

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

ARIELI ALTOÉ

**ÓXIDO DE MAGNÉSIO, GESSO E
MICRONUTRIENTES COMO FERTILIZANTE
GRANULADO EM *Coffea canephora***

ALEGRE - ES

2013

ARIELI ALTOÉ

**ÓXIDO DE MAGNÉSIO, GESSO E MICRONUTRIENTES
COMO FERTILIZANTE GRANULADO EM *Coffea canephora***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof Dr Felipe Vaz Andrade.

ALEGRE - ES

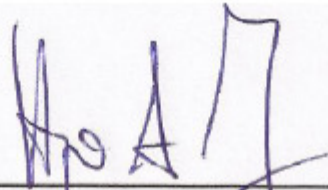
2013

ARIELI ALTOÉ

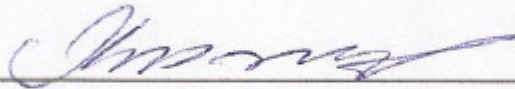
**ÓXIDO DE MAGNÉSIO, GESSO E MICRONUTRIENTES COMO
FERTILIZANTE GRANULADO EM *Coffea canephora***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2013.



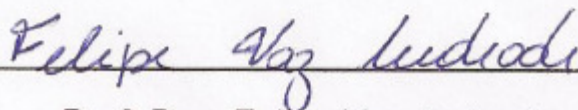
Prof. Dsc. Hugo Alberto Ruiz
Centro de Ciências Agrárias - UFES



Prof. Dsc. Otacilio José Passos Rangel
Instituto Federal de Educação do Espírito
Santo – IFES/ Alegre



Prof. Dsc. Renato Ribeiro Passos
Centro de Ciências Agrárias – UFES
(Coorientador)



Prof. Dsc. Felipe Vaz Andrade
Centro de Ciências Agrárias – UFES
(Orientador)

DEDICO

Aos meus pais, Olívio e Bernadeth.

À minha irmã Alini.

E ao meu querido Rodrigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças, iluminar e conduzir o meu caminho.

Aos pesquisadores da Embrapa Solos José Carlos Polidoro e Guilherme Kangussú Donagemma, pelo incentivo e contribuição.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV), pela oportunidade e à CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao Prof. Felipe Vaz Andrade, pela orientação, confiança e muita paciência.

Ao Prof. Renato Passos Ribeiro, pela co-orientação e colaboração.

Ao Prof. Hugo A. Ruiz, pelos ensinamentos estatísticos e, é claro, pelas conversas tão proveitosas.

Aos professores do PGPV, pela transmissão de conhecimentos.

Ao Janinho e aos motoristas do CCA-UFES, por serem sempre solícitos nos momentos de coletas e por transportarem tanta água destilada para a área experimental. Ao Ivan Sergio e ao José Antônio, pelas caronas.

Aos graduandos em Agronomia: Eduardo Stauffer, Lucas Satiro, Eduardo Kuster, Maiara, Laís e Fabiano, pela contribuição importantíssima nos momentos de montagem do experimento, coletas, análises laboratoriais e, é claro, pela amizade, sentimento este que nos torna mais humano e nos faz capaz de superar os obstáculos.

Aos laboratoristas: Sílvio (Nutrição Mineral de Plantas), sempre me salvando; Marcelo (Física do Solo) e Sonia (Rotina), que quando solicitada retirou minhas dúvidas.

Aos meus pais Olívio Geraldo Altoé e Bernadeth Brandão Altoé, pelo incentivo e por não medir esforços em me proporcionar uma educação de qualidade, herança que jamais será retirada de mim.

Aos novos amigos Ericka, Lucas Pilon, Huezer, Maiara, Morgana, Paulinho, Ramires e Tati, por dividirem as alegrias e aflições adquiridas nesse mestrado, que serão guardados do lado esquerdo do peito.

À Daniela e a Fúlvia, pela convivência, pelos conselhos, pela amizade.

Enfim, muito obrigada.

Tenho amor aos horizontes largos do campo, ao cheiro da terra, ao cair da chuva, a alegria do sol, as caricias do vento, ao cântico das aves e ao barulho das folhas causado pelo vento.

Tenho amor ao crescer das plantas, ao marulhar das searas, as ondas de ouro dos trigais maduros, ao desabrochar dos flocos de algodão, ao cheiro dos frutos maduros e ao brilho colorido da erva ondulante...

(Adaptado de um relatório de viagens, de agrônomos Portugueses)

Publicado em 1954, Extensão Agrícola de Miguel Bechara.

RESUMO GERAL

O calcário dolomítico ainda é a fonte mais utilizada para atender a demanda do cafeeiro em magnésio, havendo necessidade do desenvolvimento de fertilizantes que sejam fontes economicamente viáveis de magnésio para adubações de reposição anual deste elemento. Este trabalho teve por objetivo avaliar, em experimentos conduzidos em casa de vegetação e campo, a utilização de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e a micronutrientes (zinco e boro), na forma de fertilizante granulado, na cultura do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*). Os seguintes tratamentos foram aplicados: controle sem adubação; NPK; NPK + gesso agrícola; NPK + óxido de magnésio; NPK + gesso/MgO (70/30); e NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. No experimento em casa de vegetação os teores mais elevados de cálcio, magnésio e zinco no solo são nos tratamentos com aplicação de gesso agrícola, dos granulados gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B, respectivamente; a aplicação de gesso agrícola promove maiores conteúdos de cálcio e maior produção de matéria seca; os maiores conteúdos de magnésio são obtidos com a aplicação do granulado gesso/MgO (70/30); a aplicação do granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B não proporciona maiores conteúdos de Zn; e os maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules são encontrados no tratamento gesso/MgO (70/30) + Zn + B. No experimento em campo, os valores de pH e os teores de magnésio no solo são superiores nos tratamentos com aplicação de óxido de magnésio e na associação de óxido de magnésio ao gesso e a micronutrientes; os teores foliares de Ca, Mg, Zn e B, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, se encontram nas faixas adequadas para o café conilon em produção; e os tratamentos com aplicação do granulado gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B tendem a maiores produtividades de café.

Palavras-chave: Adubação. Café conilon. Cálcio. Magnésio. Micronutrientes.

ABSTRACT

The dolomitic limestone is still the most used source to meet the demand of coffee in magnesium, requiring the development of fertilizers that are economically viable sources of magnesium fertilizers for annual replacement of this element. This study aimed to evaluate, in experiments conducted in the greenhouse and field, the use of magnesium oxide associated with phosphogypsum and micronutrients (zinc and boron) in the form of granulated fertilizer, conilon in coffee (*Coffea canephora*). The following treatments were applied: control without fertilizer; NPK; NPK + phosphogypsum; NPK + magnesium oxide; NPK + phosphogypsum/MgO (70/30); and NPK + phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B. In a greenhouse experiment in the higher levels of calcium, magnesium and zinc in the soil are in the treatments with application of phosphogypsum, of granulated phosphogypsum/MgO (70/30) and phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B, respectively; the application of phosphogypsum shows higher calcium content and higher dry matter production; the higher content of magnesium are obtained with the application of granulated phosphogypsum/MgO (70/30); the application of granulated phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B do not provides higher contents of Zn; and the higher content of B in leaves and stem are found in the treatment phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B. In the field experiment the values of pH and magnesium in the soil are higher in treatments with application of magnesium oxide and magnesium oxide combination of the phosphogypsum and micronutrients, the foliar contents of Ca, Mg, Zn and B, to 180 days after treatment application, the tracks are suitable for conilon coffee production; and treatments with application of granulated phosphogypsum/MgO (70/30) and phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B tend to higher yields of coffee.

Key words: Fertilization. *Coffea conilon*. Calcium. Magnesium. Micronutrients.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	10
1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11

CAPÍTULO 1 - ADUBAÇÃO DE CAFEIRO CONILON COM ÓXIDO DE MAGNÉSIO ASSOCIADO AO GESSO E A MICRONUTRIENTES: ENSAIOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4 CONCLUSÕES.....	43
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
APÊNDICE.....	47

CAPÍTULO 2 - ADUBAÇÃO DE CAFEIRO CONILON COM ÓXIDO DE MAGNÉSIO ASSOCIADO AO GESSO E A MICRONUTRIENTES: ENSAIOS NO CAMPO

RESUMO.....	54
ABSTRACT.....	55
1 INTRODUÇÃO.....	56
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4 CONCLUSÕES.....	68
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

INTRODUÇÃO GERAL

Em todas as regiões em que é cultivado, o café continua gerando riquezas e desenvolvimento devido sua grande importância na obtenção de divisas e na fixação de mão-de-obra no meio rural (SIQUEIRA, 2005).

O parque cafeeiro, tanto de arábica quanto de robusta, no Estado do Espírito Santo ainda tem grande potencial de crescimento de produção, necessitando principalmente de ser renovado, e manejado de maneira correta, principalmente em relação às práticas de calagem e adubação (CONAB, 2012).

Grande parte das lavouras cafeeiras do Estado de Espírito Santo está implantada em solos que apresentam limitações relacionadas à nutrição de plantas, tais como elevada acidez, toxidez de alumínio e/ou manganês e baixos teores de cálcio e magnésio (GARCIA, 1983); que prejudicam o crescimento de raízes superficiais (GUIMARÃES, 1992) e subsuperficiais (RAIJ, 1988). Dessa maneira, as lavouras se tornam sensíveis a déficits hídricos e incapazes de absorver água e nutrientes em maiores profundidades.

Em culturas perenes, como o café, o calcário é o principal corretivo da acidez do solo e fonte de Ca e Mg utilizado na agricultura brasileira. Os efeitos da calagem (elevação do pH, dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , e neutralização do Al^{3+} e Mn^{2+}) normalmente restringem-se às zonas de aplicação ou imediatamente abaixo delas (POTTKER & BEN, 1998). Os valores de pH e teores de Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} pouco se alteram em profundidade devido as características químicas do calcário. A taxa de movimentação do Ca^{2+} e do Mg^{2+} no perfil é dependente da existência de ânions acompanhantes, principalmente, cloretos, sulfatos e nitratos, na solução do solo (MORAES, 2005).

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tem sido utilizado como um subproduto complementar ao calcário, com o objetivo de diminuir a toxicidade do Al^{3+} e aumentar a concentração de Ca^{2+} em profundidade (SILVA et al., 1998). A grande mobilidade vertical de cátions ocasionada pelo gesso se deve a maior solubilidade desse subproduto em relação aos calcários e pela presença do íon sulfato na sua composição química (ERNANI et al., 2001).

Outro subproduto que apresenta potencial para ser utilizado na agricultura é o óxido de magnésio, produto intermediário do processo industrial de produção de refratários obtido da calcinação da magnesita ($MgCO_3$).

A associação do óxido de magnésio com o gesso agrícola apresenta benefícios para o solo, porque o óxido de magnésio além de fornecer Mg tem a capacidade de elevar pH e reduzir a saturação de alumínio trocável (ALVES et al., 2006), enquanto o gesso agrícola fornece S e Ca, além de favorecer a movimentação de cálcio e de magnésio no perfil de solo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar, em experimentos conduzidos em casa de vegetação e a campo, a utilização de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e a micronutrientes (zinco e boro), na forma de fertilizante granulado, na cultura do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*).

1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. E. A; ANDRADE, C.; LOBATO, E. M. C.; PRADO, R. B.; BENITES, V. M. & POLIDORO, J. C. **Óxido de Magnésio – Fator de produtividade para o cafeeiro**. 2006.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da Safra Agrícola Cafeeira 2011 - Primeira Estimativa – Janeiro/2012**. Brasília, 2012. Disponível em:<
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_54_22_boletim_cafe_1a_estimativa.pdf>. Acesso em 12 de jan. de 2012.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v.58, n.4, p.825-831, out./dez. 2001.

GARCIA, A. W. R. Calagem para o cafeeiro. In: RAIJ, B., VAN BATAGLIA, O.C., SILVA, N. M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

GUIMARÃES, P. T. G. O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** Uberaba: IBRAFOS, p. 175-190. 1992.

MORAES, M. F. **Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário e material vegetal em superfície.** 2005. 80p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico. 2005.

POTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.75-684, 1998.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo.** São Paulo, ANDA, 88p. 1988.

SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI-NETO, A. E.; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.451-457, 1998.

SIQUEIRA, T. V. A Cultura do Café: 1961-2005. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 22, p. 205-270, set. 2005.

CAPÍTULO 1

ADUBAÇÃO DE CAFEIEIRO CONILON COM ÓXIDO DE MAGNÉSIO ASSOCIADO AO GESSO E A MICRONUTRIENTES: ENSAIOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

RESUMO

O desenvolvimento de fertilizantes que sejam fontes econômicas e tecnicamente viáveis de magnésio para o cafeeiro é de grande importância, à medida que para atender a demanda de magnésio do cafeeiro no País, a fonte mais utilizada ainda é o calcário dolomítico. Este trabalho teve por objetivo avaliar, em experimento conduzido em casa de vegetação, a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e a micronutrientes (zinco e boro) na forma de fertilizante granulado sobre os teores de cálcio, magnésio e zinco no solo, produção de matéria seca e conteúdos de cálcio, magnésio, zinco e boro na planta. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 3 repetições, distribuídos em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais compostas por 6 tratamentos (controle sem adubação; NPK; NPK + gesso agrícola; NPK + óxido de magnésio; NPK + gesso/MgO (70/30); NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B); e as subparcelas compostas por 9 períodos de amostragem. Os resultados mostram teores superiores de cálcio ($1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnésio ($1,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e zinco ($7,33 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo para os tratamentos com aplicação de gesso agrícola, granulados gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B, respectivamente. A aplicação de gesso agrícola também promove maiores conteúdos de cálcio (89,66 e 27,74 mg/planta nas folhas e nos caules, respectivamente) e maior produção de matéria seca de folhas (11,22 g/planta), de caules (5,67 g/planta) e de raízes (9,88 g/planta). O tratamento com granulado gesso/MgO (70/30) promove maiores conteúdos de Mg nas folhas (33,86 mg/planta), nos caules (13,36 mg/planta) e nas raízes (62,97 mg/planta). Os maiores conteúdos de B nas folhas (2,83 mg/planta) e nos caules (0,24 mg/planta) são encontrados no tratamento gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Palavras-chave: Magnésio. Cálcio. Micronutrientes. Disponibilidade. Fertilizantes.

CHAPTER 1

COFFEE WITH MANURE CONILON MAGNESIUM OXIDE ASSOCIATED WITH PHOSPHOGYPSUM AND MICRONUTRIENTS: TRIALS IN GREENHOUSE

ABSTRACT

The development of fertilizers that are technically viable and economic sources of magnesium for coffee is of great importance, as to meet the demand for magnesium in coffee country, the most used source is still the dolomitic limestone. This study aimed to evaluate, in an experiment conducted in a greenhouse, the influence of the application of magnesium oxide associated with phosphogypsum and micronutrients (zinc and boron) in the form of granular fertilizer on the calcium, magnesium and zinc in the soil, dry matter production and contents of calcium, magnesium, zinc and boron in plant. The experimental design was a randomized block with three replicates distributed in a split plot in time, the main plots consisting of 6 treatments (control without fertilizer, NPK; phosphogypsum + NPK; NPK + magnesium oxide; NPK + phosphogypsum/MgO (70/30); NPK + phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B); and the split composed of nine sampling periods. The results show higher levels of calcium ($1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnesium ($1,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and zinc ($7,33 \text{ mg dm}^{-3}$) in the soil for treatments with application of phosphogypsum, granulated phosphogypsum/MgO (70/30) and phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B respectively. The application of phosphogypsum also shows higher calcium content (89,66 and 27,74 mg/plant leaves and stem, respectively) and higher dry matter production of leaves (11,22 g/plant), stem (5,67 g/plant) and roots (9,88 g/plant). Treatment with granulated phosphogypsum/MgO (70/30) show higher contents of magnesium (33,86 mg/plant), stem (13,36 mg/plant) and roots (62,97 mg/plant). The greatest contents in leaves B (2,83 mg/plant) and stem (0,24 mg/plant) are found in the treatment phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B.

Key words: Magnesium. Calcium. Micronutrient. Availability. Fertilizer.

1 INTRODUÇÃO

As lavouras de café do Estado do Espírito Santo foram implantadas, de maneira geral, em solos que apresentam baixa fertilidade natural e em sua maioria, características de alta acidez, toxidez de alumínio (Al) e, ou manganês (Mn) e também baixos níveis de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (SOUZA et al., 2012), chegando a afetar o desenvolvimento das plantas, com redução da sua produtividade.

No mercado brasileiro e mundial de fertilizantes e corretivos, a maior importância é dada às fontes de NPK, que são as bases das formulações comerciais (POLIDORO, 2009). Entretanto, esses insumos têm em suas formulações quantidades de outros nutrientes minerais tão importantes para a produção agrícola quanto o nitrogênio (N), o potássio (K) e o fósforo (P), tais como: enxofre, cálcio e, eventualmente, magnésio e micronutrientes como o zinco.

Em culturas perenes, como o café, o calcário é a principal fonte de cálcio e magnésio utilizada no Brasil, sendo aplicado na superfície do solo. Esse fato ocasiona, em virtude da pouca movimentação de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo, as seguintes situações: i) elevação do pH para valores na faixa alcalina nos primeiros cinco centímetros do solo (CAIRES et al., 2006); ii) diminuição da eficiência de obtenção de Ca e Mg pelas plantas; iii) baixa eficiência agrônômica nas adubações nitrogenadas à base de ureia ou fertilizantes com formas amoniacais; e iv) diminuição da disponibilidade de micronutrientes, como o zinco (MEURER, 2004).

