

NATIÉLIA OLIVEIRA NOGUEIRA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS COMO
CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO E FONTE DE
NUTRIENTES PARA O CAFEIRO**

Tese 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 Doutor em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Fitotecnia.
Orientador: Prof Dr. Marcelo Antonio Tomaz.

ALEGRE

2014

NATIÉLIA OLIVEIRA NOGUEIRA

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO E FONTE DE NUTRIENTES PARA O CAFEIRO

Tese 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 Doutor em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Fitotecnia.

Aprovada em 13 de fevereiro de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade
Universidade Federal do Espírito Santo
Co-orientador

Dr. Luiz Carlos Prezotti
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica
e Extensão Rural

Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel
Instituto Federal do Espírito Santo
Campus Alegre

Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
Universidade Federal do Espírito Santo

A Deus, pela vida

DEDICO

Aos meus pais Guanair e Noêmia e aos meus irmãos, pelo apoio irrestrito e incentivo em todos os momentos de minha vida.

Ao meu esposo Onair, pela paciência e amor incondicional.

OFEREÇO

“O solo não é uma herança que recebemos de nossos pais,
mas sim um patrimônio que tomamos
emprestados de nossos filhos.”

Lester Brown

“Ninguém ignora tudo, ninguém sabe tudo.
Por isso, aprenderemos sempre!”

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela sabedoria, força e paciência concedidas para enfrentar os momentos difíceis durante a realização do curso.

À minha família, pois sem eles eu nada seria e conseguiria nesta vida.

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) e ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV) da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade e contribuição científica.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela disponibilização dos laboratórios de análises de solos.

Ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), pelo apoio financeiro para realização do estudo.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), pelo apoio e colaboração, em especial ao Wellington Marré.

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

Ao Professor Dr. Marcelo Antonio Tomaz, pela orientação, confiança e compreensão nas horas difíceis.

Ao Professor Dr. Felipe Vaz Andrade, pela coorientação e colaboração durante todo o desenvolvimento do trabalho, pelos conselhos e amizade.

Aos cafeicultores José Alexandre, Vanildo, Francisco e João Ogioni, por disponibilizarem voluntariamente suas lavouras de café para a realização deste estudo.

Ao Professor Hugo A. Ruiz, pelos conselhos estatísticos.

Ao Professor Renato Ribeiro Passos, pela disposição em sempre transmitir seus conhecimentos.

Aos professores do curso de Agronomia e do curso de PGPV, que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Aos membros das bancas examinadoras de qualificação e de defesa, pelas sugestões.

Aos bolsistas: Amarilson de Oliveira Candido, Lima Deleon Martins e Sebastião Vinícius Batista Brinate, cujo acompanhamento diário possibilitou a manutenção das condições necessárias ao experimento, e pela amizade e apoio em todos os momentos.

Aos técnicos de laboratório: Sílvio (Fisiologia e Nutrição Mineral de Plantas), Sônia e Maraboti (Química do solo), Alessandro e Luiz (LAFARSOL), José Maria (Sementes) e Marcelo (Física e Química do Solo), por estarem sempre prontos a nos atender, pelo carinho e apoio.

Aos motoristas do CCA, por serem sempre solícitos nos momentos de coletas e avaliação dos experimentos.

À Madalena (secretaria do PGPV), pelo profissionalismo e amizade durante todo o curso.

Aos meus amigos do Laboratório de Solos e Laboratório de Fisiologia e Nutrição de Plantas, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos e colegas do curso de doutorado e demais amigos de Alegre, por dividirem as alegrias e aflições adquiridas durante o curso.

Enfim, a todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADA!!!

BIOGRAFIA

Natiélia Oliveira Nogueira, filha de Guanair Nogueira e Noêmia Frezer de Oliveira Nogueira, nasceu em 01 de agosto de 1984, no município de Lúna, Estado do Espírito Santo. Em novembro de 2002, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no Centro de Ciências Agrárias, em Alegre, concluindo-o em agosto de 2007. Em agosto de 2007, iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal na UFES, diplomando-se em agosto de 2009. Em março de 2010, iniciou o curso de Doutorado em Produção Vegetal na UFES, na linha de pesquisa Fitotecnia, submetendo-se à defesa da tese em fevereiro de 2014.

RESUMO GERAL

A utilização de resíduos industriais na agricultura tem demonstrado potencial como corretivos de acidez e, ou fertilizantes, além de apresentar benefícios relacionados ao meio ambiente, ao reduzir os impactos ambientais pela grande quantidade de resíduos gerados do setor industrial. O objetivo deste estudo foi avaliar, em experimentos conduzidos em campo, a utilização de resíduos industriais comparado ao calcário em solos cultivados com café arábica (*Coffea arabica* L.) e café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). No ensaio 1, foram utilizados os seguintes tratamentos: quatro corretivos (calcário como controle, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore como corretivos alternativos) e cinco doses dos corretivos (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de calagem), o experimento foi conduzido por três anos consecutivos. Anualmente, decorridos seis meses da aplicação dos materiais corretivos, procedeu-se as análises de pH em água, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo; e decorridos três e seis meses da aplicação dos materiais corretivos, procedeu-se as análises dos teores de cálcio e magnésio da folha do cafeeiro. Os resultados mostram que as propriedades químicas do solo são influenciadas pelos corretivos utilizados, porém com a utilização do óxido de magnésio obtém-se um maior incremento dos teores de magnésio no solo. Os teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro são influenciados pelos corretivos e pelas doses dos mesmos. A escória de siderurgia, o óxido de magnésio e o resíduo de mármore demonstram potencial como corretivos de acidez e fonte de cálcio e magnésio para o café arábica. No ensaio 2, foram utilizados os seguintes tratamentos: quatro corretivos (calcário como controle, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore como corretivos alternativos) e cinco doses dos corretivos (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de calagem) em solo cultivado com café conilon. O experimento foi avaliado em três épocas. Anualmente, decorridos seis meses da aplicação dos materiais corretivos, procedeu-se as análises de pH em água, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo. Os resultados mostram que os valores de pH, Al^{3+} , $H+Al$ e os teores de cálcio e magnésio trocáveis proporcionados pela aplicação dos corretivos alternativos são semelhantes ou superiores ao calcário para os três anos de execução do experimento. As aplicações de doses crescentes de escória, óxido de magnésio e resíduo de mármore favorecem um decréscimo da acidez do

solo e incrementos de cálcio e magnésio trocáveis ao solo. O óxido de magnésio demonstra maior potencial como fonte de magnésio para o solo.

Palavras-chave: Acidez do solo. Fertilidade do solo. Resíduos. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The use of industrial residues in agriculture has shown potential when used as soil acidity correction or fertilizers. Moreover, it presents benefits to the environment by reducing environmental impacts due to the large amount of residues generated in the industrial sector. The objective of this study was to evaluate experiments conducted in a greenhouse and in field using industrial residues compared to lime in soils cultivated with arabica coffee (*Coffea arabica L.*) and conilon coffee (*Coffea canephora Pierre ex Froehner*). In the first trial was used the following treatments: four correctives (correctives (lime as a control, slag and magnesium oxide as an alternative correctives); and five doses of corrections (0; 30; 60; 90 e 120% of lime required), the experiment was conducted for three consecutive years. Annually, after six months of liming materials, proceeded to the analysis of pH, Al^{3+} , $\text{H}+\text{Al}$, Ca^{2+} and Mg^{2+} in the soil, and after three and six months of liming materials, proceeded analyzes of calcium and magnesium from the coffee leaf. The results show that the soil properties are influenced by the corrective used, but with the use of magnesium oxide gives a greater increase of magnesium in the soil. The calcium and magnesium in the coffee leaf are influenced by lime and the doses of the same. Slag, magnesium oxide and residue marble demonstrate potential as acidity correctives and source of calcium and magnesium for arabica coffee. In the second trial, the following treatments were used: four corrective (limestone as control, slag, magnesium oxide and waste marble as remedial alternative) and five doses of lime (0; 30; 60; 90 e 120% of lime requirement) in soil cultivated with conilon. The experiment was evaluated in three seasons. Annually, after six months of liming materials, proceeded to the analysis of pH, Al^{3+} , $\text{H} + \text{Al}$, Ca^{2+} and Mg^{2+} in the soil. The results show that pH, Al^{3+} , $\text{H} + \text{Al}$ and contents of exchangeable calcium and magnesium provided by the application of remedial alternative are similar or superior to lime for the three years of the experiment. The applications of increasing doses of slag, magnesium oxide and residue marble favor a decrease in soil acidity and increases in exchangeable calcium and magnesium to the soil. Magnesium oxide demonstrates the greatest potential as a source of magnesium to the soil.

Keywords: Soil acidity. Soil fertility. Waste. Sustainability.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1 REFERÊNCIAS.....	13

CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM *Coffea arabica* APÓS A APLICAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4 CONCLUSÕES.....	43
5 REFERÊNCIAS.....	43

CAPÍTULO 2 – ESCÓRIA DE SIDERURGIA, ÓXIDO DE MAGNÉSIO E RESÍDUO DE MÁRMORE COMO CORRETIVOS DA ACIDEZ EM SOLO CULTIVADO COM *Coffea canephora*

RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
1 INTRODUÇÃO.....	54
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4 CONCLUSÕES.....	68
5 REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICES.....	76

INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, o homem tem explorado mais os recursos naturais e, em decorrência disso, existe abundância de alimentos, combustíveis e tecnologia. Entretanto, tem ocorrido intensa degradação do meio ambiente com a contaminação das fontes de água e do solo.

Atualmente, a destinação dos resíduos industriais no Brasil é motivo de preocupação das autoridades e órgãos ambientais, seja devido a grande quantidade que vem sendo gerada, principalmente como resultados da elevada atividade industrial em algumas regiões do país, seja pela carência de instalações e locais adequados para o tratamento e destino final desses resíduos.

O uso desses materiais como matéria-prima em outros processos produtivos pode transformar resíduos em subprodutos úteis diminuindo as grandes quantidades que são depositadas em aterros e contribuindo com a minimização dos impactos ambientais (MANHÃES; HOLANDA, 2008).

Neste sentido, a utilização desses resíduos na agricultura tem se tornado uma opção cada vez mais frequente, uma vez que os materiais alternativos geralmente possuem características de correção de acidez do solo e, ou fornecedor de nutrientes ao solo. Essas características são importantes para a utilização dos resíduos na agricultura, considerando que a maioria dos solos brasileiros apresenta alta acidez e uma baixa fertilidade natural (KER, 1997), o que os levam a uma grande dependência de corretivos e fertilizantes para a produção agrícola.

A acidez do solo é um dos principais fatores capazes de reduzir o potencial produtivo das lavouras cafeeiras dos solos tropicais. Essa condição limita o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e a absorção de água e nutrientes, o que ocasiona redução na produtividade (NOLLA et al., 2009). Desta forma, utiliza-se da prática da correção da acidez do solo, sendo o calcário o material mais utilizado para tal manejo.

Entre os resíduos que apresentam uma alternativa viável para correção de acidez e fornecimento de nutrientes ao solo, destacam-se os resíduos siderúrgicos (CAMARGO; KORNDÖRFER; PEREIRA, 2007; FORTES et al., 2008; VIDAL; PRADO, 2011); os resíduos de rochas (FYFE, LEONARDOS; THEODORO, 2006; MACHADO et al., 2010; RIBEIRO et al., 2010); e o óxido de magnésio (CARDOSO et al., 2011; MESQUITA et al., 2008; NOGUEIRA et al., 2012; ALTOÉ, 2013).

O óxido de magnésio é um resíduo intermediário do processo industrial de produção de refratários a partir do emprego de magnesita ($MgCO_3$) e 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 a cultura do cafeeiro.

Neste contexto, objetivou-se avaliar, em experimentos conduzidos em casa de vegetação e em condição de campo, a utilização de resíduos industriais em solos cultivados com café arábica e café conilon.

1 REFERÊNCIAS

ALTOÉ, A. **Óxido de magnésio, gesso e micronutrientes como fertilizante granulado em *Coffea canephora***. 2013. 72f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

CAMARGO, M.S. de; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, v.66, n.4, p. 637-647, 2007.

CARDOSO, R.D.; POLIDORO, J.C.; FERREIRA, R, de P.; BERNARDI, A.C. de C. Produção de matéria seca pela alfafa sob pastejo em função do fornecimento de gesso e óxido magnésio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,

33., 2011, Uberlândia. **Anais...Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2011. 4 p. 1. CD-Rom.

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

FORTES, C.A.; PINTO, J.C.; FURTINI NETO, A.E.; MORAIS, A.R. DE; EVANGELISTA, A.R; SOUZA, R.M. de. Níveis de silicato de cálcio e magnésio na produção das gramíneas Marandu e Tanzânia cultivadas em um Neossolo Quartzarênico. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.1, p.267-274, 2008.

FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, p.715-720, 2006.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma visão. **Geonomos**, v.5, n.1, p.17-40. 1997.

MACHADO, R.V.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R.; MESQUITA, L.F. **Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 50p. (Série Tecnologia Ambiental, 55), 2010.

MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. Caracterização e classificação de resíduo sólido "pó de rocha granítica" gerado na indústria de rochas ornamentais. **Química Nova**, v.31, p.1301-1304, 2008.

MESQUITA, L. F.; CARDOSO FILHO, J.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R. Escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 8., 2008, São Bernardo do Campo. **Anais...** São Bernardo do Campo: UNIVAP, 2008.

NOGUEIRA, N.O; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; REIS, E.F. dos.; BRINATE, S.B.V. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café Arábica. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.1, p.11-21, 2012.

NOLLA, A.; PALMA, I.P.; SANDER, G.; VOLK, L.B.S.; SILVA, T.R.B. Desenvolvimento de milho submetido à aplicação de calcário e silicato de cálcio em um Argissolo arenoso do noroeste paranaense. **Cultivando o saber**, v.2, n.4, p.154-162, 2009.

RIBEIRO, L. da S.; SANTOS, A.R. dos.; SOUZA, L.F. da S.; SOUZA, J.S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.891-897, 2010.

VIDAL, A. de A.; PRADO, R. de M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e uréia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.264-272, 2011.

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM *Coffea arabica* APÓS A APLICAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

RESUMO

O parque cafeeiro no Estado do Espírito Santo possui grande potencial de aumento de produção, necessitando principalmente de ser renovado, e manejado de maneira correta, principalmente em relação às práticas de calagem e adubação. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações químicas do solo e sua relação com os teores de cálcio e magnésio nas folhas do cafeeiro arábica, decorrentes da aplicação de doses de escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore em solos, em experimento conduzido em campo. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com três repetições, sendo cada unidade experimental construída por seis plantas, no esquema em parcela subdividida, considerando quatro efeitos na parcela, caracterizados pelos tipos de corretivos (calcário utilizado como controle, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduos de mármore, como corretivos alternativos), cinco efeitos na subdividida, caracterizada pelas doses dos corretivos (0; 30; 60; 90 e 120 % da necessidade de calagem) e três efeitos na subdividida, caracterizada pelos anos de estudo. Anualmente, decorridos seis meses da aplicação dos materiais corretivos, procedeu-se as análises de pH em água, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo; e dos teores de cálcio e magnésio da folha do cafeeiro. Os resultados mostraram que as propriedades químicas do solo são influenciadas pelos corretivos utilizados, porém com a utilização do óxido de magnésio obtém-se um maior incremento dos teores de magnésio no solo. Os teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro são influenciados pelos corretivos e pelas doses dos mesmos. A escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore demonstram potencial como corretivos de acidez e fonte de cálcio e magnésio para o café arábica.

Palavras-chave: Calagem. Resíduos Industriais. Cafeicultura.

CHAPTER 1

RELEASE OF CALCIUM AND MAGNESIUM IN INDUSTRIAL RESIDUE AND CHANGES IN THE CHEMICAL ATTRIBUTE OF SOIL CULTIVATED WITH *Coffea arabica*

ABSTRACT

The coffee plantations in the state of *Espírito Santo* have a great potential to increase production, needed mainly to be renewed and managed in a correct manner, especially in relation to liming and fertilization practices. The objective of this study was to evaluate the chemical alterations in the soil and its relation to the contents of calcium and magnesium of the Arabica coffee leaves in result to the application of doses of slag, magnesium oxide and marble waste in the soil in an experiment held in field. The experimental design was in randomized blocks, with factorial distribution of 4 x 5, with three replications, with the following factors: four calcium correctives used as control, and slag, magnesium oxide and marble waste used as alternatives correctives, and five doses (0; 30; 60; 90 and 120 % of lime required) and each experimental unit containing six coffee plants. The experiment was conducted for three consecutive years. Annually, after six months of application of the corrective materials, proceeded to the analysis of pH in water, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} in the soil; and calcium and magnesium content in the coffee leaf. The results showed that the chemical properties of soil are influenced by the correctives used, but with the use of magnesium oxide obtains a greater increase of magnesium content in the soil. The calcium and magnesium contents in the coffee leaves are influenced by the correctives and the same doses. Slag, magnesium oxide and marble waste showed to be potential as an acidity corrective and a source of calcium and magnesium.

