração de 5.000 mg Cl kg⁻¹ de matéria seca nas folhas, sem que os sintomas se manifestem (MALAVOLTA, 1986). Segundo o mesmo autor, o alto teor de Cl⁻ não corresponde à necessidade da planta, podendo ser, indiretamente, um caso ligado à especulação sobre “consumo de luxo” de K quando se faz a adubação do cafeeiro com KCl.

Nos cafeeiros em que são aplicadas doses de KCl como fonte de K, encontram-se milhares de mg de Cl por kg de matéria seca, o que ultrapassa excessivamente os teores dos micronutrientes no solo, não devendo refletir, entretanto, uma necessidade nutricional (NOGUEIRA et al., 2001). Frequentemente, os teores de Cl nos tecidos das plantas encontram-se entre 2.000 e 20.000 mg de Cl kg⁻¹ de matéria seca, o que já seria uma quantidade elevada caso o Cl fosse um macronutriente. De fato, uma planta de café requer entre 340 e 1.200 mg de Cl por kg de matéria seca para o crescimento ótimo. Se considerarmos uma média de 1.000 mg de Cl por kg de matéria seca como sendo o teor

ótimo, a cultura iria requer de 8 a 10 kg de Cl ha⁻¹, o que seria suprido pela atmosfera e pela água da chuva, sem necessidade de aplicações de fertilizantes (FAQUIN, 1994).

Diante desses fatos, a utilização de outras fontes de fertilizante potássico minimizaria os efeitos danosos do Cl⁻. Um bom exemplo seria o K₂SO₄, que contém cerca de 50% de K₂O e 18% de S. Como a concentração de cloretos nesse tipo de material é geralmente menor que 2,5%, é utilizado em cultivos que apresentam certa sensibilidade a altas concentrações de íons cloretos, como tabaco, frutas e alguns vegetais que necessitam de S como nutriente (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009), ou mesmo no cafeeiro, com a finalidade de evitar a toxidez por Cl⁻ e, também, visando uma melhor qualidade de bebida pela quase ausência desse ânion.

Seguindo esse conceito, Arcila-Pulgarin e Valência-Aristizábal (1975) estudaram o efeito do fornecimento de fontes de K sobre a atividade da polifenoloxidase e não encontraram diferenças estatísticas entre os tratamentos (testemunha, KCl, K₂SO₄, KCl + N + P + Mg e K₂SO₄ + N + P + Mg). A fertilização potássica aumentou os teores de K nos grãos sem, contudo, correlacionar com a atividade da enzima, apesar do K₂SO₄ ter propiciado aumento da polifenoloxidase. Do mesmo modo, Silva et al. (1999) estudaram o efeito de fontes e doses de K na composição físico-química e química dos grãos de café beneficiados provenientes da região do Sul de MG (São Sebastião do Paraíso) e constataram uma maior atividade da enzima polifenoloxidase, índice de coloração e açúcares totais em cafés adubados com fonte de K₂SO₄ e concluíram que essa fonte proporcionou uma melhor qualidade do café. Os autores encontraram uma redução do teor de açúcar total com aumento das doses de K na forma de KCl e o inverso com a fonte K₂SO₄.

Outro exemplo é o KMgCl₃.6H₂O, que é um fertilizante normalmente processado a partir da langbeinita (K₂Mg₂(SO₄)₃). Esse fertilizante contém aproximadamente 22% de K₂O, 11% de Mg e 22% de S. A concentração de cloretos nesse material normalmente é inferior a 2,5%. Utiliza-se, também, o KNO₃, um composto recomendado para cultivos que necessitam de baixos teores de S e Cl⁻. Tem a vantagem de fornecer, ao mesmo tempo, K e N como nutrientes. Contém aproximadamente 44% de K₂O e 13% de N (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009). Contudo, Santinato et al.

(1996) não encontraram incrementos na qualidade de bebida pela “prova da xícara” ao utilizar doses crescentes de 0, 114, 145 e 208 kg de K ha⁻¹ na forma de KNO₃ aplicadas na cultivar Acaiá, em Latossolo Vermelho Amarelo.

Além desses fertilizantes, têm sido utilizadas rochas moídas ou “pó-de-rocha” como uma fonte alternativa para fornecer K às culturas agrícolas. Dessa forma, pode-se definir “rochagem”, “remineralização” ou mesmo “pó-de-rocha” (rock-for-crops) como termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor o perfil de nutrientes necessários a uma agricultura de alta produtividade, associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo seu uso inadequado e intensivo ou abusivo. Esse processo consiste na adição de pó-de-rocha para aumentar a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio no meio ambiente (MELAMED et al., 2009).

A aplicação de rocha moída ou pó-de-rocha é uma prática agrícola utilizada há muito tempo, sendo a calagem e a fosfatagem natural casos particulares dessa prática. A rochagem reduz os custos de produção agrícola, pois utiliza um produto alternativo ou, ainda, serve como suplementação aos adubos químicos solúveis industrializados. O emprego do modelo de remineralização do solo com o uso do pó-de-rocha constitui-se, também, numa alternativa viável em termos econômicos e ecológicos, devido ao baixo custo do processo de beneficiamento, que envolve apenas moagem das rochas usadas na composição do produto, e devido à liberação gradual dos nutrientes, que diminui as perdas por lixiviação, evita a salinização do solo e favorece uma ação de longo prazo do fertilizante aplicado (MELAMED et al., 2009).

Baseado nos fatos comentados acima e diante da grande demanda da agricultura brasileira por fertilizantes, a qual não consegue ser atendida pela indústria nacional, o uso do pó-de-rochas potássicas, como é o caso da rocha fonolito F2 utilizada no presente experimento, o qual é um produto simples, obtido a partir do beneficiamento simples de matérias primas de ampla distribuição geográfica, poderia ser uma fonte alternativa de K, diminuindo os gastos com importação e ampliando as alternativas para o mercado consumidor.

Além disso, matérias-primas que contenham não somente K, mas também silício (Si) – presente nas rochas potássicas, especialmente as silicáticas – podem ser opções interessantes para a utilização como fertilizantes na agricultura brasileira. Salienta-se que o Si é um elemento benéfico a diversas culturas, especialmente gramíneas, e o aumento de sua disponibilidade a algumas espécies têm revelado, em alguns casos, incrementos significativos no crescimento e na produtividade, uma vez que o elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, dentre outros e, especialmente, quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de natureza biótica ou abiótica (MA, 2004; ZHU et al., 2004; HATTORI et al., 2005; MA; YAMAJI, 2006; GUNES et al., 2007a; 2007b; 2008). O Si é considerado micronutriente de plantas pela legislação brasileira, para fins comerciais. Ao apresentar certo controle das doenças que acometem a cultura do café, o Si, juntamente com o K, pode ser agente influenciador da qualidade de bebida, pois a menor incidência de doenças preserva o enfolhamento da cultura, conferindo uma maior uniformidade dos grãos que, por sua vez, tem relação direta com a qualidade de bebida do café (CHALFOUN; CARVALHO, 2002).

Embora seja uma prática bastante antiga no Japão e Europa, só recentemente o Brasil começou a conhecer mais sobre a aplicação de pó-de-rocha para a recuperação, remineralização e manutenção da fertilidade do solo. A fertilização do solo improdutivo gastando pouco, com a adição de pó-de-rocha, que muitas vezes é descartado em pedreiras e serrarias em todo o País, pode ser responsável por uma produção de qualidade e um solo rico em nutrientes por mais tempo (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009). Um exemplo disso é a parceria entre a Embrapa e a Universidade de Brasília (UnB), a qual vem desenvolvendo pesquisas visando à identificação e a caracterização de rochas com o intuito de utilizá-las simplesmente moídas (in natura), como fontes de K para uso agrícola (RESENDE et al., 2006).

Outro bom exemplo da utilização de pó-de-rocha é um experimento realizado com banana na Fazenda *The Harding Brothers* em Queensland, Austrália, onde se verificou a redução de 80% no consumo de fertilizantes NPK e o aumento, também de 80%, na produção, devido à rochagem (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

As grandes produtividades agrícolas obtidas pela aplicação dos fertilizantes convencionais, defensivos agrícolas e desenvolvimento de espécies geneticamente modificadas é um fato comprovado. Contudo, nos países em desenvolvimento, são fatores limitantes ou impedimentos para a sua utilização: os elevados custos, diretos e indiretos, de transporte dos fertilizantes, o despreparo tecnológico e baixo (ou inexistente) poder financeiro, especialmente do pequeno agricultor. A rochagem pode contribuir para a redução no consumo de fertilizantes industriais que exigem grande quantidade de energia para a sua fabricação e ser um agente dinamizador de produtividade e qualidade para o agricultor (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O presente experimento foi desenvolvido no Sítio Monte Alegre, pertencente à Unimesp Agropecuária, Pirajú-SP, latitude 23°11'S, longitude 49°23' W, e altitude de 640 m. Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que se caracteriza pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), o solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico.

Os dados mensais referentes à temperatura média e precipitação pluvial durante o período de condução do experimento (setembro/2008 a agosto/2010), coletados na estação meteorológica da propriedade, são apresentados na Figura 1.

Conduziu-se o experimento nas safras 2008/2009 e 2009/2010. O talhão onde se instalou o experimento era constituído por cafeeiros (*C. arabica* L.) da cultivar Mundo Novo, implantados em fevereiro de 2006, no espaçamento 3,50 x 0,70 m.

Em agosto de 2008 foi coletado solo nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Foram retiradas dez amostras simples para ambas as profundidades, na área experimental, sempre na projeção da saia dos cafeeiros, utilizando-se trado tipo tubular

fechado, com o intuito de formar uma amostra composta. A amostra composta foi seca, seguindo-se do peneiramento da mesma em malha de 2 mm. Os resultados da análise química do solo, realizada de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001), estão representados na Tabela 1.

