

ESCOLA AGROTÉCNICA FEDERAL DE MUZAMBINHO
Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura

HERNANE DE SOUZA

**TEORES E CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E
MAGNÉSIO NO CAFEEIRO RECEPADO EM
FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE P₂O₅**

Muzambinho
2008

HERNANE DE SOUZA

**TEORES E CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E
MAGNÉSIO NO CAFEEIRO RECEPADO EM
FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE P₂O₅**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Graduação do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura, da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Cafeicultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bregagnoli

**Muzambinho
2008**

COMISSÃO EXAMINADORA

MARCELO BREGAGNOLI

LUIZ AUGUSTO GRATIERI

JOSÉ MAURO COSTA MONTEIRO

Muzambinho, 09 de dezembro 2008.

DEDICATÓRIA

Em primeiro lugar, a Deus e a minha Santa Nossa Senhora Aparecida, por me iluminar e me conduzir. Aos meus pais Antonio e Lucemar, pelo exemplo de vida e dedicação na minha educação. Meus irmãos Fabiana, Antonio e a minha namorada Alene que sempre me apoiaram e ajudaram em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Dr. Marcelo Bregagnoli pela orientação dedicada e competente, além da amizade; que contribui vastamente não só para realização deste trabalho, mas também para o grande estímulo à minha formação profissional.

Ao professor Dr. José Mauro Costa Monteiro na ajuda pelo cálculo e análise estatística e ao professor Luiz Augusto Gratieri, ambos contribuíram muito para realização desse trabalho.

Aos professores Celso Antônio Spaggiari Souza, Bianca Sarzi de Souza, Eduardo Lima de Souza, Francisco Vitor de Paula, Roseli dos Reis Goulart, Anna Lygia de Rezende Maciel; pela amizade, conhecimento compartilhado e ajuda para formação profissional e acadêmica.

Em especial ao professor Dr. Antonio Decarlos Neto, pelas idéias que contribuíram para a evolução do curso.

Aos professores, Yara, Márcio Maltarolli, Clécio Ribeiro, Maria Célia Ruiz, Virgílio Anastácio, Alessandra Sandi, José Marcos Angélico, Luciana Lopes e Maria Joaquina Moterani.

Aos funcionários da Biblioteca Monteiro e Lobato: Ana Maria Silva Salomão, Carlos Guida Anderson, Suzana Campaneli Tristão, Clarissa Benassi Gonçalves da Costa e José Odair da Trindade.

Aos funcionários do Laboratório de Solos e Análise Foliar: Elaine Cristina Ferreira, Luiz Carlos de Moraes e Camila Márcia de Vasconcelos.

A coordenadora geral de ensino Valéria de Rezende Pereira, pela atenção e por solucionar alguns problemas.

Aos funcionários do SIEC que sempre se mostraram prontos para ajudar e ao professor Hélio Galo Rocha.

A todos os funcionários da EAFMUZ, que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho e para a formação profissional e acadêmica.

Aos meus colegas e alguns grandes amigos de sala, que contribuíram para a realização desse trabalho e formação profissional e acadêmica.

A empresa Mitsui pela doação do Termofosfato para realização do experimento.

Enfim, a todas as pessoas que me apoiaram e ajudaram o meu muito obrigado.

***“O saber não se dilui ao ser
compartilhado, mantém, a
mesma concentração.”***

Zilmar Ziller Marcos

SOUZA, Hernane de. **Teores e concentrações de cálcio e magnésio no cafeeiro recepado em função de doses e fontes de P_2O_5** . 2008. 51 f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, 2008.

RESUMO

O Brasil destaca-se no cenário mundial da cafeicultura como maior produtor, fato de grande importância sócio-econômica para o país e apesar das práticas e dos tratamentos culturais já estarem bem definidas, muitos aspectos da cultura ainda carecem esclarecimentos, destacando-se entre eles a nutrição fosfatada do cafeeiro. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho Eutrófico, no período de setembro de 2007 a outubro de 2008, Município de Guaxupé (MG), com o objetivo avaliar a influência das dosagens e fonte de P_2O_5 em relação aos teores e concentrações de cálcio e magnésio, foliares e de solo. A variedade utilizada foi o Mundo Novo IAC 379-19, espaçamento 4 x 1,5 m, com 44 anos, recém-recepado, mantendo-se de 4 a 5 brotos por cova. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por 6 plantas, para análises utilizou-se as 4 plantas centrais. Os tratamentos utilizados variaram com a dosagem e fonte de P_2O_5 em $Kg\ ha^{-1}$, sendo: 0; 53,3; 106,5; 213,0; 426,0; 852,0; 1704,0 de Termofosfato e 400,0 de Superfosfato Simples. Nessas condições experimentais os resultados demonstraram que o Superfosfato Simples é de maior solubilidade e com resultados em menor tempo em relação ao Termofosfato; o Ca e Mg apresentaram baixa mobilidade no solo, com maior concentração na camada de 0 -10 cm; com o aumento da dosagem de Termofosfato que contém Ca e Mg em sua formulação verificou-se aumento crescente da concentração no solo.

PALAVRAS-CHAVE: *coffea arabica*, análise foliar, café, fósforo.

SOUZA, Hernane de. **Levels and concentrations of calcium and magnesium in coffee cut down in terms of doses and sources of P₂O₅**. 2008. 51 f. Work Conclusion of Course Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduation) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, 2008.

ABSTRACT

Brazil stands out as world's largest coffee producer and, indeed of great socio-economic importance for the country and despite the cultural practices and treatment are already well established, many aspects of culture still need clarification, stands out among them the phosphorus nutrition of coffee-tree. The experiment was conducted in a Latosol Red Eutrophic in the period from September 2007 to October 2008, City of Guaxupé (MG), with the objective to assess the influence of the dosing strengths and a source of P₂O₅ in relation to the levels and concentrations of calcium and magnesium, Leaves and soil. The variety used was the Mundo Novo IAC 379-19, 4 x 1.5 m spacing, with 44 years, newly cut down, keeping 4 to 5 shoots per hole. The experimental marking out was a casually block with eight treatments and four repetitions. The experimental plots were consisted for 6 plants, for testing the 4 central plants. The treatments used varied with the dose and source of P₂O₅ in Kg ha⁻¹, where: 0; 53,3; 106,5; 213,0; 426,0; 852,0; 1704,0 of thermophosphate and 400,0 of single superphosphate. In these experimental conditions the results showed that the single superphosphate is the largest solubility and as results in less time in relation at thermophosphate; the calcium and magnesium showed low mobility in soil, with greater concentration in the layer of 0 -10 cm; with increasing dosing of thermophosphate that contains calcium and magnesium in its formulation it was found increasing concentration in the soil.

Key words: coffea arabica, leaf analysis, coffee, phosphorus.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. NUTRIÇÃO MINERAL DO CAFEIEIRO	13
2.1.1. <i>Fósforo</i>	14
2.1.1.1. Aspectos gerais	14
2.1.1.2. Formas no solo: transformações e ciclos.....	15
2.1.1.3. Absorção	16
2.1.1.4. Fósforo na planta.....	17
2.1.1.5. Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso	17
2.1.1.6. Funções	18
2.1.1.7. Formação da colheita	20
2.1.1.8. Fósforo em cafeeiros	20
2.1.2. <i>Cálcio</i>	22
2.1.2.1. Aspectos gerais	22
2.1.2.2. Formas e transformações no solo	22
2.1.2.3. Absorção	23
2.1.2.4. Transporte	24
2.1.2.5. Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso	24
2.1.2.6. Funções	26
2.1.2.7. Formação da colheita	28
2.1.2.8. Cálcio em cafeeiros	28
2.1.3. <i>Magnésio</i>	29
2.1.3.1. Aspectos gerais	29
2.1.3.2. Magnésio no solo: origem e formas	30
2.1.3.3. Absorção	30
2.1.3.4. Transporte	31
2.1.3.5. Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso	31
2.1.3.6. Funções	32
2.1.3.7. Formação da colheita	33
2.1.3.8. Magnésio no cafeeiro	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO	35
3.2. VARIEDADE E ÁREA EXPERIMENTAL	36
3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	36
3.4. PRÁTICAS CULTURAIS	37
3.5. AVALIAÇÕES	38
3.5.1. <i>Análise do teor foliar dos elementos</i>	38
3.5.2. <i>Análise de nutrientes no solo</i>	38
3.5.3. <i>Análise estatística</i>	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Lavoura a ser recepada. Guaxupé – MG	36
FIGURA 2 - Lavoura recém recepada. Guaxupé - MG.....	36
FIGURA 3 - Visão geral do experimento. Guaxupé - MG.....	37
FIGURA 4 - Correlação entre teor foliar de Ca e Mg em brotos de cafeeiro recepado aos 120 (daa)	41
FIGURA 5 - Correlação entre teor foliar de Ca e Mg em brotos de cafeeiro recepado aos 350 (daa)	42
FIGURA 6 - Correlação entre Ca e Mg em solo cafeeiro aos 300 (daa) de 0 -10 cm	44
FIGURA 7 - Correlação entre Ca e Mg em solo cafeeiro aos 300 (daa) de 10 - 20 cm	44

INTRODUÇÃO

Um dos fatores que tem contribuído, significativamente, para a baixa produtividade agrícola brasileira é o manejo inadequado dos fatores edáficos, especialmente, relacionados à nutrição e adubação do cafeeiro, devido à ação antrópica e ao enorme desgaste natural do solo, ocasionando desequilíbrio entre os nutrientes.

Em solos originariamente férteis, por várias décadas de cultivos e a exploração de áreas novas com solos de baixa fertilidade natural, sem reposição de nutrientes, tornam a agricultura dependente de forma crescente e irreversível de aplicações maciças de fertilizantes, que são essenciais para o aumento e a sustentação da produtividade das culturas. Contudo, os grandes aumentos verificados nos últimos anos nos custos desses insumos, têm uma maior participação no custo de produção das explorações agrícolas. Objetivando evitar desperdícios e traduzir a aplicação de fertilizantes em máximo benefício para o agricultor, surge a necessidade do aprimoramento das técnicas de diagnose da deficiência de nutrientes nos solos (RAIJ; ROSAND; LOBATO, 1982).

O fósforo (P) é limitante da produtividade das culturas em solos tropicais. Os solos brasileiros são deficientes em P, em consequência do material de origem e da forte interação com o solo. Em solos intemperizados, a aplicação de doses elevadas é justificada pela intensa fixação desse elemento, ocasionando baixo conteúdo de P disponível (BULL et al., 1998; NOVAIS; SMYTH, 1999 apud CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLÉM, C. A; 2004).

Para o bom desenvolvimento das culturas são necessárias quantidades muito maiores de fósforo do que aquelas que as culturas retiram. Solos das regiões tropicais “fixam” fósforo no solo e requerem a aplicação de elevadas quantidades. Em solos muito deficientes a aplicação de adubos fosfatados solúveis minimiza a “fixação”, mas não é suficiente para produções elevadas, porque apenas uma pequena parte das raízes ficam em contato com adubo, que se move pouco (LOPES; VASCONCELLOS; NOVAIS, 1982).

São variados os efeitos do Ca no crescimento e desenvolvimento da planta, atua como modelador da ação dos hormônios vegetais regulando a germinação e o crescimento; retarda o amadurecimento e a senescência, abscisão de folhas e frutos; devido à sua interação com hormônios melhora a qualidade de frutos; altera a

resposta geotrópica, a fotossíntese e processos como a divisão celular, movimentos citoplasmáticos, volume da célula e algumas desordens fisiológicas (MALAVOLTA, 2006; DECHEN, NACHTIGALL, 2007).