Keywords: Liming. Industrial Residue. Coffee culture.

1 INTRODUÇÃO

A maioria das lavouras cafeeiras do Estado do 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 (VAN RAIJ, 1988). Dessa forma, a prática da correção de acidez torna-se de fundamental importância para um adequado aproveitamento agrícola dessas áreas para cafeicultura (QUAGGIO, 2000; SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A correção do solo promove a neutralização do alumínio tóxico e o fornecimento de cálcio e magnésio trocáveis (CAIRES et al., 2004, 2006; CARVALHO-PUPPATTO et al., 2004), elementos exigidos em grandes quantidades pelo cafeeiro (CATANI, 1967; LAZZARINI et al., 1975; GARCIA, 1983; MATIELLO et al., 2005).

O produto mais utilizado para neutralizar a acidez do solo é o calcário (NOLLA; ANGHINONI, 2004). Entretanto, em vários trabalhos na literatura é evidenciado que alguns resíduos industriais podem ser utilizados na agricultura como corretivos de acidez e fertilizantes (BARBOSA FILHO; ZIMMERMANN; SILVA, 2004; FYFE, LEONARDOS; THEODORO, 2006; BRASSIOLI; PRADO; FERNANDES, 2009; MACHADO et al., 2010; COSTA et al., 2010; SOUSA; KORNDÖRFER; WANGE, 2010; BASTO; CAZETTA; PRADO, 2010; VIDAL; PRADO, 2011; NOGUEIRA et al., 2012; STAUFFER et al., 2013).

A quantidade de resíduos originados do processo industrial aumentou muito nas últimas décadas, principalmente devido ao crescimento dos setores ligados à indústria metalúrgica. Diariamente são produzidas imensas quantidades desses resíduos, e o descarte muitas vezes não recebe um acondicionamento adequado, provocando poluição de águas, solos e ar, colocando em risco a saúde das populações e degradando o meio ambiente (CALBERONI, 2003).

Além dos resíduos originados da metalurgia, a quantidade dos resíduos da indústria de rochas ornamentais tem-se constituído um problema ambiental em potencial, como o resíduo de mármore. Os mármore são rochas metamórficas de natureza

calcária. Constituem-se, geralmente, da mistura de carbonatos de cálcio e de magnésio (CaCO_3 e MgCO_3). Além de ornamentação e escultura, são também utilizados na indústria química e na construção civil (BALDOTO, et al., 2007).

A grande quantidade de resíduos tem impulsionado os órgãos de pesquisas a buscarem formas de utilização racional desses materiais, transformando-os em subprodutos, sendo que a agricultura é um dos principais destinos (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003), com o objetivo de melhorar as propriedades químicas do solo e reduzir possíveis impactos ao ambiente. Contudo, tal utilização deve ser precedida de estudos de impacto ambiental e de viabilidade técnica.

Tendo em vista o potencial de utilização dos resíduos industriais na agricultura, o presente trabalho objetivou avaliar em experimento conduzido em campo a influência da aplicação de calcário e resíduos industriais sobre a liberação de cálcio e magnésio e as alterações químicas do solo cultivado com café arábica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em uma lavoura de café arábica implantada no espaçamento de 2,80 x 1,20 m, com oito anos de idade, localizada no distrito de Celina no município de Alegre-ES, delimitada pelas coordenadas geográficas 41°36'29" de Longitude Oeste e 20°42'44" de Latitude Sul. O clima predominante na Microrregião do Caparaó, segundo o sistema Köppen, é o quente e úmido no verão e inverno seco, e a temperatura anual média para o Município de Alegre é de 22,2 °C.

Antes da implantação do experimento, foi realizada a caracterização física e química do solo da área a ser utilizada para o estudo, na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização física e química do solo estudado, antes da implantação do experimento

Atributos	Valores
¹ Areia (g kg ⁻¹)	410,00
¹ Silte (g kg ⁻¹)	80,00
¹ Argila (g kg ⁻¹)	510,00
² pH	4,70
³ Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,60
³ Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,30
⁴ Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,10
⁵ H+Al (cmol _c dm ⁻³)	8,80
⁶ Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	23,60
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	1,96
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,54
Saturação por bases (%)	18,60

¹Método da Pipeta (RUIZ, 2005); ²pH em água (relação 1:2,5); ³Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; ⁴Extraído com cloreto de potássio 1mol L⁻¹ e determinado por titulometria; ⁵Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação (EMBRAPA, 1997); e ⁶Determinação por oxidação, em via úmida, com dicromato de potássio em meio ácido (YEOMANS; BREMNER, 1988).

O experimento foi conduzido no delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições, sendo cada unidade experimental construída por seis plantas, no esquema em parcela subdividida, considerando quatro efeitos na parcela, caracterizados pelos tipos de corretivos (calcário utilizado como controle - CALC, escória de siderurgia - ES, óxido de magnésio - OM e resíduos de mármore - RM, como corretivos alternativos), cinco efeitos na subparcela, caracterizada pelas doses dos corretivos (0; 30; 60; 90 e 120 % da necessidade de calagem) e três efeitos na subsubparcela, caracterizada pelos anos de estudo. A análise dos corretivos utilizados está apresentada na Tabela 2.

Cada parcela experimental foi constituída por seis plantas de café, sendo as quatro plantas centrais como área útil. Ao longo de três anos consecutivos, nos meses de outubro, as doses dos corretivos foram aplicadas na superfície do solo em área total de acordo com os tratamentos previamente estabelecidos. E a análise do solo foi coletada no mês de abril de cada ano, decorridos 180 dias da aplicação dos corretivos.

Tabela 2 - Características químicas dos corretivos utilizados no experimento

Parâmetro	CALC	ES	OM	RM
Óxido de cálcio (%)	33,60	32,00	-	26,88
Óxido de magnésio (%)	09,58	10,75	53,00	20,00
Dióxido de silício (%)	-	21,30	-	-
¹ Poder de neutralização	89,05	83,84	195,00	97,85
² Eficiência Relativa (%)	93,92	71,01	100,00	95,76
³ PRNT (%)	83,64	59,53	195,00	93,70

¹Poder de neutralização: $\%CaO \times 1,79 + \%MgO \times 2,48$; ²Eficiência relativa: $[(A \times 0,0) + (B \times 0,2) + (C \times 0,6) + (D \times 1,0)/100]$, sendo A, B, C = % de corretivo que fica retido, respectivamente, nas peneiras nº 10, 20 e 50, e D = % de corretivo que passa na peneira nº 50; e ³PRNT = $PN \times ER / 100$.

As doses foram definidas utilizando-se o método da elevação da saturação por bases e o respectivo PRNT do corretivo, de modo a elevar a saturação por bases para 60%, conforme Prezotti et al. (2007). O cálculo das doses para o segundo e o terceiro ano de aplicação, foi realizado com base nos resultados da análise de solo correspondente à dose estimada de 100% de cada corretivo aplicado anteriormente.

Para os tratamentos com óxido de magnésio e resíduo de mármore, utilizou-se juntamente a aplicação de gesso agrícola de acordo com cada dose, com o objetivo de igualar a relação cálcio: magnésio entre os corretivos em 3:1. Essa relação é existente nos demais corretivos (calcário e escória) e ideal para a nutrição do cafeeiro onde proporciona um melhor desenvolvimento das plantas.

As adubações minerais foram baseadas na análise inicial do solo e de acordo com as recomendações para a cultura no Estado do Espírito Santo, sugeridas por Prezotti et al. (2007). As doses recomendadas foram divididas em três aplicações anuais realizadas durante o período chuvoso (outubro a março). Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da lavoura.

A cada ano, após 180 dias da aplicação dos materiais corretivos, foi realizada a amostragem do solo (sob a copa do cafeeiro) onde foram coletadas amostras na profundidade de 0-20 cm, utilizando-se o trado tipo holandês, recolhendo-se quatro amostras por parcela, para constituir uma amostra composta. Foram analisados os valores de pH em água, alumínio trocável, H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo, conforme EMBRAPA (1997).

A análise química do tecido foliar do cafeeiro foi realizada após 90 dias (janeiro) e 180 dias (abril) da aplicação dos corretivos (durante três anos), totalizando seis coletas de material foliar para avaliação. Foram coletados das quatro plantas centrais o 3º e o 4º pares de folhas de ramos plagiotrópicos do cafeeiro, localizados a meia altura da planta (um par de cada lado da planta), para avaliação do estado nutricional de cálcio e magnésio da lavoura durante a condução do experimento. Os teores de cálcio e magnésio nas folhas do cafeeiro foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica da massa seca (EMBRAPA, 1997).

Os dados foram submetidos aos testes preliminares para verificação da normalidade e homogeneidade de variância. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), utilizando-se o Software SAEG versão 9.1 (2007). Os valores de pH em água, alumínio trocável, H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo e os valores de cálcio e magnésio foliar foram comparados por meio de médias por contrastes ortogonais e testados pelo teste F nos níveis de 5% e 10% de probabilidade (Tabelas 3 e 4).

Foram feitas análises de regressão para as doses dos corretivos aplicados para cada época de avaliação. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 3 - Contrastes médios dos valores de pH em água, Al^{3+} , H+Al, Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo entre as épocas de avaliação para os diferentes corretivos utilizados

⁽⁴⁾ Contrastes Ortogonais	Época de Avaliação das Amostras de Solo		
	⁽¹⁾ Avaliação 1	⁽²⁾ Avaliação 2	⁽³⁾ Avaliação 3
C1	-2	1	1
C2	0	-1	1

⁽¹⁾Avaliação aos 180 dias da primeira aplicação dos corretivos; ⁽²⁾180 dias da segunda aplicação dos corretivos; e ⁽³⁾180 dias da terceira aplicação dos corretivos.

⁽⁴⁾**C1**: 1 vs 2 + 3; e **C2**: 2 vs 3. Testados pelo teste F nos níveis de 5% e 10% de probabilidade.

Tabela 4 - Contrastes médios dos teores de cálcio e magnésio nas folhas do cafeeiro arábica entre as épocas de avaliação para os diferentes corretivos utilizados

⁽⁷⁾ Contrastes Ortogonais	Época de avaliação das amostras de folha					
	⁽¹⁾ 1	⁽²⁾ 2	⁽³⁾ 3	⁽⁴⁾ 4	⁽⁴⁾ 5	⁽⁵⁾ 6
C1	-5	1	1	1	1	1
C2	0	-4	1	1	1	1
C3	0	0	-3	1	1	1
C4	0	0	0	-2	1	1
C5	0	0	0	0	-1	1

⁽¹⁾ e ⁽²⁾ avaliação aos 90 e 180 dias da primeira aplicação dos corretivos, respectivamente; ⁽³⁾ e

⁽⁴⁾ avaliação aos 90 e 180 dias da segunda aplicação dos corretivos, respectivamente; e ⁽⁵⁾ e

⁽⁶⁾ avaliação aos 90 e 180 dias da terceira aplicação dos corretivos, respectivamente.

⁽⁷⁾ **C1**: 1 vs 2 + 3 + 4 + 5 + 6; **C2**: 2 vs 3 + 4 + 5 + 6; **C3**: 3 vs 4 + 5 + 6; **C4**: 4 vs 5 + 6; e **C5**: 5 vs 6. Testados pelo teste F nos níveis de 5% e 10% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Apêndice A e B, estão apresentadas as análises de variância para os valores de pH em água, dos teores de alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) no solo.

Na Tabela 5, estão apresentadas as médias dos valores de pH em água, dos teores de alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) no solo, para os diferentes corretivos utilizados e tempo de avaliação. Os valores de pH em água, Al^{3+} , H+Al, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo para as diferentes doses dos corretivos utilizados e tempo de avaliação estão apresentados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5.

Observa-se na Figura 1 que há aumentos dos valores de pH do solo à medida que se incrementavam as doses de corretivos para as três avaliações. Verifica-se por meio de modelos ajustados para os valores de pH do solo, em função das doses dos corretivos estudados, um ajuste linear para a primeira e segunda avaliação.

Para a terceira avaliação, observou-se respostas lineares do pH do solo quando utilizadas as doses de calcário, escória e óxido de magnésio, tendo o valor de pH do solo aumentado com o incremento das doses utilizadas, entretanto, para o resíduo de mármore não há ajuste para os modelo de regressão (Figura 1).

Tabela 5 – Valores médios de pH em água, Al^{3+} , H+Al , Ca^{2+} e Mg^{2+} , em amostras de solo para os diferentes corretivos e épocas de avaliação

Corretivos	Época de avaliação das amostras de solo		
	Época de avaliação 1 ⁽¹⁾	Época de avaliação 2 ⁽²⁾	Época de avaliação 3 ⁽³⁾
	pH em água 1:2,5		
CALC	4,93	4,82	4,77
ES	4,87	4,72	4,75
ÓM	4,78	4,77	4,87
RM	4,78	4,67	4,72
Média	4,84	4,75	4,78
	Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		
CALC	1,13	0,34	0,84
ES	1,07	0,33	0,85
ÓM	0,99	0,25	0,68
RM	0,97	0,30	0,73
Média	1,04	0,31	0,78
	H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		
CALC	8,72	8,53	8,87
ES	8,95	8,34	9,24
ÓM	8,23	8,41	7,99
RM	11,69	10,08	8,52
Média	9,40	8,84	8,66
	Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		
CALC	1,28	1,55	0,89
ES	1,28	1,91	0,78
ÓM	1,04	2,26	1,11
RM	1,11	2,38	1,53
Média	1,18	2,03	1,08
	Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)		
CALC	0,29	0,36	0,29
ES	0,29	0,40	0,28
ÓM	0,35	0,47	0,38
RM	0,29	0,38	0,25
Média	0,31	0,42	0,30

⁽¹⁾avaliação aos 180 dias da primeira aplicação dos corretivos; ⁽²⁾180 dias da segunda aplicação dos corretivos; e ⁽³⁾180 dias da terceira aplicação dos corretivos.

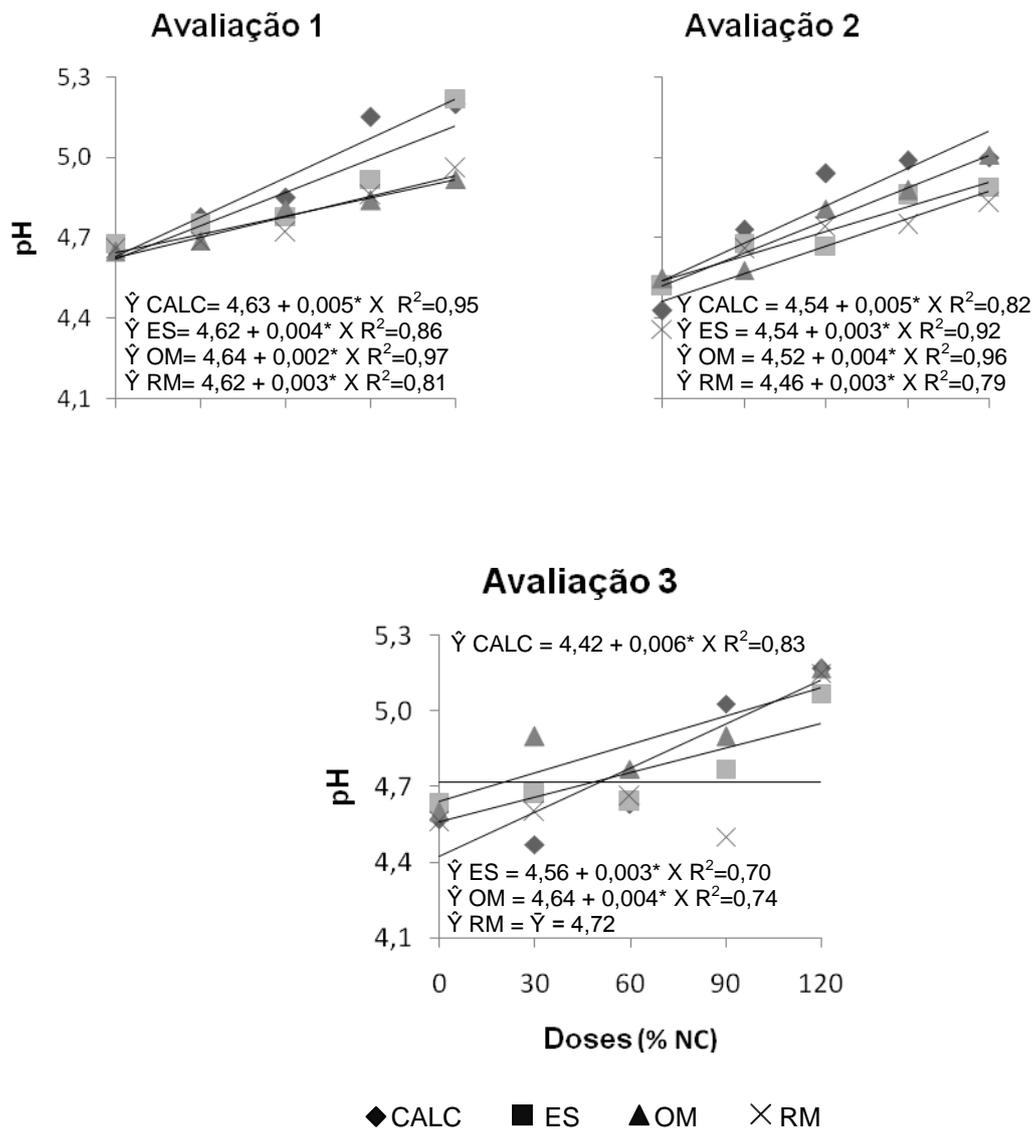


Figura 1 - Valores médios de pH em água do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em três épocas de avaliação.