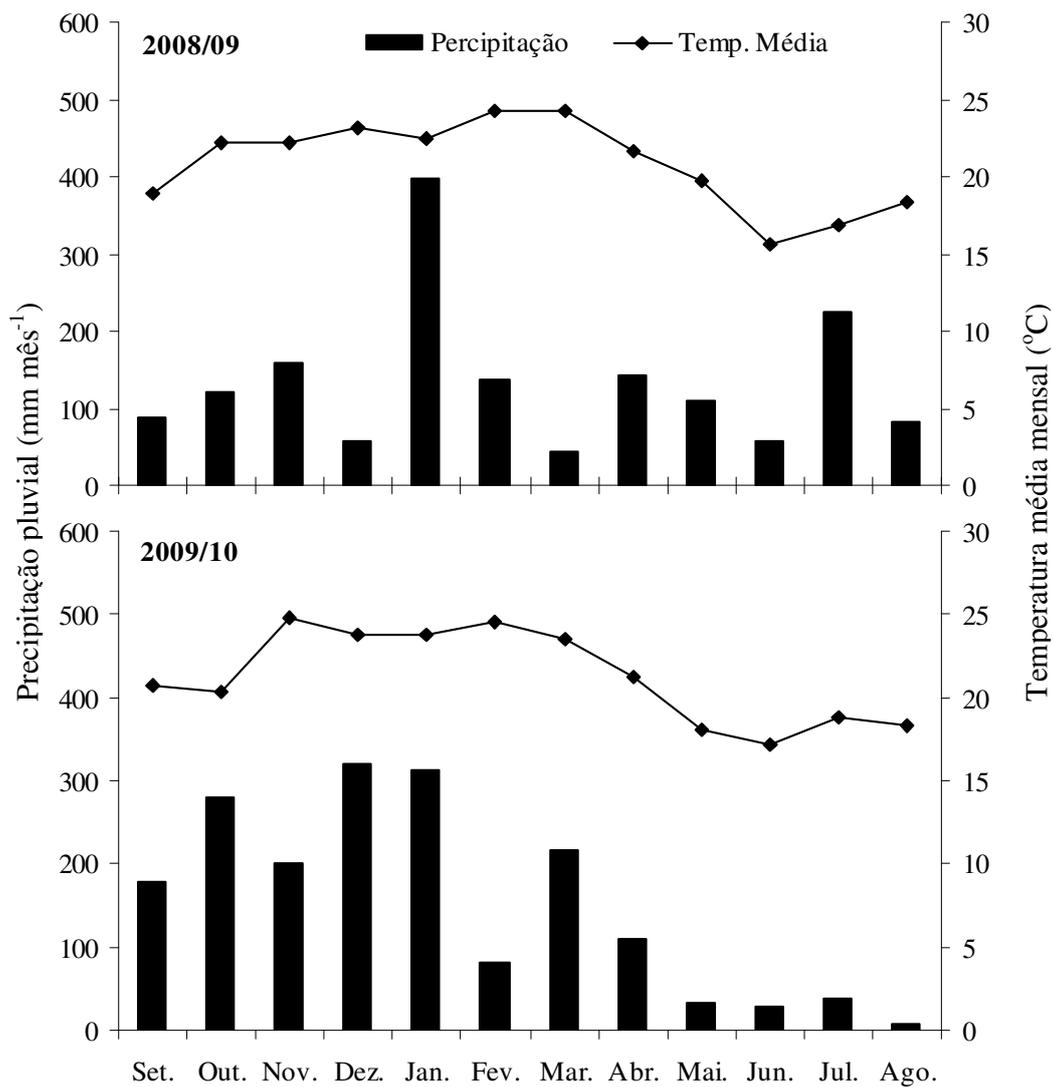


Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais obtidas na área experimental durante o período de setembro de 2008 a agosto de 2010. Pirajú-SP.

Tabela 1. Características químicas do solo em agosto de 2008, antes da instalação do experimento.

Prof. m	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	V
				mmol _c dm ⁻³					%
0-0,20	5,1	16	23	1,1	39	15	31	87	64
0,20-0,40	4,7	13	9	1,0	30	11	39	81	52
	S-SO ₄ ²⁻	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco			
	mg dm ⁻³								
0-0,20	49	0,3	1,2	31	28,7	1,9			
0,20-0,40	104	0,4	0,9	20	13,1	0,9			

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 + 1, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por duas fontes de K (KCl – 58% de K₂O e F2 – 8,42% de K₂O) e três doses (1/2, 1 e 2 vezes a dose de K₂O recomendada para a cultura do café, ou seja, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O) e mais uma testemunha (sem aplicação de K). As doses foram calculadas de acordo com as recomendações de Raij et al. (1997) e aplicadas no cafezal já formado e produtivo. As características do produto F2 são apresentadas na Tabela 2.

Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 6,3 m de comprimento. As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e uma linha. A área considerada útil foi a fileira central, excluindo uma planta de cada extremidade. Ressalta-se que o espaçamento do cafezal foi de 3,5 x 0,70 m, perfazendo um total de 4.082 plantas ha⁻¹.

3.3 Rocha fonolito moída F2

A fonte alternativa de K estudada no presente trabalho foi a rocha fonolito moída F2 (MC YOORIN F2). Esse produto foi obtido junto à Mineração

Curimbaba, localizada na região de Poços de Caldas-MG, e suas características químicas estão na Tabela 2.

O produto MC YOORIN F2 nada mais é que o produto de rochas fonolito finamente moídas destinadas a fornecerem nutrientes às culturas, especialmente K.

Tabela 2. Características químicas da rocha fonolito (“MC YOORIN F2”), procedente da Mineração Curimbaba - Poços de Caldas (MG).

Molécula	(%)
K ₂ O	8,42
SiO ₂	52,5
CaO	1,58
P ₂ O ₅	0,05
Al ₂ O ₃	20,7
Na ₂ O	7,53

3.4 Cultivar utilizada

A cultivar de café arábica Mundo Novo, utilizada no presente experimento, originou-se da seleção de plantas realizada, a partir de 1943, em uma plantação de café com as variedades Sumatra e Bourbon Vermelho, no antigo município paulista de Mundo Novo (atual Urupês). É dado como provável que o café Mundo Novo tenha resultado do cruzamento natural entre essas variedades. Atualmente, junto com a Catuaí, é uma das cultivares mais plantadas nas principais regiões cafeeiras do Brasil (NOGUEIRA, 2003).

Como principais características morfológicas, as plantas de café Mundo Novo apresentam porte alto, bom vigor, folhagem abundante e bem equilibrada com a produção dos frutos, folhas menores e mais afiladas, broto bronze ou verde, arquitetura cilíndrica ou mais cônica dependendo da linhagem, sendo que o diâmetro da copa também varia de acordo com a linhagem. Essa cultivar também apresenta elevada capacidade de adaptação, produzindo bem em quase todas as regiões cafeeiras do Brasil. É preferencialmente indicado para plantios largos (3,80-4,00 m x 0,80-1,00 m) (IAC, 2011).

Produz frutos e grãos de tamanho médio a grande, floração e maturação mais uniformes e medianamente precoces, frutos de cor vermelha, alongado, com qualidade normal em relação à bebida, sólidos solúveis e cafeína. A resistência a ventos frios e à ferrugem é menor, essa última provocando desfolhas mais rápidas e ocasionando maior perda de produção.

O Mundo Novo, possivelmente, por ser bastante produtivo, é muito exigente em relação ao aspecto nutricional, apresentando elevada demanda especialmente em correção de solo e adubação com Zn, sendo, também, mais suscetível a certas deficiências, principalmente em Mg. Cafeeiros dessa cultivar demonstraram, em pesquisa, menor eficiência na translocação de N e P. Por outro lado, a resposta a podas é boa, sendo, por isso, indicado para o sistema safra zero, com uso de esqueletamentos sequenciais (MATIELLO et. al, 2010).

Sua principal desvantagem é o porte alto, o que praticamente impossibilita seu plantio em áreas montanhosas, visto que exige podas frequentes para manutenção de uma menor altura nas plantas para facilitar os tratos e a colheita. Além disso, é bastante suscetível a nematóides, especialmente em solos arenosos, sendo uma das soluções deste problema o plantio de cafeeiros Mundo Novo enxertados sobre cafeeiros da espécie *C. canephora* (FAZUOLI, 1981).

3.4 Condução do experimento

Os tratamentos foram aplicados em outubro de 2008 e reaplicados em novembro de 2009, ambos de forma manual, distribuindo-se uniformemente as doses dos produtos sob a projeção da saia das plantas de café.

Além dos tratamentos, em ambos os anos agrícolas foram aplicados, em todo o experimento, 5 kg ha⁻¹ do fertilizante foliar Viça-Café (Zn, Mn, Mg, Cu e K) em outubro, 75 kg ha⁻¹ N (nitrato de amônio) em novembro, 5 kg ha⁻¹ do fertilizante foliar Viça-Café em dezembro, 72 kg ha⁻¹ N (nitrato de amônio) em janeiro, 83 kg ha⁻¹ N (nitrato de amônio) e 0,34 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico via foliar) em fevereiro, 5 kg ha⁻¹ do fertilizante foliar Viça-Café em março.

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com os critérios do produtor.

3.5 Amostragens e avaliações

3.5.1 Teor de macronutrientes e silício nas folhas

Para determinação dos teores foliares de macronutrientes e silício foi coletado o 3º par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos, na altura média da planta, no início do verão (dezembro/janeiro) de cada ano agrícola, conforme recomendações de Raij et al. (1997). As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água deionizada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65° C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), e teor de Si segundo técnica descrita por Elliott e Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (2004).

3.5.2 Produtividade de grãos

A colheita ocorreu em julho de 2009 e 2010, de modo que a produtividade foi medida em cinco plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. Para tal, derriçou-se o café colhido sobre um pano e, posteriormente, procedeu-se a secagem ao sol. Realizou-se a colheita quando a maioria dos frutos estava madura ou no estágio “cereja” (de 70 a 80% nesse estágio). Os grãos foram secos ao sol e, posteriormente, pesados e a umidade foi corrigida para 12% (base úmida). Feito isso, os dados foram extrapolados para kg ha⁻¹ de café “em coco”.

3.5.3 Produtividade relativa

A produtividade relativa foi calculada mediante a relação entre a produtividade em cada tratamento e a produtividade na testemunha, conforme descrito por Barnes e Kamprath (1975).

3.5.4 Índice de Eficiência Agronômica

Seguindo a metodologia de Goedert e Lobato (1984), o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) foi calculado por meio da relação percentual entre a produtividade propiciada pelas fontes de K, aplicadas na mesma dose, subtraindo-se de ambas a produtividade do tratamento sem adubação potássica, sendo calculada da seguinte forma:

$$IEA (\%) = [(Y2 - Y1) / (Y3 - Y1)] \times 100$$

Em que, $Y1$ = produtividade de grãos obtida pelo tratamento testemunha (sem aplicação de K); $Y2$ = produtividade de grãos obtida com a fonte testada (F2), em cada uma das doses; e $Y3$ = produtividade de grãos obtida pela fonte referência (KCl) na mesma dose. O valor $Y1$ foi obtido pela média de 8 parcelas do tratamento testemunha (sem aplicação de K).

3.5.5 Rendimento

Os grãos “em coco”, após cálculo de produtividade, foram beneficiados. Com isso, efetuou-se o cálculo de rendimento de grãos beneficiados, ou seja, a porcentagem que esses grãos beneficiados representam da quantidade colhida de grãos “em coco”.

3.5.6 Teor de macronutrientes nos grãos em coco

Para determinação dos teores de macronutrientes nos grãos uma amostra de grãos “em coco” de cada parcela foi secada em estufa de circulação forçada de ar a 65° C, por 72 horas, sendo em seguida moídas (grãos + casca). Os teores de macronutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

3.5.7 Exportação de macronutrientes pelos grãos

Para se obter a quantidade dos macronutrientes exportados pela cultura do café, multiplicou-se a produtividade de grãos de café “em coco” de cada parcela pelos respectivos teores de macronutrientes nos grãos e os valores convertidos para kg ha⁻¹.