A maior contribuição do Mg na planta é como constituinte da molécula da clorofila, que são porfirinas magnesianas. Participa de uma série de processos vitais na planta que requerem e fornecem energia como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica, na ativação de muitas enzimas, importante papel na regulação do pH celular e no balanço cátion-ânion (PREZOTTI, 2001; FAQUIM, 2005).

O presente trabalho utilizou café recém-receitado com o objetivo de avaliar a influência das dosagens e fonte de P_2O_5 em relação aos teores e concentrações cálcio e magnésio, foliares e de solo.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Nutrição mineral do cafeeiro

O uso de fertilizantes minerais é absolutamente necessário para a agricultura, existindo uma estreita relação entre a produção agrícola e o consumo dos três principais nutrientes, nitrogênio(N), fósforo(P) e potássio(K). No cafeeiro a aplicação é feita especialmente por adubos minerais, suprimindo os três macronutrientes primários, N, P e K, além de macronutrientes secundários e micronutrientes (RAIJ, 2006).

Para a produção de 2000 kg de café em coco, cultivar Mundo Novo, a quantidade de nutrientes remobilizadas pelos frutos do cafeeiro foi de: 17,6 kg de N; 1,8 kg de P; 22,2 kg de K; 2,1 kg de cálcio (Ca); 1,4kg de magnésio (Mg) e 1,2 kg de enxofre (S) (CATANI et al., 1965 apud VALARINI, 2005).

Numa gleba de Mundo Novo com espaçamento 3,50 x 1,50 m com 3-4 hastes por cova e que produzira 53 sacas beneficiadas ha⁻¹, realizaram diversos tipos de podas e analisaram o material podado, concluíram que os macronutrientes são exportados pela poda na ordem decrescente são: N>K>Ca>Mg>P>S (GARCIA et al., 1986 apud MALAVOLTA, 1993).

A cultura do cafeeiro depende de um conjunto de fatores para alcançar níveis adequados de produtividade. Existe uma tendência no aumento da produção por unidade de área na cafeicultura brasileira, embora o rendimento baixo quando comparado com o obtido em outras regiões cafeeiras do mundo. Portanto, é fundamental que conheçamos as causas prováveis da baixa produtividade dos cafezais brasileiros, como, existência de lavouras decadentes; falta ou inadequado controle de pragas e doenças; pequeno número de plantas por hectare; falta de manejo correto de podas; falta ou inadequação da calagem e adubação (MALAVOLTA, 1986; GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Na cultura do cafeeiro no aspecto da adubação destacam-se como manejos incorretos as adubações insuficientes e desequilibradas; negligência no uso de Ca, Mg e S devido à tendência de usar formulações concentradas com N, P e K; a proporção dos elementos contidos nos fertilizantes formulados nem sempre é a mais conveniente; micronutrientes, principalmente, boro (B), zinco (Zn) e cobre (Cu) não são aplicados ou mal empregados; a calagem quando não é feita, praticada de

modo inadequado, insuficiente ou calcário de má qualidade (MALAVOLTA, 1986; GUIMARÃES; MENDES, 1997).

De acordo com algumas considerações numéricas, admiti-se para 1,0 t de café beneficiado, correspondente a 2,0 t de café em coco, a extração em Kg t.⁻¹, de 34 kg de N, 8 kg de P₂O₅ e 62 kg de K₂O. As quantidades médias de nutrientes utilizados na cultura do café em 2000, no Brasil, foram de 114 de N, 24 P₂O₅ e 92 de K₂O, totalizando 230 Kg ha⁻¹ (RAIJ, 2006).

Os cafezais brasileiros recebem em torno de 30% da quantidade de adubos que deveriam receber, porém, absorve 18,5% do total de fertilizantes consumidos no país; 28,5% do N, 8,6% do P₂O₅ e 25,6 % do K₂O (MALAVOLTA, 1986).

Levantamentos da década de 80, em cafezais de São Paulo e do Sul de Minas, através de análise de solo e foliar em comparação com os padrões considerados adequados, observaram-se as deficiências mais comuns foram Mg, Ca e Zn e em segundo plano N, B e K. O P e o Cu mostraram mais deficientes nas lavouras em formação e o S raramente mostrou-se deficiente. Em muitas lavouras, a acidez potencial (H+ Al) não estava devidamente corrigida e juntamente com os baixos teores de Ca, Mg e K, com índice de saturação de bases inferior ao ideal para o cafeeiro. Por outro lado, foram encontradas áreas com correções excessivas, com pH acima de 6,0 e índice de saturação de bases superior a 80%, onde ocorrem menor disponibilidade e carências graves de Mn (manganês), Fe (ferro), Zn, B e Cu (MATIELLO et al., 2005).

Em contrapartida, análises foliares realizadas no Sul de Minas, em 1999, mostraram entre os macronutrientes, maior frequência da falta de P (62%), Mg (58%) e K (30%) e, entre os micronutrientes, Zn (54%) e B (13%) (MATIELLO et al., 2005).

2.1.1. Fósforo

2.1.1.1. Aspectos gerais

O P é o macronutriente primário menos exigido em quantidade pelas plantas, porém o mais usado em adubação no Brasil, nas regiões tropicais e subtropicais. É o elemento, cuja falta no solo frequentemente limita a produção. Apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada (FAQUIM, 2005).

Com o aumento no suprimento de P no solo de uma condição de deficiência até adequada disponibilidade, verifica-se que as principais frações de P contidas em órgãos vegetativos das plantas também aumentaram (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Existem várias indagações acerca do P, como sua importância para a vida da planta, do animal e do homem que comem planta transformada; a frequência com que limita a produção, particularmente nos tópicos (SANCHEZ; SALINAS, 1981, apud MALAVOLTA, 2006); o fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível.

2.1.1.2. Formas no solo: transformações e ciclos

O teor total de P na litosfera é de $2,8 \text{ kg}^{-1}$ de P_2O_5 ; contudo, muitos solos contêm de 0,2 a $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ de P. O P encontra-se em compostos que estão distribuídos em muitas rochas, minerais, plantas e animais (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

As quantidades de P nos solos brasileiros, na profundidade de 0-20 cm, variam entre 0,005 e 0,2%, o que corresponde a 110 e 4400 kg ha^{-1} de P (MALAVOLTA, 2006).

A remoção de P do solo ocorre pela extração da cultura, erosão e, despresivelmente, mesmo em condição de solo arenoso, por lixiviação (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

O P aparece na forma orgânica e mineral. O P orgânico ocorre em teores proporcionais à matéria orgânica, predominando os componentes de fosfatos de inositol, fosfolípidos e ácidos nucleicos. Na forma mineral, a proporção dos compostos inorgânicos de P com Fe, Al (alumínio) e Ca são consideradas pelo pH e pelo tipo e quantidades de minerais existentes na fração argila. Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de Fe e Al, são mais importantes as combinações de P-Fe e P-Al (FAQUIM, 2005).

A “fixação” do P no solo envolve dois processos: adsorção e imobilização. A adsorção ocorre quando se adicionam fosfatos solúveis, que ao reagirem são adsorvidos pelos colóides passando a constituir o P lábil (reservatório desse elemento no solo), equilibrando o P da solução do solo. Com o tempo, o P lábil vai transformando-se gradativamente em P não-lábil ou imobilizado, a velocidade dessa transformação depende das propriedades químicas e físicas do solo e os mecanismos de transformação são pouco esclarecidos. Para minimizar os efeitos da

“fixação” é prática corrente a aplicação localizada dos fosfatos solúveis em água, de modo a diminuir o contato com o solo e atenuar assim as reações antes referidas (RAIJ; ROSAND; LOBATO, 1982).

Nos solos ácidos em que se faz a calagem, elevando o pH e introduzindo Ca no meio, ocorre também a formação de P-Ca e, talvez P-apatita. As formas de P que compõe o solo estão em equilíbrio. Do ponto de vista do aproveitamento pelas plantas, o pH parece ser a variável com maior influência na disponibilidade. Os produtos da fixação dependem da reação do solo (MALAVOLTA, 2006).

2.1.1.3. Absorção

As plantas absorvem a maior parte do P como o ânion monovalente-ortofosfato biácido (H_2PO_4^-), e em menor proporção, o ânion bivalente-ortofosfato monoácido (HPO_4^{2-}). O pH influi na proporção que estas duas formas de P estão disponíveis para absorção pela planta. As plantas podem utilizar outras formas de P, mas em menores quantidades do que o ortofosfato (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Em condições de pH do solo ou substrato abaixo de 7,0 o H_2PO_4^- é o íon predominante absorvido. Com o aumento do pH aumentado, ainda dentro da faixa biológica, há pouco H_2PO_4^- devido à segunda dissociação do H_3PO_4^- e mesmo assim há absorção (BIELESKI; FERGUSON, 1983 apud MALAVOLTA, 2006).

A absorção iônica radicular ou processo de passagem de um íon M, da fase sólida para a interface solução-raiz dos adubos contendo P, se dá por difusão e devido a seu pequeno movimento no solo, o adubo deve ser distribuído de maneira que seja garantido um maior contato com a raiz, caso contrário, a necessidade da planta podem não ser satisfeita se apenas uma fração do sistema radicular receber P (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A concentração de fosfato nas células radiculares e na seiva do xilema é de 100 a 1.000 vezes maior do que a solução do solo, evidenciando que a absorção de fosfato dá se contra um alto gradiente de concentração, absorvido ativamente. Devido à locomoção do P no solo por difusão, as micorrizas favorecem o aumento da superfície absorvente e o volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas, promovendo maior absorção do H_2PO_4^- (FAQUIM, 2005).

O Mg apresenta um efeito sinérgico na absorção de P. O sinérgismo ocorre quando a presença de um dado elemento aumenta a absorção do íon em

questão, com exemplo o íon H_2PO_4^- e o segundo íon presente Mg^{+2} (MALAVOLTA, 1980 apud GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.1.4. Fósforo na planta

Os teores de P nas plantas variam de 0,5 a 3,0 g kg⁻¹ de matéria seca da planta, considerando-se teores entre 1,0 a 1,5 g kg⁻¹ como adequados para um crescimento normal das plantas. Plantas deficientes apresentam teores foliares menores do que 1,0 g kg⁻¹, enquanto acima de 3,0 g kg⁻¹ podem-se observar sintomas de toxidez (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS & JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004 apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Todo o P na planta e no solo está presente como fosfato, livre ou esterificado através de um grupo hidroxila a uma cadeia carbônica (C-O-P) na forma de ésteres simples ou ligada a outro radical fosfato por uma ligação de pirofosfato, presente nos nucleotídeos di e trifosfatados e em polifosfatados (MALAVOLTA, 2006).

O P aparece na planta na forma inorgânica e orgânica. Na forma inorgânica (Pi), aparece como ortofosfato e em menor quantidade como pirofosfato (P-P) e representam uma proporção relativamente alta em relação ao P total no tecido. As formas orgânicas de P na planta são compostas nos quais o ortofosfato é esterificado a hidroxilas de açúcares e álcoois ou pirofosfato ligado a outro grupo fosfato. Em plantas com suprimento inadequado, os valores de Pi são diminuídos enquanto que os de P orgânico permanecem praticamente inalterados (FAQUIM, 2005).