Com exceção das maiores doses dos corretivos para as três avaliações, os valores de pH do solo influenciados pelas demais doses dos corretivos (Figura 1), ainda se encontram dentro da faixa de acidez elevada (< 5,0) de acordo com Prezotti et al. (2007).

Isso mostra que os corretivos utilizados comportam-se de maneira semelhante na correção da acidez do solo, uma vez que, a utilização das menores doses de todos os corretivos não foram suficientes para atingir um pH acima de 5,0.

No entanto, quando utilizada a maior dose (120% da necessidade de calagem) de todos os corretivos, é possível notar que os valores de pH em água foram iguais ou superiores a 5,0, com exceção apenas do resíduo de mármore para a segunda avaliação, onde este valor foi 4,8 (Figura 1). Esse resultado demonstra que os resíduos testados podem ser utilizados como alternativa ao tradicional calcário, influenciando na redução da acidez do solo devido o aumento do valor de pH.

Na cultura do café é importante conhecer e controlar a acidez do solo, pois a acidez influencia na disponibilidade dos nutrientes necessários para as plantas. Normalmente, o solo ácido tem alta atividade de hidrogênio e alumínio, que são tóxicos para as plantas. Para o cafeeiro, a faixa ideal de pH do solo está entre 5,5 e 6,5 (DADALTO; FULLIN, 2001).

Resultados semelhantes quanto à ação corretiva do solo devido à aplicação de escória foram observados por Barbosa Filho, Zimmermann e Silva (2004); Brassioli, Prado e Fernandes (2009); Prado e Natale (2004); e Prezotti e Martins (2012). O uso de escória para corrigir solo ácido e melhorar o crescimento das plantas também foi analisado em um estudo realizado no Irã (ALI; SHAHRAM, 2007), onde os autores observaram que a escória possui potencialidade de utilização como correção do pH do solo.

O poder neutralizante da acidez do solo promovido pela adição de óxido de magnésio ao solo foi comprovada por Mesquita et al. (2008), quando estudaram o óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos, verificaram que o óxido de magnésio apresentou comportamento semelhante ao calcário na elevação do pH dos solos estudados. Resultados semelhantes também foram relatados por Altoé (2013).

Trabalhos realizados constataram a possibilidade de utilização de resíduo de rocha na correção de acidez de solos (FYFE; LEONARDOS; THEODORO; 2006; THEODORO et al., 2006; MACHADO et al., 2010), constituindo uma alternativa de

baixo custo, principalmente para agricultores que encontram-se nas proximidades de áreas de beneficiamento desses materiais.

Em relação ao alumínio trocável, observa-se que os valores dessa variável foram reduzidos à medida que se aumentava as doses de corretivo calcário, escória e óxido de magnésio para a terceira avaliação, não sendo possível ajustar modelo de regressão para os demais corretivos e avaliações (Figura 2).

O aumento do pH do solo com a utilização de corretivos resultou na redução dos teores de Al^{3+} , devido à precipitação do Al^{3+} na forma de $Al(OH)_3$ de baixa solubilidade e, portanto, não tóxica para as plantas, já que não se mantém ativa em solução.

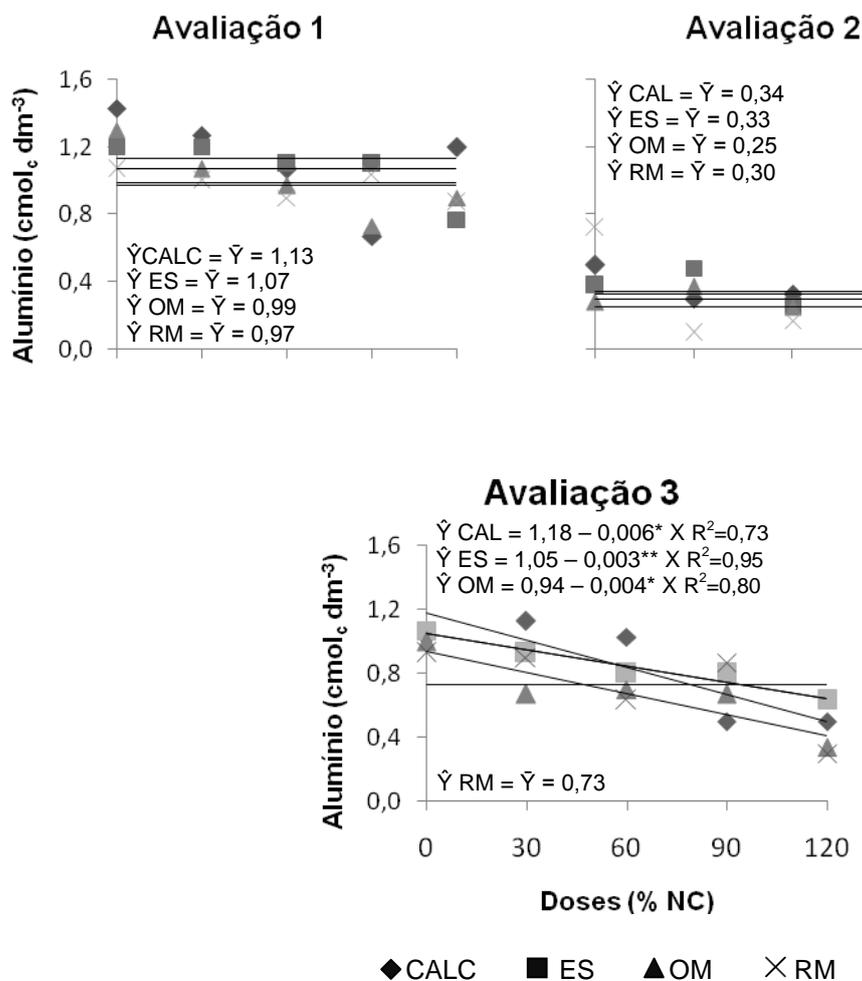


Figura 2 - Valores médios de alumínio trocável do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em três épocas de avaliação.

Observa-se que quando aplicadas as maiores doses dos corretivos, obtêm-se os menores valores de alumínio do solo, provando que para todos os corretivos a dosagem de 120% da recomendação de calagem é a mais eficiente na redução do alumínio trocável do solo.

Com exceção das menores doses de calcário e de escória na primeira avaliação que se encontra em nível alto ($>1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), os demais encontram-se em níveis baixos ($< 0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e médios no solo ($0,3 - 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de acordo com Prezotti et al. (2007) (Figura 2).

O óxido de magnésio, escória de siderurgia e resíduo de mármore demonstram potencial de neutralização da acidez do solo com as mesmas doses utilizadas para o calcário (maiores doses), apresentando potencialidade na correção da acidez dos solos. A redução dos valores de alumínio trocável no solo com o uso dos corretivos alternativos evidencia efeitos positivos na correção da acidez o que pode propiciar um melhor desenvolvimento do cafeeiro.

A maioria das pesquisas realizadas com escórias mostra que sua ação neutralizante na acidez do solo assemelha-se à do calcário (PRADO et al., 2002; CORRÊA et al., 2009; VIDAL; PRADO, 2011). Prado et al. (2003), Barbosa et al. (2008) e Santana et al. (2010) também registraram que as escórias foram semelhantes ao calcário na correção da acidez do solo.

O poder de redução do alumínio trocável do solo promovido pelo óxido de magnésio foi constatado por Nogueira et al. (2012), que 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 menores teores de alumínio do solo.

Os resultados relacionados ao efeito do resíduo de mármore, corrobora os obtidos por Raymundo et al. (2013), quando compararam a capacidade de neutralização de acidez de solo, entre o resíduo de mármore e o calcário para o cultivo de milho em casa de vegetação.

Em relação a acidez potencial (H+Al), observa-se que esta foi gradativamente reduzida com o aumento da dosagem do calcário para a primeira avaliação e da escória para a segunda avaliação. Essa redução foi observada de forma linear para o calcário e de forma quadrática para a escória. Para os demais, não foi possível obter modelo de regressão significativo (Figura 3).

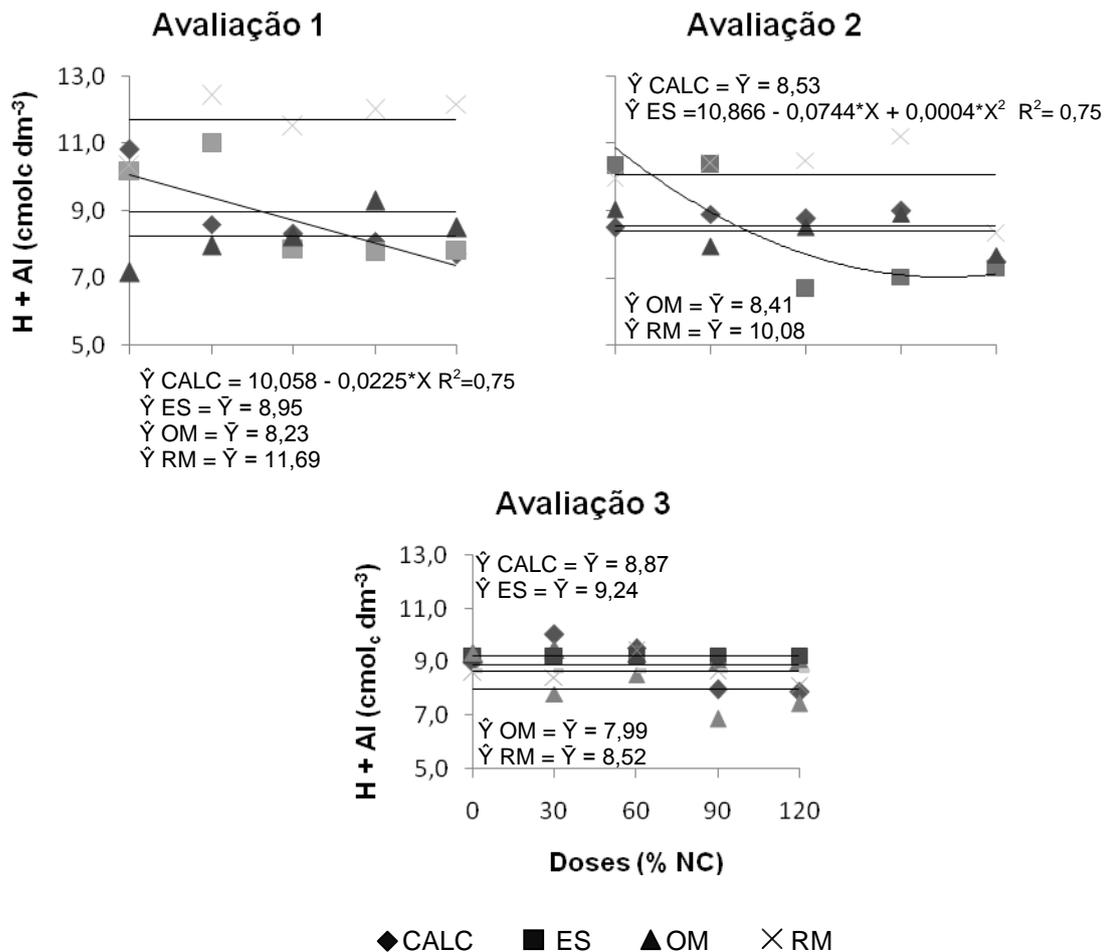


Figura 3 - Valores médios de H+Al do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em três épocas de avaliação.

Observa-se que as maiores doses dos corretivos, proporcionaram os menores valores de H+Al, com exceção da escória para a segunda avaliação onde a dose de 93% foi suficiente para atingir o menor valor de H+Al obtido ($7,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para essa avaliação. Porém, todos os valores obtidos enquadram-se na faixa de alta

acidez (Figura 3), pois, solos com valores maiores que $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados solos de alta acidez de acordo com Prezotti et al. (2007).

Observa-se, na Tabela 5, que os teores de H+Al do solo que recebeu o corretivo resíduo de mármore foram maiores que os demais, isso indica que será necessário uma dosagem maior desse material para obter resultados semelhantes aos encontrados para os outros corretivos testados.

Resultados semelhantes quando utilizada a escória para a segunda avaliação, foram encontrados por Carvalho-Pupatto et al. (2003) quando observaram que à medida que as doses de escória foram aumentadas, houve redução dos teores de H+Al, causada pela elevação do pH, que reduziu o H^+ presente na solução do solo.

O potencial da utilização do óxido de magnésio como condicionador das características de acidez do solo também foi afirmado por Vidal et al. (2007). Em relação a utilização de resíduo de mármore, Machado et al. (2008) avaliaram a utilização de resíduos de rochas ornamentais e calcário em condição de laboratório e em casa de vegetação e concluíram que os resíduos de rocha apresentaram potencialidade para serem utilizados como corretivos da acidez do solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por Oliveira, Queiroz e Ribeiro (2009).

A redução da acidez do solo com os corretivos se deve à composição constituinte neutralizante dos materiais, como os carbonatos (calcário e resíduo de mármore), silicatos (escória) e óxidos (óxido de magnésio) (Tabela 2).

Os teores de cálcio no solo apresentam incrementos lineares à medida que se aumenta as doses de todos os corretivos aplicados para a primeira e segunda avaliação. Para a terceira avaliação, não foi possível obter-se um coeficiente estatisticamente significativo (Figura 4).

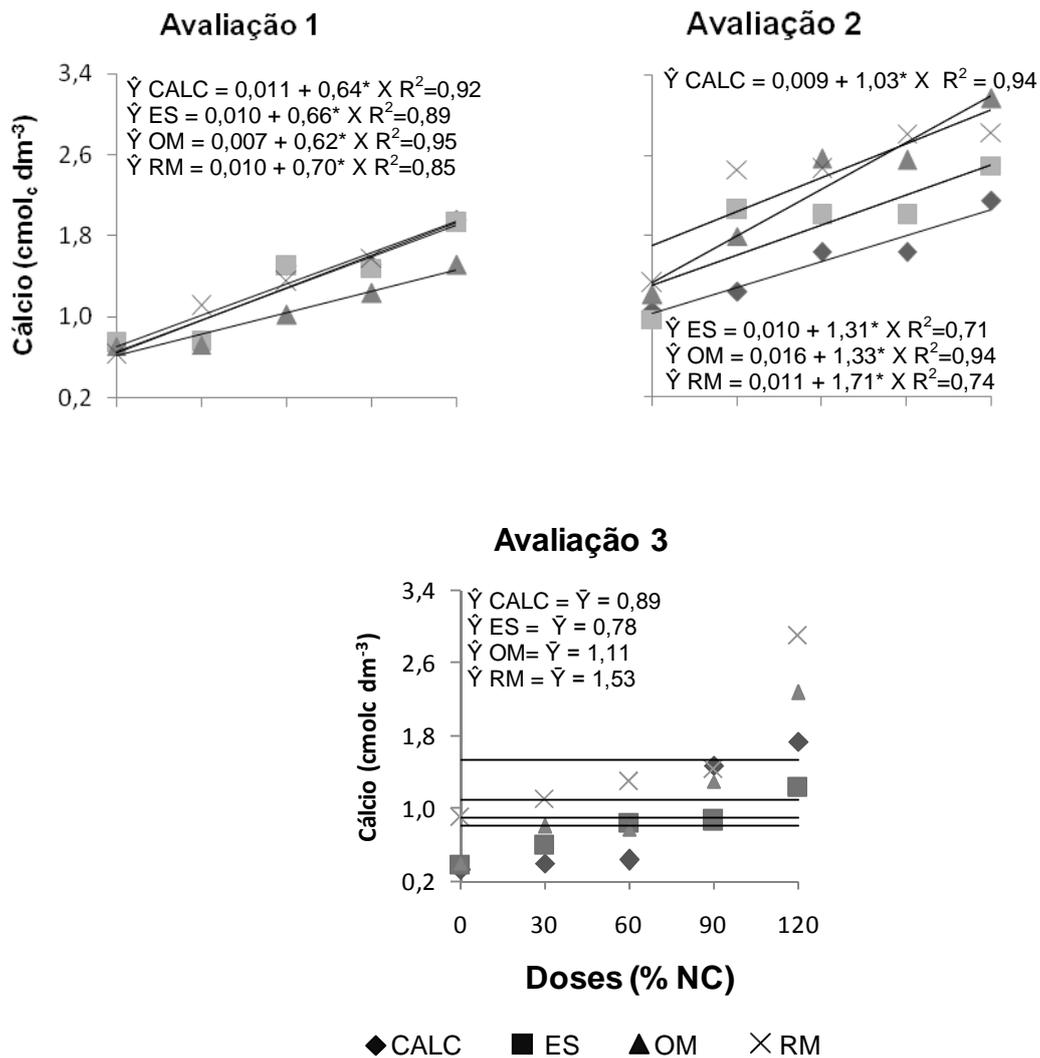


Figura 4 - Valores médios de cálcio trocável do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em três épocas de avaliação.