A utilização do gesso agrícola pode minimizar os efeitos negativos provocados pela pouca movimentação do Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo com a aplicação de calcário. O gesso agrícola, subproduto no processo de fabricação de ácido fosfórico, dada a neutralidade dos pares iônicos formados após dissolução, apresenta grande mobilidade ao longo do perfil do solo possibilitando melhorias das condições subsuperficiais, aumentando os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidade e favorecendo o aprofundamento do sistema radicular (QUAGGIO et al., 1993; DONAGEMMA, 2005).

Outro resíduo industrial que apresenta potencial para ser utilizado na agricultura é o óxido de magnésio. Produto intermediário do processo industrial de produção de

refratários a partir do emprego de magnesita ($MgCO_3$) e esse resíduo apresenta até 94 % de óxido de magnésio (MgO) e baixa solubilidade em meio aquoso (CORREIA, 2001). Essas características evidenciam um grande potencial para seu uso agrícola como matéria prima para a produção de fertilizantes minerais como a principal fonte de magnésio, para ser inserida nas formulações NPK, tanto aquelas formuladas para o plantio quanto para as adubações de cobertura para a cultura do cafeeiro.

Este trabalho teve por objetivo avaliar, em experimento conduzido em casa de vegetação, a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e a micronutrientes (Zn e B), na forma de fertilizante granulado, sobre os teores de cálcio, magnésio e zinco no solo, produção de matéria seca e conteúdos de cálcio, magnésio, zinco e boro na planta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA - UFES) em Alegre - ES.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 3 repetições, distribuídos em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais compostas por 6 tratamentos: controle sem adubação (T1); NPK (T2); NPK + gesso agrícola (T3); NPK + óxido de magnésio (T4); NPK + gesso/ MgO (70/30) (T5); NPK + gesso/ MgO (70/30) + Zn + B (T6); e as subparcelas compostas por 9 períodos de amostragem (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 e 180 dias após transplântio das mudas), totalizando 162 unidades experimentais.

A adubação fosfatada e potássica foi realizada com 200 e 252 $mg\ dm^{-3}$ de P e K (fosfato de potássio P.A.), respectivamente, em uma única aplicação, incorporando o fosfato de potássio P.A., em pó, à massa total de solo do vaso.

A adubação nitrogenada foi realizada com 100 $mg\ dm^{-3}$ de N (sulfato de amônio, P. A.) aplicado parcelado em doses de 20 $mg\ dm^{-3}$ aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplântio das mudas, aplicado na forma de solução na superfície do solo. As adubações nitrogenada, fosfatada e potássica foram baseadas na metodologia

descrita para experimentos conduzidos em ambientes protegidos recomendada por Novais et al. (1991).

O gesso agrícola (28 % de CaO) foi aplicado na superfície do solo na forma de pó, com dose equivalente a 270 mg dm^{-3} de Ca. O óxido de magnésio (60 % de MgO), subproduto da calcinação da magnesita natural, foi aplicado na superfície do solo na forma de pó, com dose equivalente a 75 mg dm^{-3} de Mg.

As quantidades aplicadas do granulado gesso/MgO (70/30) (70 % de gesso agrícola e 30 % de óxido de magnésio) e do granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B (90 % de gesso/MgO (70/30) + 6 % de Zn e 4 % de B) foram baseadas na quantidade de Ca aplicada no tratamento com gesso agrícola. Os granulados foram aplicados na superfície do solo.

O gesso agrícola, o óxido de magnésio e os granulados gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B foram cedidos pela Embrapa Solos. O granulado gesso/MgO (70/30) é confeccionado a partir da mistura de 70 % de gesso agrícola e 30 % de óxido de magnésio. No granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B são adicionados 6 % de zinco e 4 % de boro, além do gesso agrícola e do óxido de magnésio.

Amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo (Tabela 1) foram coletadas na profundidade de 20 - 40 cm, no município de Alegre - ES. Após coletadas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

O experimento foi instalado em fevereiro de 2012, utilizando-se uma muda do clone 02 da variedade clonal de café "Incaper 8142 - Conilon Vitória" por vaso. A muda foi plantada em vaso com o fundo vedado com capacidade para 15 dm^3 , contendo 11 dm^3 de solo. A irrigação foi realizada com água deionizada. A quantidade de água deionizada aplicada foi calculada através da porosidade total, mantendo o solo com 40 % do espaço poroso ocupado com água por meio da pesagem dos vasos. O período experimental foi de seis meses, finalizando em agosto de 2012.

Após cada período de amostragem, os vasos de cada subparcela foram retirados e as plantas seccionadas a cerca de 1 cm do solo, separando em folhas, caules e raízes e secas em estufa (65° C) para posterior determinação da produção de matéria seca de folhas (MSF), de caules (MSC) e de raízes (MSR) do cafeeiro.

Os teores de Ca, Mg e Zn nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica da matéria seca. Os teores de B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram determinados pelo método colorimétrico da azometina H após digestão via seca por processo de incineração da matéria seca (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1 - Caracterização física e química do solo estudado

Atributos	
Areia (kg kg ⁻¹) ^a	0,25
Silte (kg kg ⁻¹) ^a	0,05
Argila (kg kg ⁻¹) ^a	0,70
pH ^b	5,40
P (mg dm ⁻³) ^c	0,29
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^d	0,09
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^e	0,51
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^e	0,44
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³) ^f	1,36
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^g	0,37
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ^h	1,98
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	1,04
CTC potencial (cmol _c dm ⁻³)	3,02
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	1,41
Saturação por bases (%)	34,44

^a Método da Pipeta (Agitação Lenta) (Ruiz, 2005); ^b pH em água (relação 1:2, 5); ^c Extraído com Mehlich-1 e determinado por colorimetria; ^d Extraído com Mehlich-1 e determinado por espectrofotometria de chama; ^e Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; ^f Extraído por Mehlich-1 e determinado por espectrometria de absorção atômica; ^g Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; e ^h Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação; (EMBRAPA, 1997).

Os conteúdos de Ca, Mg, Zn e B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram calculados multiplicando-se os teores dos nutrientes pelos respectivos valores do peso da matéria seca, obtidos em cada amostragem ($C = MS \times T$, em que C = conteúdo do nutriente; MS = peso da matéria seca; e T = teor do nutriente).

Após cada período de amostragem, o solo dos vasos de cada subparcela foi homogeneizado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm, procedendo-se as seguintes análises: pH em água, cálcio, magnésio e zinco, conforme EMBRAPA (1997), buscando verificar as possíveis variações químicas que ocorreram no solo em função dos tratamentos aplicados.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Os tratamentos foram avaliados por meio da comparação de médias por contrastes (ALVAREZ V. & ALVAREZ, 2006) (Tabela 2) e testados pelo teste F nos níveis de 1 % e 5 % de probabilidade, enquanto os tempos de amostragem foram avaliados por regressão.

Tabela 2 – Contrastes médios dos teores de Ca, Mg e Zn no solo, dos conteúdos de Ca, Mg, Zn e B e da produção de matéria seca nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) do cafeeiro para os diferentes tratamentos

Contrastes Ortogonais	T1	T2	T3	T4	T5	T6
C1	-5	1	1	1	1	1
C2	0	-4	1	1	1	1
C3	0	0	-2	0	1	1
C4	0	0	0	-2	1	1
C5	0	0	0	0	-1	1

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (+++++,5-); **C2:** T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); **C3:** T5 + T6 vs T3 (++,2-); **C4:** T5 + T6 vs T4 (++,2-); e **C5:** T6 vs T5 (+,-). T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. Testados pelo teste F nos níveis de 1 % e 5 % de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos valores de pH em água, de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo para os diferentes tratamentos e tempos de coleta são apresentadas na tabela 3. Os valores de pH em água, de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo nos tempos de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados são apresentados nas figuras 1, 2, 3 e 4 e suas respectivas equações de regressão se encontram na tabela 1A (Apêndice).

De modo geral, não há ajuste para os modelos de regressões para os valores de pH em água, de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo, o que pode estar relacionado ao fato da

planta absorver quantidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} muito menores do que os adubos estão disponibilizando para as plantas.

Os valores de pH encontrados se enquadram na classe de elevada acidez (< 5,0) para os tratamentos T2, T3 e T4 e na classe de acidez média (5,0 - 5,9) para os tratamentos T1, T5 e T6 (Tabela 3), de acordo com Prezotti et al. (2007).

Tabela 3 – Valores de pH em água, de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo cultivado com cafeeiro sob diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	Média
pH em H_2O (1:2,5)										
T1	5,2	5,2	4,9	5,6	4,8	4,9	5,4	5,3	5,4	5,2
T2	5,3	5,1	4,8	5,0	4,7	4,5	4,7	4,6	4,6	4,8
T3	5,0	4,8	4,5	4,8	4,5	4,2	4,5	4,4	4,3	4,5
T4	5,2	5,2	5,1	5,1	4,8	4,8	4,9	4,6	4,7	4,9
T5	5,2	5,1	5,5	5,3	5,0	5,4	5,3	4,9	5,1	5,2
T6	5,1	5,1	5,9	5,3	5,1	5,0	5,3	4,7	5,1	5,2
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)										
T1	0,71	0,49	0,88	0,45	0,17	0,56	0,47	0,38	0,42	0,50
T2	0,73	0,46	0,60	0,46	0,19	0,59	0,49	0,35	0,32	0,47
T3	0,91	1,37	1,36	0,99	0,77	1,96	1,27	1,01	1,07	1,19
T4	0,73	0,50	0,57	0,53	0,16	0,58	0,47	0,47	0,39	0,49
T5	0,81	0,67	0,83	0,62	0,47	1,15	0,89	0,65	0,83	0,77
T6	0,63	0,65	1,00	0,66	0,49	0,97	0,93	0,65	0,77	0,75
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)										
T1	0,44	0,28	0,38	0,25	0,31	0,33	0,25	0,34	0,33	0,32
T2	0,45	0,27	0,27	0,26	0,33	0,36	0,29	0,33	0,32	0,32
T3	0,46	0,30	0,27	0,27	0,32	0,36	0,30	0,38	0,30	0,33
T4	0,61	0,86	1,04	0,35	0,68	1,33	0,86	1,17	1,08	0,89
T5	1,77	1,41	2,07	1,31	1,94	2,49	1,98	1,73	2,10	1,87
T6	0,75	1,01	2,51	1,30	1,81	1,83	1,85	1,47	2,09	1,62
Zn^{2+} (mg dm^{-3})										
T1	1,10	0,84	0,43	0,81	0,80	0,83	1,07	0,82	0,80	0,83
T2	1,56	1,00	0,46	0,72	1,01	1,16	1,50	1,10	0,94	1,05
T3	1,09	1,00	0,38	1,03	0,99	1,26	1,32	0,94	1,04	1,00
T4	1,29	0,99	0,72	0,98	0,79	1,21	1,35	1,34	1,41	1,12
T5	1,01	0,98	1,46	0,89	0,86	1,02	1,24	0,90	0,99	1,04
T6	1,55	3,92	19,79	1,98	3,74	3,53	13,59	5,92	11,98	7,33

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Observa-se, ao final do experimento, valores de pH mais elevados para o tratamento T1 (Figura 1), o que pode estar relacionado a não realização da adubação nitrogenada (sulfato de amônio). Costa et al. (2008), trabalhando em pastagem de capim-marandu, verificaram que o sulfato de amônio promoveu maior acidificação do solo que a ureia em todas as doses aplicadas, nas profundidades 0 - 20 e 20 - 40 cm. Aliado a este fato, o menor crescimento das plantas no tratamento T1, havendo menor extração de bases e exsudação de íons H^+ , pode ter contribuído para os valores de pH mais elevados.

De modo geral, são observadas nos tratamentos T2, T3 e T4 uma diminuição nos valores de pH ao longo dos tempos de coleta (Figura 1). É provável que com o maior crescimento (parte aérea e raízes) e aumento da absorção de nutrientes pelas plantas de café ocorre aumento na remoção de cátions de caráter básico do solo resultando no aumento de formas trocáveis de H^+ e Al^{3+} no complexo sortivo, favorecendo maiores concentrações destes íons na solução do solo (ARAÚJO et al., 2009). Este fato também pode estar relacionado ao desbalanço na absorção iônica pelas plantas. Quando a absorção de cátions excede a de ânions, as raízes exsudam H^+ reduzindo o pH do meio (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Observa-se que para os tratamentos T5 e T6, os valores de pH se mantiveram estáveis ao longo dos tempos de coleta (Figura 1), o que pode estar relacionado à liberação mais gradual do tratamento utilizado, na forma de adubo granulado. Os valores de pH mais elevados nos tratamentos T5 e T6 estão relacionados a presença do MgO na formulação do granulado, esse apresenta características de correção da acidez do solo.

Observando os teores médios de Ca^{2+} no solo, verifica-se que os mesmos se encontram em níveis baixos ($< 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), de acordo com Prezotti et al. (2007), para todos os tratamentos (Tabela 3). Este resultado é explicado pela quantidade aplicada ($1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nos tratamentos que receberam o elemento (T3, T5 e T6), quantidade esta insuficiente para aumentar os teores de Ca^{2+} no solo para níveis elevados ($> 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Apesar da mesma quantidade de Ca aplicada, observa-se que a aplicação de gesso agrícola (T3) eleva os teores de Ca^{2+} no solo em $0,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em relação aos valores iniciais, enquanto nos tratamentos com aplicação de gesso/MgO (70/30) (T5) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6) os teores de Ca^{2+} no solo se elevam em 0,26 e

0,24 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente (Tabelas 1 e 3). Este comportamento pode estar relacionado à diferença de solubilidade dos adubos, sendo as formas de aplicação em pó (T3) mais solúveis do que os granulados (T5 e T6). Para os tratamentos T5 e T6, o Ca^{2+} é liberado para o solo de maneira mais lenta ao longo do tempo, por terem sido aplicados na forma granulada, acompanhando o mesmo comportamento dos valores de pH (Figura 1 e Tabela 3).

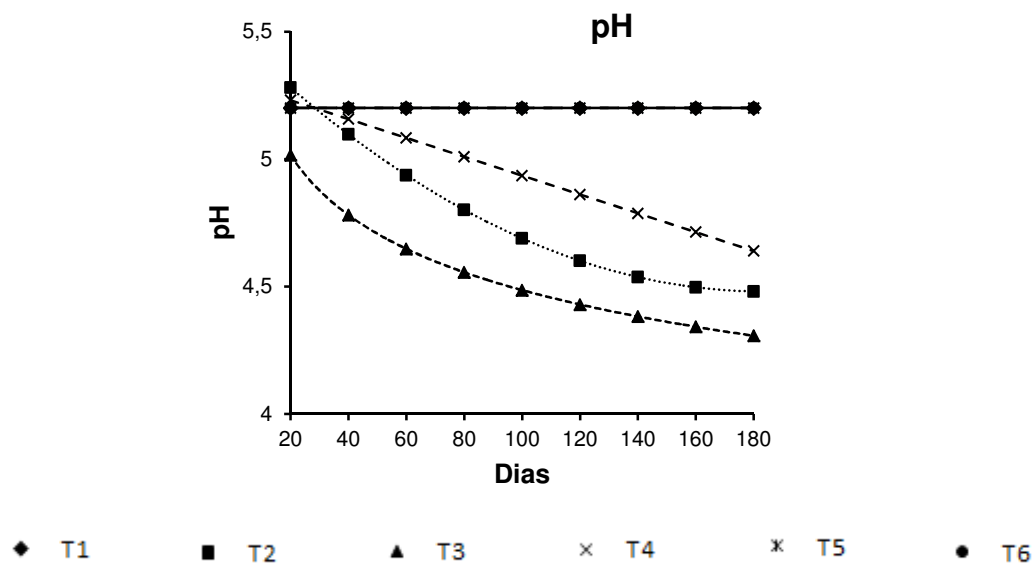


Figura 1 – Valores de pH em água, nos tempos de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Os teores de Ca^{2+} no solo nos tratamentos T1, T2 e T4 são semelhantes pelo fato destes não terem recebido fontes de Ca (Figura 2).

Ao analisar os teores médios de Mg^{2+} no solo, nota-se que os mesmos se encontram em níveis baixos ($< 0,5 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para os tratamentos T1, T2 e T3, médios ($0,5 - 1,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para o tratamento T4 e, para os tratamentos T5 e T6, os níveis estão altos ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) (Tabela 3), segundo Prezotti et al. (2007).

A quantidade de magnésio aplicada no tratamento T4 corresponde a $0,6 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Mg, sendo insuficiente para elevar os teores de Mg^{2+} no solo para níveis altos ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Nos tratamentos T5 e T6 a quantidade correspondeu a

aproximadamente $1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg, sendo suficiente para elevar os teores de Mg^{2+} para níveis altos ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

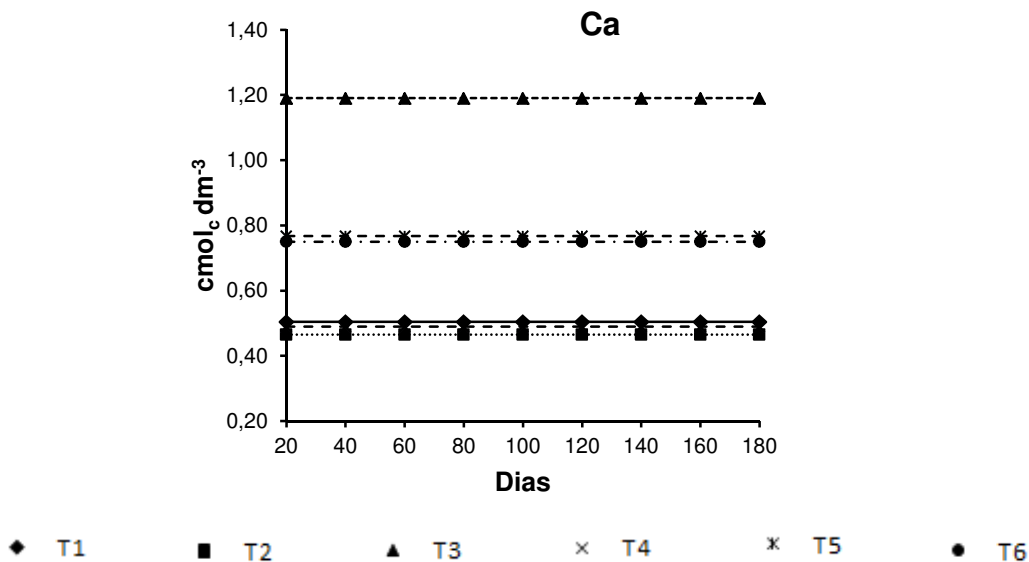


Figura 2 – Teores de cálcio no solo, nos tempos de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Os valores baixos de Mg^{2+} para os tratamentos T1, T2 e T3 ao longo dos tempos de coleta (Figura 3) são justificados pelo baixo teor inicial de Mg^{2+} no solo (Tabela 1) e por não ter sido adicionada nenhuma fonte de Mg nestes tratamentos. Os teores de Mg^{2+} no solo, ao longo dos tempos de coleta, são superiores para os tratamentos T5 e T6 quando comparado ao tratamento T4, em função das maiores quantidades de Mg aplicadas naqueles tratamentos (Figura 3).