O fosfato é bastante móvel na planta, redistribuído com facilidade pelo floema, na forma de fosforil colina. O P inorgânico (Pi) é presente também no floema em substancial concentração. Quando as plantas estão adequadamente nutridas em P, 85% a 95% do P inorgânico total da planta está localizado nos vacúolos. Em casos de redução no suprimento para as plantas, este Pi sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos novos em crescimento (FAQUIM, 2005).

2.1.1.5. Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso

Partes da exigência para o crescimento e produção são satisfeitas pela mobilização das reservas de P. O P é facilmente redistribuído, em condições de

carência os sintomas aparecem primeiro em órgãos mais velhos dos quais os elementos migram para as partes mais novas (MALAVOLTA, 2006).

Os sintomas de deficiência são mais comuns em regiões altas e frias, inicialmente ocorre perda de brilho das folhas, que em seguida mudam de cor na seguinte seqüência: amarelo brilhante, amarelo róseo, vermelho escuro e marrom arroxado, na ponta e margens das folhas. Em casos mais graves pode causar queda prematura das folhas que pode ser total. Sintomas de toxidez não são descritos na literatura disponível (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Sintomas de deficiência caracterizam-se por manchas amareladas nas folhas e depois pardas ou violáceas e irregulares nas pontas e margens. O excesso é representado pela deficiência de Zn induzida (MALAVOLTA, 1993).

São raros os sintomas de excesso de P, contudo, plantas sensíveis podem manifestar sintomas em condições cuja concentração nas folhas seja superior a 3 g kg⁻¹. Nestas condições, ocorrem manchas vermelho-escuras nas folhas mais velhas. Deficiência de Zn em solos ricos em P pode provocar a absorção e acúmulo de P em excesso promovendo sintomas semelhantes aos da deficiência de Zn (MALAVOLTA, 2004 apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

2.1.1.6. Funções

O P desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, importante na transferência de energia como parte do trifosfato de adenosina (ATP), componente de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos e substratos metabólicos. Promove a rápida formação e crescimento das raízes, melhora a qualidade dos frutos, sendo vital à formação da semente, bem como está envolvido na transferência de características hereditárias (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Uma característica da ligação de éster fosfato e ainda mais da de pirofosfato é que possuem uma alta energia livre negativa de hidrólise, sob o controle de vários sistemas enzimáticos; o rompimento exergônico dessa ligação pode estar acoplado a processos endergônicos que necessitam de introdução de energia-da absorção iônica a reações de síntese, como a da cadeia polipeptídica de todas as proteínas. Daí explica-se o dizer que o principal papel do P na planta (e nos demais seres vivos) é o de armazenar e transferir energia (MALAVOLTA, 2006).

A síntese das ligações altamente energéticas do ATP se processa nas reações de fosforilação, ao nível de substrato - que ocorre na fase anaeróbica da respiração, a glicólise; oxidativa - associada ao transporte de elétrons na fase aeróbica da respiração na cadeia respiratória; fotossintética-cíclica e acíclica, no transporte eletrônico na fotossíntese. A energia armazenada no ATP é utilizada nos processos endergônicos do metabolismo, citando-se como exemplo a absorção iônica ativa, síntese de vários compostos orgânicos como o amido, gorduras e proteínas (FAQUIM, 2005).

O ATP, embora seja o principal composto fosforilado rico em energia, a sua energia pode ser transferida para outras coenzimas, as quais diferem do ATP somente na base nitrogenada como, por exemplo, uridina trifosfato (UTP), guanosina trifosfato (GTP), citidina trifosfato (CTP), as quais são requeridas para a síntese de sacarose, celulose e fosfolipídeos, respectivamente. Todos estes nucleotídeos trifosfatos (ATP, UTP, GTP, CTP e TTP-tiamina trifosfato) também são envolvidos na síntese dos ácidos nucleicos, o ácido ribonucléico (RNA) e desoxiribonucleico (DNA) (FAQUIM, 2005).

O P inorgânico (Pi) apresenta importante função no metabolismo da planta, principalmente no controle da atividade enzimática. No citoplasma tem uma função regulatória da atividade de várias enzimas, como a fosfofrutoquinase, enzima chave no fluxo do substrato da via glicolítica (FAQUIM, 2005).

Classificam os compostos de P da célula vegetal em cinco grupos: (BIELESKI; FERGUSON, 1983 apud MALAVOLTA, 2006).

(A) Fosfato inorgânico, Pi. O mais importante dos compostos considerados isoladamente, mas o que aparece em proporção mais variável em relação ao total.

(B) Ésteres simples. Quase 70% de P na fração dos ésteres estão contidos em 9 compostos: glicose-6-P, frutose-6-P e manose-6-P (20%, 6% e 4%); ATP e ADP (10% e 3%); UTP (trifosfato de uridina), UDP (difosfato de uridina) e UDPG (difosfato de uridina e glicose), 4%, 5% e 9%; 3-PGA (ácido 3 fosfoglicérico, 8%).

(C) Fosfolipídeos. Os principais fosfolipídeos são fosfatidil colina, fosfatidil etanolamina, fosfatidil glicerol, fosfatidil inositol (ácido fítico) e fosfatidil serina. Fosfolipídeos estão presentes nas membranas celulares e nos tilacóides, representam 40% do total de fosfolipídeos das células fotossintéticas.

(D) Ácido desoxiribonucleico (DNA). O DNA é uma macromolécula responsável por carregar a informação genética da célula.

(E) Ácido ribonucléico (RNA). No RNA transferidor, tRNA, o fosfato terminal tem a função de fornecimento de energia como carregador e ativador de aminoácidos. O RNA está envolvido na transladação da informação genética (via mRNA, RNA mensageiro) e na síntese de proteína.

2.1.1.7. Formação da colheita

O processo global de formação da colheita se baseia nas funções do P para compor os lipídeos do plasmalema e do tonoplasto, passagem obrigatória dos nutrientes no processo de absorção nas raízes e nas folhas; armazenamento de energia na fotossíntese e respiração; utilização da energia para reações de síntese de proteínas, FBN (fixação biológica de nitrogênio); acelera a formação das raízes e é essencial para o seu funcionamento como apoio mecânico e órgão de absorção da água e de íons; maior pegamento da florada e maior frutificação; regulador de maturação; maior viabilidade das sementes; maior teor de carboidratos, óleo, gordura e proteínas; quando deficiente causa menor vegetação e produção, qualidade e senescência precoce. A transferência dos caracteres genotípicos da planta com suas manifestações externas (fenótipo) que dependem do ambiente (MALAVOLTA, 2006).

2.1.1.8. Fósforo em cafeeiros

O P é considerado poluente quando em excesso na água, sendo objetivo de um grande número de trabalhos ligados à eutroficação das águas superficiais, não preocupante no caso do café. Além das baixas aplicações, o elemento é fortemente adsorvido ao solo, de modo que aplicações em quantidades acima das removidas pelas colheitas são inclusive necessárias para manter a produtividade em longo prazo (RAIJ, 2006).

Em culturas perenes como o cafeeiro, são raros os trabalhos de avaliação de doses de P visando produções econômicas. Uma das causas é que para se obterem resultados experimentais necessitam de anos de trabalho de campo, a maioria dos trabalhos referem-se à fase inicial da cultura, sendo poucos estudos que atingem a fase de produção comercial (LOPES; VASCONCELLOS; NOVAIS, 1982).

Devido às inúmeras funções e processos metabólicos desempenhados a carência de P reflete no menor crescimento das plantas. Como se redistribui

facilmente na planta, os sintomas de deficiência, inicialmente ocorrem nas folhas mais velhas, podendo estas mostrar uma cor amarelada, pouco brilho, cor verde-azulada. No café pode ocorrer uma tonalidade arroxeada (FAQUIM, 2005).

Os sintomas de deficiência de P em cafeeiros adultos ocorrem, inicialmente, nas folhas velhas, que perdem o brilho e apresentam manchas amareladas desuniformes, que evoluem para as cores vermelho-arroxeadas, podendo tomar todo o limbo foliar. No período seco pós-colheita aparecem deficiências mais severas, com manchas marrons e necrose da extremidade da folha que pode tomar mais da metade do limbo, desfolha e redução do sistema radicular fino (MATIELLO et al., 2005).

A exigência, principalmente, na fase adulta da lavoura é pequena, na fase jovem é maior, sendo a maior absorção na época chuvosa e de granação dos frutos. Atua no desenvolvimento do sistema radicular e formação do lenho da planta (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Mudas no viveiro e cafeeiros jovens de até 2,5 anos, a deficiência provoca amarelecimento geral das folhas e ocorrem lesões por cercospora negra, podendo-se observar seca de ramos. O P é um dos nutrientes mais importantes na formação do cafezal, sua deficiência implica no menor desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. O nível foliar adequado situa-se entre 0,12 e 0,15% de P (MATIELLO et al., 2005).

Embora existam controvérsias, a resposta do cafeeiro à adubação fosfatada, têm-se acumulado alguns resultados positivos nos últimos anos. Na formação de cafezais sob solos de Cerrado em Minas Gerais, dados de 5 anos de produção (65/66 a 69/70) mostraram efeito linear até a dose de 120g de P_2O_5 cov a^{-1} ano $^{-1}$ na forma de superfosfato simples (HARA et al 1974; SOUZA; CAIXETA, 1974). Em solos da Zona da Mata, nas três primeiras colheitas ocorreram aumentos na produção de 50 a 148% através da adubação fosfatada com 30g P_2O_5 cov a^{-1} (PEREIRA; BRAGANÇA; PAULINO, 1979). Em Patrocínio num Latossolo Vermelho Escuro, o P mostrou-se como o nutriente de maior importância para o crescimento do cafeeiro até 6 meses após o plantio (SANTINATO et al., 1980). No Sul de Minas Gerais, em Latossolo Vermelho Escuro, foram observadas altas respostas à adubação fosfatada na formação de cafeeiros (GUIMARÃES et al., 1976 apud LOPES; VASCONCELLOS; NOVAIS, 1982).

2.1.2. Cálcio

2.1.2.1. Aspectos gerais

Nas plantas os teores de Ca variam de 5 a 80 g kg⁻¹ da massa seca, considerando-se concentrações entre 10 e 50 g kg⁻¹ como adequadas para um crescimento normal das plantas. Em casos de deficiência apresentam teores foliares menores de 4 g kg⁻¹ (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS e JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004 apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O Ca é um elemento vegetativo, mais abundante nas raízes, folhas e ramos, que nos frutos ou sementes. Sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais novas e várias espécies mostram sintomas no fruto (MALAVOLTA, 2006).

As dicotiledôneas apresentam maior CTC (Capacidade de troca de cátions) na parede celular, sob condições de menor suprimento de Ca mais de 50% do Ca total está ligado aos pectatos. A superfície externa do plasmalema é um local de acúmulo de Ca, devido ao seu papel na manutenção da estrutura e funcionamento das membranas celulares (FAQUIM, 2005).