Para a primeira avaliação, nota-se que os corretivos calcário e escória proporcionaram resultados semelhantes para os teores de cálcio trocável no solo, sendo que esses proporcionaram os maiores valores comparados ao óxido de magnésio e resíduo de mármore, estes dois últimos influenciaram os valores de cálcio trocável no solo de forma semelhante (Figura 4 e Tabela 5) . A influência do óxido de magnésio no aumento do cálcio no solo se deve à adição do gesso juntamente com o óxido de magnésio.

Para a primeira avaliação, as dosagens acima de 60% de calcário e escória foram suficientes para atingir um valor médio de cálcio trocável no solo. De acordo com Prezotti et al. (2007), valores de cálcio trocável no solo na faixa de 1,5 a 4,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados valores médios. Para os demais corretivos na primeira avaliação apenas as maiores doses foram suficientes para atingir essa faixa.

No entanto, para a segunda avaliação os valores de cálcio trocável no solo foram superiores para o óxido de magnésio e resíduo de mármore. Todos os corretivos proporcionaram valores do cálcio trocável na faixa média no solo a partir da dose de 30% da recomendação, com exceção apenas do calcário que atingiu essa faixa com doses maiores que 60%. Entretanto, para a terceira avaliação apenas a maior dose (120% da recomendação) do calcário, óxido de magnésio e resíduo de mármore foram suficientes para atingir a faixa de médio valor de cálcio trocável no solo.

Esses incrementos dos valores de cálcio no solo se devem ao constituinte óxido de cálcio presente no calcário, escória e resíduo de mármore (Tabela 2); e a adição de gesso agrícola para o óxido de magnésio.

Os resultados satisfatórios com relação à escória neste trabalho corroboram os resultados obtidos por Prado e Fernandes (2001), quando avaliaram os efeitos da aplicação de escória de siderurgia e calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo Alumínico na cultura da cana-de-açúcar e observaram que a escória foi semelhante ao calcário na elevação do teor de cálcio trocável no solo. Resultados semelhantes com o aumento de cálcio e magnésio no solo também foram observados por Santana et al. (2010) e Sobral et al. (2011).

A substituição do calcário pela escória de siderurgia pode ser vantajosa, principalmente, em regiões onde as escórias de siderurgia são obtidas facilmente. Esse subproduto é amplamente utilizado em países como o Japão, a China, os Estados Unidos, a África do Sul, a Angola (PRADO; FERNANDES; NATALE 2001; PRADO; NATALE, 2004) e Alemanha (MOTZ; GEISELER, 2001).

É interessante destacar a importância dos corretivos de acidez no fornecimento de cálcio para as plantas, já que o cálcio não transloca da parte aérea para as porções mais novas das raízes, devendo estar sempre presente nos locais de crescimento (CAIRES et al., 2001).

Esses resultados são importantes, tendo em vista que a região Sudeste do Brasil concentra grande parte das indústrias siderúrgicas e também grandes pólos de produção de rochas ornamentais, gerando com isso, grandes quantidades de resíduos que podem ser utilizados na agricultura como corretivos de acidez do solo.

O destino final desses resíduos constitui-se um problema ambiental de grande proporção para as regiões produtoras. Sendo assim, a utilização desses materiais na agricultura para o cultivo do café poderá ser um destino viável, ao diminuir o impacto ambiental ao redor dessas indústrias e melhorar as características do solo cultivado com café, já que a cafeicultura é a principal atividade agrícola da região.

Quando estudado os teores de magnésio trocáveis no solo, é possível inferir que o óxido de magnésio proporciona valores médios superiores comparados aos outros corretivos utilizados, para todas as avaliações (Tabela 5 e Figura 5).

Desse modo, fica evidenciada a potencialidade do óxido de magnésio em disponibilizar magnésio trocável ao solo. Esses resultados podem estar em razão da grande quantidade de magnésio no óxido de magnésio (Tabela 2), o que possibilitou o maior incremento desse nutriente nas épocas de avaliação estudadas.

Estes resultados são similares aos encontrados por Vecchi (1993), onde a aplicação de óxido de magnésio em solos cultivados com citricultura corrigiu a acidez do solo e forneceu teores adequados de magnésio.

Vidal et al. (2007) ressaltam que o óxido de magnésio é empregado como fertilizante de solos, pois tem a função de suprir a necessidade das plantas em magnésio, que é um metal presente na clorofila (STREIT et al., 2005).

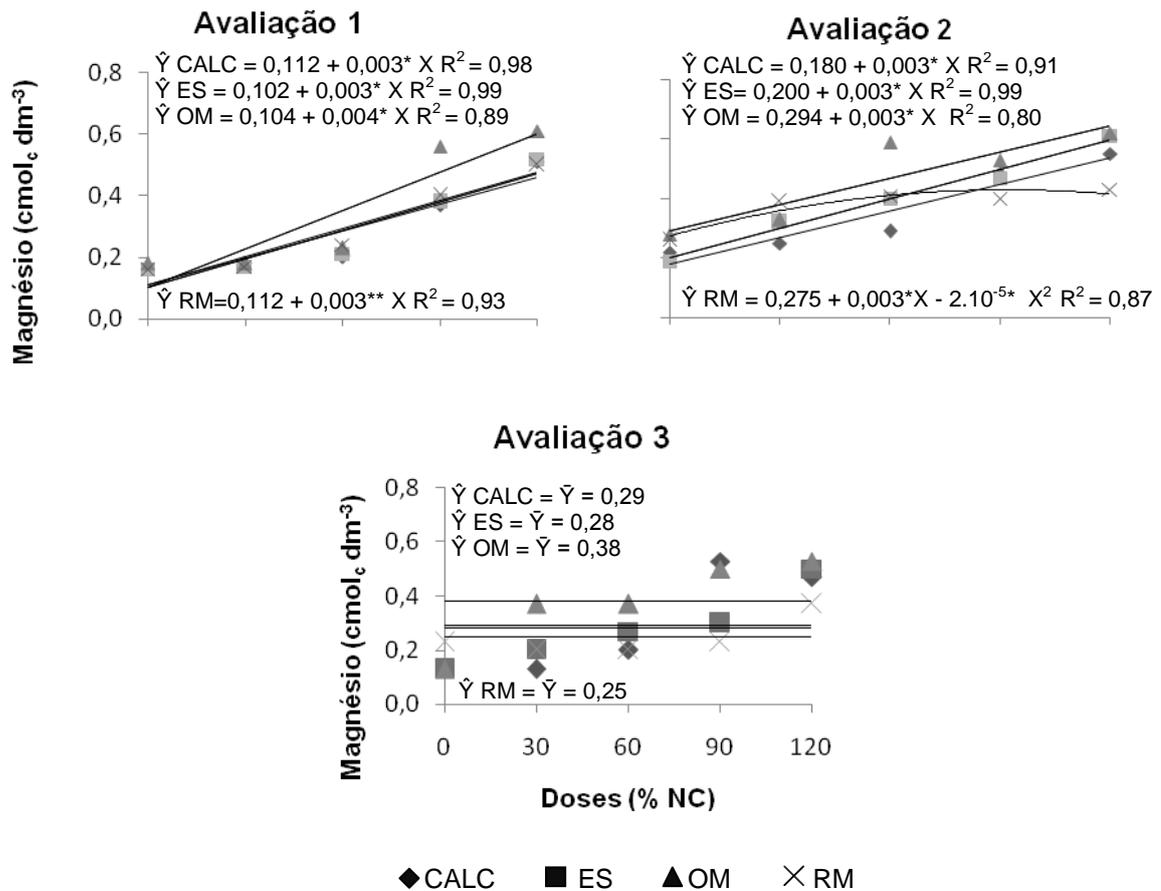


Figura 5 - Valores médios de magnésio trocável do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em três épocas de avaliação.

Pela Figura 5, verifica-se que os teores de magnésio trocáveis da primeira e segunda avaliação, aumentaram de acordo com o aumento das doses de todos os corretivos testados; sendo que para segunda avaliação, a dose 75% de resíduo de mármore proporcionou o maior valor dessa variável no solo.

Para a primeira avaliação apenas com as maiores doses de todos os corretivos foi possível obter um valor médio de magnésio no solo. De acordo com Prezotti et al. (2007), valores entre 0,5 a 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de magnésio são considerados valores médios no solo. Para a segunda avaliação obteve-se valores médios dessa variável com a maior dose de calcário e escória; e com dosagens a partir de 60% do óxido de magnésio. Entretanto, para a terceira avaliação foi possível obter valores médios

de magnésio trocável no solo com a utilização da maior dose de escória e com as doses a partir de 60% de óxido de magnésio.

Quando analisados os contrastes para os valores de pH em água do solo, foi possível verificar que não houve significância entre os contrastes analisados, observa-se que os valores médios dessa variável mantiveram-se na mesma faixa de acidez durante as avaliações (Tabelas 5 e 6).

Tabela 6 – Contrastes das médias dos valores de pH em água, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo entre as épocas de avaliação para os diferentes corretivos

Contrastes Ortogonais	pH	Al^{3+}	H + Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}
-----CALC-----					
C1	-0,13 ^{ns}	-0,54 [*]	-0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,04 ^{ns}
C2	-0,05 ^{ns}	0,50 [*]	0,35 ^{ns}	-0,65 [*]	-0,06 ^{ns}
-----ES-----					
C1	-0,13 ^{ns}	-0,48 [*]	-0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}
C2	0,03 ^{ns}	0,51 [*]	0,90 ^{ns}	-1,13 [*]	-0,12 [*]
-----OM-----					
C1	0,04 ^{ns}	-0,53 [*]	-0,03 ^{ns}	0,65 [*]	0,07 ^{ns}
C2	0,10 ^{ns}	0,43 [*]	-0,41 ^{ns}	-1,16 [*]	-0,09 ^{ns}
-----RM-----					
C1	-0,08 ^{ns}	-0,46 [*]	-2,39 [*]	0,85 [*]	0,02 ^{ns}
C2	0,06 ^{ns}	0,43 [*]	-1,56 [*]	-0,86 [*]	-0,13 [*]

⁽¹⁾C1: avaliação 1 vs avaliação 2 + avaliação 3 (2-, ++,) e C2: avaliação 2 vs avaliação 3 (-,+). * significativo a $\leq 5\%$, e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Os teores de Al^{3+} no solo são superiores para todos os corretivos no primeiro ano de avaliação (C1, Tabela 6), no entanto, quando comparado o segundo ano frente ao terceiro ano, verifica-se que no terceiro ano os valores de Al^{3+} foram superiores (C2, Tabela 6). O comportamento em relação ao $H+Al$ foi semelhante ao Al^{3+} , onde se observa que, apenas para o resíduo de mármore, os valores da primeira avaliação foram superiores (C1, Tabela 6), assim como os valores do segundo ano maiores que os valores do terceiro ano (C2, Tabela 6).

As maiores doses dos corretivos foram suficientes para reduzir a acidez do solo, porém essa acidez pode ter sido aumentada posteriormente, tanto pela retirada de cátions pelas plantas, como também pela influência de adubações com sulfato de amônio em cobertura. Fato semelhante foi discutido por Prado e Fernandes (2000).

A adubação com nitrogênio causa acidificação do solo pelo uso de adubos nitrogenados amoniacais, ou no caso da uréia, que gera amônio pela sua hidrólise, pois no processo de nitrificação há formação de dois prótons (H^+) para cada íon de NH_4^+ nitrificado (CAMPOS, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Adicionalmente à nitrificação, a absorção de cátions pelas raízes, também promove a acidificação do solo, devido à extrusão do H^+ celular para a solução do solo (MALAVOLTA, 2006). Além disso, segundo o autor, o próprio tempo de cultivo promove acidificação do solo, em virtude da lixiviação e extração de bases pelas plantas e da exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes.

Observa-se que os teores de cálcio trocáveis no solo quando utilizado o óxido de magnésio e o resíduo de mármore foram inferiores na primeira avaliação frente às demais (C1, Tabela 6), sendo verificado aumentos dos valores desse nutriente quando aplicado todos os corretivos na segunda avaliação em comparação com a terceira avaliação (C2, Tabela 6).

O fato dos valores de cálcio no solo estarem baixos pode estar associado à época de coleta do solo que coincidiu com período reprodutivo e início do novo período vegetativo da lavoura, período de maior absorção de nutrientes pelo cafeeiro (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Quando analisado, o contraste 2 para os teores de magnésio no solo nota-se aumentos dos valores desse nutriente quando aplicado a escória e o resíduo de mármore na segunda avaliação em comparação com a terceira avaliação (C2, Tabela 6).

No Apêndice C, estão apresentadas as análises de variância para os teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro. Em relação aos teores foliares de cálcio e magnésio para os diferentes corretivos utilizados e época de avaliação, observa-se que as médias estão apresentadas na Tabela 7. Os valores foliares de cálcio e magnésio para as diferentes doses dos corretivos utilizados e tempo de avaliação estão apresentados nas Figuras 6 e 7.

Para o cálcio, de modo geral, pode-se afirmar que não é possível ajustar um modelo de regressão para os teores desse nutriente para os corretivos estudados e avaliações, com exceção apenas para o calcário para a sexta avaliação (3º ano, mês de abril), onde se observa que com o incremento até a dose de 36% do corretivo não houve aumento dos teores foliares de cálcio (Figura 6).

Quanto aos teores foliares de magnésio, observa-se que foi possível ajustar um modelo de regressão para o óxido de magnésio para a segunda avaliação; todos os corretivos para a terceira avaliação; escória e óxido de magnésio para a quinta avaliação; e calcário para a sexta avaliação, nestes casos, o teor de magnésio foliar aumentava à medida que se incrementava a dose dos corretivos. Para todos os demais corretivos e avaliações não foi possível ajustar um modelo de regressão para os valores de magnésio foliar (Figura 7).

Os contrastes entre tratamentos para os teores de cálcio e magnésio na folha são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 – Teores médios de cálcio e magnésio nas folhas do cafeeiro para os diferentes corretivos e épocas de avaliação

Corretivos	Época de Avaliação das Amostras de folha						Média
	⁽¹⁾ 1	⁽²⁾ 2	⁽³⁾ 3	⁽⁴⁾ 4	⁽⁴⁾ 5	⁽⁵⁾ 6	
	-----Cálcio (g kg ⁻¹) -----						
CALC	6,63	9,59	9,27	13,74	12,14	16,73	11,36
ES	6,82	9,29	9,34	13,68	11,83	16,35	11,22
OM	6,65	9,31	10,23	13,52	11,78	17,24	11,46
RM	6,51	9,49	10,54	14,53	12,72	18,59	12,06
	-----Magnésio (g kg ⁻¹) -----						
CALC	2,26	3,45	2,28	3,88	2,64	2,59	2,85
ES	2,73	3,48	2,26	4,22	2,94	2,83	3,08
OM	2,53	3,58	2,81	4,83	3,35	2,87	3,33
RM	2,63	3,25	2,43	4,56	3,43	3,07	3,23

⁽¹⁾ e ⁽²⁾ avaliação aos 90 e 180 dias da primeira aplicação dos corretivos, respectivamente; ⁽³⁾ e ⁽⁴⁾ avaliação aos 90 e 180 dias da segunda aplicação dos corretivos, respectivamente; e ⁽⁵⁾ e ⁽⁶⁾ avaliação aos 90 e 180 dias da terceira aplicação dos corretivos, respectivamente.

Tabela 8 - Contrastes médios dos teores de cálcio e magnésio da folha do cafeeiro nas épocas de avaliação para os diferentes corretivos

Contrastes Ortogonais	Cálcio	Magnésio
	-----CALC-----	
C1	5,67*	0,70*
C2	3,39*	-0,60*
C3	4,95*	0,76*
C4	0,65 ^{ns}	-1,27*
C5	4,58*	-0,05 ^{ns}
	-----ES-----	
C1	5,28*	0,42*
C2	3,50*	-0,41*
C3	4,61*	1,07*
C4	0,40 ^{ns}	-1,33*
C5	4,53*	-0,11 ^{ns}
	-----OM-----	
C1	5,76*	0,95*
C2	3,89*	-0,11 ^{ns}
C3	3,95*	0,87*
C4	0,99*	-1,73*
C5	5,46*	-0,48*
	-----RM-----	
C1	6,67*	0,72*
C2	4,60*	0,12 ^{ns}
C3	4,74*	1,26*
C4	1,13*	-1,31*
C5	5,86*	-0,37*

(¹) **C1:** 1 vs 2 + 3 + 4 + 5 + 6; **C2:** 2 vs 3 + 4 + 5 + 6; **C3:** 3 vs 4 + 5 + 6; **C4:** 4 vs 5 + 6; e **C5:** 5 vs 6. Testados pelo teste F nos níveis de 5% e 10% de probabilidade.