3.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias das fontes foram comparadas pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. As médias das doses foram submetidas à análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo matemático a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade obtida pelo teste F.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teor de macronutrientes e silício nas folhas

Os teores dos nutrientes N, P, Ca, Mg e S nas folhas da cultura do café não foram alteradas pelas fontes (F2 e KCl) e doses de K aplicadas, tanto no primeiro quanto no segundo ano agrícola (Figuras 2 e 3). Entretanto, os teores desses nutrientes, em todos os tratamentos, estavam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do café (Figuras 2 e 3), as quais são 26 a 32 g kg⁻¹, 1,2 a 2,0 g kg⁻¹, 10,0 a 15,0 g kg⁻¹, 3,0 a 5,0 g kg⁻¹ e 1,5 a 2,0 g kg⁻¹, respectivamente, para N, P, Ca, Mg e S (RAIJ et al., 1997).

No ano 2008/09, a aplicação de doses crescentes de K incrementou o teor desse nutriente nas folhas do cafeeiro, independentemente da fonte utilizada (F2 ou KCl), porém com resultados superiores quando se utilizou o KCl (Figura 2). Os maiores teores de K nas folhas do cafeeiro foram obtidas com as doses estimadas de 352 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de KCl, correspondendo a 607 kg ha⁻¹ do fertilizante, e 160 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de F2, o que representa 1.900 kg ha⁻¹ da rocha fonolito moída. Apesar de se utilizar uma quantidade maior da rocha, em relação ao KCl, para se obter o maior teor de K foliar, deve-se salientar que o F2, apesar de apresentar menor teor de K₂O, tem uma solubilidade menor que a do KCl por se tratar de um pó-de-rocha, sendo disponibilizado mais lentamente às plantas.

De acordo com Malavolta (1986), a faixa adequada de K disponível no solo para cafeeiro é de 117 a 156 mg dm⁻³ ou de 3,0 a 4,0 mmol_c dm⁻³. No presente experimento, o teor de K disponível no solo antes de sua instalação era de 1,0 mmol_c dm⁻³ (Tabela 1), ou seja, abaixo da faixa adequada e com probabilidade de resposta a uma adubação potássica. Silva et al. (2001a) observaram que o cafeeiro respondeu à adubação potássica quando o teor de K em um Latossolo Vermelho era de 70 mg dm⁻³ ou 1,75 mmol_c dm⁻³. Alvarez Viegas et al. (1999) comentaram que existe grande probabilidade de resposta do cafeeiro à adubação potássica quando o teor médio de K no solo estiver dentro da faixa de 41 a 70 mg dm⁻³ ou de 1,0 a 1,75 mmol_c dm⁻³. Com isso, pode-se dizer que as plantas de cafeeiro foram responsivas à adubação potássica com ambas as fontes, no ano agrícola 2008/09, devido ao baixo teor de K no solo. Salienta-se, ainda, que na maior dose aplicada (300 kg ha⁻¹) o KCl proporcionou mais K às plantas de café, quando comparado ao F2, provavelmente por apresentar maior teor de K₂O que o último.

Já no segundo ano agrícola (2009/10), a aplicação das mesmas fontes e doses de fertilizantes potássicos, apesar de observado certo aumento, não proporcionou efeito significativo no teor de K nas folhas do cafeeiro (Figura 2). A aplicação da fonte F2 proporcionou um teor foliar médio de 19,09 g kg⁻¹, enquanto que com KCl o teor médio foi de 19,33 g kg⁻¹, estando ambas dentro da faixa adequada de 18 a 25 g kg⁻¹ ou de 19 a 24 g kg⁻¹ de K na matéria seca das folhas de café, propostas por Raij et al. (1997) e Malavolta (1993), respectivamente. Santinato et al. (1996), trabalhando com salitre de K como fonte desse nutriente para cultura do café, obteve a produtividade máxima esperada com um teor foliar de K de 22 g kg⁻¹.

Como já mencionado, não houve resposta à adubação potássica no segundo ano agrícola e isso ocorreu, provavelmente, pelo solo já apresentar um teor ideal de K. Não foi possível realizar a análise química do solo entre os dois anos agrícolas, porém é admissível que o teor de K no solo esteja dentro da faixa adequada, pois o teor foliar desse nutriente nas folhas de café estava dentro da faixa considerada adequada, em ambos os anos avaliados (Figura 2). Segundo Hiroce (1981), a diagnose foliar baseia-se na premissa de que, dentro de certos limites, existe uma correlação entre dose de nutriente aplicada, teor do mesmo na folha e a produção. Os teores dos nutrientes nas folhas, em

geral, não apresentam correlação estreita com os teores disponíveis no solo. Logo, a análise foliar deve ser usada em conjunto com a análise do solo. Enquanto a análise de solo pode ser feita antes da implantação da cultura, a diagnose foliar é feita quando as culturas já estão bastante desenvolvidas, e qualquer problema diagnosticado é difícil de ser resolvido a tempo naquelas consideradas anuais, porém é uma ferramenta bastante útil em culturas perenes (RAIJ, 1991). Ressalta-se que o presente experimento foi realizado em um cafezal já implantado e produtivo, estando de acordo com os conceitos apresentados acima.

Outra explicação aceitável para esse fato seria que no primeiro ano agrícola a produtividade superou a do segundo ano (Figura 5), ou seja, o ano agrícola de 2008/09 foi o ano de alta produtividade, enquanto que o ano agrícola de 2009/10 foi o de baixa e, portanto, houve maior exigência de K no primeiro ano pelas plantas de café, com a finalidade de enchimento de grãos. Em outras palavras, houve uma maior exportação de K pelos grãos no primeiro ano agrícola, com uma tendência linear para ambas as fontes (Figura 9). Esses resultados estão de acordo com Silva et al. (2001a), os quais comentam que esse comportamento deve-se à maior absorção e, conseqüentemente, maior exportação de nutrientes pela safra de alta produção.

Por fim, mais um fato a que se pode atribuir a ausência de efeito significativo das fontes de K no teor foliar desse mesmo elemento seria a elevada precipitação pluvial (Figura 1) ocorrida nos meses após a reaplicação dos fertilizantes, a qual ocorreu em novembro de 2009, quando comparada à época da primeira aplicação (outubro de 2008), em que houve menor precipitação. Esse fato pode ter contribuído para a lixiviação de K aplicados tanto na forma de KCl quanto na de F2, mesmo esse sendo, teoricamente, uma fonte menos solúvel.

Apesar de não ter havido resposta significativa da aplicação das fontes e doses de K sobre o teor foliar desse nutriente no 2º ano agrícola, observa-se que há certo aumento da variável, especialmente para a fonte KCl, na dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2).

Nos dois anos agrícolas, os teores de K no tratamento testemunha (dose 0) encontravam-se abaixo da faixa considerada adequada para a cultura, 18-25 g kg⁻¹ (RAIJ et al., 1997), indicando que a não aplicação desse nutriente acarretou deficiência do

mesmo na cultura do café (Figura 2). Contudo, como discutido anteriormente, em todos os demais tratamentos (demais doses de ambas as fontes), nos dois anos agrícolas, os teores de K encontravam-se dentro da faixa considerada adequada para o cafeeiro por (RAIJ et al., 1997).

Em relação ao teor de Si nas folhas do cafeeiro, o fornecimento de doses de KCl na cultura do café não proporcionou efeito significativo em ambos os anos agrícolas (Figura 4). Já a aplicação do produto F2 afetou os teores de Si de forma significativa no primeiro ano agrícola e, apesar de não apresentar efeito significativo no segundo ano, proporcionou resultados superiores aos KCl, podendo ser explicado pelo fato do F2 apresentar 52,5% de SiO₂ em sua composição (Tabela 2). Como se sabe, o Si é um elemento benéfico e plantas bem nutridas com esse elemento podem apresentar um melhor desempenho em relação a outras que apresentam baixo teor desse elemento. Para exemplificar os efeitos do Si, Pereira et al. (2009) verificaram que a aplicação de silicato de potássio (K₂SiO₃) via foliar reduziu a severidade da ferrugem nas folhas do cafeeiro. Amaral et al. (2008) comentam que parte do efeito do Si na proteção de cafeeiro contra doenças é o aumento nos níveis de peroxidase, polifenoloxidase e lignina observado em plantas de café pulverizado com K₂SiO₃.

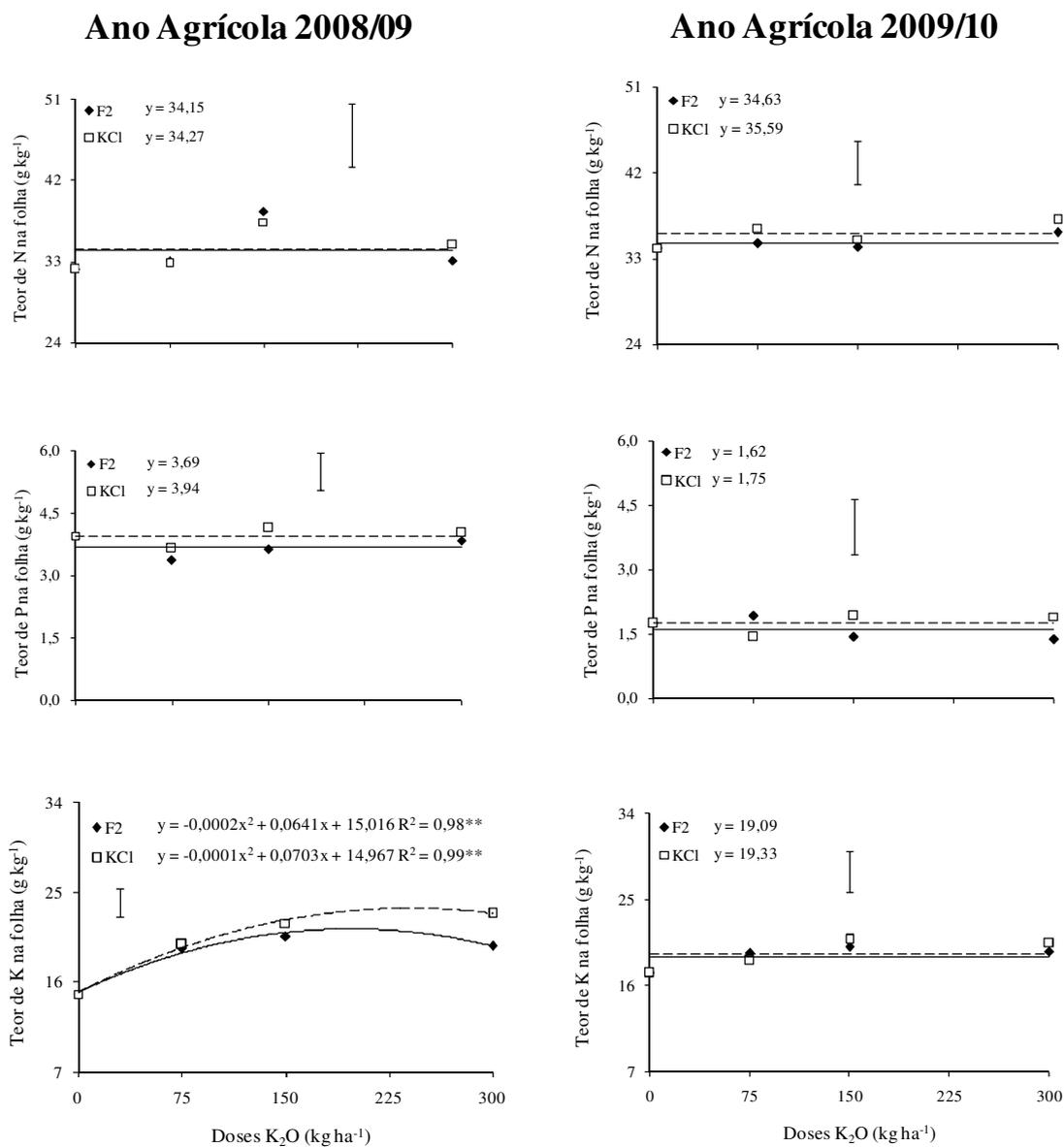


Figura 2. Teores de N, P e K nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