2.1.2.2. Formas e transformações no solo

Macronutriente secundário, o Ca é o quinto elemento em abundância na litosfera, constituindo-se 3,6% da crosta terrestre. Encontrado na calcita, gesso, conchas de ostras e corais. Os minerais primários mais importantes são a anortita, que contém entre 70 e 140 g Kg⁻¹ de Ca e piroxênios com 90 a 160 g Kg⁻¹ de Ca. Presente também em apatitas, compostos isomorfos de Ca₅(PO₄)₃Fe e Ca₅(PO₄)₃Cl, em fosfatos como o fosfato monocálcio (Ca (H₂PO₄)₂), o dicálcio (CaHPO₄) e o ortofosfato de Ca (Ca₄H (PO₄)₃), que existem principalmente em solos calcários e solos com altos valores de pH. Minerais de argila como illita, vermiculita e montmorilonita, têm na sua constituição baixos teores de Ca (FASSBENDER, 1994 apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

No solo tem sua origem primária nas rochas ígneas, contido em minerais como a dolomita, calcita, feldspatos cálcicos e anfibólios, ocorrendo em rochas sedimentares e metamórficas. Em solos ácidos das regiões úmidas, estes minerais são intemperizados e parte do Ca é perdido por lixiviação. O Ca está adsorvido aos colóides e componentes da matéria orgânica, sob condições de pH elevado pode insolubilizar-se como carbonatos, fosfatos ou sulfato. O Ca disponível às plantas é

aquele adsorvido aos colóides e presente na solução do solo. Os teores de Ca na solução de solos ácidos são bastante baixos (FAQUIM, 2005).

As principais fontes de Ca são os minerais das rochas sedimentares, destacando-se o calcário e a dolomita. As rochas eruptivas podem ser platônicas e efusivas, classificando-se segundo a ordem crescente de Fe, Ca e Mg que possuem: ácidas (pouco Ca e Mg), intermediárias e alcalinas (maior abundância de Ca e Mg); nas rochas metamórficas as transformações petrográficas devidas ao metamorfismo não muda muito a composição, os calcários e as dolomitas dão mármore puros ou com impurezas e margas, mais impuras (MALAVOLTA, 2006).

O Ca é o cátion predominante no complexo de troca, exceto em solos extremamente ácidos onde cede lugar para o Al. A saturação “ideal” por bases seria 65% de Ca, 10% de Mg e 5% de K. A regra geral é simples, Ca alto está associado com Al baixo e Ca baixo consiste com Al alto (CAMBERTO; PAN, 1999, apud MALAVOLTA, 2006). A textura do solo, quantidade de matéria orgânica, lixiviação e remoção pela cultura podem influenciar a disponibilidade no solo (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.2.3. Absorção

A absorção de Ca em contato com a raiz se faz essencialmente, por fluxo de massa, necessitando de maior umidade no solo. Existem dúvidas se a absorção do Ca é dependente do metabolismo ou ativa, sabe-se que a absorção passiva ou ativa depende da concentração externa (MALAVOLTA, 2006).

Na solução do solo é absorvido pelas raízes como Ca^{2+} , com baixa taxa de absorção, por ser absorvido apenas pelas extremidades das radículas radiculares, onde as paredes celulares da endoderme não foram ainda suberizadas. A presença de outros cátions em altas concentrações, como o K^+ , Mg^{2+} e NH_4^+ , diminuem competitivamente a absorção de Ca^{2+} (FAQUIM, 2005).

Relatam-se duas formas pelas quais o Ca pode ser absorvido pelas raízes, o íon Ca^{+2} na solução do solo (ou nutritiva) e o cálcio quelatizado da solução do solo (KIRKBY, 1984 apud MALAVOLTA, 2006).

A maior parte do Ca no tecido vegetal encontra-se sob formas não-solúveis em água, como o pectato de Ca, o principal componente da lamela média da parede

celular, e sais cálcicos de baixa solubilidade, como carbonatos, sulfatos, fosfatos, silicato, citrato, malato e oxalato (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Principais fatores externos que influenciam a absorção são: (A) concentração externa – a curva que decresce a velocidade de absorção em função da concentração externa é a hipérbole equilátera correspondente à equação de Michaelis-Menten; (B) outros íons: concentrações altas de NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} , Al^{+3} , Mn^{+2} diminuem a quantidade absorvida podendo provocar deficiência; (C) íon acompanhante - a absorção segue a ordem decrescente $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$; (D) temperatura - pouco efeito direto, maior indireto devido ao aumento na transpiração, o que prejudica o abastecimento de cálcio para os órgãos que transpiram mais. Além destes, há a influência de gênero, espécies e variedades refletindo em parte exigências maiores (dicotiledôneas) ou menores (monocotiledôneas) (MALAVOLTA, 2006).

2.1.2.4. Transporte

Quando o Ca é aplicado nas folhas é normalmente imóvel, mas pode ser mobilizado mediante saturação de sítios de adsorção por novas quantidades do nutriente, de outros cátions divalentes ou quelatização. O movimento no xilema constitui um fluxo reverso de acordo com gradientes do potencial da água (MALAVOLTA, 2006).

O transporte do Ca ocorre via xilema e em parte no floema, depois de transportado para as folhas se torna imóvel (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O movimento no xilema é acropétalo, isto é, unidirecional via corrente transpiratória das raízes para a parte aérea, muito pouco caminhado na direção contrária para as raízes. O transporte do Ca no xilema se dá por troca iônica, muito importante para o movimento ascendente na planta e é deslocado dos sítios de trocas por outros cátions. Adsorvido a sítios com carga negativa no interior ou nas paredes celulares, sendo o transporte via floema limitado (CLARK, 1984 apud MALAVOLTA, 2006; FAQUIM, 2005).

2.1.2.5. Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso

A taxa de redistribuição do Ca é muito pequena devido sua concentração no floema ser muito baixa. A maior parte no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis em água, representadas por pectatos de cálcio e sais cálcicos de baixa

solubilidade tais como carbonato, sulfato, fosfato, silicato, citrato, malato e oxalato. A baixa solubilidade e a baixa concentração explicam em parte, a pequena redistribuição do elemento em condições de carência, o que provoca o aparecimento de sintomas em órgãos e partes mais novas, gemas e pontas de raízes (FAQUIM, 2005).

A baixa redistribuição do Ca, com imobilidade no floema, se deve predominantemente em muitas espécies de plantas, por formas insolúveis em água, como o pectato da lamela média da parede celular. O Ca pode ser transportado lateralmente para fora do xilema formando cristais insolúveis de oxalato, nos tubos de seiva há deposição de Ca como oxalato ou fosfato, restringindo a redistribuição. Em um sintoma maior da deficiência o Ca está envolvido na morte celular programada (MCP), resultando em desorganização de funções críticas como a permeabilidade seletiva da membrana, com a não operação dos mecanismos de sinalização em que opera como mensageiro (MALAVOLTA, 2006).

Como o Ca é imóvel na planta, esta exige um suprimento constante do elemento o que é feito mais eficientemente pelo solo. Quando o suprimento não for adequado, os sintomas de deficiência se expressam nos pontos de crescimento da parte aérea, raiz e em frutos em desenvolvimento. As regiões com maior expansão celular na planta são as mais afetadas pela deficiência. Os sintomas podem apresentar-se como deformações nas folhas novas, clorose ou queimadura de uma região limitada nas margens destas folhas, morte das gemas apicais e extremidades das raízes (FAQUIM, 2005).

Sintoma comum de deficiência é o pequeno crescimento das raízes, que se tornam escuras e morrem. Como o Ca não se retransloca na planta, as folhas jovens e outros tecidos novos desenvolvem sintomas. Os tecidos novos precisam de Ca para formação da parede celular; portanto, a deficiência caracteriza-se por a planta apresentar as nervuras das folhas e os pontos de crescimento de forma gelatinosa. Em casos severos, os pontos de crescimento morrem (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Se a concentração de Ca no xilema for baixa ou a taxa de transpiração do fruto pequena, como ocorre sob condições de baixa umidade no solo, ocorre uma competição pelo Ca entre as folhas, que transpiram mais e assim um inadequado nível do nutriente atinge os frutos, resultando em sintomas de deficiência (FAQUIM, 2005).

Não existem relatos de toxidez em plantas, o que se deve, provavelmente, ao fato de ser o excesso de Ca, pela sua baixa mobilidade, armazenado no vacúolo das células (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

2.1.2.6. Funções

Os íons de Ca protegem a planta do excesso de H, e em ambientes salinos naturais ou provocados pelo adubo, como excesso de Na e Al. Caso essa função protetora fosse eliminada, a exigência da planta seria tão pequena que o elemento passaria para a lista de micronutrientes (RAINS, 1976 apud MALAVOLTA, 2006).

Elemento essencial para o crescimento de meristemas e, particularmente, para o crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares, componente da lamela média como função cimentante (pectato de Ca). A fração principal de Ca está nas paredes celulares, vacúolos e organelas, como sais de ácidos orgânicos, fosfato ou filato, esta fração pode ser especialmente alta em plantas que sintetizam o oxalato de Ca, produto insolúvel que se deposita no vacúolo, exercendo provavelmente, função antitóxica (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Requerido para o alongamento e divisão celular, refletindo drasticamente no crescimento radicular, sendo que na ausência do suprimento exógeno de Ca, o crescimento radicular cessa em poucas horas. O Ca é indispensável para a germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, o que se deve ao seu papel na síntese da parede celular ou ao funcionamento da plasmalema (FAQUIM, 2005).

O Ca influi indiretamente no rendimento das culturas, ao melhorar as condições de crescimento das raízes, bem como por estimular a atividade microbiana, auxiliar na disponibilidade do Mo e na absorção de outros nutrientes, além de ajudar a reduzir o NO_3^- na planta. É requerido em grandes quantidades pelas bactérias fixadoras de N_2 (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O Ca exerce na planta três tipos de funções, estrutural, regulador enzimático e de mensageiro secundário. É essencial para manter a integridade estrutural e funcional das membranas e da parede celular. Em caso de deficiência as membranas permitem o vazamento do conteúdo citoplasmático com a compartimentação celular comprometida, afetando a ligação do Ca com a pectina da parede celular. O pectato de Ca da lamela média cimenta uma célula a outra, sendo depositado durante a citocinese. Assim, quando as células crescem aumenta a

superfície de contato entre elas, crescendo a necessidade de Ca (RAINS, 1976 apud MALAVOLTA, 2006).

O Ca exerce a função de impedir danos à membrana celular, evitando a saída de substâncias intracelulares, exercendo papel estrutural ao manter a integridade da membrana citoplasmática. O íon Ca desempenha papel importante no desenvolvimento vegetal e regulação metabólica; o íon Ca livre atua como um regulador intracelular de numerosos processos bioquímicos e fisiológicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A concentração do Ca no citoplasma e nos cloroplastos é baixa, a manutenção desta concentração é de vital importância para a célula da planta. Inibe a atividade de várias enzimas localizadas no citoplasma, prevenindo a precipitação do fosfato inorgânico como fosfato de Ca e a competição com o Mg por sítios de ligação. A mais importante função do Ca citoplasmático é a sua participação na forma ativa da coenzima calmodulina (conformação ativa adquirida quando ligada a quatro átomos de Ca), que é exigida para a atividade de uma série de enzimas como a fosfolipase, nucleotídeo fosfodiesterase, NDA-quinase, ATP-ase-Ca de membranas (FAQUIM, 2005).

Estímulos externos (luz, gravidade, mecânicos) e internos (hormônios) são mensagens conduzidas pelo Ca como mensageiro secundário e atuam sobre os mecanismos transportadores de Ca dentro da célula, modificando o seu nível no citoplasma. Quando a célula “percebe” a mensagem o Ca é descarregado de seus reservatórios, como o apoplasto, mitocôndrias e retículo endoplasmático no citosol. O aumento na concentração de Ca no citosol ativa as calmodulinas que ativam numerosas enzimas, o que leva a uma resposta por parte da planta. A calmodulina ativa também a Ca-ATPase que bombeia Ca de volta aos reservatórios. Com isso cai o Ca no citosol e diminui a ativação enzimática efetuada pela calmodulina (MALAVOLTA, 2006).