Os teores de cálcio nas folhas, de modo geral, aumentam continuamente ao longo das avaliações, com exceção apenas da avaliação 5 para todos os corretivos (Tabela 7). Esse incremento dos teores de cálcio na folha do cafeeiro da época de avaliação de janeiro para a época de avaliação de abril é provavelmente em razão do acúmulo desse nutriente na folha já que o cálcio é imóvel no floema (MARCHSNER, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Catani e Moraes (1958) observaram que nas folhas de cafeeiro, o cálcio era o único macronutriente que tinha aumentado a concentração no decorrer das avaliações a partir da floração do cafeeiro até a fase de maturação. Os mesmos comentários foram feitos por Souza et al. (1975), que notaram que os teores de cálcio aumentavam continuamente nas folhas novas de café até atingir teores relativamente constantes nas folhas mais velhas. Resultados semelhantes foram discutidos por Valarini, Bataglia e Fazuoli (2005).

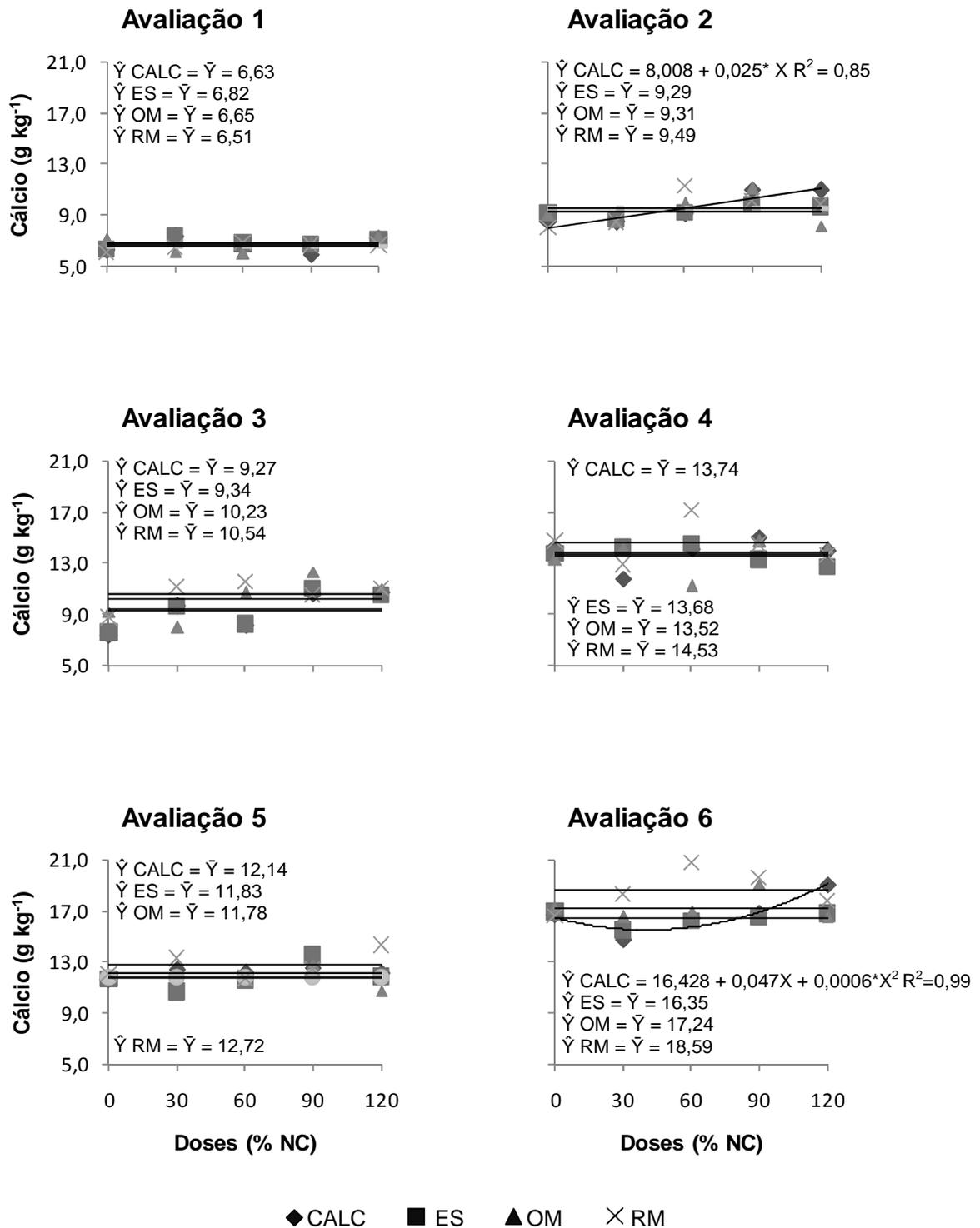


Figura 6 - Teores médios de cálcio nas folhas do cafeeiro (g kg^{-1}) para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em seis épocas de avaliação.

Para o magnésio foliar, esperava-se que houvesse um decréscimo dos teores desse nutriente nas folhas durante o período avaliado, já que este período (janeiro – fase de “fruto chumbinho” para abril – fase de fruto verde) acontece a redistribuição do nutriente, sendo direcionado para o enchimento do grão. Uma justificativa para esse fato é que as plantas podem estar tendo o suprimento para os frutos proveniente em grande parte da absorção atual, sendo a tendência uma redução posterior quando do amadurecimento dos mesmos indicando redistribuição do magnésio de acordo também com observações de Catani e Moraes (1958), Hiroce (1981) e Valarini (2005).

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. Cerca de 73% do crescimento vegetativo ocorre de outubro a abril, sendo o consumo de nutrientes para frutificação também concentrado nesse período (mais de 80%), já que os frutos são drenos prioritários (RENA; MAESTRI, 1985).

O acúmulo de cálcio e magnésio em frutos de café foi estudado por Laviola et al. (2007), onde verificaram que os maiores acúmulos relativos desses nutrientes nos grãos do cafeeiro arábica foram observados no estágio de granação-maturação do fruto.

Observa-se, para todos os corretivos na primeira e segunda avaliação e calcário e escória para a terceira avaliação, que o teor de cálcio na folha do cafeeiro é considerado baixo ($< 10 \text{ g kg}^{-1}$), de acordo com Prezotti et al. (2007) (Tabela 7).

Para os teores de magnésio na folha, verifica-se que quando se utilizou todos os corretivos para a segunda avaliação; escória, óxido de magnésio e resíduo de rocha para a quarta avaliação; e óxido de magnésio e resíduo de mármore para a quinta avaliação que os teores encontram-se em níveis médios ($3,1 - 4,5 \text{ g kg}^{-1}$) de acordo com Prezotti et al. (2007) (Tabela 7).

Os demais teores enquadram-se em níveis baixos na folha ($< 3,1 \text{ g kg}^{-1}$), com exceção para o óxido de magnésio na quarta avaliação que influenciou em valores altos de magnésio foliar ($> 4,5 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 7).

Observa-se que não houve significância entre a quinta avaliação e a sexta avaliação para o calcário e escória (Tabela 8, C5), e entre a segunda avaliação frente às demais para o óxido de magnésio e o resíduo de mámore (Tabela 8, C2).

Em diversos trabalhos (LAZZARINI et al., 1975; GARCIA, 1983; MALAVOLTA, 1986), é evidenciada a exigência do cafeeiro pelos elementos cálcio e magnésio que são, respectivamente, o terceiro e o quarto nutrientes mais absorvidos pelo cafeeiro em produção.

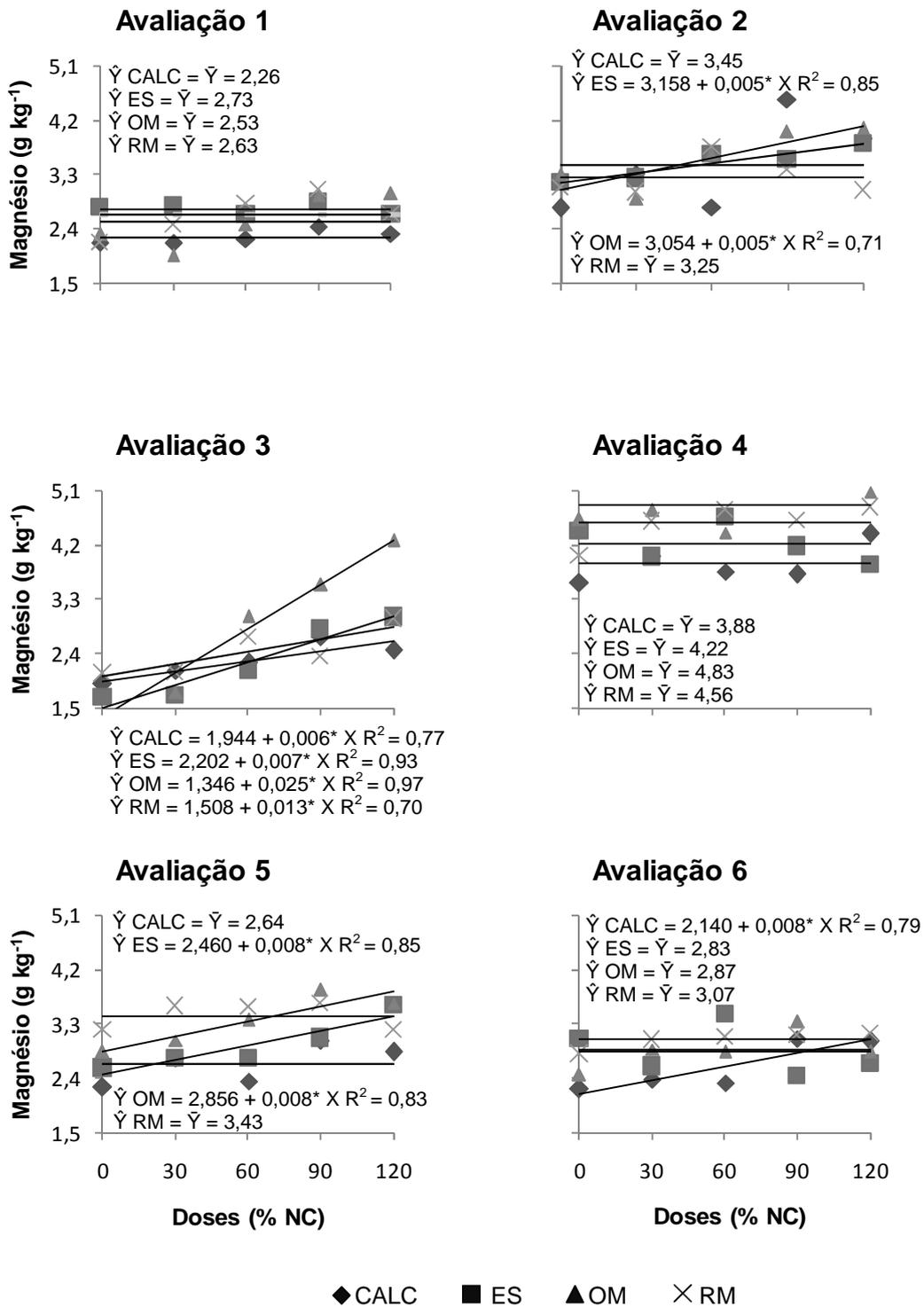


Figura 7 - Teores médios de magnésio nas folhas do cafeeiro (g kg^{-1}) para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estudadas em seis épocas de avaliação.

4 CONCLUSÕES

1. As aplicações de doses crescentes de escória, óxido de magnésio e resíduo de mármore até o limite estudado neste trabalho, favoreceram um decréscimo dos valores de pH do solo.
2. As propriedades químicas do solo são influenciadas pelos corretivos utilizados, porém com a utilização do óxido de magnésio mais gesso obtém-se um maior incremento dos teores de magnésio no solo.
3. Os teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro são influenciados pelas doses dos corretivos alternativos.
4. A escória de siderurgia, o óxido de magnésio e o resíduo de mármore demonstram grande potencial como corretivos de acidez e fontes de cálcio e magnésio.

5 REFERÊNCIAS

ALI, M.T.; SHAHRAM, S.H. Converter slag as a liming agent in the amelioration of acidic soils. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.9, n.5, p. 715-720, 2007.

ALTOÉ, A. **Óxido de magnésio, gesso e micronutrientes como fertilizante granulado em *Coffea canephora***. 20013. 72f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

BALDOTTO, M. A. ; ASPIAZU, I. ; SILVA, A.P. ; CORREA, M.L.T. ; ALVAREZV, V. H. Potencialidade agrônômica do resíduo de rochas ornamentais. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, v.3, p.1-8, 2007.

BARBOSA FILHO, M.P.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, O.F. da. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, n.2, p.325-333, 2004.

BARBOSA, N.C.; VENÂNCIO, R.; ASSIS, M.H.S.; PAIVA, J. de B. CARNEIRO, M.A.C.; PEREIRA, H.S. Formas de aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em Neossolo Quartzarênico de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.4, p.290-296, 2008.

BASTO, J.C.H.A.G.; CAZETTA, J.O.; PRADO, R.M. Materiais corretivos e nitrogênio na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **Interciência**, v.35, p.55-58, 2010.

BRASSIOLI, F.B.; PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Avaliação agrônômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, v.68, p.381-387, 2009.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FEDLHAUS, J.C.; BLUM, J. Crescimento radical e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.4, p.1029- 1040, 2001.

CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, v.63, p.502-509, 2006.

CALBERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Humanista editora. FELCH/ USP, 2003.

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

CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do Cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 2004. 119f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M.; SILVA, R.H. da. Efeito de escoria de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.11, p.1323-1328, 2003.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1213-1218, 2004.

CATANI, R.A. Composição mineral do cafeeiro. Experimentação cafeeira. Campinas: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, **Instituto Agrônomo**, p.218-226, 1967.

CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. A composição química do cafeeiro. **Revista de agricultura**, v.33, n.1, p. 45-52, 1958.

CORRÊA, J.C.; FREITA, G. E.E.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.; FERNANDES, D.M.; MARCELINO, R. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.68, n.4, p.1059-1068, 2009.

COSTA, A.S.V. da.; HORN, A.H.; DONAGEMMA, G.K.; SILVA, B.M. da. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. **Geonomos**, v.18, n.1, p. 23 - 27, 2010.

DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 4ª aproximação. Vitória, ES: SEEA/INCAPER, 2001. 266p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 401p

FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, p.715-720, 2006.

GARCIA, A.W.R. Calagem para o cafeeiro. In: VAN RAIJ, B.; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 309-319p, 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.

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

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1451-1462, 2007.

LAZZARINI, W.; MORAES, F.R.P. de; CERVELLINI, G.S.; TOLEDO, S.V.; FIGUEIREDO, J.I.; REIS, A.J., CONAGIN, A.; FRANCO, C.M. Cultivo de Café em Latossolo Vermelho Amarelo da Região de Batatais. **Bragantia**, v.34, n.14, p.229-239, 1975.

MACHADO, R.V. et al. **Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**. Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 50 p. (Série Tecnologia Ambiental, 55), 2010.

MACHADO, R.V.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE, F.V. Utilização de Rejeitos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Correção da Acidez e Adubação de Solos Tropicais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. CD-Rom.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo, Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. (Eds.) Cultura do cafeeiro - Fatores que afetam a produtividade. SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO, 1. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássia e do Fósforo, 1986. p.165-264.

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

MATIELLO, J. B., SANTINATO, R., GARCIA, A. W. R., ALMEIDA, S. R., FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**. Novo Manual de Recomendações. MAPA/Fundação Procafé. Rio de Janeiro, RJ e Varginha, MG, 434p. 2005.

MESQUITA, L. F.; CARDOSO FILHO, J.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R. Escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 8., 2008, São Bernardo do Campo. **Anais...** São Bernardo do Campo: UNIVAP, 2008.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MOTZ, H.; GEISELER, J. Products of steel slag an opportunity to save natural resources. **Waste Management**, v. 21, p. 285-293, 2001.

NOGUEIRA, N.O; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; REIS, E.F. dos, BRINATE, S.B.V. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café Arábica. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.1, p.11-21, 2012.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.06, n.01, p.97-111, 2004.

OLIVEIRA, C.N.; QUEIROZ, J.P.C. ; RIBEIRO, R.C.C.; Efeito da Fertilização do Solo com Resíduos de Rochas Ornamentais na Qualidade do Biodiesel Extraído. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, 2009.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Latossolo Vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.19, p.26-29, 2001.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

PRADO, R. de M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.539-546, 2002.

PRADO, R.M; CORRÊA, C.M.; CINTRA, A.C.O.; NATALE, W. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.160-163, 2003.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudo na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. 67p.