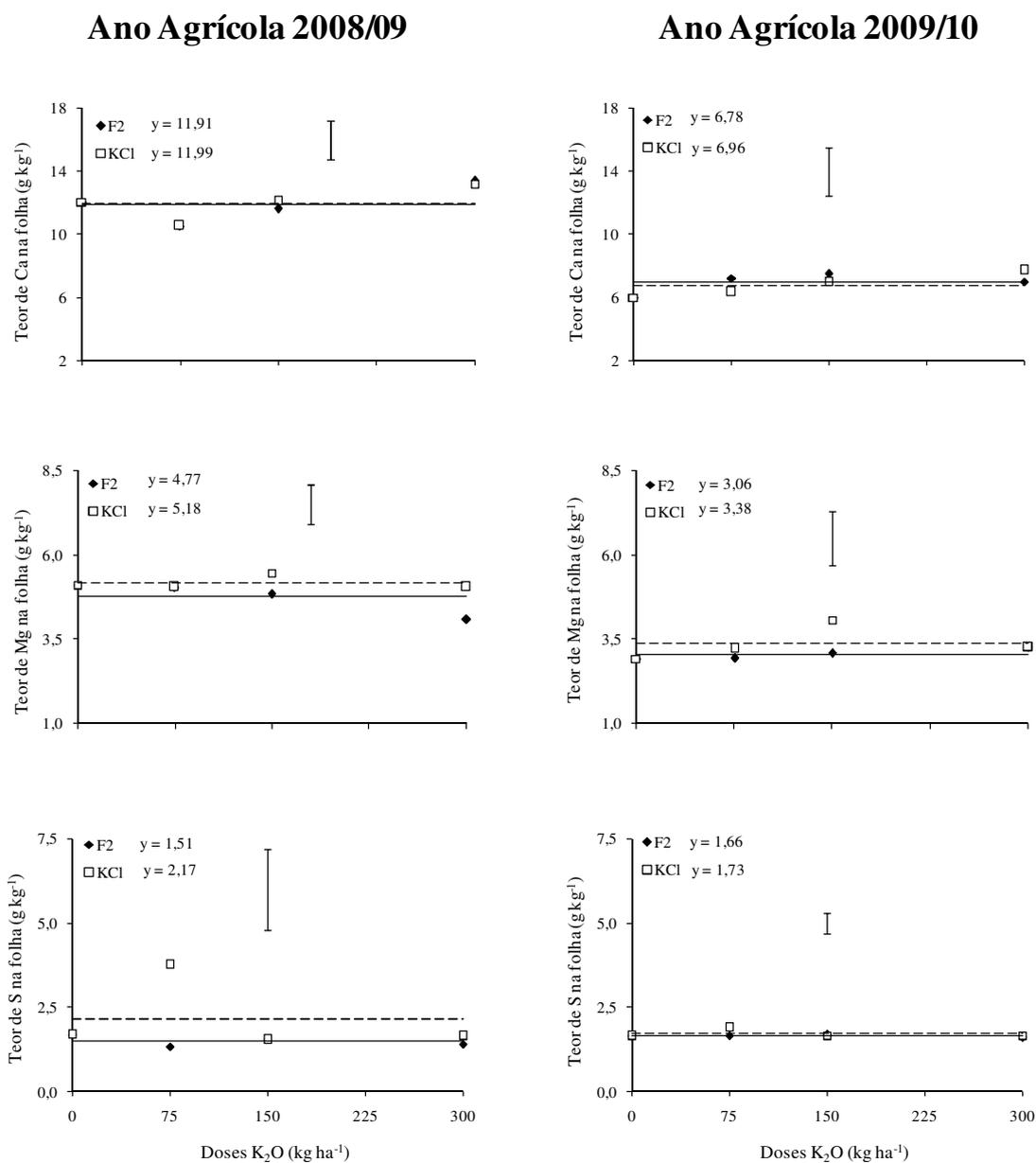


Figura 3. Teores de Ca, Mg e S nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

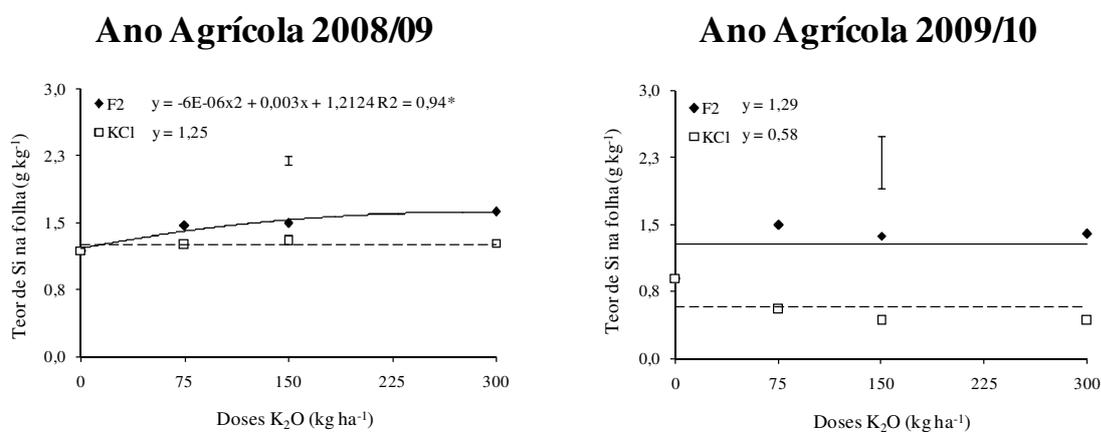


Figura 4. Teor de Si nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

4.2 Produtividade de grãos

A análise de variância para a produtividade de grãos de café em coco apontou que as doses de KCl e F2 aplicadas na cultura do café influenciaram significativamente essa variável ($P < 0,05$). As equações lineares foram as que melhor se ajustaram à produtividade para ambas as fontes de K utilizadas, no ano agrícola 2008/2009 (Figura 5). Esse modelo explica os aumentos significativos na produção com a aplicação das doses das fontes de K.

Observa-se, na Figura 5, que a produtividade, para ambas as fontes, aumentou até a dose máxima aplicada (300 kg ha^{-1} de K_2O), sendo a produtividade proporcionada pela fonte F2 superior a do KCl (3.150 e 3.111 kg ha^{-1} de grãos em coco, respectivamente) no primeiro ano agrícola. Viana et al. (1985a) obtiveram aumento na produtividade do café com a aplicação de até 200 kg ha^{-1} de K_2O . Oliveira e Pereira (1987) obtiveram a maior produção de 32 sacas ha^{-1} também com a aplicação de $200 \text{ kg de K ha}^{-1}$ na forma de KCl com a cultivar Catuaí Amarelo, com um teor de K de 40 mg dm^{-3} ($1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na análise de solo inicial, características muito semelhantes as do presente trabalho. Entretanto, Silva et al. (1999), trabalhando com três fontes e doses de até 400 kg ha^{-1} de K_2O , não obtiveram aumento de produtividade de grãos do café.

No presente trabalho, apesar do fato da produtividade aumentar cada vez mais à medida que se aplica uma dose maior de K no primeiro ano agrícola, é importante salientar que em experimentos de campo, na maioria das vezes, não existe viabilidade econômica quando se busca a produção máxima, devido à “Lei dos Incrementos Decrescentes”, ou seja, os incrementos crescentes dos fertilizantes correlacionam-se a “aumentos” decrescentes da produção, sendo que a colheita máxima econômica é estabelecida sempre um pouco abaixo da colheita máxima fisiológica (RAIJ, 1991; HOFFMANN et al., 1995).

Em relação ao ano agrícola 2009/2010, ambas as fontes proporcionaram incrementos quadráticos na produtividade de café em coco (Figura 5). Contudo, de maneira geral, a fonte KCl apresentou os melhores resultados quanto à produtividade. Ambas as fontes apresentaram as maiores produtividades com a dose estimada de 190 kg ha⁻¹ de K₂O, resultado muito semelhante ao de Jayarama et al. (1994), na Índia, que constataram, em um experimento conduzido por trinta anos para avaliação da adubação NPK no cafeeiro, a produção máxima obtida com a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de K na forma de KCl, e também ao de Santinato et al. (1996), no Brasil, os quais observaram que a maior produção foi obtida com a dose de 176 kg ha⁻¹ de K, na forma de KNO₃, sendo o teor foliar de K de 22 g kg⁻¹. Já Viana et al. (1985c), utilizando a cultivar Mundo Novo, obtiveram a maior produção com 63 kg ha⁻¹ de K, com teor de K no solo de 43 mg dm⁻³, e foliar, de 14,3 g kg⁻¹ de K, muito semelhante ao teor de K no solo e um pouco abaixo ao teor foliar encontrado no presente experimento.

Viana et al. (1985b) estudaram os efeitos de doses de K de 0, 83, 166 e 332 kg ha⁻¹ em cafeeiros Catuaí. Os autores encontraram que a maior produção foi obtida com a dose de 166 kg de K ha⁻¹, que corresponde a um teor médio de K no solo de 126 mg dm⁻³ (3,15 mmolc dm⁻³) e foliar de 13,6 g kg⁻¹. Malavolta et al. (1997), da mesma forma que no presente trabalho, obtiveram equações quadráticas como melhor ajuste a produtividade de grãos onde, após atingir um ponto máximo, a produção diminuiu em função das doses mais elevadas de cada fonte de K que utilizaram, indicando desequilíbrio nutricional ocasionado pela competição catiônica entre K, Ca e Mg e aniônica entre Cl, S e P. Silva et al. (2001b) relataram uma resposta positiva da produção do cafeeiro em função

das aplicações de doses crescentes de K em cada fonte utilizada, onde 214, 225 e 222 kg ha⁻¹ foram as doses de K para a produção máxima obtida, respectivamente, para as fontes KCl, K₂SO₄ e KNO₃, sendo a dose média de 220 kg ha⁻¹ de K.