Ao analisar os teores médios de Zn^{2+} no solo, observa-se que no tratamento T1 os teores estão baixos ($< 1,0 \text{ mg dm}^{-3}$), médios ($1,0 - 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) nos tratamentos T2, T3, T4 e T5 e, no tratamento T6, os teores estão altos ($> 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 3), segundo Prezotti et al. (2007).

Os valores baixos de Zn^{2+} para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 ao longo dos tempos de coleta (Figura 4) são justificados pelo baixo teor inicial de Zn^{2+} no solo e por não ter sido adicionada nenhuma fonte de Zn nestes tratamentos. Os maiores

teores de Zn^{2+} no solo encontrados no tratamento T6 (Figura 4) está relacionado ao fato deste ser o único tratamento com adição de Zn.

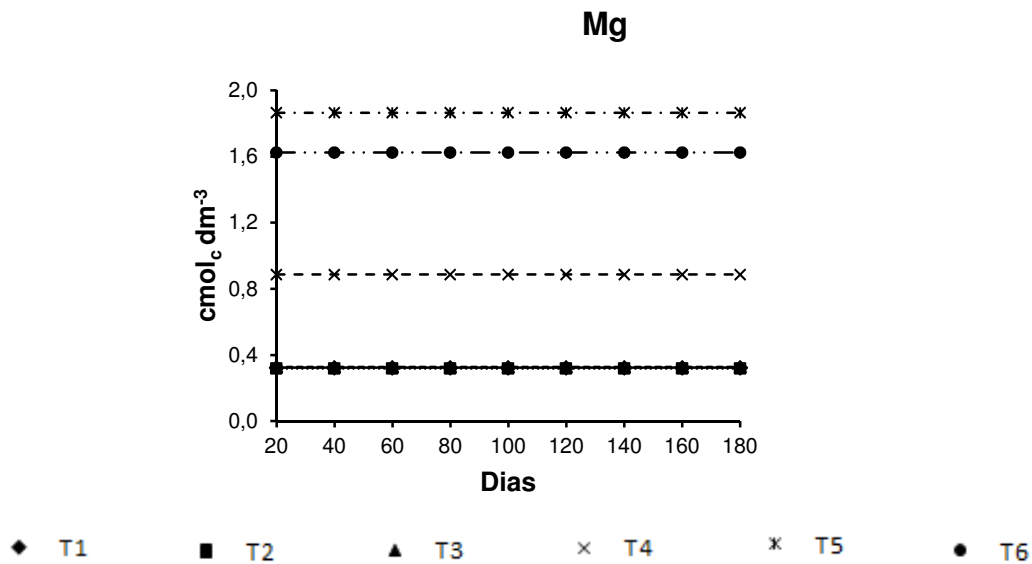


Figura 3 – Teores de magnésio no solo, nos tempos de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

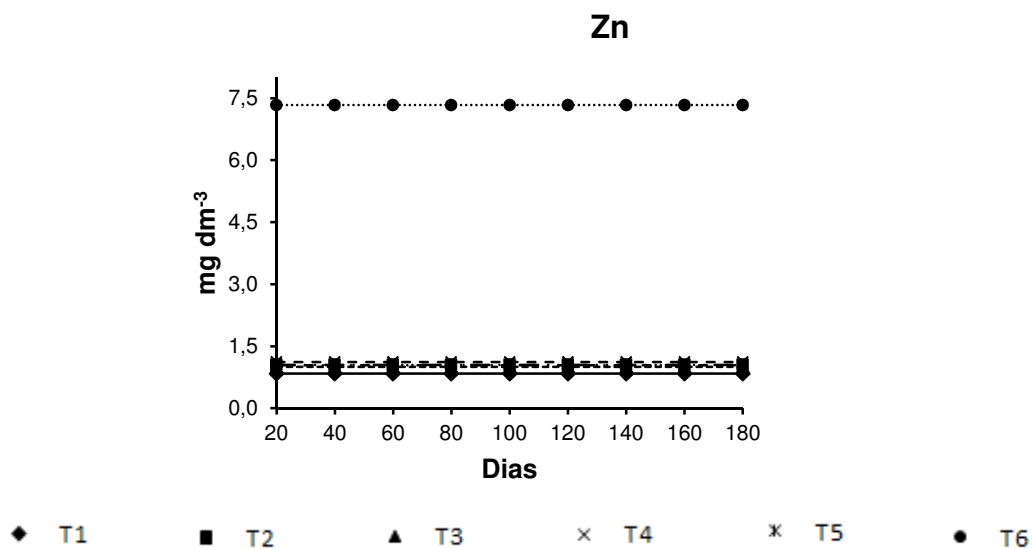


Figura 4 – Teores de zinco no solo, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

A discussão dos resultados a seguir é feita com base nos conteúdos e não nos teores dos nutrientes, uma vez que o tratamento controle (T1) produz uma quantidade muito baixa de matéria seca e com isso ocorre incremento do teor do nutriente na planta. Por sua vez, nos tratamentos em que há maior produção de matéria seca favorece a um efeito de diluição dos nutrientes (JARRELL & BEVERLY, 1981).

Os conteúdos de nutrientes determinados nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro conilon, no presente estudo, não podem ser comparados a valores tabelados para a cultura, uma vez que estes são determinados apenas em determinado grupo de folhas, o que não apresenta correspondência com os conteúdos determinados em toda a planta.

Os conteúdos de cálcio nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados são apresentados na figura 5 e as respectivas equações de regressão se encontram na tabela 5A (Apêndice).

Independente dos tratamentos, observa-se que os conteúdos de cálcio são superiores nas folhas em relação aos conteúdos nos caules e nas raízes (Figura 5). Adquirido inicialmente pelas raízes, a maior parte do cálcio é transportada no xilema, embora pequena parte possa fazê-lo pelo floema, para as folhas. Depois de alocado nas folhas, o Ca torna-se imóvel (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Bragança et al. (2007b), trabalhando com acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon, observaram que as folhas acumularam 33 % do Ca presente no conilon; 28 % no tronco mais ramos ortotrópicos; 21 % nos ramos plagiotrópicos; 9 % nas raízes; e 9 % nos frutos.

Os conteúdos de cálcio nas folhas, de modo geral, aumentam continuamente ao longo dos tempos de coleta. Enquanto os conteúdos de Ca nos caules e raízes aumentam a partir dos 80 dias após o transplântio das mudas (Figura 5).

As médias dos conteúdos de Ca nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro são apresentadas na tabela 4. Os maiores conteúdos de Ca nas folhas e caules é no tratamento T3, provavelmente pela relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) estar dentro da faixa ideal para a cultura do café (MATIELLO & GARCIA, 2012), quando comparada aos demais tratamentos, neste caso, distante da faixa ideal (Tabela 3).

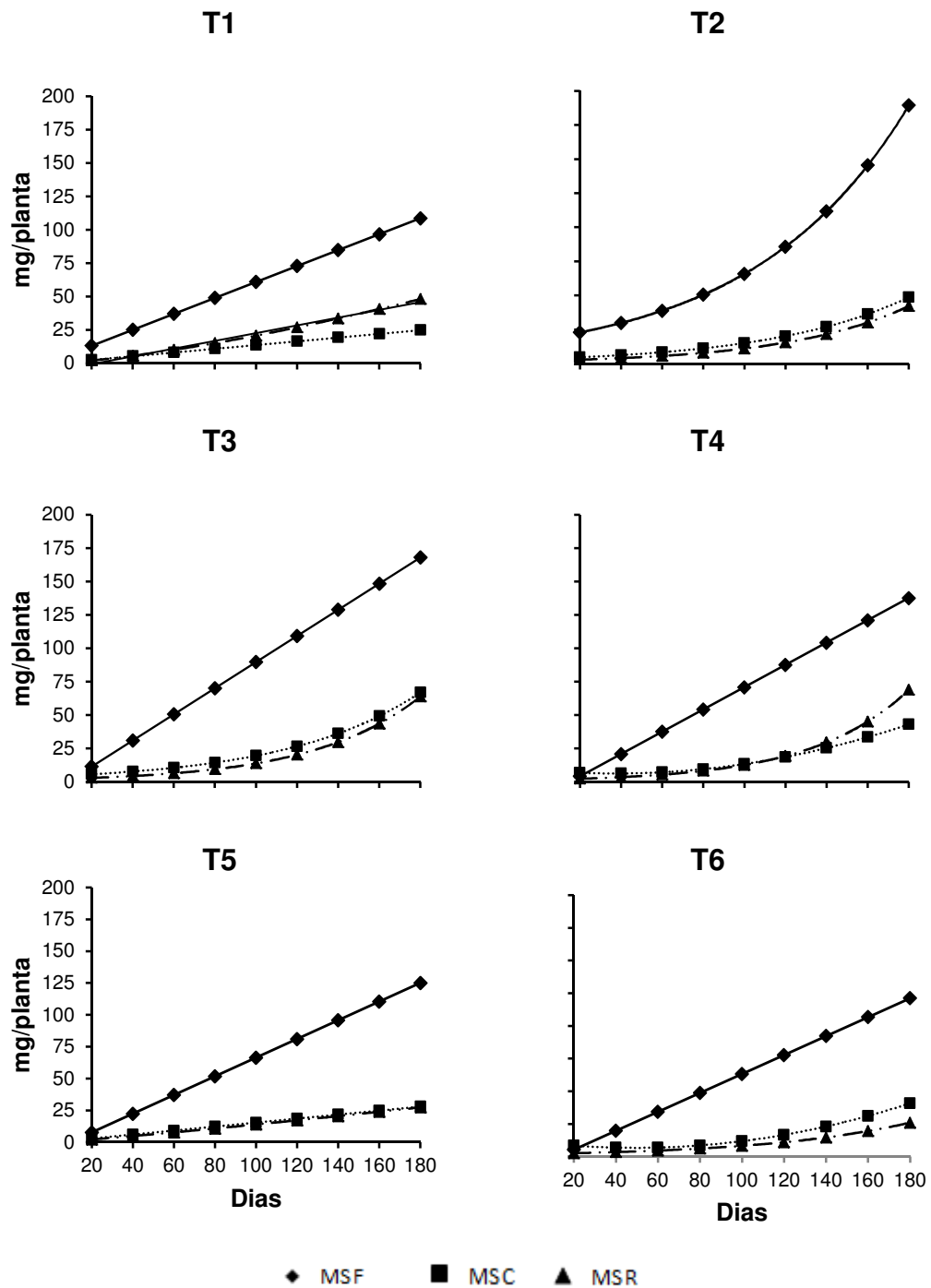


Figura 5 – Conteúdos de cálcio nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6). MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caules; e MSR: matéria seca de raízes.

O conteúdo médio de Ca na parte aérea (folhas + caules) para o tratamento T3 é de 117,40 mg/planta e nas raízes de 21,97 mg/planta. Rodrigues et al. (2006), trabalhando com as variedades catuaí e icatu (adubadas com 50 mg kg⁻¹ de N, 434 mg kg⁻¹ de P e 150 mg kg⁻¹ de K), por 195 dias, encontraram conteúdos médios de Ca na parte aérea de 127,02 mg/planta (catuaí) e 106,21 mg/planta (icatu) e nas raízes de 8,40 mg/planta para as duas variedades.

Pimentel et al. (2008), avaliando mudas de cultivares de *Coffea arabica* L. cultivadas em substrato (composto orgânico, argila e areia, na proporção 1:1:1, com base em volume e enriquecido com 10 % de fosfato de rocha), aos 270 dias, encontraram conteúdos médios de Ca nas folhas de 185,61 g/planta. Mattiello et al. (2008), trabalhando com dois clones de *Coffea canephora* (Mtl 25 e Mtl 27) e uma variedade de *Coffea arabica* (catuaí amarelo), após um período de 95 dias de cultivos em solução nutritiva, observaram conteúdos médios de Ca nas raízes de 6,42 mg/planta (Mtl 25), 4,00 mg/planta (Mtl 27) e 13,06 mg/planta (catuaí amarelo).

Tabela 4 – Conteúdos de cálcio nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	Média
mg/planta										
Folhas										
T1	15,71	21,52	31,05	47,59	57,00	92,75	90,38	90,50	101,83	60,93
T2	23,16	30,67	38,48	45,56	58,30	99,07	132,13	135,57	176,87	82,20
T3	16,92	31,46	37,90	77,41	71,56	132,67	130,38	139,08	169,60	89,66
T4	12,99	26,89	33,63	60,14	41,97	86,55	102,98	120,90	151,28	70,82
T5	12,27	27,79	37,92	50,16	43,45	92,78	89,54	105,81	137,33	66,34
T6	13,32	24,72	36,99	46,76	38,60	78,32	91,07	101,71	138,05	63,28
Caules										
T1	4,95	7,76	9,63	7,90	5,39	17,50	18,94	25,60	26,29	13,77
T2	5,28	6,97	9,97	8,61	7,92	21,46	38,42	53,81	39,33	21,31
T3	7,24	6,93	11,12	14,12	13,01	26,90	49,06	56,02	65,27	27,74
T4	5,65	7,28	10,76	9,85	5,69	19,15	27,82	38,10	39,61	18,21
T5	4,49	9,03	9,44	5,15	17,02	16,56	18,48	27,96	30,17	15,37
T6	6,61	8,00	10,18	11,01	4,24	20,35	24,72	30,36	42,64	17,57
Raízes										
T1	1,94	4,49	12,46	19,58	18,72	35,83	38,04	35,74	34,17	22,33
T2	3,93	3,59	4,77	7,35	10,23	17,78	18,95	38,40	43,05	16,45
T3	2,98	4,84	6,16	10,21	6,86	27,16	44,49	48,98	46,06	21,97
T4	2,19	3,88	6,03	5,68	21,82	16,02	26,45	30,23	98,02	23,37
T5	2,28	4,57	5,21	14,89	22,87	13,07	17,85	23,91	26,92	14,62
T6	2,49	4,38	5,34	2,91	9,02	12,98	22,59	21,79	17,76	11,03

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Os conteúdos de magnésio nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados são apresentados na figura 6 e as respectivas equações de regressão se encontram na tabela 6A (Apêndice).

Os conteúdos de magnésio, independente dos tratamentos, são superiores nas raízes em relação aos conteúdos nas folhas e nos caules (Figura 6). Bragança et al. (2007b), trabalhando com acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon, observaram que as folhas acumularam 30 % do Mg total acumulado no conilon; 25 % nas raízes; 23 % no tronco mais ramos ortotrópicos; 15 % nos ramos plagiotrópicos; e 7 % nos frutos.

De modo geral, os conteúdos de magnésio nas folhas, nos caules e nas raízes aumentam a partir dos 80 dias após o transplântio das mudas (Figura 6).

As médias dos conteúdos de Mg nas folhas, nos caules e nas raízes são apresentadas na tabela 5. Os maiores conteúdos de Mg nas folhas, nos caules e nas raízes estão no tratamento T5, o que pode estar relacionado às menores relações Ca:Mg no solo favorecendo a absorção de Mg.

Os conteúdos médios de Mg na parte aérea (folhas + caule) para os tratamentos T5 e T6 são de 47,22 mg/planta e 43,55 mg/planta, respectivamente, e nas raízes de 62,97 mg/planta (T5) e 31,27 mg/planta (T6). Rodrigues et al. (2006), avaliando as variedades catuaí e icatu (adubadas com 50 mg kg⁻¹ de N, 434 mg kg⁻¹ de P e 150 mg kg⁻¹ de K), por 195 dias, observaram conteúdos médios de Mg na parte aérea de 31,90 mg/planta (catuaí) e 23,94 mg/planta (icatu) e nas raízes de 9,20 mg/planta (catuaí) e 7,92 mg/planta (icatu).

Pimentel et al. (2008), trabalhando com mudas de cultivares de *Coffea arabica* L. cultivadas em substrato (composto orgânico, argila e areia, na proporção 1:1:1, com base em volume e enriquecido com 10 % de fosfato de rocha), aos 270 dias, encontraram conteúdos médios de Mg nas folhas de 64,12 g/planta.