PRADO, R. de M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.140-144, 2004.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007. 305 p.

PREZOTTI, L.C.; MARTINS, A.G. Efeito da escória de siderurgia na química do solo e na absorção de nutrientes e metais pesados pela cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 59, n.4, p. 530-536, 2012.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAYMUNDO, V.; NEVES, M.A.; CARDOSO, M.S.N.; BREGONCI, I.S.; LIMA, J.S.S.; FONSECA, A.B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.47-53, 2013.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, p.:26-40, 1985.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.297-300, 2005.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SANTANA, G.S.; MORITA, I.M.; BIANCHI, P. P. M.; MAXIMINO, F.; FERNANDES, O.J.I. Atributos químicos, produção e qualidade do capim braquiária em solos corrigidos com calcário e escória silicatada. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p. 377-382. 2010.

SOBRAL, M.F.; NASCIMENTO, C.W.A; CUNHA, K.P.V.; FERREIRA, H. A.; SILVA, A.J.; SILVA, F. B.V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.867-872, 2011.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUSA, R.T.X. de; KORNDÖRFER, G.H.; WANGEN, D.R.B. Aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.69, n.3, p.669-676, 2010.

SOUZA, V.H. da S.; MAESTRI, M.; BRAGA, J.M.; CHAVES, J.R.P. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café. **Revista Ceres**, v.22, n.123, p.318-331, 1975.

STAUFFER, E.; NOGUEIRA, N.O.; SATIRO, L.S.; ANDRADE, F.V.; DONAGEMMA, G.K.; ALVES, P. Adubação do *Coffea arabica* com óxido de magnésio associado ao gesso e micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBCS/SBCS, 2013.

STREIT, N.M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.748-755, 2005.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Revista Espaço e Geografia**, v.9, n. 2, p. 263-292. 2006.

VALARINI, V. **Demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica de porte baixo**. 2005. 87f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2005.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v.64, p.61-67, 2005.

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

VECCHI, R.E. **Efeito do gesso e de diferentes corretivos de acidez em características químicas do solo, produção e estudo nutricional dos citros**. 1993. 53 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.

VIDAL, A. de A.; PRADO, R. de M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e uréia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.264-272, 2011.

VIDAL, F.W.H. et al. Avaliação comparativa de granitos ornamentais do nordeste e sudeste através das suas características tecnológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3., SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE,6., **Anais....** Natal-Rio Grande do Norte, 2007. CETEM. cap 4.

VIDAL, A. de A.; PRADO, R. de M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e uréia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.264-272, 2011.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 2

ESCÓRIA DE SIDERURGIA, ÓXIDO DE MAGNÉSIO E RESÍDUO DE MÁRMORE COMO CORRETIVO DA ACIDEZ EM SOLO CULTIVADO COM *Coffea canephora*

RESUMO

Este estudo teve como objetivo a comparação em relação à capacidade de neutralização de acidez de solo e o incremento de cálcio e magnésio trocáveis ao solo, entre o calcário e três resíduos industriais. O estudo foi desenvolvido em uma lavoura de café conilon no Município de Alegre, Espírito Santo. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com três repetições, sendo cada unidade experimental construída por seis plantas, no esquema em parcela subsubdividida, considerando quatro efeitos na parcela, caracterizados pelos tipos de corretivos (calcário utilizado como controle, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduos de mármore, como corretivos alternativos), cinco efeitos na subparcela, caracterizada pelas doses dos corretivos (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de calagem) e três efeitos na subsubparcela, caracterizada pelos anos de estudo. Anualmente, decorridos seis meses da aplicação dos materiais corretivos, procedeu-se as análises de pH em água, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo. Os resultados mostraram que os valores de pH, Al^{3+} , $H+Al$ e os teores de cálcio e magnésio trocáveis proporcionados pela aplicação dos corretivos alternativos são semelhantes ou superiores ao calcário para os três anos de experimento. As aplicações de doses crescentes de escória, óxido de magnésio e resíduo de mármore até o limite estudado neste trabalho favorecem um decréscimo da acidez do solo e incrementos de cálcio e magnésio trocáveis. O óxido de magnésio juntamente ao gesso demonstra maior potencial como fonte de magnésio para o solo.

Palavras-chave: Pó de rocha. Correção do solo. Café conilon.

CHAPTER 2

SLAG, MAGNESIUM OXIDE AND MARBLE WASTE AS ACIDITY CORRECTIVES IN SOIL CULTIVATED WITH *Coffea canephora*

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the relation of neutralization capacity of soil acidity and the increase of exchangeable calcium and magnesium to the soil between liming and three industrial residues. The study was developed in a conilon coffee crop located in the city of *Alegre*, ES. The experimental design was in randomized blocks, with factorial distribution of 4 x 5, with three replications, with the following factors: four inputs (calcium used as a control, slag, magnesium oxide and marble waste used as residues), and five doses of the inputs (0; 30; 60; 90 and 120 % of lime required). The experiment was conducted for three years. Annually, 180 days after the application of the inputs, proceeded to the analysis of pH, Al^{3+} , H+Al, Ca^{2+} e Mg^{2+} . The results show that the values of pH, Al^{3+} , H+Al and the contents of exchangeable calcium and magnesium provided by the application of the alternatives were similar or higher than the calcium for the three years of experiments. The application of the increasing doses of slag, magnesium oxide and marble waste until the time studied in this research favor a decrease in the soil acidity and increments of exchangeable calcium and magnesium to the soil. Magnesium oxide shows the greatest potential as a source of magnesium for the soil.

Keywords: Ornamental stone. Soil correctives. Conilon coffee.

INTRODUÇÃO

A utilização de fontes alternativas de corretivos da acidez do solo e de nutrientes na agricultura vem sendo investigada por diversos autores (BARBOSA FILHO; ZIMMERMANN; SILVA, 2004; FYFE, LEONARDOS; THEODORO, 2006; COSTA et al., 2010; VIDAL; PRADO, 2011; NOGUEIRA et al., 2013), principalmente, em função da destinação adequada para resíduos industriais que são cada vez mais abundantes nas grandes indústrias.

A grande quantidade de resíduos industriais disponíveis atualmente gera problemas ambientais contaminando diretamente os rios, poluindo visualmente o ambiente e os finos gerados acarretam doenças pulmonares nos seres vivos (SAINT MARTIN; RIBEIRO). Aliado a esse fato, tem-se também a problemática da acidez, sendo que a grande maioria dos solos agrícolas brasileiros são de elevada acidez (KER, 1997; QUAGGIO, 2000), isto porque esses solos apresentam um alto grau de intemperismo favorecido por um ambiente tropical de chuvas intensas e elevadas temperaturas.

A acidez do solo é considerada um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das culturas. Assim, é de fundamental importância a utilização correta de corretivos na neutralização da acidez do solo, sendo o calcário o corretivo mais utilizado. No entanto, existem produtos com potenciais para serem utilizados na agricultura, com o objetivo de corrigir a acidez e incrementar cálcio e magnésio ao solo e de reduzir possíveis impactos ao ambiente. Entre as fontes alternativas ao calcário com potencial para utilização na agricultura podem ser citados a escória de siderurgia, o óxido de magnésio e o resíduo de mármore.

As escórias de siderurgia são subprodutos das indústrias do ferro e do aço, cujos componentes neutralizantes são os silicatos de cálcio e magnésio (CARVALHO-PUPATTO; BULL; CRUSCIOL; 2004; PRADO; FERNANDES; NATALE, 2002; CORRÊA et al., 2007, 2009). O óxido de magnésio, por sua vez, é um produto intermediário do processo industrial de produção de refratários a partir do emprego de magnesita ($MgCO_3$). Esse resíduo apresenta até 94% de óxido de magnésio (MgO) e baixa solubilidade em meio aquoso (CORREIA, 2001) e vem sendo

estudado com intuito de corrigir a acidez do solo semelhante à reação e correção do calcário (ALVES et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2012; STAUFFER et al., 2013).

Outro produto que surge como alternativa para correção da acidez e para reposição de nutrientes à agricultura é o resíduo de mármore (LEONARDOS; FYFE; KROMBERG, 1976; THEODORO, 2000; THEODORO; LEONARDOS, 2006; FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006; RAYMUNDO et al., 2013). A atividade da mineração é um dos setores produtivos que mais causa impacto negativo ao meio ambiente. Apesar de ter uma atuação pontual em torno das jazidas, essa atividade causa uma série de transformações e gera uma grande quantidade de resíduos no ambiente (PINHEIRO, 2009).

De acordo com Machado et al. (2010), esses resíduos ocupam áreas de descarga cada vez maiores, além dos inconvenientes ecológicos, principalmente para o Estado do Espírito Santo, que é o maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, e especificamente para a cidade de Cachoeiro de Itapemirim, que atua como pólo de produção e extração de rochas ornamentais, onde é processada a maior parte dos granitos e mármore brasileiros (CALMON; SILVA, 2006).

A importância da indústria de rochas ornamentais para o desenvolvimento regional é inquestionável, mas as atividades de extração e beneficiamento desses materiais podem causar sérios danos ambientais (BERTOSSO et al., 2012). De acordo com Calmon e Silva (2006), são produzidos no Estado do Espírito Santo cerca de 60 mil toneladas de resíduos de rochas ornamentais por mês.

Com base na problemática anteriormente exposta, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos químicos da aplicação de diferentes doses de escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore em solo sob o cultivo de cafeeiro conilon.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em uma lavoura de café conilon (Robusta Tropical) implantada sob o espaçamento de 2,50 x 1,20 m, com oito anos de idade, localizada na Comunidade Feliz Lembrança no Município de Alegre-ES, delimitada pelas coordenadas geográficas 41°30'50" de Longitude Oeste e 20°47'35" de Latitude Sul. O clima predominante na Microrregião do Caparaó, segundo o sistema Köppen, é o quente e úmido no verão e inverno seco, e a temperatura anual média para o município de Alegre é de 22,2 °C.

Antes da implantação do experimento, foi realizada a caracterização física e química do solo da área a ser utilizada para o estudo, na profundidade de 0–20 cm (Tabela 1). O experimento foi conduzido no delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições, sendo cada unidade experimental construída por seis plantas, no esquema em parcela subdividida, considerando quatro efeitos na parcela, caracterizados pelos tipos de corretivos (calcário utilizado como controle - CALC, escória de siderurgia - ES, óxido de magnésio - OM e resíduos de mármore - RM, como corretivos alternativos), cinco efeitos na subparcela, caracterizada pelas doses dos corretivos (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de calagem) e três efeitos na subdividida, caracterizada pelos anos de estudo. A análise dos corretivos utilizados está apresentada na Tabela 2.

Foram realizadas três aplicações das doses dos corretivos, sendo a primeira aplicação em outubro de 2008; a segunda em outubro de 2009; e a terceira em outubro de 2010. A amostragem do solo para análise dos atributos avaliados foi realizada após 180 dias da aplicação dos corretivos, sendo realizada em abril dos anos de 2009, 2010 e 2011.

A primeira aplicação dos corretivos foi baseada na análise inicial do solo (Tabela 1). A segunda e a terceira aplicação foram realizadas de acordo com os resultados médios da análise de solo correspondente à amostra do solo referente à dose estimada de 100% de cada corretivo na aplicação do ano anterior à análise.

Cada parcela experimental foi composta por seis plantas de café, sendo as quatro plantas centrais como área útil. As doses dos corretivos foram calculadas e aplicadas na superfície do solo na projeção da saia do cafeeiro de acordo com os tratamentos previamente estabelecidos. As doses foram definidas utilizando-se o método da elevação da saturação por bases, com a elevação da saturação por bases para 60%, conforme sugerido por Prezotti et al. (2007).

Tabela 1 - Caracterização física e química do solo estudado, antes da implantação do experimento

Atributos	Valores
¹ Areia (g kg ⁻¹)	530,00
¹ Silte (g kg ⁻¹)	70,00
¹ Argila (g kg ⁻¹)	400,00
² pH	4,90
³ Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,40
³ Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,30
⁴ Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,40
⁵ H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,00
⁶ Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	14,00
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	1,82
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	5,82
Saturação por bases (%)	31,30

¹Método da Pipeta (RUIZ, 2005); ²pH em água (relação 1:2,5); ³Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; ⁴Extraído com cloreto de potássio 1mol L⁻¹ e determinado por titulometria; ⁵Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação (EMBRAPA, 1997); e ⁶Determinação por oxidação, em via úmida, com dicromato de potássio em meio ácido (YEOMANS; BREMNER, 1988).

Tabela 2 - Características químicas dos corretivos utilizados no experimento

Parâmetro	CALC	ES	OM	RM
Óxido de cálcio (%)	33,60	32,00	-	26,88
Óxido de magnésio (%)	09,58	10,75	53,00	20,00
Dióxido de silício (%)	-	21,30	-	-
¹ Poder de neutralização	89,05	83,84	195,00	97,85
² Eficiência Relativa (%)	93,92	71,01	100,00	95,76
³ PRNT (%)	83,64	59,53	195,00	93,70

¹Poder de neutralização: %CaO x 1,79 + %MgO x 2,48; ²Eficiência relativa: [(A x 0,0) + (B x 0,2) + (C x 0,6) + (D x 1,0)/100], sendo A, B, C = % de corretivo que fica retido, respectivamente, nas peneiras nº 10, 20 e 50, e D = % de corretivo que passa na peneira nº 50; e ³PRNT = PN x ER / 100.

Para os tratamentos com óxido de magnésio e resíduo de mármore, utilizou-se juntamente a aplicação de gesso agrícola de acordo com cada dose, com o objetivo de igualar a relação cálcio: magnésio entre os corretivos em 3:1. Essa relação é existente nos demais corretivos (calcário e escória) e ideal para a nutrição do cafeeiro onde proporciona um melhor desenvolvimento das plantas.

As adubações minerais foram baseadas na análise do solo e de acordo com as recomendações para cultura do café conilon no Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007). As doses recomendadas foram divididas em três aplicações durante o período chuvoso para cada ano.

Foram analisados os valores de pH em água, Al^{3+} , H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo, conforme Embrapa (1997) para os três anos do experimento. Os dados foram submetidos aos testes preliminares para verificação da normalidade e homogeneidade de variância. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), utilizando-se o Software SAEG versão 9.1 (2007). Os valores de pH em água, Al^{3+} , H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo para comparação dos tratamentos em cada ano do experimento foram comparados por meio de médias por contrastes ortogonais e testados pelo teste F nos níveis de 5% e 10% de probabilidade (Tabela 3).

Foram feitas análises de regressão para as doses dos corretivos aplicados para cada ano do experimento. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 3 - Contrastes médios dos valores de pH em água, Al^{3+} , H+Al, Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo entre diferentes corretivos utilizados para os três anos do experimento

⁽¹⁾ Contrastes Ortogonais	Corretivos			
	CALC	ES	OM	RM
C1	-3	1	1	1
C2	0	-2	1	1
C3	0	0	-1	1

⁽¹⁾**C1:** Calcário vs Escória + Óxido de Magnésio + Resíduo de Mármore; **C2:** Escória vs Óxido de Magnésio + Resíduo de Mármore; e **C3:** Óxido de Magnésio vs Resíduo de Mármore. Testados pelo teste F nos níveis de 5 % e 10 % de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variâncias para os valores de pH em água, teores de alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) para os três anos de execução do experimento estão apresentadas no apêndice D e E. Os efeitos dos corretivos utilizados para cada ano do experimento sobre os valores de pH em água, teores de alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) no solo são apresentados na Tabela 4 e 5.

Tabela 4 – Valores médios de pH em água, Al^{3+} , H+Al, Ca^{2+} e Mg^{2+} , em amostras de solo para os diferentes corretivos e os três anos de condução do experimento

Corretivos	Ano de Experimento			Média
	⁽¹⁾ 1	⁽²⁾ 2	⁽³⁾ 3	
	pH em água 1:2,5			
CALC	4,76	4,60	4,03	4,46
ES	4,73	4,67	4,20	4,53
OM	4,59	4,62	4,37	4,53
RM	4,66	4,60	4,41	4,56
	Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)			
CALC	0,99	0,73	1,29	1,00
ES	1,01	0,71	1,00	0,91
OM	1,03	0,67	0,67	0,79
RM	1,02	0,62	0,75	0,80
	H + Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)			
CALC	6,52	5,20	7,36	6,36
ES	6,99	5,49	6,91	6,46
OM	6,67	5,21	5,21	5,70
RM	6,75	5,21	5,41	5,79
	Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)			
CALC	1,41	1,36	0,83	1,20
ES	1,53	1,23	1,21	1,32
OM	1,27	1,24	1,24	1,25
RM	1,25	1,35	1,62	1,41
	Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)			
CALC	0,30	0,25	0,20	0,25
ES	0,32	0,31	0,30	0,31
OM	0,33	0,44	0,44	0,40
RM	0,32	0,32	0,37	0,34

⁽¹⁾avaliação aos 180 dias da primeira aplicação dos corretivos; ⁽²⁾180 dias da segunda aplicação dos corretivos; e ⁽³⁾180 dias da terceira aplicação dos corretivos.