Existem algumas recomendações de quanto K deve ser aplicado na cultura do café. A CFSEMG (1989) recomenda, para um nível de produção entre 20 a 40 sacas ha⁻¹, a aplicação de K baseado no teor do solo em doses equivalentes a 266, 200, 133 e 66 kg de K ha⁻¹, quando seu teor for menor que 60 ou 1,5 (baixo), de 60 ou 1,5 a 120 ou 3,0 (médio), de 120 ou 3,0 a 200 ou 5,0 (alto) e maior que 200 ou 5,0 mg dm⁻³ ou mmolc dm⁻³ de solo (muito alto), respectivamente. Matiello (1995) recomenda, para produtividade de 35 sacas ha⁻¹, a aplicação de 232, 174, 116 e 0 kg de K ha⁻¹, quando a análise de solo revelar um teor de K de baixo, médio, alto e muito alto, respectivamente.

A produtividade no segundo ano agrícola foi menor em relação ao primeiro (Figura 5), provavelmente por se tratar do ano de produtividade baixa do cafeeiro, visto que os teores de nutrientes mantiveram-se dentro da faixa adequada para a cultura do café (Figura 2 e 3) e, dessa forma, as plantas não apresentavam sintomas de deficiência. Independentemente de o ano ser de alta ou baixa produtividade, os teores foliares, de fato, não devem variar. Malavolta et. al (2002) comentam que a demanda de nutrientes pelo cafeeiro não varia em virtude da produção, pois quando a frutificação é baixa, o crescimento de ramos plagiotrópicos, a formação de folhas e ramos novos substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes.

Outro aspecto que deve ser ressaltado é que em ambos os anos agrícolas as respostas foram semelhantes para as duas fontes, ou seja, não houve diferença estatística entre a aplicação de KCl e F2 (Figura 5). Evidencia-se, portanto, que o produto F2 é tão eficiente no fornecimento de K para a cultura do café quanto o KCl, proporcionando incrementos na produtividade. Todavia, o custo com transporte, para o F2, é maior, pois o mesmo apresenta menor concentração de K₂O que o KCl e, dessa forma, é necessária uma quantidade maior de F2 para fornecer a dose recomendada para cultura.

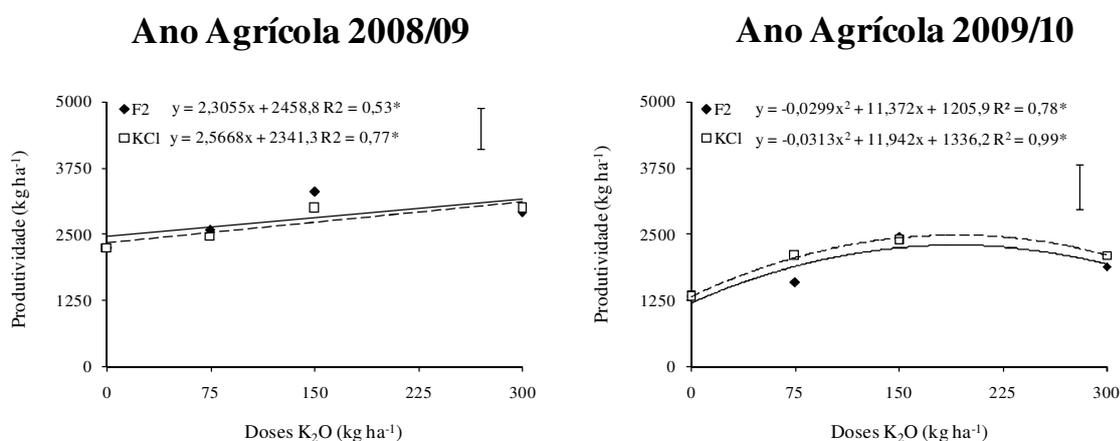


Figura 5. Produtividade de grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

Em relação à produtividade relativa, apesar do ajuste da equação ser linear, a aplicação da dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de F2 proporcionou o maior incremento de produtividade de grãos de café em coco no primeiro ano agrícola estudado, sendo da ordem de 1.979,4 kg ha⁻¹, o que correspondeu a um aumento de 150% em relação à testemunha, ou seja, a aplicação da fonte F2 proporcionou uma produtividade 1,5 vezes maior em relação às parcelas sem aplicação de K (Tabela 3).

Quando se analisa os aumentos de produtividade proporcionados pelas doses efetivamente aplicadas no ano agrícola de 2009/10, verifica-se que na dose de 75 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O, o KCl superou o F2 (Tabela 4). Contudo, na dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O a fonte F2 proporcionou incremento de produtividade maior que o KCl.

Como indicado na Figura 5, ambas as fontes apresentaram as maiores produtividades com a dose estimada de 190 kg ha⁻¹ de K₂O. Entretanto, para o KCl, essa dose proporcionou incrementos de 88% na produtividade de grãos em coco em relação à testemunha, enquanto o F2 incrementou a produtividade em 73%.

Em relação ao Índice de Eficiência Agronômica, verifica-se, no primeiro ano agrícola, que a fonte F2 apresentou maiores índices para todas as doses, com exceção da dose de 300 kg ha⁻¹ de K₂O (Tabela 3). Já no ano agrícola seguinte, o F2 apresentou maior eficiência que o KCl apenas na dose 150 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo menos

eficiente nas demais doses (Tabela 4). Esses resultados indicam que a fonte F2 pode ser utilizada com fonte de K para a cultura do café, com resultados semelhantes aos do KCl.

Além da escolha adequada da área e da cultivar a ser explorada, outro fator importante na produtividade do cafeeiro é sua nutrição mineral através da adubação com os fertilizantes mais eficientes. Para Pereira (1999), essa deve se basear na fertilidade natural do solo, no conhecimento do estado nutricional da lavoura, na exigência de nutrientes pelas plantas e, entre outras características do sistema de cultivo, na capacidade de utilização eficaz dos nutrientes pelo cultivar empregado.

Tabela 3. Aumento da produtividade (AP) e produtividade relativa (PR) de grãos de café em coco em função de fontes e doses de K. Índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses da fonte F2, comparadas ao KCl. Ano agrícola 2008/09.

Dose de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	AP (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾		PR (%) ⁽²⁾		IEA (%)
	F2	KCl	F2	KCl	
0	-	-	100,0	100,0	-
75	1255,1	1152,0	195,1	187,3	108,9
150	1979,4	1673,9	250,0	226,8	118,3
300	1597,2	1673,0	221,0	226,7	95,5
Média	-	-	-	-	107,6

⁽¹⁾ Aumento de produtividade em relação à média de produtividade na testemunha. ⁽²⁾ Produtividade relativa obtida em relação à média da testemunha (testemunha = 100%).

Tabela 4. Aumento da produtividade (AP) e produtividade relativa (PR) de grãos de café em coco em função de fontes e doses de K. Índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses da fonte F2, comparadas ao KCl. Ano agrícola 2009/10.

Dose de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	AP (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾		PR (%) ⁽²⁾		IEA (%)
	F2	KCl	F2	KCl	
0	-	-	100,0	100,0	-
75	266,7	779,3	120,2	159,0	34,2
150	1148,1	1071,3	187,0	181,2	107,2
300	572,6	789,3	143,4	159,8	72,5
Média	-	-	-	-	71,3

⁽¹⁾ Aumento de produtividade em relação à média de produtividade na testemunha. ⁽²⁾ Produtividade relativa obtida em relação à média da testemunha (testemunha = 100%).

Em relação ao rendimento, observa-se que a aplicação de K na forma de KCl reduziu de forma quadrática o rendimento de café beneficiado, indicando que o aumento na produtividade de café em coco, proporcionada por esta fonte, pode não resultar em aumento da produtividade final devido a redução do rendimento de benefício (Figura 6). Uma provável causa é a presença do Cl^- na sua composição, o que acarretaria uma maior umidade dos grãos e, por consequência, maior incidência de fermentações indesejadas e redução do rendimento. O produto F2 não influenciou significativamente o rendimento de café beneficiado.

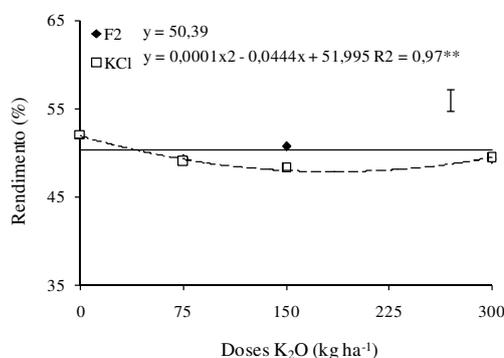


Figura 6. Rendimento de grãos de café beneficiados em função de fontes e doses de K no ano agrícola 2008/2009. ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

4.3 Teor de macronutrientes nos grãos em coco

Com relação aos teores de nutrientes nos grãos em coco da cultura do café em função das fontes e doses de K (F2 e KCl), não foram observados efeitos significativos para N, P, Mg e S, em nenhum dos anos de estudo (Figuras 7 e 8). A aplicação de doses de K na cultura café, utilizando-se a fonte F2, aumentou os teores de K nos grãos de café, observando-se um efeito linear, porém a fonte KCl não proporcionou resultados significativos para essa variável, no ano agrícola de 2008/09 (Figura 7). O K, ao lado do N, foi o que apresentou maior teor e foi mais acumulado pelos grãos em coco da cultura do café. Malavolta et al. (1974) já relatavam que exigência de K é intensa,

principalmente quando a planta atinge a fase adulta. Malavolta et al. (1963), em estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro, concluíram, após análise química de frutos, que não havia diferença significativa na composição química, tanto da casca como do grão. Os mesmos verificaram que o total dos elementos contidos em uma saca de café beneficiada e na casca correspondente obedecia à seguinte ordem decrescente dos macronutrientes: $K > N > Ca > Mg = S > P$.

Catani et al. (1967), analisando o material seco de 1000 frutos de café, no último estágio de desenvolvimento, obteve os teores de macronutrientes, ideais segundo os mesmos, que foram $15,3 \text{ g kg}^{-1}$ de N, $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ de P, $23,3 \text{ g kg}^{-1}$ de K, $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca, $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg e $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ de S. Os resultados desses autores são semelhantes aos observados no presente trabalho, bem como os de Arzolla et al. (1963) que observaram os teores de macronutrientes nos grãos de café cereja e encontraram $17,1 \text{ g kg}^{-1}$ de N, $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P, $17,3 \text{ g kg}^{-1}$ de K, $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca, $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg e $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ de S.

Em relação ao teor de Ca nos grãos de café, as doses de K, utilizando-se a fonte KCl, proporcionaram aumento de forma linear, enquanto que o F2 não alterou os resultados. O esperado era que a fonte F2 influenciasse significativamente o teor de Ca nos grãos de café, visto que possui 1,58% de CaO em sua composição (Tabela 2) e na maior quantidade F2 aplicada (3.563 kg ha^{-1} do produto, equivalente a dose de 300 kg ha^{-1} de K_2O), foram fornecidos 56 kg ha^{-1} de CaO. Vale ressaltar que o teor de Ca antes da instalação do experimento era de $39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, estando dentro da faixa ideal de 20 a $40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ proposta por Matiello et al. (2010). Portanto, o teor de Ca já estava adequado por ocasião da instalação do experimento e, provavelmente, as plantas de café absorveram o nutriente já presente no solo. Além disso, plantas bem nutridas, como é o caso das analisadas no presente experimento, são mais eficientes em acumular nutrientes em seus tecidos vegetais em relação a plantas que apresentam alguma deficiência nutricional.