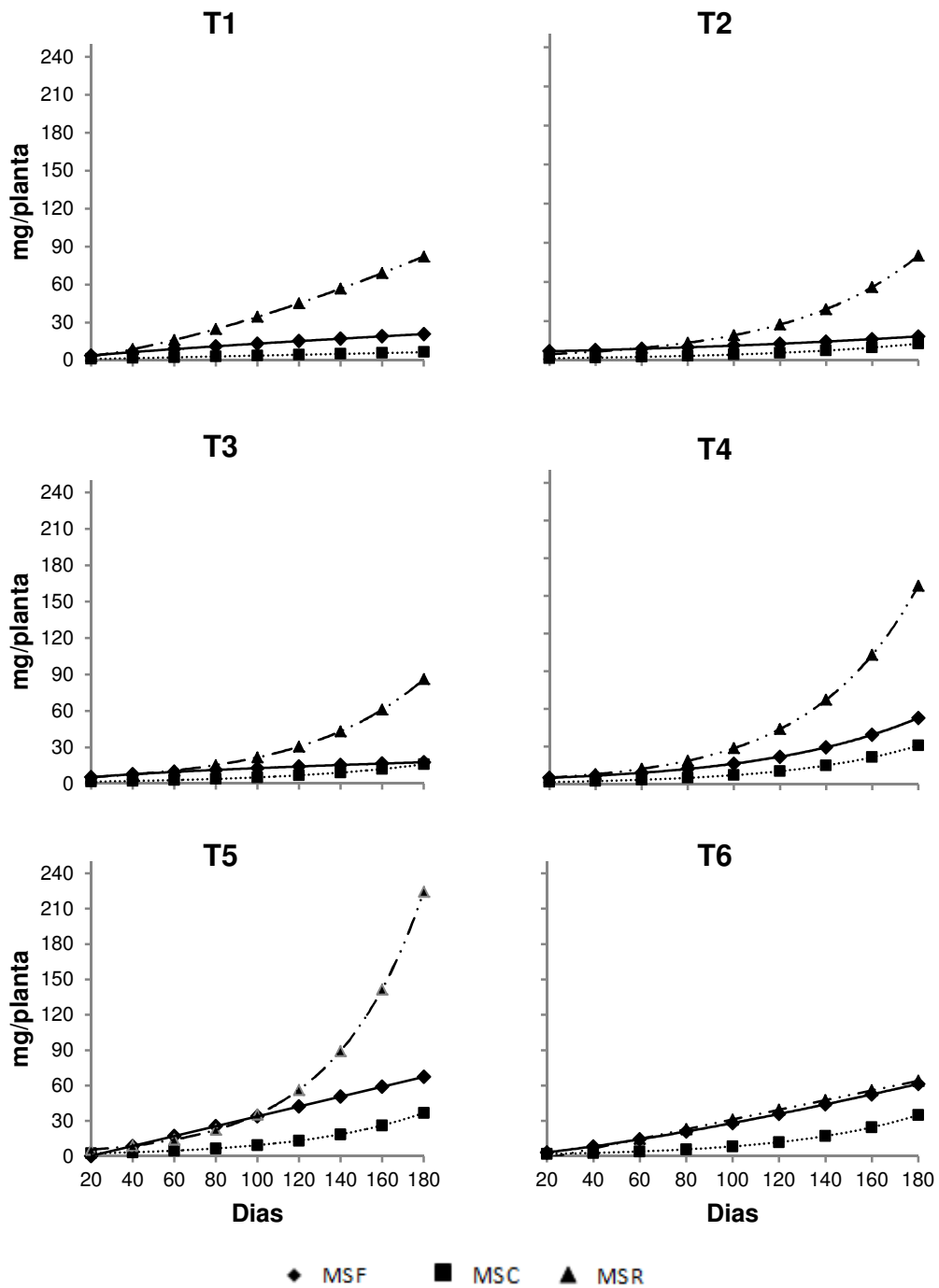


Figura 6 – Conteúdos de magnésio nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6). MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caules; e MRS: matéria seca de raízes.

Tabela 5 – Conteúdos de magnésio nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)									Média
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	
mg/planta										
Folhas										
T1	4,58	5,54	7,28	9,87	15,75	19,48	18,08	17,51	19,72	13,09
T2	6,65	7,84	9,62	8,03	12,72	10,74	13,78	18,81	16,83	11,67
T3	5,19	7,30	8,58	13,65	17,47	15,06	11,66	18,08	15,46	12,49
T4	4,13	7,64	8,54	15,33	16,15	23,48	26,95	46,90	45,83	21,66
T5	4,09	8,65	15,01	26,02	33,01	41,63	42,54	60,61	73,19	33,86
T6	4,13	7,28	12,75	20,80	25,34	31,80	40,63	61,45	75,50	31,08
Caules										
T1	1,69	1,72	2,74	2,14	3,07	5,30	4,81	6,47	6,59	3,84
T2	2,19	1,80	2,47	1,89	3,65	4,77	8,56	14,36	11,91	5,73
T3	2,47	1,93	2,52	3,66	4,75	5,82	9,84	15,31	15,54	6,87
T4	1,80	2,32	3,02	5,08	7,00	9,60	16,20	28,14	23,68	10,76
T5	1,78	4,01	5,57	6,54	10,00	13,00	18,30	31,74	29,32	13,36
T6	2,18	2,48	3,77	7,21	7,20	13,30	17,04	24,84	34,25	12,47
Raízes										
T1	3,35	6,84	14,37	29,66	48,59	53,17	60,23	54,03	68,01	37,58
T2	3,96	6,34	7,05	21,42	22,15	28,92	37,04	57,98	67,87	28,08
T3	5,15	7,38	8,31	18,07	29,16	30,85	51,22	72,08	59,52	31,30
T4	4,24	7,53	10,50	26,79	34,15	51,01	69,84	116,78	114,18	48,33
T5	4,29	8,88	12,63	30,64	49,70	52,69	101,68	127,26	178,99	62,97
T6	4,80	8,66	9,02	20,61	27,45	34,31	51,71	60,57	64,32	31,27

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Os conteúdos de zinco nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados são apresentados na figura 7 e as respectivas equações de regressão se encontram na tabela 7A (Apêndice).

Os conteúdos de zinco são mais elevados nas raízes, de modo geral, em relação aos conteúdos nas folhas e nos caules (Figura 7). O Zn encontra-se concentrado em grande parte nas raízes, haja vista ser muito pequena a mobilidade de redistribuição do Zn na planta (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Do total de zinco acumulado na planta 61 % foram alocados para as raízes, 15 % para os ramos plagiotrópicos, 9 % para os frutos e 9 % para o tronco mais ramos ortotrópicos (BRAGANÇA et al., 2007a).

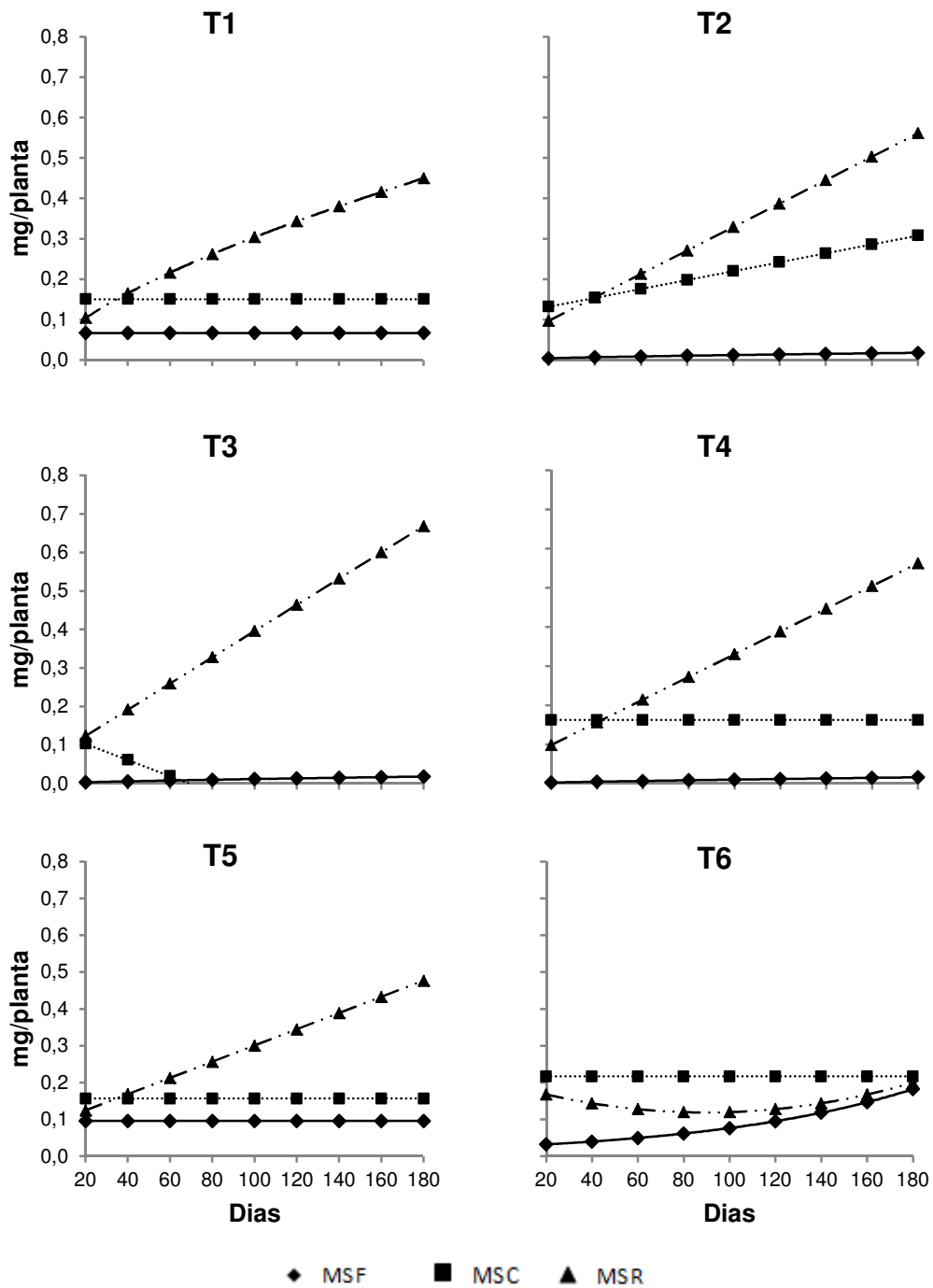


Figura 7 – Conteúdos de zinco nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6). MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caules; e MRS: matéria seca de raízes.

De modo geral, os conteúdos de zinco nas raízes aumentam continuamente ao longo dos tempos de coleta. Enquanto para os conteúdos de Zn nos caules e nas folhas, de modo geral não há ajuste de modelos de regressão (Figura 7).

As médias dos conteúdos de Zn nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Conteúdos de zinco nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)									Média
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	
mg/planta										
Folhas										
T1	0,03	0,05	0,04	0,16	0,06	0,04	0,05	0,08	0,08	0,07
T2	0,04	0,08	0,07	0,08	0,16	0,10	0,15	0,26	0,13	0,12
T3	0,03	0,08	0,08	0,19	0,15	0,13	0,12	0,22	0,18	0,13
T4	0,03	0,04	0,07	0,09	0,11	0,09	0,07	0,22	0,12	0,09
T5	0,03	0,07	0,10	0,09	0,13	0,10	0,03	0,19	0,13	0,10
T6	0,03	0,05	0,07	0,09	0,04	0,07	0,08	0,21	0,23	0,10
Caules										
T1	0,15	0,12	0,09	0,16	0,10	0,18	0,22	0,16	0,18	0,15
T2	0,12	0,20	0,14	0,23	0,20	0,21	0,24	0,35	0,29	0,22
T3	0,14	0,16	0,21	0,23	0,21	0,20	0,25	0,23	0,46	0,23
T4	0,13	0,14	0,14	0,19	0,15	0,15	0,17	0,16	0,24	0,16
T5	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17	0,19	0,18	0,16	0,16
T6	0,15	0,18	0,14	0,25	0,12	0,20	0,22	0,22	0,47	0,22
Raízes										
T1	0,10	0,12	0,23	0,31	0,52	0,34	0,39	0,29	0,40	0,30
T2	0,09	0,24	0,13	0,26	0,36	0,45	0,36	0,47	0,63	0,33
T3	0,18	0,28	0,10	0,22	0,49	0,43	0,57	0,58	0,68	0,39
T4	0,11	0,23	0,12	0,28	0,31	0,39	0,39	0,55	0,59	0,33
T5	0,13	0,19	0,14	0,24	0,36	0,43	0,37	0,28	0,57	0,30
T6	0,16	0,20	0,10	0,16	0,18	0,19	0,29	0,31	0,36	0,22

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Os maiores conteúdos de Zn nas folhas, nos caules e nas raízes não correspondem ao tratamento com aplicação de Zn e, conseqüentemente, com os teores mais elevados no solo (Tabela 3), o que pode estar relacionado ao aumento nos teores de magnésio no solo reduzindo a absorção de Zn, devido a inibição competitiva entre o Zn e o Mg, por se tratar de elementos com valência, raio iônico e grau de hidratação semelhantes (KABATA - PENDIAS, 2010).

Os conteúdos de boro nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados são

apresentados na figura 8 e as respectivas equações de regressão se encontram na tabela 8A (Apêndice).

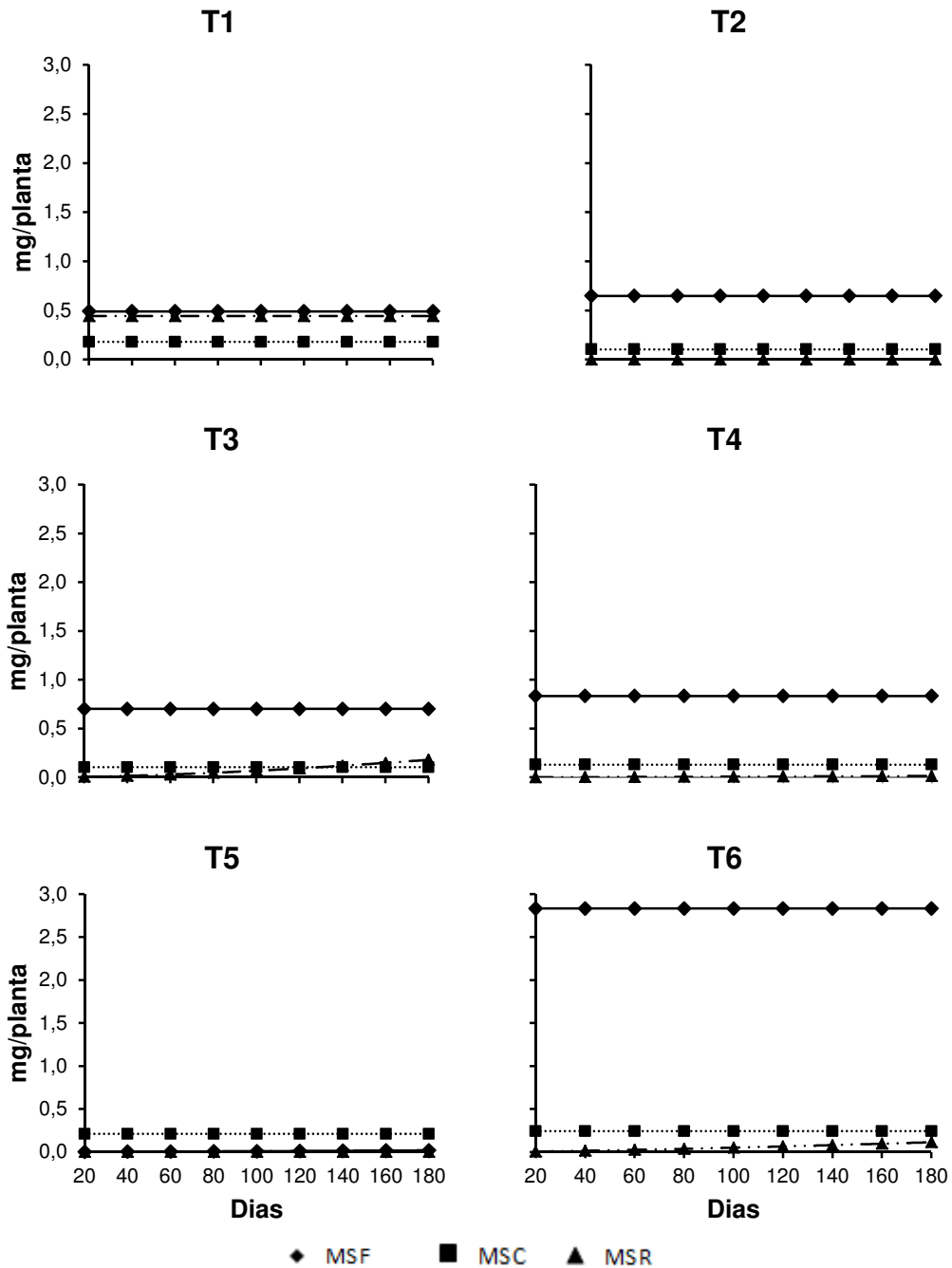


Figura 8 – Conteúdos de boro nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) das plantas de café, em mg/planta, no tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6). MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caules; e MSR: matéria seca de raízes.

De modo geral, pode se afirmar que não é possível ajustar um modelo para os tempos de coleta para os tratamentos estudados.

As médias dos conteúdos de B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro são apresentadas na tabela 7. Os maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules correspondem ao tratamento em que ocorre adição de B no granulado (T6) (Tabela 7). Provavelmente havendo solubilização deste granulado, disponibilizando maiores teores de BO_3^{3-} no solo.