As anexinas são uma família de pelo menos 12 proteínas que se ligam a fosfolipídeos tendo o Ca como “ponte”. Sabe-se que as anexinas são multifuncionais e desempenham papéis em vários processos celulares essenciais, como movimentos através das membranas, atividade de canais da membrana, metabolismo de fosfolipídeos, mitose e replicação do DNA (CLARK; ROUX, 1995 apud MALAVOLTA, 2006).

2.1.2.7. Formação da colheita

Alguns dos efeitos da deficiência de Ca levando à senescência precoce (não à morte programada), são caracterizadas pela desorganização da membrana e da parede celular, não funcionamento das calmodulinas e produção maior de etileno (MALAVOLTA, 1994).

2.1.2.8. Cálcio em cafeeiros

O Ca no cafeeiro influi na estrutura da planta (ramagem) e no sistema radicular, podendo causar morte de gemas terminais (ponteiros) muitas vezes associada à carência de B (MATIELLO et al., 2005).

Nas raízes, caules e ramos do cafeeiro as quantidades de Ca são da mesma ordem que o K, e de uma forma geral, é o elemento mais abundante na planta depois do K (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A deficiência de Ca é difícil de ser observada em campo, ocorrendo com maior frequência em solos ácidos, associada à toxidez de Al e Mn, em períodos secos, situações comuns nas áreas de cerrado e zonas de solos desgastados. Sintomas aparecem nas folhas novas (baixa mobilidade), permanecendo o centro da folha mais verde, a coloração amarela passa a branquicenta e atinge toda a folha, ficando a nervura central ainda verde. Em períodos secos podem ocorrer pequenos pontos necróticos nas folhas novas, a seca de ramo (die back), desfolhas e morte de extremidade de raízes. O nível foliar adequado situa-se em 1,0 a 1,5% (MATIELLO et al., 2005).

Cátion predominante no complexo de troca e é o maior contribuinte para a CTC (capacidade de troca catiônica). Encontraram em solos cafeeiros de Minas Gerais uma correlação muito estreita entre Ca no solo e produtividade (60% de Ca na CTC) (MALAVOLTA et al., 1979 apud MALAVOLTA, 1993).

Elemento pouco móvel na planta, no cafeeiro necessita de suprimento constante via solo, afim de serem atendidas as deficiências. Absorção diminuída por altas concentrações de K e Mg no meio, e de menor importância o $N-NH_4^+$. Depois de localizado nas folhas se torna muito imóvel podendo ser redistribuído somente em condições especiais (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Através de levantamentos de fertilidade, concluíram que os solos cafeeiros de Minas Gerais são geralmente ácidos por apresentarem pH (H_2O) menor que 6,0-6,5; V% (saturação de bases) menor que 70,0; baixos teores de Ca e Mg e; altos

teores de Al. Várias causas contribuem para que os solos sejam ou se tornem ácidos, como lixiviação de bases (Ca, Mg e em menor grau K) ao longo dos anos, que são substituídos por íons H^+ e Al^{+3} , os quais em parte passam para a solução do solo. No processo de absorção a raiz “troca” cátions da solução do solo (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) por íons H^+ (MALAVOLTA, 1993).

Os pontos de crescimento de raízes e caules são particularmente vulneráveis à deficiência de Ca, que é pouco translocado das folhas mais velhas para as mais novas. Por essa razão, a deficiência de Ca promove a morte da célula e o sintoma de deficiência se manifesta, primeiramente, nas folhas mais novas do cafeeiro (PREZOTTI, 2001).

Nutriente importante no crescimento e desenvolvimento das raízes, retenção de folhas, desenvolvimento das gemas, maturação dos frutos e na formação de proteínas. Sintomas de deficiência no cafeeiro são caracterizados por raízes mal desenvolvidas e ineficientes para a absorção de água e minerais; clorose nas margens das folhas jovens (pouca mobilidade na planta) e em casos extremos, morte da gema terminal em plantas jovens (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

2.1.3. Magnésio

2.1.3.1. Aspectos gerais

O Mg é um macronutriente secundário, componente da estrutura de minerais de argila (ilita, vermiculita e montmorilonita), tem sua origem primária em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Quanto mais intemperizado for o solo, menor a ocorrência destes minerais, até que reste somente o Mg trocável adsorvido aos colóides e componentes da matéria orgânica. A forma trocável e na solução são as consideradas disponíveis às plantas (FAQUIM, 2005).

A clorofila possui 2,7% de Mg, o que dá em média, entre 10 e 30 $mg\ 100g^{-1}$ por folha. O conteúdo da clorofila corresponde a 10% de Mg total das partes verdes da planta (PAPENBROCK, 2000 apud MALAVOLTA, 2006).

As exigências das culturas em Mg são relativamente baixas. É um nutriente normalmente pouco utilizado em adubações, na maioria em calagens, existem poucos dados de respostas de culturas ao Mg. Contudo, as deficiências têm ocorrido com certa frequência em solos ácidos, sendo agravados em culturas que recebem aplicações elevadas de K (FAQUIM, 2005).

Nas plantas, os teores de Mg variam de 1 a 10 g kg⁻¹ de matéria seca da planta, considerando-se teores entre 3 e 5 g kg⁻¹ como adequados para um crescimento normal das plantas. As plantas deficientes apresentam teores foliares menores de 3 g kg⁻¹ (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS e JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004 apud DECHEN; NACHTIGALL 2007).

2.1.3.2. Magnésio no solo: origem e formas

O Mg é o oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre, com teor médio de 19,3 g kg⁻¹, variando segundo a origem geológica do solo. No solo encontra-se nas formas não-trocável, trocável e solução do solo. Na forma não-trocável é encontrado principalmente em minerais secundários, como a biotita, augita, horblenda, olivina, serpentina, clorita, montmorilonita, illita, vermiculita e nos carbonatos minerais, como dolomita e magnesita (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A principal fonte de Mg nas condições naturais são as rochas eruptivas, sedimentares e metamórficas. Não havendo, necessariamente, uma relação direta entre teor de Mg na rocha-mãe e o solo que a originou (MALAVOLTA, 2006).

A reciclagem do Mg na serrapilheira ou restos vegetais não significa uma adição líquida, mas uma contribuição para a manutenção do nível do elemento no solo. Naturalmente, a adição na camada superficial ocorre quando as raízes exploram camadas mais profundas do perfil e levam o Mg para a parte aérea, da qual os elementos passam à superfície (MALAVOLTA, 2006).

O Mg representa 95% das bases do complexo de troca. Os cátions alcalino-terrosos, como Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺, têm menor mobilidade no solo que os alcalinos (K⁺ e Na⁺). O Mg é deslocado mais facilmente que o Ca (MALAVOLTA, 2006).

2.1.3.3. Absorção

As plantas absorvem o Mg da solução do solo na forma de Mg²⁺. A taxa de absorção do Mg é baixa, reduzida por altas concentrações de K⁺, Ca²⁺, Mn²⁺ e NH₄⁺, devido a inibição competitiva, podendo levar a deficiência do elemento nas plantas (FAQUIM, 2005; DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

As folhas ou raízes diminuem a absorção quando ocorrem altas concentrações de K, Ca, H e Al. A travessia da membrana é intermediada por ionóforos, moléculas orgânicas com peso molecular entre 200 e 2000 que são

capazes de formar complexos com cátions polares solúveis em lipídeos (eniatina, valinomicina, nigericina, gramidicina A) (MENGEL; KIRKBY, 1987 apud MALAVOLTA, 2006).

A absorção do Mg dependem do teor trocável (na solução do solo); dos teores de K, Ca e Al e; do teor de umidade no solo, visto que o processo de contato do Mg com a raiz é fluxo de massa (MALAVOLTA, 2006).

2.1.3.4. Transporte

O transporte a longa distância se dá na mesma forma em que é absorvido, junto com o K e Ca na corrente transpiratória. No xilema também pode haver competição entre os três elementos (MALAVOLTA, 2006).

Das raízes para a parte aérea o transporte do Mg ocorre pelo xilema via corrente transpiratória, basicamente na forma como foi absorvido Mg^{2+} , que é móvel no floema (FAQUIM, 2005).

2.1.3.5. Redistribuição, sintomas de deficiência e excesso

A maior parte do Mg na planta encontra-se na forma difusível que é facilmente redistribuído nas plantas. Redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas ou para as regiões de crescimento, manifestando-se sintomas de deficiência nas folhas mais velhas, como uma clorose internerval típica, denunciando menos clorofila (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006).

De modo geral, a fração solúvel do Mg em água é maior que a do Ca. Cerca de 70% do Mg total é difusível e está associado com ânions minerais ou orgânicos que podem ser difusíveis (oxalato, pectato). Nos grãos dos cereais acumula-se sal magnésiano do ácido fítico, que é a forma de armazenamento do P (MALAVOLTA, 2006).

No xilema e floema é bastante móvel, com transporte e redistribuição na forma iônica. A deficiência é caracterizada pela ocorrência de clorose entre as nervuras, que progride em intensidade, em estágio adiantado forma um “V” verde, invertido em relação ao pecíolo. A deficiência induz a redução da produção e alternância de safras em plantas perenes, com a queda de folhas. Nas plantas deficientes, diminui o tamanho dos frutos, a acidez total e o teor de vitamina C.

Relatos sobre toxidez de Mg em plantas são inexistentes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A mobilidade do Mg aplicado às folhas na direção de outros órgãos é baixa, não sendo a mesma para todas as espécies o que talvez seja consequência da maior ou menor proporção de Mg solúvel em água no tecido (MALAVOLTA, 2006).

2.1.3.6. Funções

No metabolismo das plantas é essencial, acima de 70% do Mg difunde-se livremente na suspensão celular, bem como associado a componentes carregados negativamente, tais como proteínas e nucleotídeos por meio de ligações iônicas. Provavelmente, grande quantidade está ligada a polifosfatos, como o Mg-ATP (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

As enzimas ativadas pelo Mg são na maioria fosforilativas (incorporação ou transferência de Pi), dependente da presença do Mg que forma uma ponte entre o ATP ou ADP e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois componentes é fundamental nos processos da fotossíntese (fases luminosa e escura), respiração (glicólise e ciclo dos ácidos tricarboxílicos), reações de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão da raiz. Em algumas das reações de transferência o Mg pode ser substituído, ainda que menos eficientemente pelo Mn e outros cátions (MALAVOLTA, 2006).

O Mg ativa mais enzimas que qualquer outro elemento na planta, atuando como co-fator de enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP OU ADP e a molécula da enzima (FAQUIM, 2005).

A absorção do H_2PO_4^- é máxima na presença do Mg^{2+} , esse papel de “carregador do fósforo” se explica pela sua participação na ativação de ATPase da membrana implicadas na absorção iônica e na própria geração do ATP na fotossíntese e na respiração. A falta de Mg inibe a fixação do CO_2 , pois é exigido em reações de fotofosforilação e em outras de fase escura do processo (carboxilase de ribulose de fosfato, por ex.) (MALAVOLTA, 2006).