Já no ano agrícola 2009/10, houve efeito apenas da aplicação do F2 incrementando os teores de Ca nos grãos (Figura 8), o que era esperado pela presença de CaO na composição dessa fonte, apesar de, como foi discutido no parágrafo anterior, ter sido fornecida uma pequena quantidade desse nutriente às plantas, mesmo na maior dose aplicada de F2. Novamente, salienta-se que o teor adequado de Ca no solo do presente

experimento e a boa nutrição das plantas podem ter favorecido o incremento do teor desse nutriente nos grãos de café.

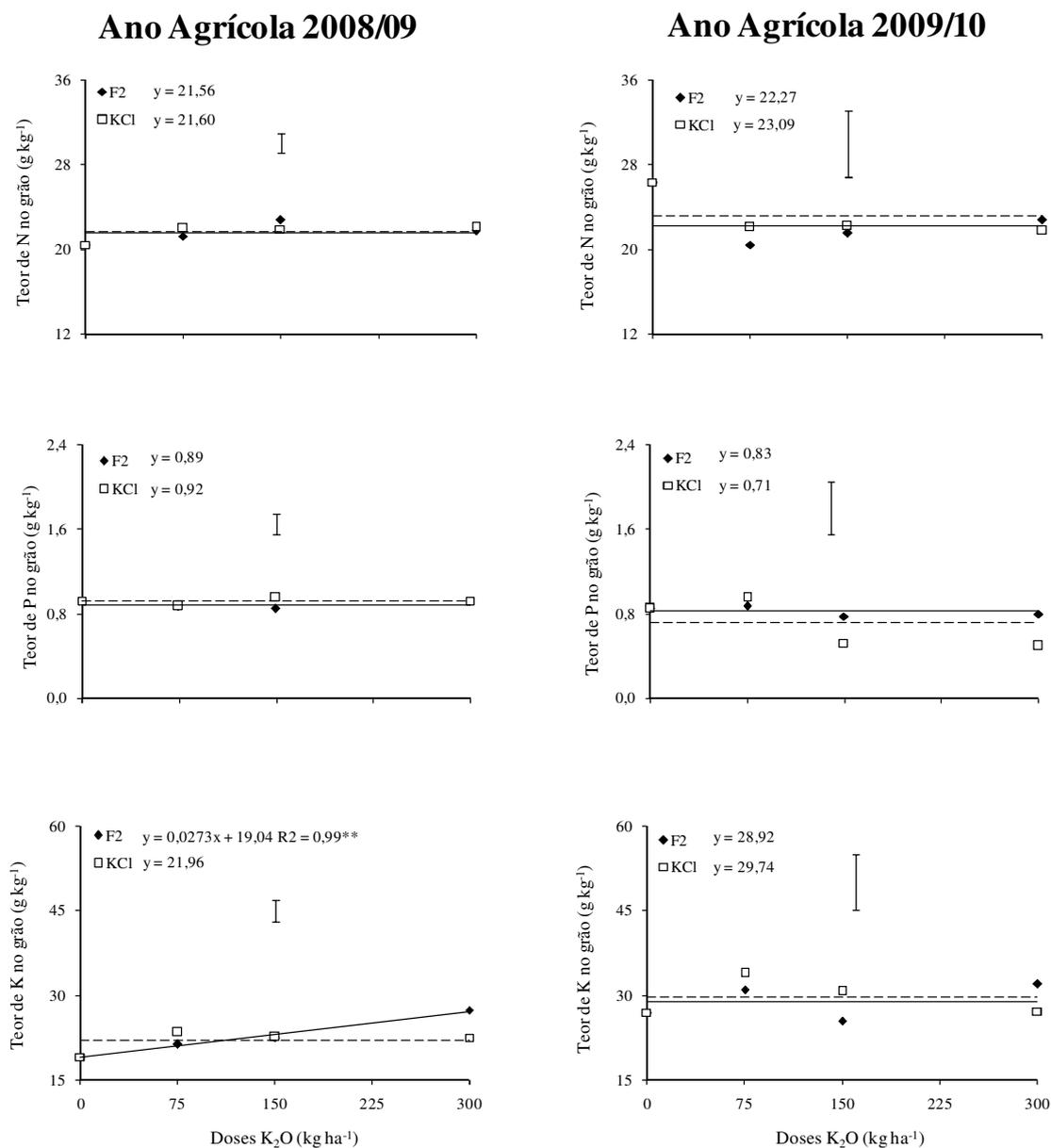


Figura 7. Teores de N, P e K nos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. ** é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (♦) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

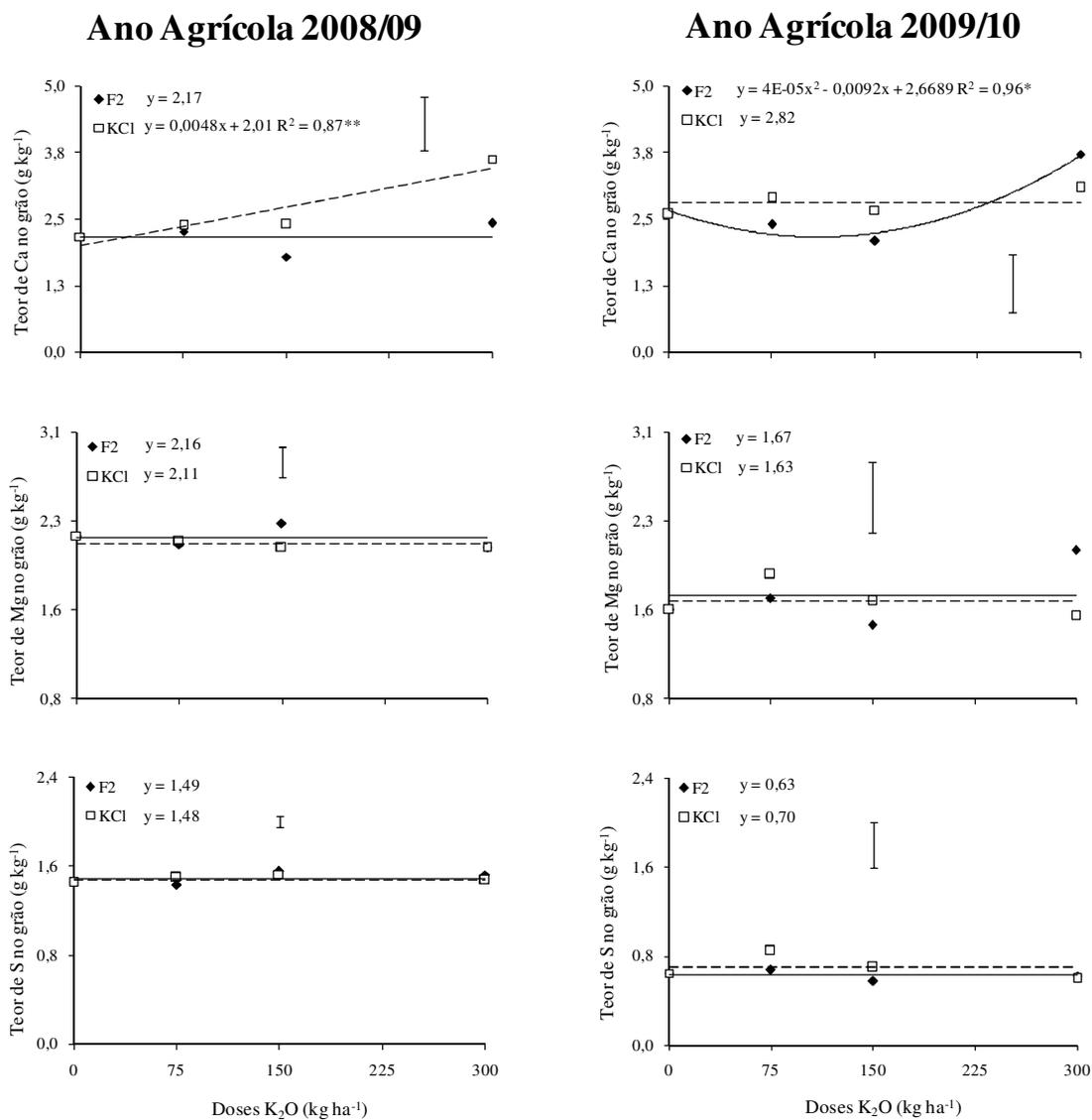


Figura 8. Teores de Ca, Mg e S nos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * e ** são significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

4.3.1 Exportação de macronutrientes pelos grãos em coco

No ano agrícola 2008/09, a exportação de todos os macronutrientes pelos grãos de café em coco foi influenciada significativamente pela aplicação das doses de K por pelo menos uma das fontes (Figuras 9 e 10).

Na Figura 9, observa-se a exportação de P no ano agrícola de 2008/09, a qual foi influenciada significativamente apenas com a aplicação de doses na forma de KCl. A equação que melhor se ajustou foi a linear e a maior exportação desse nutriente foi da ordem de $2,8 \text{ kg ha}^{-1}$. Por outro lado, a aplicação de doses de K utilizando-se ambas as fontes proporcionou efeito significativo na exportação de N pelos grãos de café em coco no primeiro ano agrícola, sendo que a equação quadrática foi a que melhor se ajustou ao F2, enquanto que para o KCl a equação linear foi o melhor ajuste encontrado. Quando se aplicou a fonte F2, a maior exportação de N, que foi de $84,4 \text{ kg ha}^{-1}$, ocorreu na dose estimada de $187,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O . Para o KCl, a maior quantidade exportada de N foi de $65,9 \text{ kg ha}^{-1}$, por ocasião da aplicação da maior dose, a de 300 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 9).

Em relação à exportação de K pelos grãos de café em coco, no primeiro ano agrícola, a aplicação das doses de ambas as fontes proporcionou efeito significativo sobre essa variável, sendo as equações lineares as que melhor se ajustaram (Figura 9). Na maior dose aplicada (300 kg ha^{-1} de K_2O), foi observada a exportação de 81 kg ha^{-1} de K pelos grãos de café em coco quando se utilizou a fonte F2, superando o KCl, onde a exportação de K foi de $67,7 \text{ kg ha}^{-1}$ na mesma dose.

Observa-se, na Figura 10, que a exportação de Ca pelos grãos de café em coco no primeiro ano agrícola apresentou um aumento linear significativo como consequência da aplicação de KCl, atingindo o valor de $10,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca exportado com a maior dose aplicada. Os resultados para a fonte F2 não foram significativos, embora apresentem certa tendência de aumento, especialmente na dose de 300 kg ha^{-1} de K_2O .