Tabela 7 – Conteúdos de boro nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	
	mg/planta									
	Folhas									
										Média
T1	0,11	0,08	0,46	0,42	0,66	0,85	0,48	0,36	1,01	0,49
T2	0,32	0,16	0,53	0,21	0,69	1,50	1,28	0,40	0,72	0,65
T3	0,26	0,16	0,45	0,27	0,80	2,30	0,65	0,42	0,99	0,70
T4	0,05	0,07	0,53	0,39	0,73	1,53	2,99	0,55	0,68	0,83
T5	0,04	0,26	0,43	0,36	0,64	0,72	0,70	0,65	0,56	0,48
T6	0,05	0,04	1,79	3,02	0,32	0,44	1,47	3,73	14,61	2,83
	Caules									
T1	0,04	0,01	0,07	1,12	0,04	0,20	0,04	0,05	0,04	0,18
T2	0,04	0,02	0,10	0,01	0,21	0,19	0,11	0,12	0,12	0,10
T3	0,03	0,03	0,06	0,02	0,13	0,29	0,15	0,09	0,13	0,10
T4	0,04	0,01	0,05	0,05	0,13	0,65	0,09	0,07	0,09	0,13
T5	0,04	0,04	0,09	0,08	0,30	1,13	0,06	0,10	0,06	0,21
T6	0,05	0,09	0,18	0,08	0,31	0,78	0,10	0,28	0,31	0,24
	Raízes									
T1	0,12	0,12	0,24	0,04	0,75	1,18	0,33	0,87	0,33	0,44
T2	0,04	0,15	0,46	0,21	0,51	2,25	0,41	1,73	0,95	0,75
T3	0,05	0,17	0,47	0,29	0,91	2,21	0,70	1,80	1,99	0,95
T4	0,04	0,17	0,54	0,19	1,27	1,72	0,59	2,42	1,11	0,90
T5	0,05	0,47	0,33	0,76	2,43	1,78	1,36	1,73	0,76	1,08
T6	0,06	0,17	0,48	0,11	0,66	0,69	0,45	1,57	1,62	0,65

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

A produção de matéria seca das folhas, dos caules e das raízes das plantas de café, em g/planta, com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados são apresentados na figura 9 e as respectivas equações de regressão se encontram na tabela 9A (Apêndice).

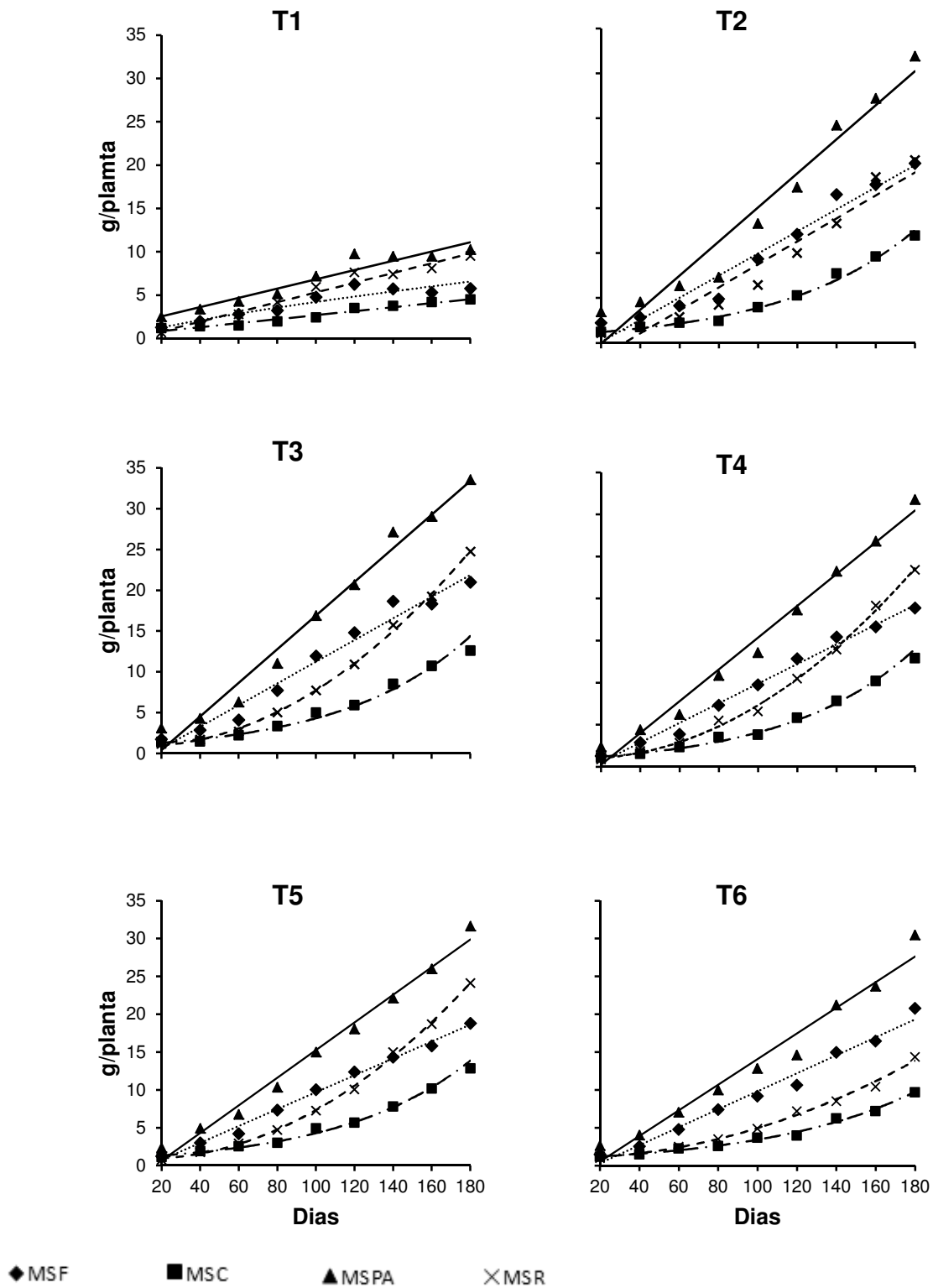


Figura 9 - Produção de matéria seca das folhas (MSF), dos caules (MSC) e das raízes (MSR) das plantas de café, em g/planta, com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. MSF: matéria seca de folhas; MSC: matéria seca de caules; MSPA: matéria seca de parte aérea; e MSR: matéria seca de raízes.

A produção de matéria seca de folhas, de modo geral, aumenta continuamente ao longo dos tempos de coleta, enquanto a produção de matéria seca de caules tem comportamento exponencial, inicialmente o crescimento dos caules é lento e, a partir dos 100 a 120 dias após o transplântio das mudas, o crescimento dos caules aumenta. A produção de matéria seca da parte aérea acompanha o comportamento da produção de MSF, aumentando continuamente ao longo dos tempos de coleta. A produção de matéria seca de raízes tem comportamento quadrático aumentando a partir dos 80 dias após o transplântio das mudas (Figura 9).

As médias de produção de matéria seca de folhas, caules, parte aérea e raízes e a relação parte aérea/raízes do cafeeiro são apresentadas na tabela 8. As maiores produções de matéria seca de folhas, caules e raízes são observadas para o tratamento T3 frente aos demais tratamentos (Tabela 8). Este resultado deve estar relacionado à relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1), por este tratamento estar na faixa ideal para a cultura do café. Segundo Matiello & Garcia (2012), a relação mais adequada para o cafeeiro é de 3 - 5:1. Garcia (1983), comparando relações Ca:Mg para mudas de cafeeiro em dois solos, verificou que as relações 2,5:1 e 3,1:1 no solo foram as que mais favoreceram o crescimento.

Aos 180 dias após transplântio das mudas há menor relação parte aérea/raízes no tratamento T1 devido a menor produção de matéria seca de parte aérea e raízes. Enquanto a maior relação parte aérea/raízes é observada no tratamento T6 devido a menor produção de raízes, porém não há ajuste de modelo de regressão (Figura 10).

A inter-relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas muito similares, como raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade. Essa semelhança faz com que haja competição pelos sítios de adsorção não específica no solo e, conseqüentemente, na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença ou a falta de um nutriente pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (ORLANDO FILHO et al., 1996). A interação desses macronutrientes no sistema solo-planta é medida pela absorção da planta (SCHERER, 1998).

Tabela 8 – Produção de matéria seca de folhas, matéria seca de caules e matéria seca de raízes, matéria seca da parte aérea e relação parte aérea/raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	Média
g/planta										
Matéria seca de folhas										
T1	1,33	1,98	2,79	3,20	4,77	6,26	5,73	5,29	5,76	4,12
T2	2,22	2,81	4,13	4,87	9,35	12,07	16,50	17,60	19,98	9,95
T3	1,72	2,83	4,10	7,71	11,93	14,79	18,64	18,33	20,97	11,22
T4	1,27	2,89	3,88	7,33	9,74	12,84	15,43	16,65	18,88	9,88
T5	1,25	3,02	4,22	7,34	10,06	12,39	14,35	15,82	18,81	9,70
T6	1,50	2,56	4,79	7,43	9,19	10,65	14,97	16,48	20,79	9,82
Matéria seca de caules										
T1	1,16	1,39	1,46	1,93	2,41	3,49	3,73	4,17	4,47	2,69
T2	1,21	1,74	2,22	2,43	3,95	5,25	7,73	9,61	11,94	5,12
T3	1,38	1,45	2,20	3,32	4,98	5,92	8,50	10,72	12,59	5,67
T4	1,09	1,53	2,34	3,53	3,82	5,81	7,82	10,20	12,92	5,45
T5	1,12	1,92	2,54	3,02	4,94	5,68	7,81	10,20	12,87	5,57
T6	1,17	1,48	2,27	2,61	3,69	4,00	6,26	7,22	9,69	4,27
Matéria seca de raízes										
T1	0,68	1,63	2,77	4,16	5,94	7,61	7,40	8,08	9,49	5,31
T2	1,08	1,79	2,87	4,24	6,43	9,99	13,29	18,45	20,34	8,72
T3	1,14	1,70	2,68	5,03	7,73	10,92	15,73	19,24	24,75	9,88
T4	0,88	1,85	2,85	5,50	6,57	10,49	13,93	19,16	23,41	9,40
T5	0,79	1,77	2,95	4,73	7,27	10,08	15,01	18,71	24,14	9,49
T6	1,02	1,73	2,53	3,51	4,90	7,20	8,53	10,43	14,40	6,03
Matéria seca de parte aérea										
T1	2,49	3,38	4,25	5,13	7,18	9,75	9,46	9,46	10,23	6,81
T2	3,44	4,55	6,34	7,30	13,29	17,32	24,22	27,21	31,91	15,07
T3	3,10	4,28	6,30	11,03	16,90	20,71	27,14	29,06	33,57	16,90
T4	2,36	4,42	6,22	10,85	13,56	18,64	23,25	26,84	31,80	15,33
T5	2,37	4,94	6,76	10,36	15,01	18,08	22,16	26,01	31,68	15,26
T6	2,67	4,05	7,06	10,03	12,87	14,65	21,23	23,71	30,48	14,08
Relação parte aérea/raízes										
T1	3,89	2,10	1,53	1,25	1,21	1,27	1,27	1,17	1,08	1,64
T2	3,38	2,55	2,24	1,74	2,09	1,73	1,83	1,48	1,59	2,07
T3	2,68	2,53	2,36	2,20	2,23	1,90	1,73	1,52	1,36	2,06
T4	2,70	2,40	2,19	2,02	2,13	1,78	1,69	1,40	1,36	1,96
T5	2,94	2,80	2,30	2,32	2,08	1,80	1,48	1,39	1,31	2,05
T6	2,62	2,36	2,87	2,88	2,64	2,03	2,51	2,34	2,15	2,49

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso70/30; e T6: NPK + (gesso70/30 + Zn + B).

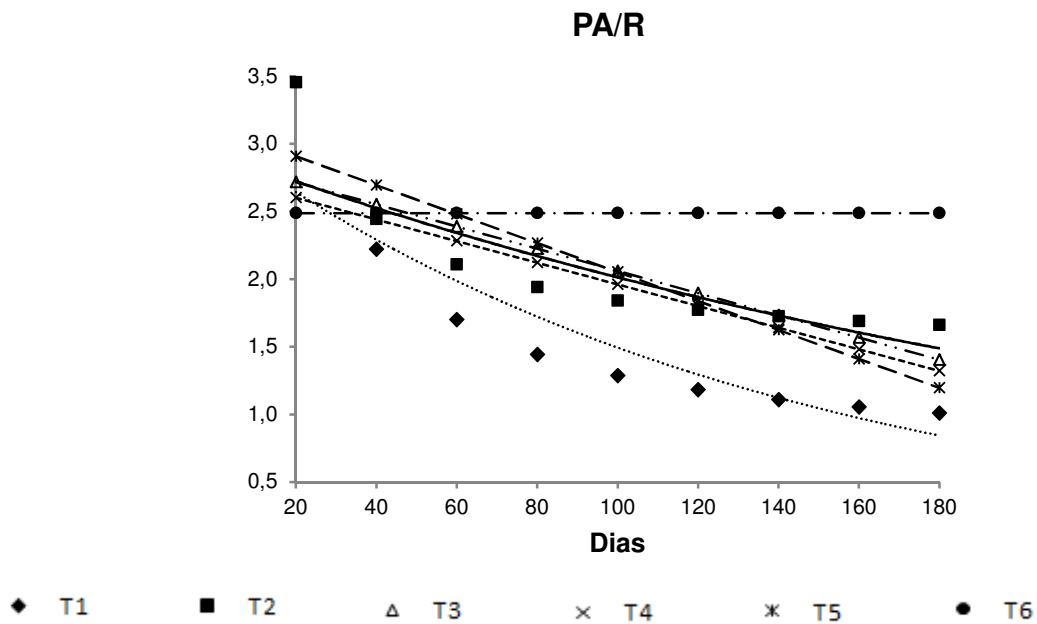


Figura 10 - Relação parte aérea/raízes com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes.

O uso de calcário calcítico, o excesso de adubação potássica ou, com menos frequência, as adubações para reposição de Ca e Mg podem provocar desequilíbrio entre os nutrientes Ca, Mg e K, pois o excesso de um pode prejudicar a absorção do outro, pelo seu efeito antagônico (MATIELLO & GARCIA, 2012).

Os contrastes entre tratamentos para os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo, os conteúdos de Ca, Mg, Zn e B e produção de matéria seca nas plantas (folhas, caules e raízes) são apresentados na tabela 9.

O solo inicialmente se encontra com níveis baixos de Ca^{2+} e Mg^{2+} e médios de Zn^{2+} e, observando o contraste 1 (C1, Tabela 9), verifica-se que a adição de alguma forma de adubação favorece o incremento dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo e, conseqüentemente, os conteúdos de Ca, Mg e Zn nas folhas e nos caules e de B nas folhas e nas raízes do cafeeiro e ainda a produção de matéria seca de folhas, caules e raízes da cultura.

Os teores de Ca^{2+} no solo são superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6 quando contrastados ao tratamento T2 (C2, Tabela 9). Contudo, não é observado o mesmo comportamento para os conteúdos de Ca nas folhas do cafeeiro, o que pode estar

relacionado às relações Ca:Mg no solo nos tratamentos T4 (relação 0,5:1), T5 (relação 0,4:1) e T6 (relação 0,5:1) serem menores quando comparadas ao tratamento T2 (relação 1,5:1) (Tabela 3). Nestes casos, o excesso de Mg inibi a absorção de Ca pela planta devido o efeito antagônico, conforme descrito por Clarck et al. (1997).

Pelo contraste 3, verifica-se que a aplicação do tratamento T3 promove maiores teores de Ca^{2+} no solo e conteúdos mais elevados de Ca nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro (C3, Tabela 9). Este fato se deve, possivelmente pela relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) (Tabela 3) estar dentro da faixa ideal para a cultura do café (MATIELLO & GARCIA, 2012), quando comparada aos demais tratamentos, neste caso, distante da faixa ideal. Este resultado corrobora aos encontrados por Büll & Nakagawa (1995), que trabalhando com relações Ca:Mg e adubação NPK, observaram aumento na concentração de Ca no tecido foliar da cultura do milho com o aumento da relação Ca:Mg no solo.

Analisando o contraste 4, observa-se que a aplicação dos tratamentos T5 e T6, em comparação ao tratamento T4, eleva os teores de Ca^{2+} disponível no solo (C4, Tabela 9). Entretanto este aumento de disponibilidade não corresponde ao aumento de absorção de Ca pela planta, observados pelos valores negativos e significativos do contraste 4 (Ca folhas, Ca caules e Ca raízes), demonstrando conteúdos de Ca nas folhas e raízes superiores para o tratamento T4 (C4, Tabela 9). É provável que os elevados teores de Mg^{2+} no solo em relação aos teores de Ca^{2+} nos tratamentos T5 e T6 (Tabela 3) inibiram a absorção de Ca pela planta devido ao efeito antagônico. Clarck et al. (1997) observaram, no milho, que ocorreu redução na concentração de cálcio da parte aérea, com o aumento da aplicação de magnésio.

Vários autores propõem que, em vez da busca de teores de cálcio, magnésio ou outros elementos adequados no solo, sejam monitoradas as relações entre nutrientes no solo, pois a disponibilidade do cálcio e do magnésio depende dessas relações (BÜLL & NAKAGAWA, 1995; HERNANDEZ & SILVEIRA, 1998).

Os teores de Mg^{2+} no solo são superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6, quando comparado ao tratamento T2, proporcionando conteúdos mais elevados de Mg nas folhas, nos caules e nas raízes (C2, Tabela 9). Provavelmente, as menores relações de Ca:Mg no solo (Tabela 3) proporcionaram maiores conteúdos de magnésio na planta, mesmo comportamento observado por Clarck et al. (1997).