O substrato para ATPases é o Mg-ATP, sendo que a máxima atividade de ATPases necessita da presença do K. A síntese da ATP pelo processo da fosforilação ($\text{ADP} + \text{Pi} = \text{ATP}$), tem essencial requerimento de Mg para ligação entre o

ADP e a enzima. Isto explica a alta concentração de Mg nos cloroplastos e nas mitocôndrias, onde ocorrem as reações de síntese de ATP pela fotofosforilação e fosforilação oxidativa. Outras enzimas importantes são as desidrogenases e a enolase ativas pelo Mg. A atividade da RuBP carboxilase depende de Mg e da elevação do pH do estroma dos cloroplastos para 7,5-8,0. O efeito favorável do Mg sobre a assimilação do CO₂ e processos relacionados, como a produção de açúcar e do amido, são provavelmente conseqüência da ativação da RuBP carboxilase (FAQUIM, 2005).

O Mg tem relação com o transporte de P e carboidratos nas plantas, sua presença aumenta a absorção de P. Concentra-se mais nas folhas acumulando-se também nas partes em crescimento do caule e raízes (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Plantas deficientes em Mg, a relação de N-protéico/N-não protéico decresce. O Mg parece estabilizar a configuração das partículas do ribossomo necessária para a síntese protéica. A ativação e a transferência dos aminoácidos para formar a cadeia polipeptídica necessitam de Mg. Outra enzima importante no metabolismo do N, a síntese do glutamato (GS), que atua na via de assimilação da NH₃, também é ativada pelo Mg nos cloroplastos (FAQUIM, 2005).

2.1.3.7. Formação da colheita

Os processos em que está envolvido o Mg, tornam evidente sua participação na formação da colheita. Como a absorção do H₂PO₄⁻ é atividade da ATPase membrana, como a absorção de todos os elementos, macro e micronutrientes; fotossíntese que atua constantemente sobre a vegetação, sinônimo da vida das plantas e dos animais, fonte de energia renovável (biomassa, álcool); interação positiva com o P, resultando em armazenamento e transferência de energia (MALAVOLTA, 2006).

2.1.3.8. Magnésio no cafeeiro

O Mg no cafeeiro participa da formação da clorofila e do metabolismo energético da planta. Deficiências estão associadas a solos ácidos (sem calagem) e em situações que provocam desequilíbrio, como excesso de K ou calcário calcítico. São mais freqüentes em variedades precoces e de maturação igualada e em ramos com boa carga de frutos. Sintomas aparecem nitidamente nas folhas velhas, com

amarelecimento na área entre as nervuras secundárias, que permanecem verdes, o amarelecimento internerval evolui para a cor alaranjada e até castanha, forte desfolha e pode ocorrer seca de ramos laterais. No caso de grande deficiência ou em períodos de estiagem, as folhas apresentam pontuações escuras (visíveis contra a luz) que coalescem e formam manchas negras (MATIELLO et al., 2005).

Os sintomas de deficiência, inicialmente, se manifestam nas folhas maduras completamente expandidas, caracterizam-se por cloroses internervais que se expandem gradualmente na direção das margens das folhas. Em deficiência grave se manifesta também nas folhas mais novas, aparecem necroses nas pontas das folhas, e podem causar quedas. O primeiro sinal característico da deficiência de Mg é o aparecimento de manchas amareladas entre as nervuras da folha do cafeeiro, sintomas semelhantes em *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* (GUIMARÃES; MENDES, 1997; PREZOTTI, 2001).

No cafeeiro, a deficiência de Mg induzida pelo excesso de K, é bastante comum devido à exigência em K e utilizando formulações ricas nesse elemento. Em solos ácidos, além da pobreza natural, a absorção de Mg é diminuída pela presença de H e Al (FAQUIM, 2005).

Os teores adequados nas folhas variam de 0,35 a 0,50%. Alguns autores consideram ideal de 0,30 a 0,40% e outros entre 0,40 a 0,50%, objetivando uma relação mais estreita com o Ca (3:1) em cafeeiros mais sensíveis ao Mg, como o Acaíá e alguns Icatús (MATIELLO et al., 2005).

O cafeeiro tem quatro vezes mais Ca que Mg, no fruto a relação é de 1:1. O Mg na planta é móvel, com as carências aparecendo nas folhas velhas e adjacentes a frutos cereja. A seca diminui a absorção e acentua a deficiência, acontecendo mais comumente em solos ácidos ou pelo antagonismo com o K (a relação K/Mg no solo, acima de 10/1 induz a carência de Mg). O uso contínuo de adubos acidificadores do solo podem facilitar a lavagem do Mg e Ca (GUIMARÃES; MENDES; 1997).

A relação Ca/Mg no solo ótima para o cafeeiro é 2 a 4, especificamente para o arábica a relação Mg/K é 2,2; De forma geral Mg/k entre 3 e 4 parece favorável a maioria das culturas. Os limites inferiores e superiores da relação Ca+Mg/K para o cafeeiro arábica é de 9 a 44 até 53 (23,5=resposta provável ao K) (BOYER, 1978 apud MALAVOLTA, 2006).

O Mg é mais abundante nos tecidos novos, translocados essencialmente pelo floema, em vias de crescimento e nos órgãos reprodutores como as flores e os grãos. Analisando o lenho, folhas e flores de ramos de cafeeiro Catuaí, verificou-se que as flores apresentavam 50% do total do Mg contido nas três partes (MALAVOLTA, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado no período de setembro de 2007 a outubro de 2008, na Fazenda Grama, município de Guaxupé - MG, cujas coordenadas são: -21° 17' 05" (latitude) e 46° 38' 41" (longitude) e 988 m de altitude. O dados climáticos da região durante a condução do experimento podem ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados climáticos da região de Guaxupé - MG.

2007/08	UR	Evapotranspiração	Precipitação	T°C x	T°C x	T°C x
	%	mm	mm	Máx.	Min.	média
Setembro	49,7	80,7	23,0	29,7	16,1	22,9
Outubro	58,0	89,6	103,8	30,6	18,1	24,3
Novembro	71,2	88,7	157,2	27,6	17,9	22,7
Dezembro	71,3	91,6	151,2	28,6	18,4	23,5
Janeiro	70,2	103,5	265,6	27,1	18,5	22,8
Fevereiro	67,6	94,5	178,4	28,1	18,5	23,3
Março	74,8	109,1	234,9	27,5	17,2	22,3
Abril	73,5	85,2	175,1	26,3	16,7	21,5
Mai	70,5	84,4	30,3	24,0	12,5	18,2
Junho	70,3	78,1	3,6	24,1	13,2	18,6
Julho	58,0	84,5	0,0	24,6	10,6	17,6
Agosto	59,0	86,5	12,2	27,2	14,2	20,7
Setembro	44,6	90,7	76,5	27,0	14,5	20,7
Outubro	69,0	56,0	118,0	28,0	18,0	23,0

Fonte: Adaptado de COOXUPÉ. Base de dados da estação meteorológica convencional

O solo é um Latossolo Vermelho Eutrófico, declividade de 3% e elevado teor de argila (48%). Na Tabela 2 encontram-se os resultados da análise de solo realizada em diferentes profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) na área, antes da instalação do experimento.

Tabela 2 - Resultados da análise de solo na área experimental

	pH	M.O.	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
cm	H ₂ O	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%					
0-10	6,2	3,28	20,1	145	5,4	1,3	0,0	2,5	7,0	9,6	74	6,0	24	46	3,9	0,62
10-20	6,0	2,87	11,3	123	4,9	1,4	0,0	2,5	6,6	9,1	73	3,7	27	37	4,3	0,50
20-40	5,6	1,75	5,9	90	3,1	0,9	0,1	2,7	4,2	6,9	61	2,3	34	29	3,5	0,64

Fonte: Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da EAFMuz

3.2. Variedade e área experimental

A variedade de café utilizada foi o Mundo Novo IAC 379-19, com 44 anos de plantio, espaçamento de 4,0 x 1,5 m, recém-recepado (29/08/2007) (Figura 1 e 2), mantendo-se de 4 a 5 brotos por cova e cada cova na maioria com 2 plantas.



FIGURA 1 - Lavoura a ser recepada. Guaxupé – MG



FIGURA 2 - Lavoura recém recepada. Guaxupé - MG

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, com a aplicação (adubação) dos tratamentos ocorrendo no dia 13/11/2007. As parcelas experimentais foram constituídas por 6

plantas, para análises utilizou-se as 4 plantas centrais (Figura 3). Os tratamentos utilizados foram de acordo com a dosagem de P_2O_5 e fonte, sendo:

- T1 = 0 kg P_2O_5 ha⁻¹;
- T2 = 53,3 kg P_2O_5 ha⁻¹ (200 g cova⁻¹) - fonte Termofosfato - Yoorin (Mitsui);
- T3 = 106,5 kg P_2O_5 ha⁻¹ (400 g cova⁻¹) - fonte Termofosfato - Yoorin (Mitsui);
- T4 = 213,0 kg P_2O_5 ha⁻¹ (800 g cova⁻¹) - fonte Termofosfato - Yoorin (Mitsui);
- T5 = 426,0 kg P_2O_5 ha⁻¹ (1600 g cova⁻¹) - fonte Termofosfato - Yoorin (Mitsui);
- T6 = 852,0 kg P_2O_5 ha⁻¹ (3200 g cova⁻¹) - fonte Termofosfato - Yoorin (Mitsui);
- T7 = 1704,0 kg P_2O_5 ha⁻¹ (6400 g cova⁻¹) - fonte Termofosfato - Yoorin (Mitsui);
- T8 = 400 kg P_2O_5 ha⁻¹ (1333 g cova⁻¹) - fonte Superfosfato Simples (Bunge);

A composição química do Termofosfato (TF) da empresa Mitsui com nome comercial Yoorin Máster 1 S é 16,0% P_2O_5 total (12,0% solúvel em ácido cítrico), 16,0% Ca; 6,0% Mg; 6,0% S; 0,1% B; 0,05% Cu; 0,15% Mn; 0,55% Zn e; 9,0% Si.

A composição química do Superfosfato Simples (SFS) utilizado é 18% P_2O_5 solúvel em ácido cítrico; 18% Ca e; 14% S.



FIGURA 3 - Visão geral do experimento. Guaxupé - MG

3.4. Práticas culturais

Procedeu-se a capina das parcelas por meio de enxada na linha e roçada mecanizada na entrelinha. Para controle do bicho mineiro (*Leucoptera coffella*), foi feito à aplicação de 2 kg ha⁻¹ de Thiamethoxam (Actara 250 WG), principal praga do cafeeiro na região. A desbrota ocorreu nos dias 04/01 e 16/09 de 2008 deixando-se somente as hastes principais - 4 a 5 brotos por cova.

3.5. Avaliações

3.5.1. Análise do teor foliar dos elementos

Porcentagem de nutrientes concentrados nos tecidos, utilizando-se folhas representativas da parcela, num total de 25 folhas por tratamento, realizado no dia 13/03 e 28/10/2008.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (MG) para determinação dos teores dos nutrientes. A lavagem se deu em três etapas: água + detergente; água e; água deionizada. Em seguida foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar à 65°C por 48 horas e moídas em moinho tipo Willey com peneira de malha de 1,0 mm.

A digestão das amostras foi nitro-perclórica para todos os elementos, exceto N e B via catalítica e via seca, respectivamente (SARRUGE; HAAG, 1974). Os métodos empregados foram: K (espectrometria de chama); P (colorimetria do metavanadato); S (turbidimetria do sulfato de bário); Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica); B (colorimetria da azometina-H) e N (semimicro-Kjeldahl), descritos por MALAVOLTA et al., (1997).