Entre as comparações realizadas dos corretivos, não foi possível verificar diferença estatística para todos os atributos de solos analisados para primeiro ano de experimento, com exceção do cálcio trocável que apresentou maior valor quando utilizado a escória frente ao óxido de magnésio e resíduo de mármore (Tabela 4; C2,

Tabela 5), evidenciando o potencial dos resíduos para a correção da acidez e incremento de nutrientes para o cafeeiro, podendo ser utilizado como alternativo ao calcário.

Os corretivos à base de silicatos (escória de siderurgia) têm mostrado efeitos positivos na correção da acidez do solo e no aumento da disponibilidade de cálcio (BARBOSA FILHO et al., 2001). Resultados semelhantes ao encontrado neste estudo foram obtidos por Prado e Fernandes (2001), que utilizaram escória de siderurgia e calcário como corretivos da acidez do solo no pré-plantio de cana-de-açúcar e não observaram diferenças entre ambos. Brassioli, Prado e Fernandes (2009), trabalhando com o mesmo tipo de escória utilizado neste trabalho, comprovaram que a escória e o calcário foram semelhantes na correção da acidez do solo, ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar.

Entretanto, para o segundo ano de experimento, verifica-se que os corretivos alternativos proporcionaram valores superiores de magnésio trocável no solo em comparação ao calcário (C1; Tabela 5). Esse fato deve-se principalmente à influência do óxido de magnésio, o qual proporcionou os maiores valores desse nutriente para o solo devido à presença de maior valor desse nutriente (53%) em sua constituição (Tabela 2).

Nogueira et al. (2012) relataram redução da acidez, revelada pela elevação do pH e redução do alumínio trocável e incremento de magnésio trocável ao solo, após cento e oitenta dias da aplicação de óxido de magnésio, em dois tipos de solo de texturas diferentes, cultivados com cafeeiro arábica em vaso. Incrementos nos valores de pH e nos teores de magnésio no solo foram observados por Altoé (2013) com a aplicação de óxido de magnésio e na associação de óxido de magnésio ao gesso.

Para o terceiro ano de experimento, observa-se que os corretivos alternativos influenciaram em todas as variáveis analisadas, sendo possível constatar os maiores valores de pH em água, Ca^{2+} e Mg^{2+} e os menores teores de Al^{3+} e H+Al , em comparação ao calcário (C1, Tabela 5). Comparando o óxido de magnésio e resíduo de mármore com a escória, foi possível verificar que os primeiros influenciaram em menores valores de H+Al (C2, Tabela 5).

Tabela 5 – Contrastes das médias dos valores de pH em água, Al^{3+} , H+Al , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo entre os diferentes corretivos para os três anos de condução do experimento

Épocas de Avaliação	Atributos	Contrastes Médios		
		⁽¹⁾ C1	⁽²⁾ C2	⁽³⁾ C3
Ano 1	pH	-0,02 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}
	Al^{3+}	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
	H+Al	0,28 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,08 ^{ns}
	Ca^{2+}	-0,06 ^{ns}	-0,26*	-0,02 ^{ns}
	Mg^{2+}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Ano 2	pH	0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
	Al^{3+}	-0,06 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
	H+Al	0,10 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
	Ca^{2+}	-0,09 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}
	Mg^{2+}	0,11*	0,07*	-0,12*
Ano 3	pH	0,29*	0,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}
	Al^{3+}	-0,42*	-0,20 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
	H+Al	-1,20*	-1,12*	-0,77 ^{ns}
	Ca^{2+}	0,59*	0,32 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	Mg^{2+}	0,17*	0,10 ^{ns}	-0,07 ^{ns}

⁽¹⁾**C1**: Calcário vs Escória + Óxido de Magnésio + Resíduo de Mármore; **C2**: Escória vs Óxido de Magnésio + Resíduo de Mármore; e **C3**: Óxido de Magnésio vs Resíduo de Mármore. Testados pelo teste F nos níveis de 5 % e 10 % de probabilidade.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram os de Carvalho-Pupatto, Bull e Crusciol (2004), onde demonstraram redução de acidez potencial para a escória de siderurgia. Os autores não observaram diferenças significativas para os valores médios de cálcio e magnésio trocável nos solos para os corretivos avaliados, mostrando similaridade dos efeitos da aplicação do calcário frente ao resíduo utilizado, fato que confirma a possibilidade de utilização dos resíduos como corretivo da acidez e fonte de cálcio e magnésio no solo.

Em materiais silicatados (escória de siderurgia) há partículas mais porosas, resultado do processo de sua fusão para fabricação de ferro-gusa e aço. Essa característica aumenta sua área específica, possibilita solubilidade de seis a sete vezes maior que o calcário (ALCARDE; RODELLA, 2003). O acréscimo nos teores de cálcio e magnésio pela adição da escória é resultante da composição química do material utilizado, haja vista que no processo de fundição do aço o cálcio e o magnésio oriundos do calcário e silicato, participam das reações (FIRME, 1986).

Vários trabalhos confirmam o efeito dos resíduos de rochas no aumento dos valores de pH e diminuição do Al^{3+} e H+Al (VAN STRAATEN, 2006; 2007; JAMA; VAN STRAATEN, 2006; OLIVEIRA; QUEIROZ; RIBEIRO, 2009). Nesse sentido, Machado et al. (2008) avaliaram a utilização de resíduos de rochas ornamentais e calcário em condição de laboratório e em casa de vegetação e concluíram que os resíduos de rocha apresentaram potencialidade para serem utilizados como corretivos da acidez do solo, à medida que contribuíram para o aumento do pH dos solos estudados.

Pode-se dizer que a aplicação dos corretivos alternativos traz benefícios na redução da acidez trocável, em razão da diminuição do alumínio tóxico (Tabela 5). A redução da acidez do solo proporciona melhor ambiente ao crescimento radicular e com isso maior absorção de água e nutrientes, o que induz melhor desenvolvimento da parte aérea e produtividade das culturas (CAIRES et al., 2006).

Entre os anos de execução do experimento, pode-se observar que não houve muita variação para os corretivos utilizados em todos os atributos de solo (Tabela 5). Esse fato pode estar associado ao fator capacidade tampão, que será tanto maior quanto mais elevado o teor de argilominerais e matéria orgânica (grupos COOH), que são fontes de H^+ e Al^{3+} para solução do solo (MORELLI, 1986). Assim, solos pobres em matéria orgânica como o solo utilizado neste trabalho ($14,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria orgânica) têm menor fator capacidade tampão, resultado em um menor efeito residual.

Em relação ao comportamento das variáveis em função das doses dos corretivos utilizados, pode-se verificar para os valores de pH em água e os teores de Mg^{2+} para os três anos de experimento (Figuras 1, 2 e 3), um ajuste ao modelo linear e crescente em função das doses de todos os corretivos administrados, com exceção do magnésio para o segundo ano; Ca^{2+} e Mg^{2+} quando utilizado calcário, escória e óxido de magnésio para o terceiro ano, não foi possível ajustar um modelo de regressão significativo.

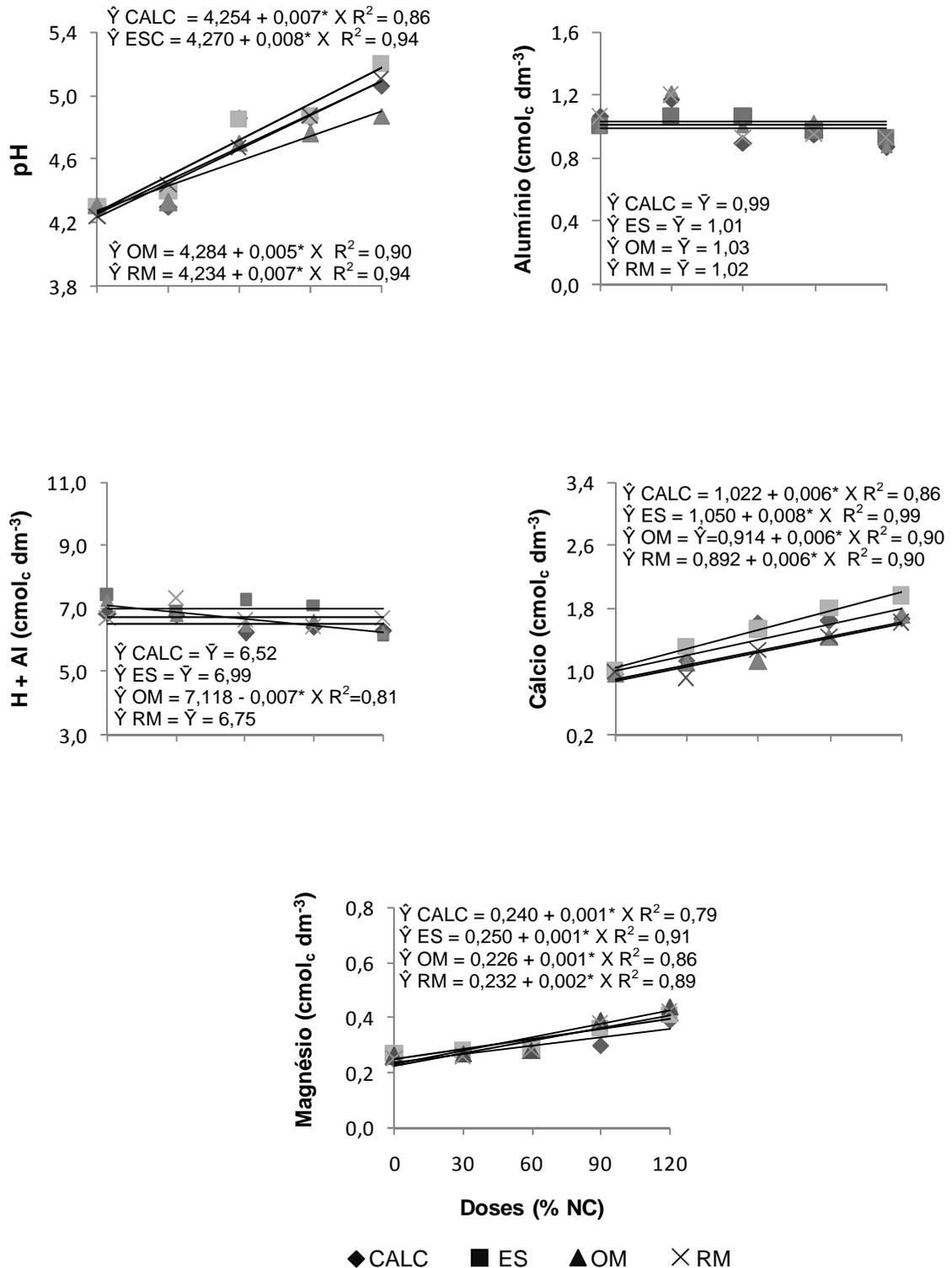


Figura 1 - Teores médios pH em água, alumínio trocável, H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estabelecidas para o primeiro ano de execução do experimento.

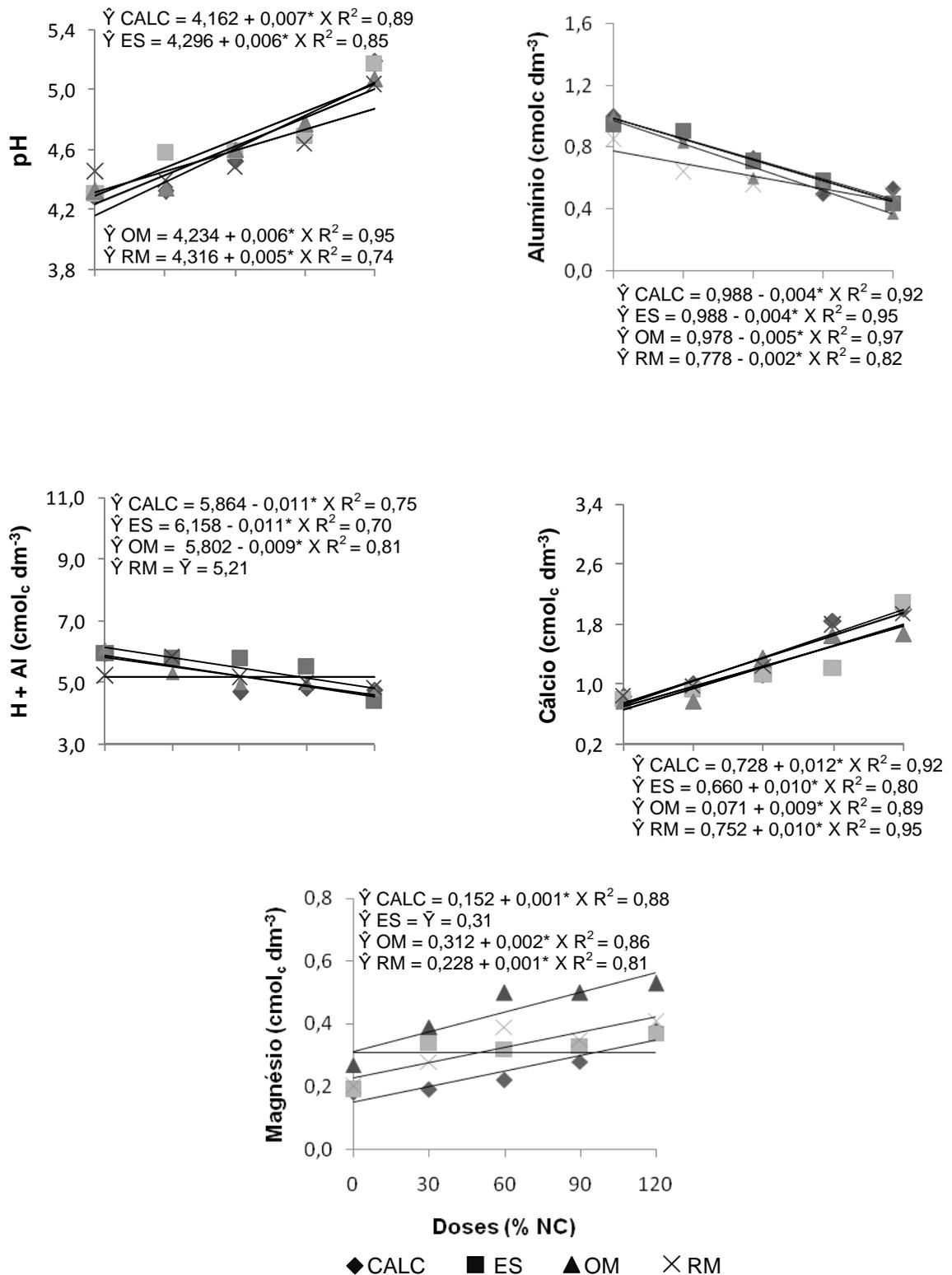


Figura 2 - Teores médios pH em água, alumínio trocável, H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estabelecidas para o segundo ano de execução do experimento.

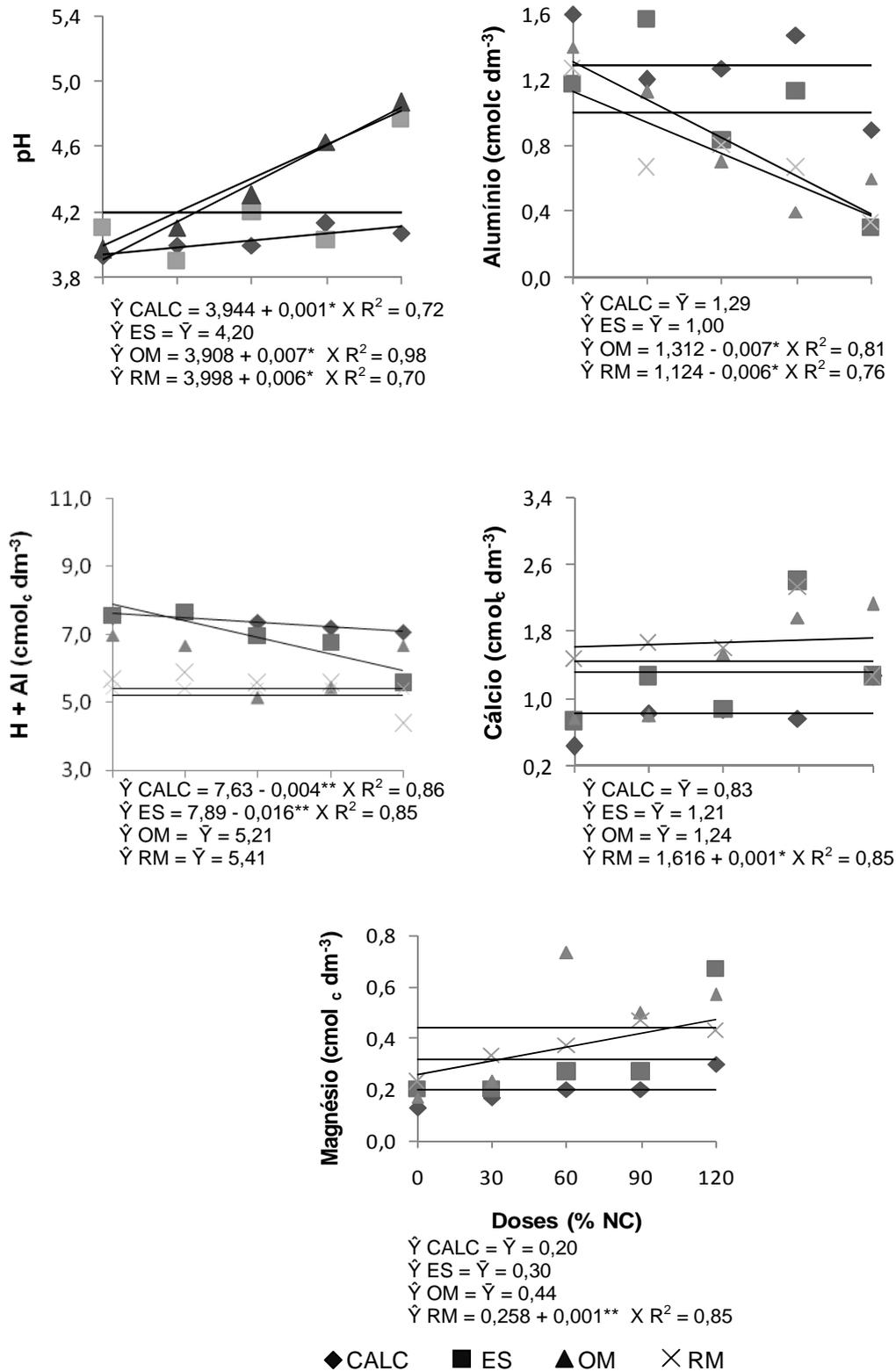


Figura 3 - Teores médios pH em água, alumínio trocável, H+Al, cálcio e magnésio trocáveis do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória de siderurgia, óxido de magnésio e resíduo de mármore) em função das doses (0; 30; 60; 90 e 120% da necessidade de corretivo) estabelecidas para o terceiro ano de execução do experimento.