Tabela 9 – Contrastes das médias dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo, dos conteúdos de Ca, Mg, Zn e B e da produção de matéria seca nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) do cafeeiro para os diferentes tratamentos

Contrastes Ortogonais	Ca Solo	Mg Solo	Zn Solo
C1	0,23**	0,68**	1,47*
C2	0,33**	0,86**	1,57*
C3	-0,43**	1,42**	3,18*
C4	0,27**	0,86**	3,07*
C5	-0,02 ^{ns}	-0,24**	6,29*
	Ca Folhas	Ca Caules	Ca Raiz
C1	13,53**	6,27**	-4,84 ^{ns}
C2	-9,68**	-1,59 ^{ns}	1,30 ^{ns}
C3	-24,85**	-11,27**	-9,15**
C4	-6,01**	-1,74 ^{ns}	-10,55**
C5	-3,06 ^{ns}	2,20 ^{ns}	-3,59 ^{ns}
	Mg Folhas	Mg Caules	Mg Raiz
C1	9,06**	6,00**	2,81 ^{ns}
C2	13,10**	5,13**	15,39**
C3	19,97**	6,05**	15,82**
C4	10,81**	2,16**	-1,21 ^{ns}
C5	-2,79*	-0,89 ^{ns}	-31,70**
	Zn Folhas	Zn Caules	Zn Raiz
C1	0,04**	0,05**	0,01 ^{ns}
C2	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
C3	-0,04**	-0,05*	-0,13**
C4	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,07*
C5	0,00 ^{ns}	0,06**	-0,08*
	B Folhas	B Caules	B Raízes
C1	0,61**	-0,02 ^{ns}	0,42**
C2	0,56**	0,07**	0,15 ^{ns}
C3	0,96**	0,12**	-0,09 ^{ns}
C4	0,82**	0,10**	-0,03 ^{ns}
C5	2,35**	0,03 ^{ns}	-0,43**
	MSF	MSC	MSR
C1	5,99**	2,52**	3,40**
C2	0,21 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
C3	-1,47**	-0,76**	-2,12**
C4	-0,12 ^{ns}	-0,53**	-1,64**
C5	0,12 ^{ns}	-1,30**	-3,47**

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (+++++,5-); **C2:** T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); **C3:** T5 + T6 vs T3 (++,2-); **C4:** T5 + T6 vs T4 (++,2-); e **C5:** T6 vs T5 (+,-). T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. ** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Pelos contrastes 3 e 4, verifica-se que a aplicação dos tratamentos T5 e T6 proporciona teores superiores de Mg^{2+} no solo frente aos tratamentos T3 e T4 e, de modo geral, os conteúdos de Mg são mais elevados nas folhas, nos caules e nas raízes (C3 e C4, Tabela 9). Este fato pode estar relacionado ao fato do tratamento T3 não ter recebido nenhuma fonte de Mg e do tratamento T4 ter recebido quantidade menor de Mg em relação aos tratamentos T5 e T6.

Pelo contraste 5, verifica-se que os teores de Mg^{2+} no solo são mais elevados no tratamento T5 quando comparado ao tratamento T6, favorecendo a conteúdos de Mg nas folhas e raízes superiores (C5, Tabela 9), o que pode estar relacionado às menores relações Ca:Mg no solo (Tabela 3), favorecendo a absorção de Mg pelo cafeeiro. O mesmo comportamento foi observado por Clarck et al. (1997), Hernandez & Silveira (1998) e Salvador et al. (2011).

Observa-se que quanto maior a relação Ca:Mg no solo maiores são os conteúdos de cálcio na planta, enquanto as menores relações de Ca:Mg no solo proporcionam maiores conteúdos de magnésio na planta (Tabelas 3, 4, 5 e 9). Comportamento semelhante foi observado por Clarck et al. (1997).

Os teores de Zn^{2+} no solo são superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6 quando contrastados ao tratamento T2, porém não proporciona conteúdos superiores de Zn na planta (C2, Tabela 9). A aplicação dos tratamentos T5 e T6 favorecem a teores mais elevados de Zn^{2+} no solo, porém não se observam conteúdos superiores na planta (C3 e C4, Tabela 9). Os teores de Zn^{2+} no solo são superiores no tratamento T6 favorecendo a maiores conteúdos de Zn nos caules (C5, Tabela 9). É provável que os teores mais elevados de Mg^{2+} no solo, de modo geral, inibiram a absorção de Zn pela planta, conforme relatado por Kabata- Pendias (2010).

Sadana & Takkar (1983) e Moreira et al. (2003a), trabalhando com arroz, observaram que com o aumento da concentração de Mg na solução reduziu significativamente a absorção do Zn pelas raízes. Os mesmos resultados foram encontrados em soja (MOREIRA et al., 2003b). Esses resultados indicam que na presença de altas concentrações de Mg^{2+} no solo, a absorção de Zn é negativamente afetada, pelo efeito antagônico.

A adubação com os tratamentos T3, T4, T5 e T6 proporciona maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules quando contrastados ao tratamento T2 (C2, Tabela 9), o

que pode estar relacionado aos valores mais elevados de Ca^{2+} no solo (Tabela 3), que favoreceram a absorção de boro pelas plantas (KABATA- PENDIAS, 2010).

Observam-se maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules nos tratamentos T5 e T6 quando comparados aos tratamentos T3 e T4 (C3 e C4, Tabela 9). A absorção de B pode ter sido favorecida pelos valores mais elevados de pH nos tratamentos T5 e T6 frente aos tratamentos T3 e T4 (Tabela 3). A maior disponibilidade de boro no solo ocorre na faixa de pH 5,0 a 7,0 (SOUSA et al., 2007).

Os conteúdos de B nas folhas são superiores no tratamento T6 quando contrastado ao tratamento T5 (C5, Tabela 9). No tratamento T6 foi adicionado boro ao granulado provavelmente proporcionando teores mais elevados de BO_3^{3-} no solo.

As maiores produções de matéria seca de folhas, caules e raízes no cafeeiro são obtidas no tratamento T3 frente aos tratamentos T5 e T6 (C3, Tabela 9). Este resultado deve estar relacionado à relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) (Tabela 3) encontrar-se na faixa ideal para a cultura do café neste tratamento. Segundo Matiello & Garcia (2012), a relação mais adequada para o cafeeiro é de 3 - 5:1.

A produção de matéria seca de caules e raízes é superior no tratamento T4 quando contrastado aos tratamentos T5 e T6 (C4, Tabela 9). Neste caso os maiores conteúdos de Ca nos caules e nas raízes (Tabela 4) devido a maior relação Ca:Mg no solo (Tabela 3) pode ter favorecido a maior produção de matéria seca de caules e raízes no cafeeiro.

Analisando o contraste 5 (C5, Tabela 9), observa-se produção de matéria seca de caules e raízes superiores para o tratamento T5 frente ao tratamento T6. É provável que a menor relação de Ca:Mg no solo (Tabela 3) no tratamento T5 proporcionou maiores conteúdos da Mg nos caules e nas raízes (Tabela 5) favorecendo a maior produção de matéria seca de caules e raízes.

4 CONCLUSÕES

Os teores mais elevados de cálcio, magnésio e zinco no solo são encontrados nos tratamentos com aplicação de gesso agrícola, dos granulados gesso 70/30 e gesso 70/30 + Zn + B, respectivamente.

A aplicação de gesso agrícola promove maiores conteúdos de cálcio e maior produção de matéria seca do cafeeiro.

Os maiores conteúdos de magnésio são obtidos com a aplicação do granulado gesso 70/30.

A aplicação do granulado gesso 70/30 + Zn + B não proporciona maiores conteúdos de Zn na planta de cafeeiro.

Os maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules são encontrados no tratamento gesso 70/30 + Zn + B.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Comparação de médias ou teste de hipóteses? Contrastes! **B. Inf. SBCS**, 31(1):24 – 34, 2006.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUIO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1755-1764, 2009.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, E. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, J. A.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V., V. H. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Rev. Ceres**, Viçosa, 54(314): 398-404, 2007a.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, E. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; LANI, J. A.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V., V. H.; MOSQUIM, P. R. Acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon. In.: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (5.:2007: Águas de Lindóia, SP). **Anais**. Brasília, DF. Embrapa Café, 2007b.

BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 19, p. 409-415, 1995.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:87-98, 2006.

CLARK, R. B.; ZETO, S. K.; RITCHEY, K. D.; BALIGAR, V. C. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization byproducts and magnesium. **Communi. Soil Sci. Plant Anal**, v. 28, p. 1441-1459, 1997.

CORREIA, D. M. B. **Magnesita**. Balanço Mineral Brasileiro, 16p. 2001.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C. SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - alterações nas características químicas do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1591-1599, 2008.

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. Cap. 3, p.91-132. 2007.

DONAGEMMA, G. K. **Distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de Latossolos fertirrigadas**. Viçosa, UFV, 87p. 2005. (Tese de Doutorado). 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

GARCIA, A.W.R. Calagem para o cafeeiro. In: MALAVOLTA, E. et al. (coords.). Nutrição e adubação do cafeeiro. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.309-319. 1983.

HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances Agronomy**, San Diego, v.34, p.197-224, 1981.

KABATA PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed, Boca Raton: CRC Press, 504p. 2010.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. **O magnésio está deficiente em grande parte das lavouras de café**. Disponível em: <<http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/folhas/Folha91Magn%C3%A9sio.pdf>. 2012>. Acesso em 01 de fev. de 2012.

MATTIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; MAIRELES, P. G.; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:425-434, 2008.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2ª edição, Porto Alegre, Ed. Gênese, 290 p. 2004.

MOREIRA, A.; GARCIA Y GARCIA, A.; HEINRICH, R.; MALAVOLTA, E. Influência do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco por raízes destacadas de duas cultivares de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 213-218, jul./dez. 2003a.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICH, R.; TANAKA, R. T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, jan. 2003b.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

PIMENTEL, M. S.; RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; REIS, V. M.; SANTOS, V. L. S.; SILVA, M. F. Desenvolvimento e nutrição de mudas de cafeeiro inoculadas com bactérias promotoras de crescimento. **R. Bras. Agrocência**, Pelotas, v.14, n.2, p.221-230, abr-jun, 2008.

POLIDORO, J. C. **Potencial de uso agrícola do óxido de magnésio**. Relatório Técnico. Embrapa Solos. 2009.

PREZOTTI, L. C.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. (Eds.) **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação**. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, Vitória, ES, 2007.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p. 375-383. 1993.

RODRIGUES, L. A.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, S. M. Respostas nutricionais de cafeeiros catuaí e icatu a doses de calcário em subsuperfície. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:985-995, 2006.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **R. Bras. Ci. Solo**, 29:297-300, 2005.

SADANA, U. S.; TAKKAR, P. N. Effect of calcium and magnesium on ⁶⁵Zinc absorption and translocation in rice seedling. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.6, n.8, p.705-715, 1983.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em latossolo húmico de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 57-62, 1998.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. SBCS, 1017p. Viçosa, 2007.

SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; ROSA, Y. B. C. J.; ZEVIANI, W. M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. São Paulo, Artmed, 2004. 719p.

APÊNDICE

Tabela 1A - Equações de regressão relacionadas aos valores de pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo nos tempos de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

Tratamento	Equação de regressão	R ²
pH		
T1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,2$	-
T2	$\hat{Y} = 5,4885 - 0,0110 * X + 0,00003^0 X^2$	0,812
T3	$\hat{Y} = 6,1745 X^{-0,0694*}$	0,734
T4	$\hat{Y} = 5,305 - 0,0037 * X$	0,842
T5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,2$	-
T6	$\hat{Y} = \bar{Y} = 5,2$	-
Ca		
T1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,50$	-
T2	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,47$	-
T3	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,19$	-
T4	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,49$	-
T5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,77$	-
T6	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,75$	-
Mg		
T1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,32$	-
T2	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,32$	-
T3	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,33$	-
T4	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,89$	-
T5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,87$	-
T6	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,62$	-
T1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,32$	-
Zn		
T1	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,83$	-
T2	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,05$	-
T3	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,00$	-
T4	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,12$	-
T5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,04$	-
T6	$\hat{Y} = \bar{Y} = 7,33$	-

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes. * e ⁰ significativo a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste t.

Tabela 2A - Equações de regressão relacionadas aos conteúdos de cálcio nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

Tratamento	Componente	Equação de regressão	R ²
T1	Folhas	$\hat{Y} = 1,3247 + 0,5960^* X$	0,936
	Caules	$\hat{Y} = - 0,1516 + 0,1392^* X$	0,812
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0295 X^{1,4244^*}$	0,953
T2	Folhas	$\hat{Y} = 17,5550 + 1,0133^* X$	0,980
	Caules	$\hat{Y} = 3,4578 + 1,0148^* X$	0,859
	Raízes	$\hat{Y} = 2,0630 + 1,0169^* X$	0,966
T3	Folhas	$\hat{Y} = - 8,1511 + 0,9781^* X$	0,95
	Caules	$\hat{Y} = 4,2005 + 1,0155^* X$	0,944
	Raízes	$\hat{Y} = 2,0446 + 1,0193^* X$	0,908
T4	Folhas	$\hat{Y} = - 125427 + 0,8336^* X$	0,933
	Caules	$\hat{Y} = 8,8555 - 0,1360 X + 0,001812^* X^2$	0,924
	Raízes	$\hat{Y} = 1,5237 + 1,0214^* X$	0,931
T5	Folhas	$\hat{Y} = - 7,0093 + 0,7335^* X$	0,933
	Caules	$\hat{Y} = - 0,3846 + 0,1575^* X$	0,863
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0691 X^{1,1518^*}$	0,9
T6	Folhas	$\hat{Y} = - 9,1886 + 0,7247^* X$	0,925
	Caules	$\hat{Y} = 11,6566 - 0,1980^0 X + 0,0020^* X^2$	0,928
	Raízes	$\hat{Y} = 1,9861 + 1,0144^* X$	0,825

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes. * e ⁰ significativo a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste t.

Tabela 3A - Equações de regressão relacionadas aos conteúdos de magnésio nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

Tratamento	Componente	Equação de regressão	R ²
T1	Folhas	$\hat{Y} = 0,3852 X^{0,7685*}$	0,918
	Caules	$\hat{Y} = 0,4099 + 0,0343* X$	0,900
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0379 X^{1,4791*}$	0,961
T2	Folhas	$\hat{Y} = 5,9758 + 1,0062* X$	0,877
	Caules	$\hat{Y} = 1,0862 + 1,0137* X$	0,864
	Raízes	$\hat{Y} = 3,1681 + 1,0181* X$	0,954
T3	Folhas	$\hat{Y} = 1,0342 X^{0,5471*}$	0,828
	Caules	$\hat{Y} = 1,2891 + 1,0141* X$	0,940
	Raízes	$\hat{Y} = 3,8566 + 1,0174* X$	0,949
T4	Folhas	$\hat{Y} = 3,7454 + 1,0148* X$	0,968
	Caules	$\hat{Y} = 1,1556 + 1,0184* X$	0,977
	Raízes	$\hat{Y} = 3,3713 + 1,0216* X$	0,968
T5	Folhas	$\hat{Y} = - 8,0495 + 0,4191* X$	0,972
	Caules	$\hat{Y} = 1,7088 + 1,0172* X$	0,967
	Raízes	$\hat{Y} = 3,5522 + 1,0233* X$	0,971
T6	Folhas	$\hat{Y} = 0,0636 X^{1,3234*}$	0,976
	Caules	$\hat{Y} = 1,3893 + 1,0181* X$	0,986
	Raízes	$\hat{Y} = - 9,8035 + 0,4107* X$	0,961

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes. * e ⁰ significativo a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4A - Equações de regressão relacionadas aos conteúdos de zinco nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

Tratamento	Componente	Equação de Regressão	R ²
T1	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,0668$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1505$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0141 X^{0,6667^*}$	0,764
T2	Folhas	$\hat{Y} = 0,0007 X^{0,6246^*}$	0,714
	Caules	$\hat{Y} = 0,1102 + 0,0011^* X$	0,734
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0389 + 0,0029^* X$	0,866
T3	Folhas	$\hat{Y} = 0,0004 X^{0,7387^*}$	0,792
	Caules	$\hat{Y} = 1/6,8652 - 0,0021^* X$	0,746
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0558 + 0,0034^* X$	0,821
T4	Folhas	$\hat{Y} = 0,0003 X^{0,7708^*}$	0,794
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1627$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0404 + 0,0029^* X$	0,906
T5	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,0957$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1569$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,0804 + 0,0022^* X$	0,706
T6	Folhas	$\hat{Y} = 0,0259 + 1,0109^* X$	0,716
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,2168$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,1998 - 0,0018^0 X + 0,00001^* X^2$	0,877

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes. * e ⁰ significativo a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste t.

Tabela 5A - Equações de regressão relacionadas aos conteúdos de boro nas folhas, nos caules e nas raízes das plantas de café, em mg/planta, com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

Tratamento	Componente	Equação de Regressão	R ²
T1	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,4908$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1798$	-
	Raízes	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,4420$	-
T2	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,6478$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1038$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,00006 X^{0,1497^0}$	0,757
T3	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,7017$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1025$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,00003 X^{1,6749^*}$	0,883
T4	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,8333$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,1302$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,00003 X^{1,1666^*}$	0,794
T5	Folhas	$\hat{Y} = 0,00005 X^{1,1491^*}$	0,856
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,2101$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,00001 X^{0,1843^*}$	0,719
T6	Folhas	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,8313$	-
	Caules	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,2429$	-
	Raízes	$\hat{Y} = 0,00009 X^{1,3753^*}$	0,745

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes. * e ⁰ significativo a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste t.