Já a exportação de Mg no primeiro ano agrícola foi afetada somente pela fonte F2, sendo a equação quadrática a que melhor se ajustou nesse caso. A maior exportação desse nutriente pelos grãos foi de $7,2 \text{ kg ha}^{-1}$, ocorrida com a dose estimada de 186 kg ha^{-1} de K_2O . A exportação de S pelos grãos de café em coco foi influenciada pelas

doses de K_2O de ambas as fontes, tendo as equações lineares como melhor ajuste. A máxima exportação desse nutriente para as duas fontes foi praticamente a mesma, na ordem de 4,5 e 4,4 $kg\ ha^{-1}$ para o F2 e KCl, respectivamente (Figura 10).

No ano agrícola 2009/2010, apenas a exportação de K pelos grãos de café em coco foi afetada significativamente quando se utilizou o KCl (Figura 10). O melhor ajuste para a exportação de K pelos grãos de café em coco, com a aplicação de KCl, foi a quadrática, ocorrendo maior exportação do nutriente na dose estimada de 177,5 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O . Não houve efeito significativo, para exportação de K pelos grãos, com a aplicação de F2, apesar de certa tendência de aumento.

Para as demais variáveis estudadas, não se observou efeito significativo da aplicação das fontes e doses de K. Uma causa provável para que isso tenha ocorrido é que no primeiro ano agrícola a produtividade de grãos de café em coco foi superior ao do segundo ano (Figura 5), ou seja, o ano agrícola de 2008/09 foi o ano de alta produtividade, enquanto que o ano agrícola de 2009/10 foi o de baixa e, portanto, houve maior exigência nutricional, especialmente de K e N, no primeiro ano pelas plantas de café, exportando-se, assim, uma quantidade maior de nutrientes com a finalidade de enchimento de grãos (drenos fortes). Como pode ser observado nas Figuras 9 e 10, houve realmente uma exportação maior de todos os nutrientes pelos grãos de café em coco no primeiro ano agrícola em relação ao segundo ano, sendo que esse comportamento deve-se à maior absorção e, conseqüentemente, maior exportação de nutrientes pela safra de alta produção (SILVA et al., 2001a). Desse modo, a exportação de nutrientes pelo cafeeiro expõe a necessidade de adequada adubação para a cultura atingir altas produtividades.

A exportação média dos nutrientes pelos grãos de café em coco, sem aplicação de K (testemunha), no ano agrícola 2008/09 foi de 45,4, 2,0, 42,4, 4,8, 4,9 e 3,2 $kg\ ha^{-1}$ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Quando se aplicou a dose recomendada para a cultura (150 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O), os valores médios encontrados foram 70,6, 2,9, 71,0, 6,3, 6,9 e 4,8 $kg\ ha^{-1}$ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. No ano agrícola 2009/10, a exportação média de N, P, K, Ca, Mg e S foi, respectivamente, em $kg\ ha^{-1}$, na testemunha, de 34,6, 1,1, 35,6, 3,4, 2,1 e 0,9. Para a dose recomendada de 150 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O , a exportação média, em $kg\ ha^{-1}$, foi de 48,9, 1,5, 63,6, 5,4, 3,5 e 1,5 de N, P,

K, Ca, Mg e S, respectivamente. Dessa forma, pode-se concluir que a quantidade de nutrientes exportados pelos grãos de café em coco, independente da aplicação ou não de K foi, em ordem decrescente, no primeiro ano $K > N > Mg > Ca > S > P$, e no segundo ano $K > N > Ca > Mg > P > S$.

Raij (2007), em avaliação da quantidade média de macronutrientes primários utilizados na adubação e exportados pelas colheitas de café no Brasil, relatou que foram exportados 31, 7 e 57 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, ou 31,0, 1,5 e 47,3 kg ha⁻¹ de N, P e K, estando esses valores próximos aos obtidos no presente experimento, especialmente para o segundo ano agrícola estudado.

Já Catani et al. (1965) demonstraram que para produzir 2000 kg de café em coco, da cultivar Mundo Novo, a quantidade de nutrientes remobilizadas pelos frutos do cafeeiro foi de aproximadamente 17,6 kg de N, 1,8 kg de P, 22,2 kg de K, 2,1 kg de Ca, 1,4 kg de Mg e 1,2 kg de S.

De acordo com Matiello et. al (2010), um cafeeiro na fase adulta necessita, para cada saca de café produzida por hectare, uma média de 6,2 kg de N, 0,3 kg de P, 4,9 kg de K, 2,1 kg de Ca, 1,1 kg de Mg e 0,3 de S. Entretanto, essas quantidades são utilizadas tanto para a vegetação quanto para a produção dos cafeeiros. Dessa forma, os mesmo autores encontraram a demanda por nutrientes entre vegetação e produção correspondentes a uma saca por hectare e concluíram que 2,6 kg ha⁻¹ de N, 0,1 kg de P e 2,5 kg de K são destinados à produção. Portanto, supondo uma produtividade de 30 sacas ha⁻¹ de café, seriam exportados 78, 3 e 50 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, o que se assemelha aos resultados obtidos no primeiro ano agrícola do presente experimento.

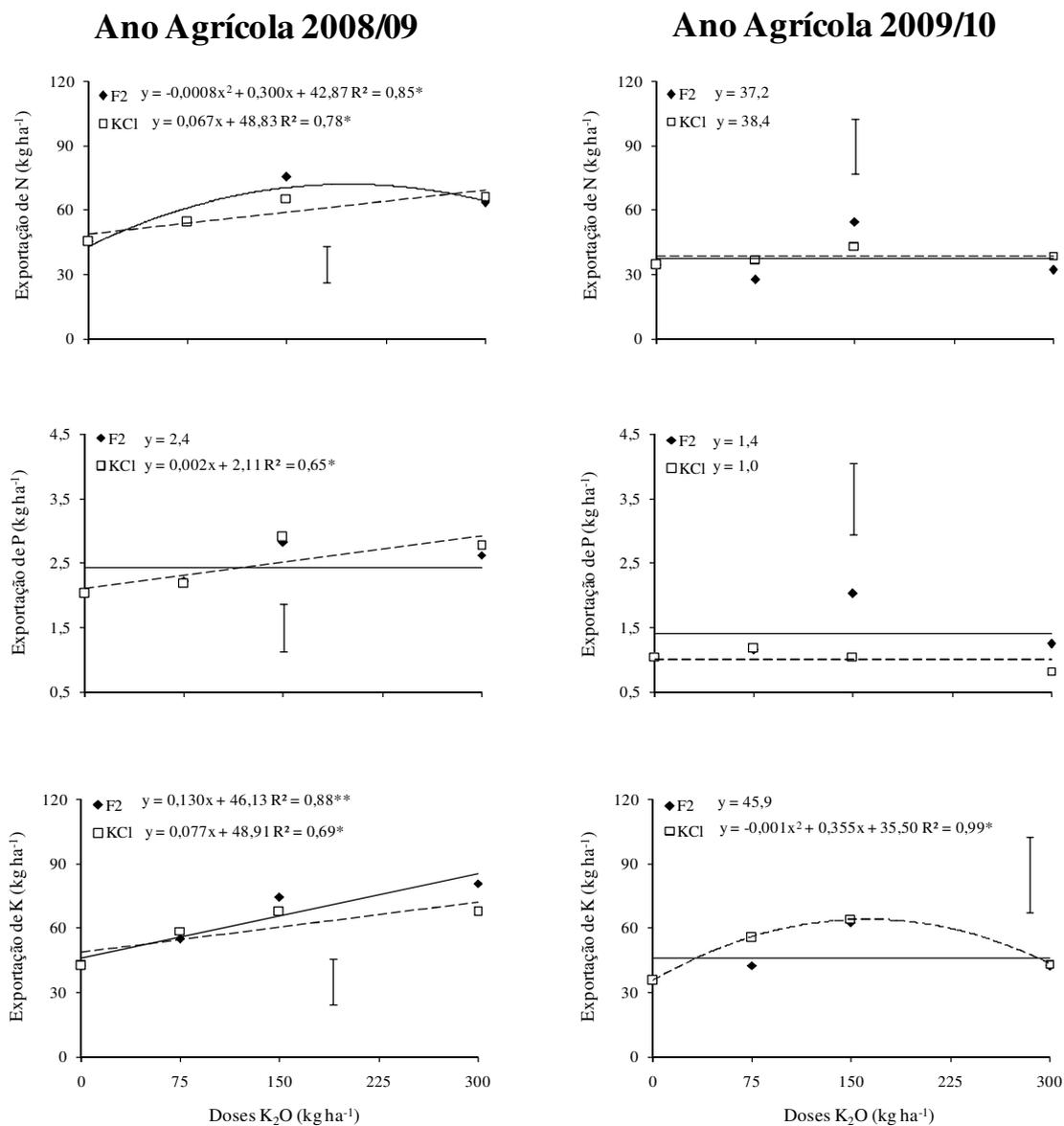


Figura 9. Exportação de N, P e K pelos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * e ** são significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

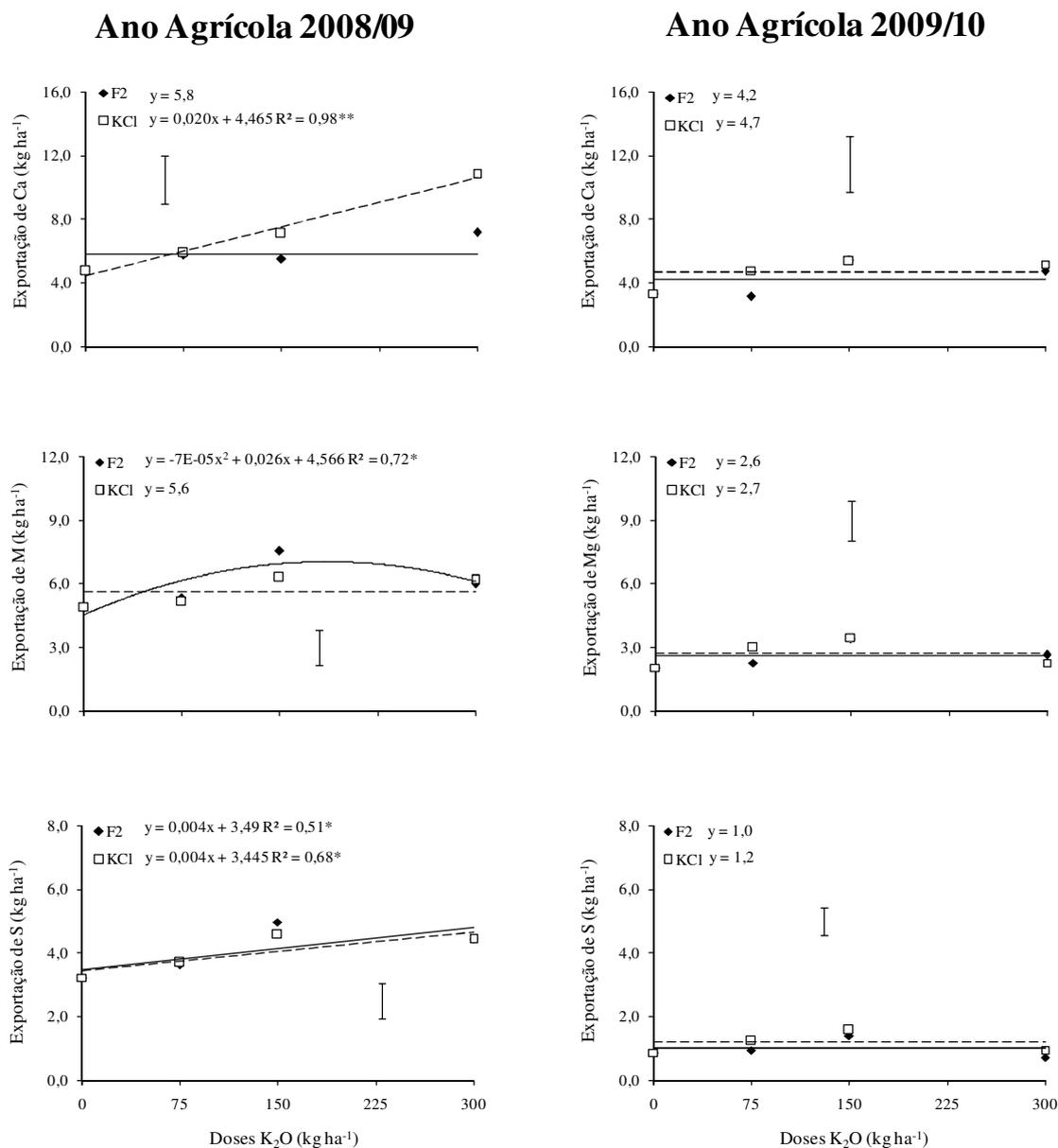


Figura 10. Exportação de Ca, Mg e S pelos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. * é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

5. CONCLUSÕES

A cultura do café responde ao aumento das doses de K, independentemente da fonte utilizada.