3.5.2. Análise de nutrientes no solo

Foi realizada a coleta das amostras de solo de cada tratamento no dia 16/09/2008, nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm em cada parcela.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho (MG), as quais foram colocadas para secar ao ar, na sombra, e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura (TFSA). Os métodos empregados para analisar as amostras foram os seguintes (LOPES, A. S.1999; EMBRAPA 1997):

pH em H₂O;

Carbono orgânico: Método Walkley & Black (via úmida com dicromato de K);

Ca, Mg, Acidez trocável: Método KCL 1mol L⁻¹;

Acidez potencial: Método SMP;

P, K, Zn, Mn, Fe, Cu - disponível: Método Mehlich (Extrato Sulfúrico);

S - disponível: Método Hoefft et al. (Ba CL₂);

B - disponível: Método água quente.

3.5.3. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR 1999/2007, versão 5.0 da Universidade Federal de Lavras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 120 dias após a aplicação (daa) de diferentes doses e fontes de P_2O_5 avaliou-se que os teores foliares de Ca não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Observou-se que os T4 (213,0 kg P_2O_5 ha⁻¹ – TF) e T6 (852,0 kg P_2O_5 ha⁻¹ – TF) estão abaixo dos níveis foliares de Ca considerados adequados ao cafeeiro arábica segundo Matiello et al., (2005) e Guimarães et al., (1999) que são respectivamente de 1,0 a 1,5 dag kg⁻¹ e 1,0 a 1,3 dag kg⁻¹; considerando Malavolta (2006) todos os tratamentos estão abaixo dos níveis considerados adequados que é de 1,5 a 1,8 dag kg⁻¹. No T1 (0 kg P_2O_5 ha⁻¹) pode evidenciar o aproveitamento do Ca presente no solo (MATIELLO et al., 2005) e ou o aproveitamento do Ca que foi exportado pela poda e retornado na forma de resíduos orgânicos (GARCIA et al., 1986 apud MALAVOLTA, 1993).

Tabela 3 - Teores foliares de Ca e Mg em brotos de cafeeiro recepado, em duas épocas, submetidos a diferentes doses de P₂O₅ e utilizando-se duas fontes. Município de Guaxupé - MG, 2008.

Tratamentos	daa (dias após a aplicação)			
	120	350	120	350
P_2O_5 ha ⁻¹	Ca		Mg	
	dag kg ⁻¹			
T1 (0 kg)	1,11 a	1,05 ab	0,33 b	0,41 bc
T2 (53,3 kg) - TF	1,08 a	0,89 b	0,34 ab	0,40 c
T3 (106,5 kg) - TF	1,00 a	1,06 ab	0,32 b	0,44 bc
T4 (213,0 kg) - TF	0,96 a	0,98 ab	0,35 ab	0,46 b
T5 (426,0 kg) - TF	1,11 a	0,99 ab	0,38 a	0,42 bc
T6 (852,0 kg) - TF	0,88 a	0,87 b	0,32 b	0,41 bc
T7 (1704,0 kg) - TF	1,00 a	0,92 b	0,35 ab	0,39 c
T8 (400,0 kg) - SFS	1,04 a	1,18 a	0,34 ab	0,52 a
C.V.%	14,60	12,91	8,64	8,20

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan.

T-Tratamento; TF-Termofosfato; SFS-Superfosfato Simples; C.V.-Coeficiente de variação

Aos 350 dias após a aplicação verificou-se que os teores foliares de Ca diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Os níveis foliares de Ca considerados adequados ao cafeeiro segundo Matiello et al., (2005) e Guimarães et al., (1999), nos T2 (53,3 kg P₂O₅ ha⁻¹ – TF), T4 (213,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – TF), T5 (426,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – TF), T6 (852,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – TF) e T7 (1704,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – TF) estão abaixo desses níveis; embora todos os tratamentos estejam abaixo dos níveis considerados adequados por Malavolta (2006). O maior nível foliar encontra-se no T8 (400,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – SFS), considerando-se que as condições pluviométricas durante a condução do experimento foram boas e a maior solubilidade da fonte Superfosfato Simples, o nível foliar foi superior em relação às fontes de Termofosfato.

Avaliou-se nos T2 (53,3 kg P₂O₅ ha⁻¹), T5 (426,0 kg P₂O₅ ha⁻¹), T6 (852,0 kg P₂O₅ ha⁻¹) e T7 (1704,0 kg P₂O₅ ha⁻¹) que utilizou como fonte de P₂O₅ o Termofosfato, uma diminuição de Ca no teor foliar da primeira época de avaliação para a segunda, teor foliar de Ca diminuiu na presença de Mg e diminuiu a exigência de Ca se no meio a concentração de metais pesados como Cu, Mn e Zn for menor (MALAVOLTA 2006), esses elementos estão contidos na formulação do Termofosfato. Exceção dos T3 (106,5 kg P₂O₅ ha⁻¹) e T4 (213,0 kg P₂O₅ ha⁻¹) da fonte Termofosfato onde os níveis foliares aumentaram. Comportamento diferente avaliado no T8 (400,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – SFS), que não contém Mg em sua formulação e o nível foliar aumentou.

Aos 120 dias após a aplicação verificou-se que os teores foliares de Mg diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Os níveis foliares de Mg considerados adequados ao cafeeiro arábica segundo Matiello et al., (2005) e Guimarães et al., (1999), são respectivamente de 0,35 a 0,50 e 0,31 a 0,45 dag kg⁻¹, todos os tratamentos encontram-se nesse nível de escala nutricional; embora todos os tratamentos estejam abaixo de 0,36 a 0,40 dag kg⁻¹ considerados adequados por Malavolta (2006).

Aos 350 dias após a aplicação verificou-se que os teores foliares de Mg no T8 (400,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ – SFS) diferiram estatisticamente dos demais valores (Tabela 3). Provavelmente devido a uma baixa interação positiva do Mg com o P (MALAVOLTA, 2006), somente com o Mg presente no solo, visto que o Superfosfato Simples não contém o elemento em sua formulação, o que pode ter contribuído para um maior nível foliar. Na segunda época de avaliação em todos os tratamentos da fonte de P₂O₅ com Termofosfato observa-se tendência da interação positiva do Mg

com o P e o aproveitamento pela planta na fotossíntese (vegetação), reações de síntese de compostos orgânicos, armazenamento e transferência de energia (MALAVOLTA, 2006), que podem ter contribuído para menores níveis foliares. No T1 (0 Kg P₂O₅ ha⁻¹) também houve aumento no teor foliar, o que pode ter contribuído para o aumento do teor foliar de Mg e a concentração presente no solo e ou o aproveitamento do elemento que foi exportado pela poda e retornado na forma de resíduos orgânicos (GARCIA et al., 1986 apud MALAVOLTA, 1993).

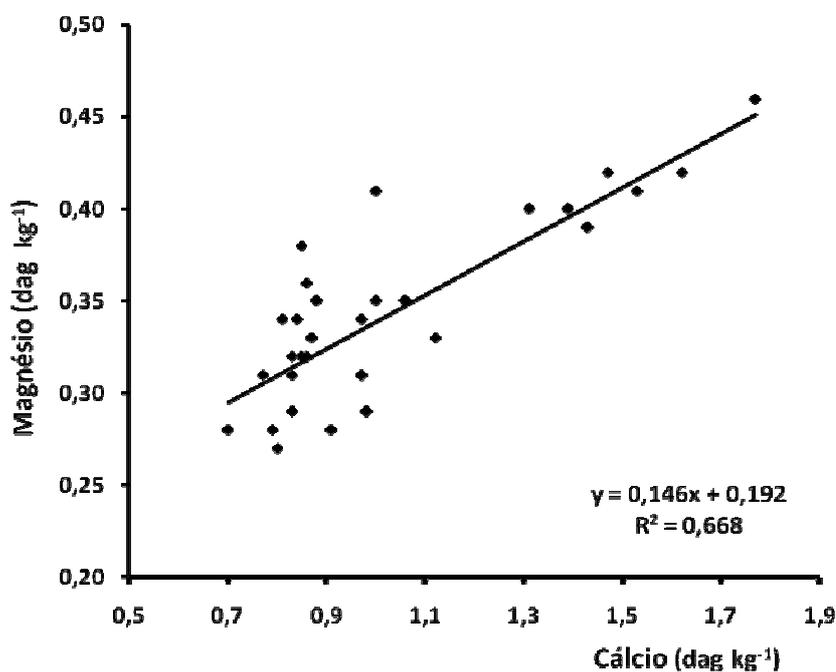


FIGURA 4 - Correlação entre teor foliar de Ca e Mg em brotos de café recebido aos 120 (daa)

Através da análise de regressão representada na Figura 4, observou-se que houve correlação dos tratamentos para o Ca e Mg aos 120 (daa), com a maioria dos valores próximos da melhor relação que foi linear.

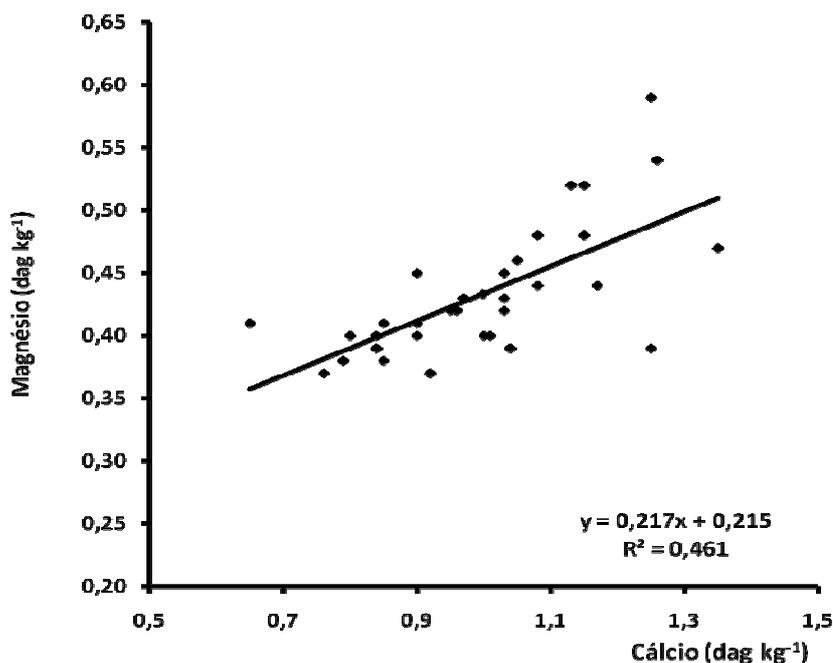


FIGURA 5 - Correlação entre teor foliar de Ca e Mg em brotos de café recapeado aos 350 (daa)

Através da análise de regressão representada na Figura 5, observou-se que houve correlação dos tratamentos para o Ca e Mg aos 350 (daa), com a maioria dos valores próximos da melhor relação que foi linear.

Aos 300 dias após a aplicação verificou-se que as concentrações de Ca na camada de 0-10 cm diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4). Conforme o aumento da dose aplicada observou-se aumento crescente na concentração no solo dos tratamentos da fonte de P₂O₅ com Termofosfato, o que justifica em função da presença de Ca na formulação. O T8 (400,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ - SFS) apresentou concentração inferior quando comparado aos tratamentos com Termofosfato com doses aplicadas inferiores, provavelmente pela maior solubilidade e absorção comprovada pelo teor foliar aos 350 (daa) (Tabela 3).

As concentrações de Ca na camada de 10-20 cm não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4). Em função da baixa mobilidade do fertilizante no solo a concentração de Ca encontra-se maior na camada de 0-10 cm, principalmente para a fonte Termofosfato.