Tabela 6A - Equações de regressão relacionadas à produção de matéria seca das folhas, dos caules e das raízes das plantas de café, em g/planta, e a relação parte aérea/raízes com o tempo de amostragem, em dias, para os tratamentos estudados

Tratamento	Componente	Equação de Regressão	R ²
T1	Folhas	$\hat{Y} = - 0,8529 X^{0,7391^*}$	0,943
	Caules	$\hat{Y} = 0,3841 + 0,0231^* X$	0,962
	Parte Aérea (PA)	$\hat{Y} = 1,4575 + 0,0536^* X$	0,926
	Raízes (R)	$\hat{Y} = -2,9973 + 0,0561^* X$	0,968
	PA/R	$\hat{Y} = 0,6646 + 62,2077^*/X$	0,976
T2	Folhas	$\hat{Y} = - 2,3320 + 0,1228^* X$	0,959
	Caules	$\hat{Y} = - 0,0438 + 0,0063^* X$	0,990
	Parte Aérea (PA)	$\hat{Y} = - 3,9081 + 0,1897^* X$	0,954
	Raízes (R)	$\hat{Y} = - 4,0786 + 0,1280^* X$	0,940
	PA/R	$\hat{Y} = 1,4354 + 40,3393^*/X$	0,930
T3	Folhas	$\hat{Y} = - 2,0814 + 0,131^* X$	0,971
	Caules	$\hat{Y} = - 0,0236 + 0,0066^* X$	0,984
	Parte Aérea (PA)	$\hat{Y} = - 3,7305 + 0,2063^* X$	0,981
	Raízes (R)	$\hat{Y} = 0,8814 - 0,0123 X + 0,0008^* X^2$	0,998
	PA/R	$\hat{Y} = 2,8806 - 0,0082^* X$	0,979
T4	Folhas	$\hat{Y} = - 1,8144 + 0,1169^* X$	0,989
	Caules	$\hat{Y} = - 0,0591 + 0,0067^* X$	0,990
	Parte Aérea (PA)	$\hat{Y} = - 3,5793 + 0,1891^* X$	0,985
	Raízes (R)	$\hat{Y} = 1,0525 - 0,0157 X + 0,0008^* X^2$	0,997
	PA/R	$\hat{Y} = 2,7614 - 0,0080^* X$	0,957
T5	Folhas	$\hat{Y} = - 1,4688 + 0,1116^* X$	0,993
	Caules	$\hat{Y} = - 0,0079 + 0,0064^* X$	0,987
	Parte Aérea (PA)	$\hat{Y} = - 2,9860 + 0,1825^* X$	0,987
	Raízes (R)	$\hat{Y} = 0,9910 - 0,0181 X + 0,0008^* X^2$	0,999
	PA/R	$\hat{Y} = 3,1218 - 0,0107^* X$	0,971
T6	Folhas	$\hat{Y} = - 2,0564 + 0,1187^* X$	0,980
	Caules	$\hat{Y} = - 0,0309 + 0,0057^* X$	0,990
	Parte Aérea (PA)	$\hat{Y} = -2,8461 + 0,1693^* X$	0,967
	Raízes (R)	$\hat{Y} = 0,1025 - 0,0007 X + 0,0001^* X^2$	0,993
	PA/R	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,4876$	-

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + óxido de magnésio; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. PA/R: relação parte aérea/raízes. * e ⁰ significativo a 5 e 10 % de probabilidade pelo teste t.

CAPÍTULO 2

ADUBAÇÃO DE CAFEIEIRO CONILON COM ÓXIDO DE MAGNÉSIO ASSOCIADO AO GESSO E A MICRONUTRIENTES: ENSAIOS NO CAMPO

RESUMO

A forma convencional de corrigir a baixa disponibilidade natural dos solos brasileiros em magnésio sempre foi por meio da calagem com aplicação de calcários dolomíticos, não existindo uma fonte economicamente viável de magnésio para adubações de reposição anual desse elemento. O trabalho teve como objetivo avaliar as alterações químicas do solo, sua relação com os teores de magnésio, cálcio, zinco e boro nas folhas e com a produtividade do cafeeiro conilon, com a utilização de óxido de magnésio associado ao gesso e a micronutrientes, na forma de fertilizante granulado, em experimento conduzido em campo. O experimento consistiu de 6 tratamentos (controle sem adubação; NPK; NPK + gesso agrícola; NPK + óxido de magnésio; NPK + gesso/MgO (70/30); e NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B), conduzido em blocos casualizados, com 3 repetições, e cada unidade experimental contendo seis plantas de café. Após 30, 90 e 180 dias da aplicação dos tratamentos, foram coletados o 3º e o 4º pares de folhas de ramos produtivos do cafeeiro para avaliação do estado nutricional (Ca, Mg, Zn e B foliares). Amostras de solo foram retiradas 120 dias após aplicação dos tratamentos, nas profundidades de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm para determinação dos valores de pH em água e de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo. Os frutos foram coletados, secos e descascados para obtenção da produtividade do cafeeiro em quilos por hectare. Os resultados experimentais mostram que os valores de pH e de magnésio no solo são superiores nos tratamentos com aplicação de óxido de magnésio e na associação de óxido de magnésio ao gesso e a micronutrientes. Os teores foliares de Ca, Mg, Zn e B, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, se encontram nas faixas adequadas para o café conilon em produção. Os tratamentos com aplicação do granulado gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B tendem a maiores produtividades do cafeeiro.

Palavras-chave: Adubação. Magnésio. Nutrição. Produtividade do cafeeiro.

CHAPTER 2

COFFEE WITH MANURE CONILON MAGNESIUM OXIDE ASSOCIATED WITH PHOSPHOGYPSUM AND MICRONUTRIENTS : FIELD TESTS

ABSTRACT

The conventional way of correcting the low availability of natural magnesium in Brazilian soils through liming was always with application of dolomitic limestone, there is absence of an economically viable source of magnesium fertilizers for annual replacement of this element. The study aimed to evaluate the changes of soil, its relationship with the magnesium, calcium, zinc and boron in the leaves and the coffee yield conilon, with the use of magnesium oxide associated with gypsum and micronutrients in the form fertilizer granules in a field experiment. The experiment consisted of 6 treatments (control without fertilizer, NPK, NPK + phosphogypsum, NPK + magnesium oxide, NPK + phosphogypsum/MgO (70/30) and NPK + phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B), a randomized block design with 3 replicates, and each replicate containing six coffee plants. After 30, 90 and 180 days after treatment application were collected the 3rd and 4th pairs of leaves of productive branches of the coffee tree to assess nutritional status (Ca, Mg, Zn and B foliar). Soil samples were taken 120 days after treatment application, the depths of 0 - 20, 20 - 40 and 40 - 60 cm for determination of pH values and Ca²⁺, Mg²⁺ and Zn²⁺ in soil. The fruits were collected, dried and hulled to obtain the productivity of coffee in sacks per hectare benefited. The experimental results show that the values of pH and magnesium in the soil are higher than in treatments with application of magnesium oxide and magnesium oxide association of the gypsum and micronutrients. The leaf contents Ca, Mg, Zn and B, at 180 days after treatment application, the tracks are suitable for coffee production in conilon. The treatments with application of granular phosphogypsum/MgO (70/30) and phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B tend to greater productivity in coffee plants.

Key words: Fertilizer. Magnesium. Nutrition. Productivity of coffee.

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros apresenta baixos teores de cálcio e magnésio trocáveis e elevados teores de alumínio, especialmente em camadas subsuperficiais. Dessa forma, as raízes do cafeeiro tendem a se concentrar na superfície do solo, reduzindo a absorção de nutrientes que estão distribuídos em um maior volume de solo, além de tornar as plantas suscetíveis a veranicos. (RESENDE, 2009).

O calcário é o principal corretivo da acidez do solo e fonte de Ca e Mg utilizado na agricultura brasileira. Porém, o Ca e o Mg liberados pelo calcário permanecem na profundidade onde este é aplicado. Sua reação no solo não permite a mobilidade desses nutrientes no perfil do solo, restringindo basicamente à correção superficial (POTTKER & BEN, 1998).

Aliado à baixa mobilidade do Ca e Mg no perfil do solo, outro fator negativo a sua aplicação é a elevação do pH para valores na faixa alcalina nos primeiros cinco centímetros do solo. Nessa faixa de pH, as adubações nitrogenadas à base de ureia ou fertilizantes com formas amoniacais apresentam baixa eficiência agrônômica, pois as perdas por volatilização de amônia podem ser muito elevadas em superfície do solo com pH elevado (CANTARELLA, 2007). Nessa faixa de pH ocorre, também, a diminuição da disponibilidade de micronutrientes, como o zinco (ACCIOLY et al., 2004).

A aplicação de gesso agrícola, subproduto na produção de fertilizantes fosfatados, além de fornecer enxofre e cálcio, favorece a movimentação de cálcio e outros cátions no perfil, pela presença do íon sulfato (ERNANI et al., 2001), minimizando os efeitos negativos da aplicação de calcário no solo. Entretanto, o gesso agrícola não possui íons capazes de neutralizar o H^+ , não ocorrendo alterações do pH do solo (PORTZ, 2009).

Outro subproduto que apresenta potencial de utilização em culturas perenes, como fonte de Mg^{2+} e correção de acidez do solo, é o óxido de magnésio (MgO), produto intermediário do processo industrial de produção de refratários obtido da calcinação da magnesita ($MgCO_3$) (NOGUEIRA et al., 2012).

A associação do óxido de magnésio com o gesso agrícola garante o fornecimento de magnésio pelo óxido, tendo também a capacidade de corrigir a acidez do solo, assim como fornecimento de S e Ca pelo gesso agrícola, além de favorecer a movimentação de cálcio e de magnésio no perfil de solo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar, em experimento conduzido em campo, a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso e a micronutrientes na forma de fertilizante granulado sobre as alterações químicas do solo, os teores de cálcio, magnésio, zinco e boro nas folhas e a produtividade do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma lavoura de *Coffea canephora* cv. Conilon no município de Alegre - ES, sob um Latossolo Vermelho Amarelo, o qual foi amostrado nas profundidades de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm para caracterização física e química (Tabela 1). A área possui relevo ondulado com declividade de 8 a 20 %. A altitude da área é de aproximadamente 114 m, com coordenadas geográficas 20° 45' 18" de latitude Sul e 41° 25' 43" de longitude Oeste. O clima predominante é quente e úmido no verão e inverno seco, segundo o sistema Köppen, com precipitação anual média de 1200 mm e temperatura média anual de 23° C. Na tabela 2 são apresentadas a precipitação, em milímetros de chuva, e a temperatura média, em °C, no município de Alegre - ES para os períodos de novembro de 2011 a novembro de 2012.

A lavoura de quatro anos é composta por plantas da variedade clonal de café "Incaper 8142 - Conilon Vitória" plantadas em espaçamento de 3 m x 1,20 m. Os 13 clones que compõe a variedade foram dispostos em linhas, sendo que no experimento foram utilizadas apenas as linhas com o clone 02.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 3 repetições, e cada unidade experimental contendo seis plantas de café. Os tratamentos foram: controle sem adubação (T1); NPK (T2); NPK + gesso agrícola (T3); NPK + óxido de

magnésio (T4); NPK + gesso/MgO (70/30) (T5); e NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6).

Tabela 1 - Caracterização física e química do solo estudado

Atributos	Profundidade (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Areia (kg kg^{-1}) ^a	0,57	0,38	0,41
Silte (kg kg^{-1}) ^a	0,05	0,07	0,08
Argila (kg kg^{-1}) ^a	0,38	0,55	0,51
pH ^b	5,7	4,9	4,9
P (mg dm^{-3}) ^c	2,7	2,1	0,9
K ⁺ (mg dm^{-3}) ^d	128,0	66,3	78,3
Ca ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^d	1,8	1,0	0,8
Mg ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^d	0,7	0,5	0,6
Zn ²⁺ (mg dm^{-3}) ^e	0,8	0,6	0,7
Al ³⁺ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^f	0,1	0,3	0,5
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^g	3,1	3,2	3,0
Soma de Bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,8	1,7	1,6
CTC potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	5,9	4,9	4,6
CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,9	2,0	2,1
Saturação por bases (%)	47,5	34,7	45,6

^aMétodo da Pipeta (Agitação Lenta) (Ruiz, 2005); ^b pH em água (relação 1:2, 5); ^c Extraído com Mehlich-1 e determinado por colorimetria; ^d Extraído com Mehlich-1 e determinado por espectrofotometria de chama; ^e Extraído com cloreto de potássio 1 mol L^{-1} e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; ^f Extraído por Mehlich-1 e determinado por espectrometria de absorção atômica; ^g Extraído com cloreto de potássio 1 mol L^{-1} e determinado por titulometria; e ⁹ Extraído com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0 e determinado por titulação (EMBRAPA, 1997).

O gesso agrícola (28 % de CaO) foi aplicado ao solo na forma de pó, e na quantidade de 43,8 g por planta. O óxido de magnésio (60 % de MgO), subproduto da calcinação da magnesita natural, foi aplicado ao solo na forma de pó, na quantidade de 13,5 g por planta. As quantidades de gesso agrícola e óxido de magnésio foram baseadas na exportação de Ca e Mg, respectivamente, pelo cafeeiro e para uma produção de 2400 quilos por hectare.

As quantidades do granulado gesso/MgO (70/30) (70 % de gesso agrícola e 30 % de óxido de magnésio) e do granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B (90 % de gesso/MgO (70/30) + 6 % de Zn e 4 % de B) aplicadas ao solo foram 43,8 g por planta e baseadas na quantidade de Mg aplicada no tratamento com óxido de magnésio.

Tabela 2 - Precipitação em milímetros de chuva e temperatura média no município de Alegre - ES para os períodos de nov/2011 a nov/2012.

	Precipitação (mm)	Temperatura Média (°C)
nov/11	259,1	24,0
dez/11	226,4	24,9
jan/12	247,0	25,3
fev/12	17,0	26,6
mar/12	70,6	25,8
abr/12	63,6	24,5
mai/12	115,0	21,0
jun/12	24,8	21,9
jul/12	8,8	20,8
ago/12	60,6	20,9
set/12	49,4	22,7
out/12	54,6	25,2
nov/12	289,0	24,1

Fonte: Estação Meteorológica Automática de Alegre – ES, Nº A617.

A adubação NPK foi realizada com 200 g por planta do formulado 20 - 05 - 20 aplicado ao solo junto à aplicação dos tratamentos. Essa adubação foi repetida aos 30 e 60 dias após aplicação dos tratamentos.

Os adubos (formulado NPK, gesso agrícola, óxido de magnésio, granulado gesso/MgO (70/30) e granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B) foram aplicados na superfície do solo na projeção da copa da planta de cafeeiro.

O experimento teve duração de sete meses, iniciando em dezembro de 2011, com a aplicação dos tratamentos e com término em junho de 2012, com a coleta dos frutos. Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, foram coletados das quatro plantas centrais o 3º e o 4º pares de folhas de ramos produtivos do cafeeiro, localizados a meia altura da planta (um par de cada lado da planta), para avaliação do estado nutricional (Ca, Mg, Zn e B foliares) da lavoura durante a condução do experimento. Esse procedimento foi repetido aos 90 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos.

As épocas de coleta (30, 90 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos) das folhas do cafeeiro coincidiram com o início da fase de granação, final da fase de granação e final da fase de maturação dos frutos de cafeeiro.

Os teores de Ca, Mg e Zn nas folhas do cafeeiro foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica da matéria seca. Os teores de B nas folhas foram determinados pelo método colorimétrico da azometina H após digestão via seca por processo de incineração da matéria seca (EMBRAPA, 1997).

A coleta de solo para avaliação dos valores de pH em água e de Ca, Mg e Zn no solo foi realizada 120 dias após a aplicação dos tratamentos, nas profundidades de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm. As amostras compostas de solo são constituídas de três amostras simples de solo coletadas nas linhas de plantio, na projeção da copa, entre as quatro plantas centrais de café.

A amostra composta de solo foi homogeneizada, seca ao ar e passada em peneira de 2 mm, procedendo-se as seguintes análises: pH em água, cálcio, magnésio e zinco, conforme EMBRAPA (1997), buscando verificar as possíveis variações químicas que ocorreram no solo em função dos tratamentos aplicados.

A coleta dos frutos foi realizada em junho de 2012 para determinação da produtividade da lavoura. Os frutos das quatro plantas centrais do cafeeiro de cada tratamento e repetição foram colhidos e pesados separadamente, totalizando 72 plantas. Retirou-se uma amostra simples de 0,5 kg de frutos das quatro plantas centrais do cafeeiro formando uma amostra composta de 2,0 kg por tratamento e nas repetições totalizando 18 amostras compostas. As 18 amostras foram levadas para estufa com circulação forçada a 45^o C até obter umidade entre 11 e 12 %, verificada por medidor de umidade modelo G800 da Gehaka AGRI e descascadas para obtenção da produtividade em quilos por hectare.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Os períodos de coleta foliares, para os diferentes tratamentos (Tabela 3), e a produtividade do cafeeiro (Tabela 4) foram avaliados por meio da comparação de médias por contrastes ortogonais e testados pelo teste F nos níveis de 5 % e 10 % de probabilidade.

Tabela 3 – Contrastes médios dos teores de Ca, Mg, Zn e B nas folhas do cafeeiro entre as épocas de coleta para os diferentes tratamentos

Contrastes Ortogonais	Coleta (dias após aplicação dos tratamentos)		
	30	90	180
C1	-2	1	1
C2	0	-1	1

C1: coleta aos 90 dias + coleta aos 180 dias vs coleta aos 30 dias (++,2-) e **C2:** coleta aos 180 dias vs coleta aos 90 dias (+,-). Testados pelo teste F nos níveis de 5 % e 10 % de probabilidade.

Tabela 4 – Contrastes médios da produtividade do cafeeiro

Contrastes Ortogonais	T1	T2	T3	T4	T5	T6
C1	-5	1	1	1	1	1
C2	0	-4	1	1	1	1
C3	0	0	-2	0	1	1
C4	0	0	0	-2	1	1
C5	0	0	0	0	-1	1

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (+++++,5-); **C2:** T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); **C3:** T5 + T6 vs T3 (++,2-); **C4:** T5 + T6 vs T4 (++,2-); e **C5:** T6 vs T5 (+,-). T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. Testados pelo teste F nos níveis de 5 % e 10 % de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos valores de pH em água, de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo após 120 dias da aplicação dos tratamentos, nas profundidades avaliadas, são apresentadas na tabela 5.