A aplicação da rocha fonolito moída F2 aumenta o teor de Si nas folhas da cultura do café.

A aplicação da rocha fonolito moída F2 aumenta a produtividade de café em coco, com incrementos semelhantes aos proporcionados pelo KCl na dose de K₂O recomendada para a cultura.

As maiores produtividades de grãos de café em coco são obtidas com a dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O, independentemente da fonte utilizada.

A aplicação de K aumenta a exportação de macronutrientes pela cultura do café, especialmente em ano de maior produtividade.

A rocha fonolito moída F2 é eficiente em fornecer K para a cultura do café.

6. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ VIEGAS, V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- AMARAL, D. R. et al. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 33, n. 6, p. 425-431, 2008.
- AMORIM, H. V. et al. Estudos sobre alimentação mineral do cafeeiro. XXVII. Efeito da adubação N, P e K no teor de macro e micro nutrientes do fruto e na qualidade da bebida do café. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 30, n. 3, p. 323-333, 1973.
- ARCILA-PULGARIN, J.; VALÊNCIA-ARISTIZÁBAL, G. Relación entre la actividad de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y las pruebas de catación como medidas de la calidad de la bebida del café. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 26, n. 1, p. 55-71, 1975.
- ARGOLLO FERRÃO, A. M. **Arquitetura do café**. Campinas: Ed. Unicamp, 2004. 296 p.
- ARZOLLA, S. et al. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro, X. Extração de macronutrientes na colheita pelas variedades Mundo Novo, Caturra e Bourbon Amarelo. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 20, n. 1, p. 41-52, 1963.

BARBOSA FILHO, M. P. Adubação potássica. In:_____. **Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 64-66.

BARNES, J. S.; KAMPRATH, E. J. **Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils**. Raleigh: North Carolina State University, 1975. 23 p. (Technical Bulletin, 229).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Cadeia de fertilizantes. Relatório Técnico 75: Perfil dos Fertilizantes N, P e K. 2009**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P49_RT75_Perfil_dos_Fertilizantes_N-P-K.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2012.

BUITRAGO, J. H. L.; FERNANDEZ-BORRERO, O. Esporulacion “in vitro” de *Cercospora coffeicola* Berk & Cooke. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 33, n. 1, p. 3-14, 1982.

CARVAJAL, J. F. **Cafeto: cultivo y fertilización**. Berna: Instituto Internacional de La Potassa, 1984. 254 p.

CASTAÑO, A. J. J. Mancha de hierro del cafeto. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 82, n. 3, p. 313-327, 1956.

CATANI, R. A. et al. A absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo cafeeiro aos dez anos de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 22, n. 1, p. 81-89, 1965.

CATANI, R. A. et al. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 24, n. 2, p. 249-263, 1967.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. L. Doenças e nematóides em cafeeiros. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Org.). **Cafeicultura**. Lavras: UFLA, 2002. p. 262-276.

CLEMENTE, J. M. **Nutrição nitrogenada e potássica afetando crescimento, produção, composição química e qualidade da bebida de *Coffea arabica* L.** 2010. 52 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras: PETROBRÁS, 1989. 159 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira. Café Safra 2011: quarta estimativa**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>

gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_21_14_32_37_boletim_cafe_-_dezembro_-_2011.pdf >. Acesso em: 22 dez. 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário mineral 2010.**

Disponível em:

<http://www.dnpm.gov.br/sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=5485>. Acesso em: 15 nov. 2011.

EATON, F. M. Chlorine. In: CHAPMAN, H. D. **Diagnostic criteria for plants and soils.** California: Division of Agricultural Sciences, 1966. p. 93-135.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 39, n. 6, p. 1118-1119, 1991.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives.** New York: John Wiley, 1972. 412 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** Londrina: Planta, 2006. 401 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227 p.

FAZUOLI, L. C. Resistance and tolerance of coffee to the root-knot nematode species *Meloidogyne exigua* and *M. incognita*. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA PROTECTION DES CULTURES TROPICALES, 1981, Lyon. **Abstracts...** Lyon: Fondation Scientifique de Lyon et du Sud.-Est, 1981. p. 57.

FURLANI, A. M. C.; MORAES, F. R. P.; FRANCO, C. M. Efeitos da aplicação de cloreto e sulfato de potássio na nutrição do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 2, p. 349-364, 1976.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GOUNY, P. Observaciones sobre el comportamiento del vegetal en presencia de ions de cloro. **Revista de La Potassa**, Berna, v. 45, n. 5, p. 1-14, 1973.

GREENWELL, B. **Canadian minerals yearbook: general review.** Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/mms/cmmy/content/1999/01.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

GUNES, A. et al. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 164, n. 6, p. 807-811, 2007a.

GUNES, A. et al. Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, London, v. 2, n. 2, p. 105-113, 2007b.

GUNES, A. et al. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, London, v. 39, n. 13, p. 1885-1903, 2008.

HATTORI, T. et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Tokyo, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.

HIROCE, R. Diagnose foliar em cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN J. A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1981. p. 117-137.

HOFFMANN, C. R. et al. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 79-86, 1995.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Café**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/Cafe.htm>. Acesso em: 10 out. 2011.

JAYARAMA, R. P.; ALWAR, A.; NAIDU, R. 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.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 02).

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; RIBEIRO, R. C. C. Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio. Breve síntese conceitual. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 149-165.

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica*, L.)**. 1991. 131 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

LIDE, D. R. **Handbook of chemistry and physics**. New York: CRC Press, 1994. 2608 p.

LIMA FILHO, O. F.; MALAVOLTA, E. Studies on the mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuai Vermelho). LXIV. Remobilization and reutilization of

nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 3, p. 81-490, 2003.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, 1994. 168 p. (Manual Técnico, 40).

LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFÓS, 1983. 162 p.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 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: POTAFÓS, 1986. p. 136-274.

MALAVOLTA, E. Potássio: absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS, 2005, p. 179-238.

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores o cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo Novo. **Turrialba**, San José, v. 13, n. 3, p. 188-189, 1963.

MALAVOLTA, E. et al. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: _____. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. p. 203-255.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 308 p.

- MARSCHNER, H. **Nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTIN, P. Long-distance transport and distribution of potassium in crop plants. Methods of K research in plants. In: COLLEGE OF INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 21., 1989, Berna. **Proceedings...** Berna: International Potash Institute, 1989. p. 83-100.
- MASON, B. H. **Princípios de geoquímica**. São Paulo: Polígono, 1971. 381 p.
- MATIELLO, J. B. **Sistemas de produção na cafeicultura moderna**. Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1995. 102 p.
- MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Controle associado de doenças do cafeeiro. **Correio Agrícola**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 25-27, 1997.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2010. 542 p.
- MELAMED, R.; GASPAR, J. C., MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 385-395.
- N'GORAN, K. Effets du chlore sur le comportement de quelques clones de caféis robusta sur le littoral Ivoirien. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 13., 1989, Paipa. **Proceedings...** Paris: ASIC, 1990. p. 564-572.
- NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação de potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS, 2005. p. 93-118.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V. O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 305-335.
- NEIVA, L. C. S. **Influência do potássio sobre a economia de água de quatro cultivares de arroz submetidos a déficit hídrico**. 1977. 45 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1977.
- NOGUEIRA, A. M. M. **Características fisiológicas e de produtividade de linhagens das cultivares Catuaí Vermelho e Amarelo de *Coffea arabica* L. plantadas individualmente ou em combinações**. 2003. 50 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

NOGUEIRA, F. D.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Adubação potássica do cafeeiro**. Washington, DC: SOPIB, 2001. 81 p.

OLIVEIRA, J. A.; PEREIRA, J. E. Efeito da adubação nitrogenada e potássica na formação e produção do cafeeiro em LVHd. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1987. p. 133-136.

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.

PEREIRA, S. C. et al. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 223-230, 2009.

RAIJ, B. van. A fertilização do cafeeiro no Brasil e o desenvolvimento sustentável. In: ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: Ed. UFV 2007. p. 61-82.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284 p.

RAIJ, B. van et al. Café. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101 (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V. et al. **Rochas moídas como fontes de potássio para o milho em solo de Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 20 p. (Boletim de Pesquisa, 162).

ROSSETTI, R. P. **Determinação de fenóis totais em frutos do café: avaliações em diferentes fases de maturação**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SAES, M. S. M.; JAYO, M. Competitividade do sistema agroindustrial do café. In: FARINA, E. M. M. Q.; ZYLBERSZTAJN, D. **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: USP, 1998. p. 3,9,136.

SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L. H.; PEREIRA, E. M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: SDR; PROCAFÉ; EMBRAPA; DENAC; CATI, 1996. p. 180-184.

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

SILVA, E. B. et al. Respostas do cafeeiro à adubação potássica para baixa e alta produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1331-1337, 2001a.

SILVA, E. B. et al. Fontes e doses de potássio na produção do cafeeiro cultivado sobre Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 288-289, 2001b.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

VIANA, A. S. et al. Estudo de níveis e relação N/K em cafeeiros plantados em solo LE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985a. p. 139-142.

VIANA, A. S. et al. Níveis e relação N/K em cafezais plantados em espaçamento 2x1 m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985b. p. 66-69.

VIANA, A. S. et al. Doses de parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985c. p. 146-148.

ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 234 p.

ZEHLER, E.; KREIPE, H.; GETHING, P. A. **Sulfato de potássio e cloreto de potássio: sua influência na produção e na qualidade das plantas cultivadas**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 111 p.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Amsterdam, v. 167, n. 3, p. 527-533, 2004.