Tabela 4 – Concentração de Ca e Mg no solo, duas profundidades em caféiro recepado, aos 300 dias após aplicação de diferentes doses de P_2O_5 e utilizando-se duas fontes. Município de Guaxupé - MG, 2008.

Tratamentos	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
P_2O_5 ha ⁻¹	Ca		Mg	
	cmol _c dm ⁻³			
T1 (0 kg)	0,94 b	0,90 a	0,47 b	0,22 a
T2 (53,3 kg) – TF	1,24 b	0,81 a	0,58 b	0,25 a
T 3 (106,5 kg) – TF	1,59 b	0,77 a	0,64 b	0,28 a
T 4 (213,0 kg) – TF	2,97 a	0,84 a	1,43 ab	0,39 a
T 5 (426,0 kg) – TF	3,43 a	0,70 a	1,48 ab	0,39 a
T 6 (852,0 kg) – TF	3,40 a	1,02 a	2,14 a	0,56 a
T 7 (1704,0 kg) – TF	3,60 a	1,39 a	2,37 a	0,68 a
T 8 (400,0 kg) – SFS	1,59 b	0,53 a	0,45 b	0,24 a
C.V.%	33,49	65,09	53,89	89,14

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Duncan.

T-Tratamento; TF-Termofosfato; SFS-Superfosfato Simples; C.V.-Coeficiente de variação

As concentrações de Mg na camada de 0-10 cm diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4). Notou-se semelhança no comportamento do Mg em relação ao Ca no solo para as duas fontes utilizadas, em relação ao aumento crescente da concentração na camada superficial dos tratamentos com Termofosfato e a maior solubilidade e absorção comprovada pelo teor foliar aos 350 (daa) da fonte Super Fosfato Simples (Tabela 3).

As concentrações de Mg de 10-20 cm não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4). Observou-se semelhança no comportamento do Mg em relação ao Ca, que em função da baixa mobilidade do fertilizante no solo a concentração de Mg encontra-se maior na camada de 0-10 cm, principalmente para a fonte Termofosfato.

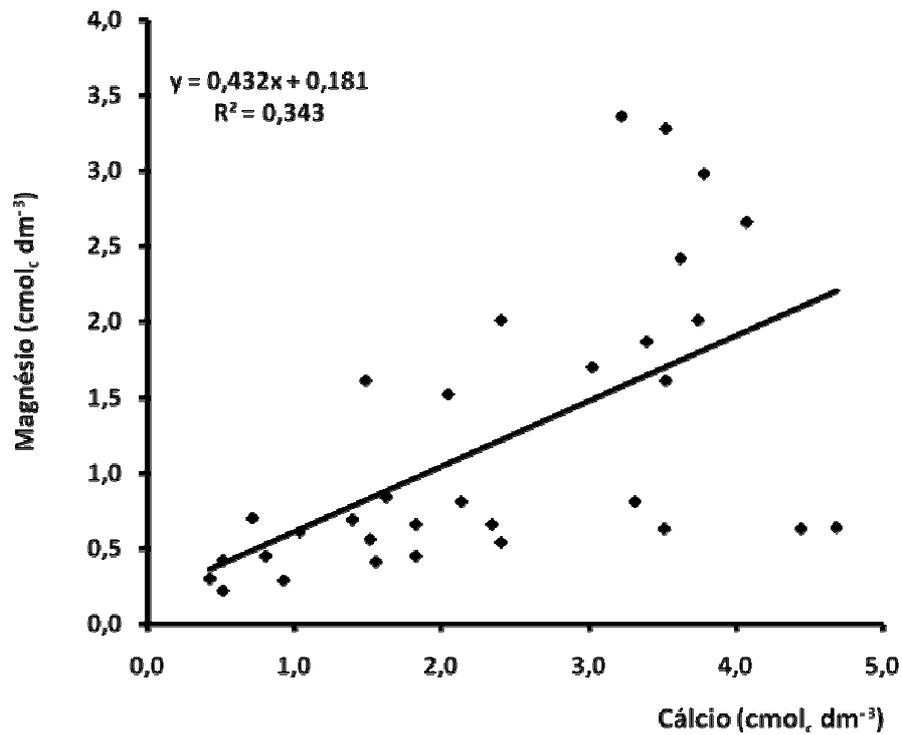


FIGURA 6 - Correlação entre Ca e Mg em solo cafeeiro aos 300 (daa) de 0 -10 cm

Através da análise de regressão representada na Figura 6, observou-se que houve correlação baixa dos tratamentos para o Ca e Mg aos 300 (daa), com a minoria dos valores próximos da melhor relação que foi linear.

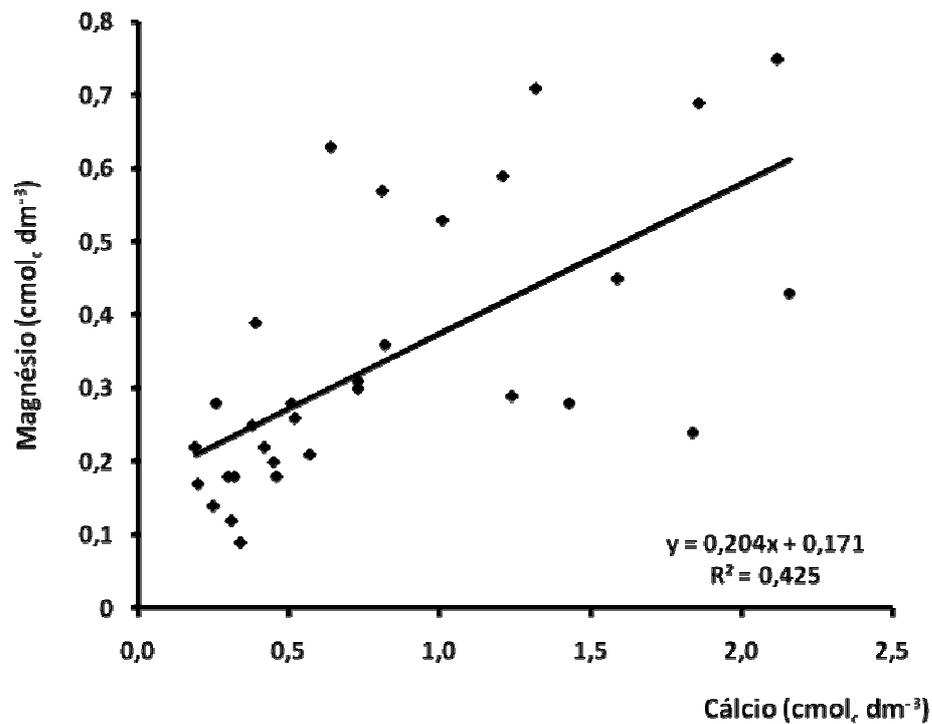


FIGURA 7 - Correlação entre Ca e Mg em solo cafeeiro aos 300 (daa) de 10 - 20 cm

Através da análise de regressão representada na Figura 7, observa-se que houve correlação baixa dos tratamentos para o Ca e Mg aos 300 (daa), com a maioria dos valores próximo da melhor relação que foi linear.

5. CONCLUSÃO

Os dados obtidos nesse trabalho permitiram concluir que:

A fonte de P_2O_5 com o Superfosfato Simples é de maior solubilidade e com resultados em menor tempo em relação ao Termofosfato, comprovadas em análises foliares aos 350 dias após a aplicação. Embora o Termofosfato ofereça maior diversidade de nutrientes ao cafeeiro.

O Ca e Mg apresentam baixa mobilidade no solo, com maior concentração na camada de 0 -10 cm aos 300 dias após a aplicação (adubação) dos tratamentos.

Com o aumento da dosagem de Termofosfato que contém Ca e Mg em sua formulação verificou-se aumento crescente da concentração no solo.

Apenas um ano de condução desse experimento no campo não foi suficiente para resultados conclusivos e aplicáveis às condições práticas. O experimento terá continuidade para relacionar as dosagens aplicadas com as produções durante os próximos anos agrícolas.

REFERÊNCIAS

Cooxupé: Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda. **Meteorologia**. Guaxupé – MG. 2008. Disponível em < <https://www.cooxupe.com.br/meteorologia/> >. Acesso em: 01 dez. 2008.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLÉM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 3, p.91-132.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo**: Manual de Métodos de Análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. p. 212.

FAQUIM, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 100f. Textos acadêmicos - Curso de Pós Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas do Agronegócio - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 2005.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.. **Nutrição Mineral do cafeeiro**. 1997. 70f. Curso de Pós Graduação “Lato Sensu” (Especialização) Tutoria à Distância - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 1997.

HARA, T.; GUIMARÃES, P. T. G.; FREIRE, F. M.; BAHIA, F. G. F. T. C.; CARVALHO, M. M. de; SOUZA, S. P. de; MENDES, J. F. Ensaio de adubação mineral e orgânica para a formação de cafezais em solos sob vegetação de cerrado. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2**. Poços de Caldas, 1974. Resumos p. 277-278.

LOPES, A. S.; VASCONCELLOS, C. A.; NOVAIS, R. F. de. Adubação Fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: OLIVEIRA, A. J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. **Adubação Fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. p.137-201.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. Apresentação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**: Recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa-MG, 1999. Cap. 4, p. 21-24.

MALAVOLTA, E. Nutrição, Adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 1986. 447p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro: Colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 200 p.

MALAVOLTA, E. **Importância da adubação na qualidade dos produtos: funções dos nutrientes na planta**. São Paulo: Cood. Ícone, 1994. 437 p.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 500 p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro-RJ e Varginha-MG: MAPA/PROCAFÉ Fundação PROCAFÉ, 2005. 438 p.

PEREIRA, J. E.; BRAGANÇA, J. B.; PAULINO, A. J. Modo e frequência de aplicação de fósforo na formação do cafeeiro. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7**. Araxá, 1979. Resumos p. 306 - 307.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.607-646.

RAIJ, B. V.; ROSAND, P. C.; LOBATO, E. Adubação Fosfatada no Brasil – Apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A. J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. **Adubação Fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. p.9-28.

RAIJ, B. V. Fertilização e Desenvolvimento Sustentável. In: ZAMBOLIM, L. **Boas Práticas Agrícolas na Produção de Café**. Viçosa: UFV-DEP, 2006. p.62-66.

RAIJ, B. V. O Uso de Fertilizantes Minerais para Café no Brasil. In: ZAMBOLIM, L. **Boas Práticas Agrícolas na Produção de Café**. Viçosa: UFV-DEP, 2006. p.66-69.

SANTINATO, R.; SILVA, O. A.; FIGUEIREDO, J. P.; CARVALHO, C. H. S.; BARROS, U. W. Estudo do crescimento, composição química e deficiência do cafeeiro cultivado em solo de cerrado – LVE. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 8.** Campos do Jordão, 1980. Resumos p. 428-437.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: ESALQ. 1974. p. 54.

SOUZA, S. P. de; CAIXETA, J. V. M. Resposta do Cafeeiro Mundo Novo à aplicação de nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2.** Poços de Caldas, 1974. Resumos p. 276.

VALARINI, V. **Demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica de porte baixo.** Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)-Instituto Agrônomo, IAC. 78 p. 2005. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/ValdemarValarini2005.pdf> >. Acesso em 01 nov. 2008.

ZAMBOLIM, L. **Boas Práticas Agrícolas na Produção de Café.** Viçosa: UFV-DEP, 2006. 234 p.