Na profundidade 0 - 20 cm, em todos os tratamentos, os valores médios de pH se enquadram na classe de acidez média (5,0 - 5,9). Nas profundidades 20 - 40 e 40 - 60 cm, os tratamentos T1, T2 e T3 se enquadram na classe de acidez elevada (< 5,0) e os tratamentos T4, T5 e T6 na classe de acidez média (5,0 - 5,9) (Tabela 5), de acordo com Prezotti et al. (2007).

Os valores superiores de pH no solo para os tratamentos T4, T5 e T6 (Tabela 5), pode estar relacionado à capacidade do óxido de magnésio em elevar o pH do solo. Nogueira et al. (2012), estudando diferentes corretivos da acidez do solo (calcário, escória de siderurgia e óxido de magnésio), observaram que o tratamento com óxido de magnésio proporcionou os maiores valores de pH do solo.

De modo geral, os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} encontram-se em níveis baixos no solo (Tabela 5), o que pode estar relacionado à coleta do solo ter coincidido ao período reprodutivo e início do novo período vegetativo da lavoura, período de maior absorção de nutrientes pelo cafeeiro (CAMARGO & CAMARGO, 2001).

Tabela 5 – Valores de pH em água e de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} no solo cultivado com cafeeiro sob diferentes tratamentos, nas profundidades 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm

Tratamento	pH 1:2,5	Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	Mg (mg dm^{-3})	Zn (mg dm^{-3})
0 - 20 cm				
T1	5,0	0,90	0,57	1,48
T2	5,0	0,64	0,47	1,00
T3	5,1	0,76	0,53	1,47
T4	5,5	0,83	0,65	0,86
T5	5,4	0,77	0,69	1,31
T6	5,4	0,75	0,78	1,04
20 - 40 cm				
T1	4,7	0,41	0,47	0,47
T2	4,7	0,43	0,54	0,41
T3	4,8	0,30	0,43	0,38
T4	5,1	0,39	0,49	0,32
T5	5,1	0,35	0,53	0,38
T6	5,1	0,33	0,63	0,29
40 - 60 cm				
T1	4,7	0,38	0,50	0,48
T2	4,7	0,41	0,61	0,20
T3	4,8	0,27	0,51	0,23
T4	5,0	0,36	0,50	0,23
T5	5,1	0,27	0,56	0,24
T6	5,1	0,33	0,59	0,32

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Aliado a este fato, a lavoura se encontra em um Latossolo Vermelho Amarelo com baixos níveis de cálcio e níveis médios de magnésio (T1, Tabela 5), conforme Prezotti et al. (2007). Os Latossolos, de maneira geral, são naturalmente pobres em bases, como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} (MELAMED et al., 2009).

Verifica-se que os teores médios de Ca^{2+} em todas as profundidades se encontram em níveis baixos no solo ($< 1,5 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), de acordo com Prezotti et al. (2007), para todos os tratamentos (Tabela 5). A quantidade de Ca aplicada ao solo (2,91 g/planta) não foi suficiente para elevar os teores de Ca^{2+} para níveis elevados ($> 4,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$).

Nota-se que, nos tratamentos T4, T5 e T6, os teores de Mg^{2+} permanecem em níveis médios no solo ($0,5 - 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (PREZOTTI et al., 2007) nas profundidades avaliadas (Tabela 5). Este resultado é explicado pela quantidade desse elemento aplicada ($1,62 \text{ g/planta}$) nesses tratamentos (T4, T5 e T6), quantidade esta insuficiente para aumentar os teores de Mg^{2+} no solo para níveis elevados ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Apesar da mesma quantidade de Mg aplicada, observa-se tendência nos tratamentos T5 e T6 de teores superiores de Mg^{2+} no solo em relação ao tratamento T4, para as profundidades avaliadas (Tabela 5). Este fato pode ser atribuído à associação do óxido de magnésio com o gesso agrícola (tratamentos T5 e T6) que confere maior movimentação do Mg^{2+} , na presença do gesso agrícola, pelo íon sulfato.

As médias dos teores de Ca, Mg, Zn e B nas folhas do cafeeiro para os diferentes tratamentos são apresentadas na tabela 6.

Os teores foliares médios de Ca ($12,0 \text{ g kg}^{-1}$), Mg ($3,3 \text{ g kg}^{-1}$), Zn ($11,7 \text{ mg kg}^{-1}$) e B ($57,6 \text{ mg kg}^{-1}$) aos 180 dias após a aplicação dos tratamentos (Tabela 6) se encontram nas faixas adequadas para o café conilon em produção, segundo Prezotti et al. (2007), que são $10 - 13 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca, $3,1 - 4,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg, $10 - 20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn e $40 - 80 \text{ mg kg}^{-1}$ de B. Este fato corrobora com os baixos valores desses nutrientes encontrados no solo. A coleta de solo coincidiu com o período reprodutivo e início do novo período vegetativo da lavoura, período de maior absorção de nutrientes pelo cafeeiro ocasionando valores baixos no solo, apesar dos teores foliares estarem em níveis adequados.

Os contrastes entre os tempos de coleta, para os diferentes tratamentos, para os teores de Ca, Mg, Zn e B nas folhas do cafeeiro são apresentados na tabela 7. Observa-se que os teores médios de Ca e Mg nas folhas são superiores nas coletas aos 90 e 180 dias após aplicação dos tratamentos quando contrastadas com a coleta aos 30 dias após aplicação dos tratamentos, em todos os tratamentos estudados (C1, Tabela 7). A coleta aos 30 dias após aplicação dos tratamentos coincidiu com o início da fase de granação dos frutos, em que os frutos são drenos preferenciais de Ca e Mg, reduzindo os teores foliares.

As coletas aos 90 e 180 dias após aplicação dos tratamentos coincidiram com os períodos de final de granação e de maturação dos frutos do cafeeiro, respectivamente. Segundo Matiello et al. (2005), a quantidade de nutrientes exigida na fase de florada e chumbinho é pequena, aumentando significativamente a partir da passagem dos frutos para o estágio verde-aquoso, na granação (verde-sólido), até a maturação dos frutos.

Tabela 6 – Teores de Ca, Mg, Zn e B nas folhas do cafeeiro para os diferentes tratamentos e tempos de coleta

Tratamento	Coleta (dias)			Média
	30	90	180	
		Ca (g kg ⁻¹)		
T1	3,08	18,16	17,58	12,94
T2	2,86	16,15	12,06	10,36
T3	3,23	16,70	15,12	11,68
T4	3,67	17,60	16,66	12,64
T5	3,17	18,14	15,84	12,38
T6	3,01	17,91	15,13	12,02
		Mg (g kg ⁻¹)		
T1	1,13	4,57	5,12	3,61
T2	1,04	4,53	3,70	3,09
T3	1,14	4,20	4,44	3,26
T4	1,13	4,33	4,56	3,34
T5	1,19	4,07	4,75	3,34
T6	1,07	4,52	4,72	3,44
		Zn (mg kg ⁻¹)		
T1	23,55	6,17	8,51	12,74
T2	15,59	5,60	9,73	10,31
T3	18,37	8,35	9,68	12,14
T4	17,95	7,88	10,14	11,99
T5	15,50	9,90	11,52	12,31
T6	15,62	6,50	9,63	10,58
		B (mg kg ⁻¹)		
T1	60,67	39,26	65,18	55,04
T2	65,92	57,04	56,47	59,81
T3	70,04	53,72	45,50	56,42
T4	72,87	55,50	44,37	57,58
T5	63,90	52,59	53,08	56,52
T6	73,92	50,33	55,98	60,08

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Laviola et al. (2007a), trabalhando com acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo, verificaram que, independentemente da altitude, os maiores acúmulos relativos de matéria seca, Ca, Mg e S foram observados no estágio de granação do fruto.

Os teores foliares de Zn e B são superiores na coleta aos 30 dias em comparação as coletas aos 90 e 180 dias após aplicação dos tratamentos (C2, Tabela 7). A coleta aos 30 dias após aplicação dos tratamentos coincidiu com o período de inicial de granação dos frutos do cafeeiro. O período de desenvolvimento do fruto inicia-se entre os meses de setembro e julho, passando pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, granação até a maturação (RENA et al., 2001; CAMARGO & CAMARGO, 2001).

Tabela 7 – Contrastes das médias dos teores de Ca, Mg, Zn e B nas folhas do cafeeiro entre os tempos de coleta para os diferentes tratamentos

Contrastes Ortogonais	Ca	Mg	Zn	B
	-----T1-----			
C1	14,79*	3,71*	-16,21*	-8,45 ^{ns}
C2	-0,58 ^{ns}	0,56 ^{ns}	2,34 ^{ns}	25,91 ^q
	-----T2-----			
C1	11,25*	3,07*	-7,92*	-9,17 ^{ns}
C2	-4,10*	-0,83*	4,13 ^{ns}	-0,57 ^{ns}
	-----T3-----			
C1	12,69*	3,18*	-9,36*	-20,43 ^q
C2	-1,58 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,33 ^{ns}	-8,23 ^{ns}
	-----T4-----			
C1	13,45*	3,32*	-8,94*	-22,94 ^q
C2	-0,94 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,26 ^{ns}	-11,14 ^{ns}
	-----T5-----			
C1	13,82*	3,22*	-4,79*	-11,06 ^{ns}
C2	-2,30 ^q	0,68 ^q	1,62 ^{ns}	0,49 ^{ns}
	-----T6-----			
C1	13,51*	3,55*	-7,55*	-20,76 ^q
C2	-2,78*	0,20 ^{ns}	3,13 ^{ns}	5,65 ^{ns}

C1: coleta 2 + coleta 3 vs coleta 1 (++,2-) e **C2:** coleta 3 vs coleta 2 (+,-). Coleta 1, coleta 2 e coleta 3: 30, 90 e 180 dias após aplicação dos tratamentos, respectivamente. T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. *, ^q significativo a 5% e 10% de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Verifica-se que os teores médios de Zn nas folhas são superiores na coleta aos 30 dias após aplicação dos tratamentos quando contrastada as coletas aos 90 e 180

dias após aplicação dos tratamentos, nos tratamentos estudados (C1, Tabela 7), o que pode estar relacionado ao Zn ser pouco extraído pelos frutos nas fases de granação e maturação, favorecendo o aumento dos teores foliares.

Laviola et al. (2007b) observaram que os maiores acúmulos relativos de Zn foram no estágio de expansão rápida quando trabalharam com acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo.

Semelhantemente ao Zn, observa-se que os teores médios de B nas folhas são superiores na coleta aos 30 dias após aplicação dos tratamentos quando contrastada as coletas aos 90 e 180 dias após aplicação dos tratamentos, nos tratamentos T3, T4 e T6 (C1, Tabela 7). Laviola et al. (2007b), trabalhando com acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo, observaram que os maiores acúmulos relativos de B foram no estágio de expansão rápida e de granação.

Analisando o contraste 2, para todas as variáveis estudadas, de modo geral, verifica-se que não há diferenças significativas entre as coletas aos 90 e 180 dias após aplicação dos tratamentos (C2, Tabela 7).

Pelo contraste 1, observa-se que os tratamentos T2, T3, T4, T5 e T6 apresentam produtividades superiores, quando comparados ao tratamento T1, sem nenhum tipo de adubação (C1, Tabela 9). Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 tendem a produtividades superiores às do tratamento T2, este apenas com adubação NPK (C2, Tabela 9). Este resultado ressalta a importância da adubação com fontes de Ca, Mg, Zn e B na cultura do cafeeiro. Bragança et al. (2007ab) verificaram que o Ca foi o segundo e o Mg o quarto macronutriente mais acumulado pelo conilon, com 31 % e 6 %, respectivamente, do total de macronutrientes; o B foi o terceiro e o Zn o quarto micronutriente mais acumulado pelo cafeeiro conilon com percentual de 5 % e de 4 %, respectivamente, do total de micronutrientes.

Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 promovem aumentos de 10,0 %, 17,8 %, 16,0 % e 22,0 %, respectivamente, na produtividade média em relação ao tratamento T1 (Tabela 8).

A produtividade média dos tratamentos (1370,99 kg/ha) está abaixo da produtividade média para o café conilon (safra 2012) no Estado do Espírito Santo, que foi de 2080,8 quilos por hectare (CONAB, 2012). Porém, observa-se que o tratamento T6

atingiu produtividade média de 1506,6 quilos por hectare (Tabela 8), o que corrobora com a produtividade média das lavouras da região Sul de 1500,0 quilos por hectare (BRINCO et al., 2013).

No tratamento T6, mesmo com teores baixos de Ca^{2+} , teores médios de Mg^{2+} e baixos teores de Zn^{2+} , no solo (Tabela 5), segundo Prezotti et al. (2007), a produtividade foi de 1506,6 kg/ha, mostrando produtividade superior em relação ao tratamento T2 (1237,6 kg/ha) (Tabela 8), o que pode estar relacionado à importância da adubação com Ca, Mg e micronutrientes (Zn e B), essenciais na nutrição do cafeeiro conilon, complementando a adubação NPK.

Tabela 8 - Valores médios da produtividade do cafeeiro

Tratamento	Produtividade (kg/ha)
T1	1235,6
T2	1237,6
T3	1357,8
T4	1455,1
T5	1433,5
T6	1506,3

T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Tabela 9 - Contrastes médios da produtividade do cafeeiro

Contrastes Ortogonais	Produtividade (kg/ha)
C1	162,47 [#]
C2	200,59 ⁰
C3	112,09 ^{ns}
C4	14,80 ^{ns}
C5	72,86 ^{ns}

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (+++++,5-); **C2:** T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); **C3:** T5 + T6 vs T3 (++,2-); **C4:** T5 + T6 vs T4 (++,2-); e **C5:** T6 vs T5 (+,-). T1: controle; T2: NPK; T3: NPK + gesso agrícola; T4: NPK + MgO; T5: NPK + gesso/MgO (70/30); e T6: NPK + gesso/MgO (70/30) + Zn + B. ⁰ e [#] significativo a 10 % e tendência a 20 % de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo teste de F.

Vecchi (1993), estudando o efeito da utilização de calcário, óxido de magnésio e gesso em citros, observou que a aplicação da mistura óxido de magnésio e gesso proporcionou maior produção em relação à testemunha. Segundo o autor, esse comportamento pode estar relacionado à alta exigência da cultura por Ca e o

aumento nos valores de cálcio no perfil do solo, com o emprego do gesso na mistura com o óxido de magnésio, e a diminuição da concentração de alumínio, acarretando, dessa forma, aumento significativo na produção.

Rolim (1995), trabalhando com produtividades obtidas na colheita da cana (planta e soca), verificou que a mistura de gesso agrícola (85 %) com magnesita (15 %) proporcionou maior produção acumulada ao longo dos 3 cortes. O resultado foi explicado pela maior disponibilidade, em teores balanceados, dos nutrientes $S-SO_4^{2-}$, Ca^{2+} e Mg^{2+} e também pela maior durabilidade dos efeitos benéficos ao solo proporcionados pela mistura do gesso com a magnesita em relação ao calcário dolomítico, isolado ou em mistura com gesso, ao longo do tempo e do perfil do solo.

4 CONCLUSÕES

Os valores de pH e os teores de magnésio no solo são superiores nos tratamentos com aplicação de óxido de magnésio e na associação de óxido de magnésio ao gesso e a micronutrientes.

Os teores foliares de Ca, Mg, Zn e B, aos 180 dias após aplicação dos tratamentos, se encontram nas faixas adequadas para o café conilon em produção.

Os tratamentos com aplicação do gesso agrícola, óxido de magnésio, granulado gesso 70/30 e gesso 70/30 + Zn + B tendem a maiores produtividades de café.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:775-783, 2004.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, E. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, J. A.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V., V. H. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Rev. Ceres**, Viçosa, 54(314): 398-404, 2007a.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, E. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; LANI, J. A.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V., V. H.; MOSQUIM, P. R. Acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon. In.: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (5.:2007: Águas de Lindóia, SP). **Anais**. Brasília, DF. Embrapa Café, 2007b.

BRINCO, E.; ESTEVES, J.; SILVESTRE, L. **Espírito Santo lança Programa Renova Sul Conilon**. Informações à imprensa: Assessoria de Comunicação – Incaper. 30 de novembro de 2012. Disponível em: <http://www.es.gov.br/Noticias/155890/espírito_santo-lanca-programa-renova-sul-conilon.htm>. Acesso em 20 de fev. de 2013.

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

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. SBCS, 1017p. Viçosa, 2007.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da Safra Agrícola Cafeeira 2011 - Quarta Estimativa – Dezembro/2012**. Brasília, 2012. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_20_16_01_51_boletimc_afe_dezembro_2012.pdf>. Acesso em 02 de jan. de 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v.58, n.4, p.825-831, out./dez. 2001.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1451-1462, 2007a.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; ROSADO, L. D. S. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: micronutrientes. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1439-1449, 2007b.

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

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.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 645p. 2009.

NOGUEIRA, N.O.; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; REIS, E.F.; BRINATE, S.V.B. Influencia da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café arábica. **Rev. Cienc. Agron.**, v. 43, n. 1, p. 11-21, jan-mar, 2012.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J. et al. (Ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade de solo. Brasília: EMBRAPA.. cap. 2, p. 189-253, 1991.

PORTZ, A. **O gesso na agricultura brasileira**. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 645p. 2009.

POTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.75-684, 1998.

PREZOTTI, L. C.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. (Eds.) **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação**. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, Vitória, ES, 2007.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, p.101-128. 2001.

RESENDE, A. V. **Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas**. . In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 645p. 2009.

ROLIM, J. C. **Influência de corretivos da acidez e do gesso agrícola em propriedades químicas do solo, na nutrição e produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba, 1985. 127p. (Tese de Doutorado). 1985.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **R. Bras. Ci. Solo**, 29:297-300, 2005.

VECCHI, R. E. **Efeito do gesso e de diferentes corretivos de acidez em características químicas do solo, produção e estudo nutricional dos citros.**1993. 53p. Trabalho para conclusão de curso (graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.