Os efeitos proporcionados pelo calcário e escória de siderurgia corroboram os resultados encontrados por Prado, Fernandes e Natale (2003) e Rezende et al. (2007). Os resultados relacionados ao resíduo de mármore concordam com os resultados encontrados por Machado et al. (2010), que observaram que a adição do resíduo de mármore aumentou os teores de cálcio e magnésio trocáveis no solo.

Com o aumento do pH após a aplicação do corretivo, ocorre a precipitação Al^{3+} na forma de $Al(OH)_3$ (KINRAID, 1991). O efeito do aumento do pH na redução dos teores de Al^{3+} foi confirmado pelas relações negativas observadas por meio do estudo do modelo. Verifica-se que há diminuição da acidez para os três anos de experimento, essa redução ocorreu de forma linear para todos os corretivos em função do incremento de suas doses, o que apontou similaridade dos efeitos da aplicação do calcário frente aos corretivos alternativos utilizados, com exceção para o Al^{3+} quando utilizado todos os corretivos para o primeiro ano, e calcário e escória para o terceiro ano (Tabela 4; Figuras 1, 2, 3).

Em relação aos teores de H+Al, verifica-se o mesmo comportamento linear e decrescente quando utilizado o calcário, escória e resíduo de mármore para o primeiro ano; resíduo de mármore para o segundo ano; e óxido de magnésio e resíduo de mármore para o terceiro ano de experimento. A maior redução ocorreu nos tratamentos com maiores doses de corretivos, que apresentaram valores de pH significativamente superiores aos demais (Tabela 4; Figuras 1, 2, 3).

Estes resultados corroboram os resultados encontrados por Prado e Fernandes (2000), quando comprovaram que o calcário e a escória de siderurgia proporcionam resultados semelhantes na correção da acidez do solo. Esses estudos mostraram que à medida que se aumenta as doses desses corretivos há também um aumento nos valores de pH do solo. Resultados semelhantes foram verificados por Mesquita et al. (2008) ao utilizarem escória de siderurgia e o óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos.

Vários trabalhos confirmam o efeito da escória de siderurgia no aumento do pH e diminuição da acidez potencial do solo (MUNN, 2005; CORRÊA et al., 2007; 2009; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; SOUZA et al., 2008; SOUZA; KORNDÖRFER, 2010; SOBRAL et al., 2011; CASTRO; CRUSCIOL, 2013).

Os níveis elevados de pH são tipicamente encontrados nos resíduos de rochas ornamentais devido aos corretivos utilizados no processo de serragem. Trabalhos realizados relatam a possibilidade de utilização de resíduo de rocha na correção da acidez do solo (FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006; THEODORO; LEONARDOS, 2006).

A utilização dos resíduos na agricultura tem mostrado efeitos positivos sobre as propriedades químicas de solos (SILVA et al., 2008) e representam uma alternativa ambientalmente segura para agricultores dos países em desenvolvimento (VAN STRAATEN, 2006). Fernández-Caliania e Barba-Briosob (2010) também constataram que a utilização de resíduo de mármore é eficiente na redução dos efeitos tóxicos do alumínio.

Os resultados relacionados ao efeito do resíduo de mármore, corrobora os obtidos por Raymundo et al. (2013), quando compararam a capacidade de neutralização de acidez de solo entre o resíduo de mármore e o calcário para o cultivo de milho em casa de vegetação. Nesse trabalho, os autores comprovaram a eficácia do resíduo de mármore na elevação das concentrações de cálcio e magnésio e eliminação da toxicidade de alumínio, mesmo em dose abaixo da recomendada para o calcário, e aos de Baldotto et al. (2007) onde estes comprovaram a elevação do valores de pH em água e dos teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} no solo e a neutralização do Al^{3+} para a cultura do milho com do emprego do resíduo de mármore.

4 CONCLUSÕES

1. Os valores de pH, Al^{3+} , H+Al e os teores de cálcio e magnésio trocáveis proporcionados pela aplicação dos corretivos alternativos são semelhantes ou superiores ao calcário para os três anos de experimento.
2. As aplicações de doses crescentes de escória, óxido de magnésio e resíduo de mármore favorecem um decréscimo da acidez do solo e incrementos de cálcio e magnésio trocáveis ao solo.
3. O óxido de magnésio demonstra maior potencial como fonte de magnésio para o solo.

5 REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.
- ALTOÉ, A. **Óxido de magnésio, gesso e micronutrientes como fertilizante granulado em *Coffea canephora***. 2013. 72f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.
- 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.
- BALDOTTO, M.A; ASPIAZU, I. ; SILVA, A.P. ; CORREA, M.L.T. ; ALVAREZV, V.H. . Potencialidade Agronômica dos resíduos de Rochas Ornamentais. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, v. 3, p.1-8, 2007.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 02, p. 325-330, 2001.

BARBOSA FILHO, M.P.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, O.F. da. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, n.2, p.325-333, 2004.

BERTOSSI, A. P. A.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. de S. N; PRADO, A. C. de A.; DAMASCENO, C. A.; POLIDORO, J. C. Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de rochas ornamentais silicáticas na qualidade do solo e da água. **Geociências**, v.31, n.2, p.185-195, 2012.

BRASSIOLI, F.B.; PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Avaliação agrônômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, v.68, p.381-387, 2009.

CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agrícola**, v.63, p.502-509, 2006.

CALMON, J. L.; SILVA, S. A. C.. **Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções**. In: Domingues, A. F.; Boson, P. H. G.; Alípez, S.. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. pág. 199 a 231. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2013.

CARVALHO-PUPPATTO, J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1213-1218, 2004.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.6, 2013.

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

CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1307-1317, 2007.

CORRÊA, J.C.; FREITAG, E.E.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.; FERNANDES, D.M.; MARCELINO, R. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.68, n.4, p.1059-1068, 2009.

COSTA, A.S.V. da.; HORN, A.H.; DONAGEMMA, G.K.; SILVA, B.M. da. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. **Geonomos**, v.18, n.1, p. 23 – 27, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

FERNÁNDEZ-CALIANIA, J.C.; BARBA-BRIOSOB, C. Metal immobilization in hazardous contaminated mine soils after marble slurry waste application: A field assessment at the Tharsis mining district (Spain), **Journal of Hazardous Materials**, v.181, p.817-826, 2010.

FIRME, D.J. **Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia como fosfato natural**. 1986. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, p.715-720, 2006.

JAMA, B.; VAN STRAATEN, P. Potential of East African phosphate rock deposits in integrated nutrient management strategies. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.78, n.4, p.735-748, 2006.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma visão. **Geonomos**, v.5, n.1, p.17-40. 1997.

KINRAID, T.B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. **Plant Soil**, The Hague, v.134, p.167-178, 1991.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W.S.; KROMBERG, B. Rochagem: método de aumento de fertilidades em solos lixiviados e arenosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1976, Ouro Preto, **Anais...**Ouro Preto: SBG, 1976. P.137-145.

MACHADO, R.V.; RIBEIRO, R.C.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R.; MESQUITA, L.F. **Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos**. Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2010. 50 p. (Série Tecnologia Ambiental, 55).

MACHADO, R.V.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE, F.V. Utilização de Rejeitos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Correção da Acidez e Adubação de Solos Tropicais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. CD-Rom

MESQUITA, L. F. et al. Escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos. In: XII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2008, São Bernardo do Campo. **Anais...** São Bernardo do Campo: UNIVAP. CD.

MORELLI, M. **Apostila didática da disciplina de morfologia e gênese do solo**. Santa Maria: UFSM, 1986. 27 p.

MUNN, D.A. Steel industry slags compared with calcium carbonate in neutralizing acid mine soil. **The Ohio Journal of Science**, v.105, n.4, 2005.

NOGUEIRA, N.O; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; REIS, E.F. dos, BRINATE, S.B.V. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café Arábica. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.1, p.11-21, 2012.

NOGUEIRA, N.O; MARTINS, L.D.; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R. Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em *Coffea arabica* em solo submetido a diferentes corretivos de acidez, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.390-395, 2013.

OLIVEIRA, C.N.; QUEIROZ, J.P.C. ;RIBEIRO, R.C.C.; Efeito da Fertilização do Solo com Resíduos de Rochas Ornamentais na Qualidade do Biodiesel Extraído. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:CETEM, 2009.

PINHEIRO, C.M. **Rocha potássica no crescimento inicial, comportamento fotossintético e colonização micorrízica de duas espécies arbóreas**. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia, 2009.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

PRADO; R. DE M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.129-135, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 01, p. 201-209, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.287-296, 2003.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO; G. G; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAYMUNDO, V.; NEVES, M.A.; CARDOSO, M.S.N.; BREGONCI, I.S.; LIMA, J.S.S.; FONSECA, A.B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.47–53, 2013.

REZENDE, L.; SOUZA, I.; BARROS, N.; MILAGRES, J. Eficiência agrônômica do agrosilício, comparativamente ao calcário dolomítico, na correção do solo e na disponibilidade de Ca e Mg. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007, CD Rom.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.297-300, 2005.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAINT MARTIN, C.M.M.S; RIBEIRO, R.C.DA; CORREA, J.C.G. **Utilização do rejeito oriundo do corte de rochas ornamentais como agregado mineral em pavimentação asfáltica**. 2008. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XVI_jic_2008/Catarina%20Magna ni%20Moreira%20Saint%20Martin.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XVI_jic_2008/Catarina%20Magna%20Moreira%20Saint%20Martin.pdf)>. Acesso em: 30 jul 2013.

SILVA, E. A. da; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v.32, p.323-333, 2008.

STAUFFER, E.; NOGUEIRA, N.O.; SATIRO, L.S.; ANDRADE, F.V.; DONAGEMMA, G.K.; ALVES, P. Adubação do *Coffea arabica* com óxido de magnésio associado ao gesso e micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBCS/SBCS, 2013.

SOBRAL, M.F.; NASCIMENTO, C.W.A; CUNHA, K.P.V.; FERREIRA, H. A.; SILVA, A.J.; SILVA, F. B.V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.867-872, 2011.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, v.100, p.261-270, 2008.

SOUSA, R.T.X.; KORNDORFER, G.H. Utilization of silicon from metallurgy slag by sugarcane. **Sugar Tech**, v.12, n.2, p.98-103, 2010.

SOUZA, R. F. de; FAQUIN, V.; CARVALHO, R; TORRES, P.R.F.; POZZA, A.A.A. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1563-1572, 2008.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, p.721-730, 2006.

THEODORO, S.H; LEONARDOS, O.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, n.4. p. 715-720, 2006.

THEODORO, S.C.H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. 225f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. Macronutrients in leaves and fruits of dwarf arabica coffee cultivars. *Bragantia*, v.64, p.661-672, 2005.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, p.731-747, 2006.

VAN STRAATEN P. **Agrogeology**: The use of rock for crops, Enviroquest Ltd. Toronto, 2007, 440 p.

VIDAL, A. de A.; PRADO, R. de M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e uréia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.264-272, 2011.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v.19, n.1, p.1467-1476, 1988.

APÊNDICES

Apêndice A – Resumo da análise de variância de pH, Al³⁺ e H+Al em amostras de solo para as diferentes doses dos corretivos e épocas de avaliação

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		pH	Al ³⁺	H+Al
Bloco	2	0,0084 ^{ns}	0,0056 ^{ns}	0,0935 ^{ns}
Corretivo	3	0,1108 ^l	0,1782 ^{ns}	28,9246*
Resíduo (a)	6	0,0351	0,0728	1,6293
Dose	4	1,1629*	0,7710*	2,7440 ^{ns}
Corretivo x dose	12	0,0406 ^{ns}	0,0835 ^{ns}	4,6867 ^l
Resíduo (b)	32	0,0272	0,0728	2,6083
Avaliação	2	0,1336*	8,3001*	8,9234*
Corretivo x avaliação	6	0,0453 ^l	0,0140 ^{ns}	10,9809*
Dose x avaliação	8	0,0648 *	0,0854*	3,7802*
Corretivo x dose x avaliação	24	0,0251 ^{ns}	0,0547 ^{ns}	2,6552*
Resíduo (c)	80	0,0249	0,0375	1,2079
Média Geral		4,79	0,71	8,96
CV a (%)		3,91	40,69	14,24
CV b (%)		3,45	38,16	18,02
CV c (%)		3,30	27,42	12,26

*, ^l significativo a 5% e 10% de probabilidade, respectivamente; e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Apêndice B – Resumo da análise de variância de cálcio e magnésio em amostras de solo para as diferentes doses dos corretivos e épocas de avaliação

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺
Bloco	2	0,2490 ^{ns}	0,0152 ^{ns}
Corretivo	3	1,6099*	0,0876*
Resíduo (a)	6	0,0972	0,0111
Dose	4	9,5819*	0,6703*
Corretivo x dose	12	0,1017 ^{ns}	0,0195 ^{ns}
Resíduo (b)	32	0,1534	0,0148
Avaliação	2	16,3320*	0,1975*
Corretivo x avaliação	6	1,1896*	0,0059 ^{ns}
Dose x avaliação	8	0,4686*	0,0196 ^{ns}
Corretivo x dose x avaliação	24	0,1765 ^{ns}	0,0106 ^{ns}
Resíduo (c)	80	0,1262	0,0131
Média Geral		1,43	0,33
CV a (%)		21,86	31,33
CV b (%)		27,46	36,23
CV c (%)		24,91	34,12

*Significativo a 5%; e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Apêndice C – Resumo da análise de variância de cálcio e magnésio da folha do cafeeiro para as diferentes doses dos corretivos e épocas de avaliação

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Cálcio	Magnésio
Bloco	2	67,1257*	1,5486*
Corretivo	3	47,2918*	3,0144*
Resíduo (a)	6	10,3256	0,1864
Dose	4	9,9190*	5,4565*
Corretivo x dose	12	9,7642*	1,0410*
Resíduo (b)	32	2,6831	0,3908
Avaliação	5	1052,1112*	35,4823*
Corretivo x avaliação	15	13,8986*	0,6723*
Dose x avaliação	20	2,4872 ^{ns}	0,5950*
Corretivo x dose x avaliação	60	6,0910 ^{ns}	0,3731*
Resíduo (c)	200	6,0343	0,2298
Média Geral		11,51	3,10
CV a (%)		28,19	14,09
CV b (%)		14,37	20,40
CV c (%)		21,55	15,64

*Significativo a 5%; e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Apêndice D – Resumo da análise de variância de pH, Al³⁺ e H+Al em amostras de solo para as diferentes doses dos corretivos para a três épocas de execução do experimento

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		pH	Al ³⁺	H+Al
Bloco	2	0,1386 ^{ns}	0,2313 ^{ns}	5,5362*
Corretivo	3	0,1167 ^{ns}	0,3988*	2,8804*
Resíduo (a)	6	0,0683	0,0714	0,2691
Dose	4	3,0879*	1,5326*	6,2738*
Corretivo x dose	12	0,0462 ^{ns}	0,0641 ^{ns}	0,6738 ^{ns}
Resíduo (b)	32	0,0685	0,0972	1,1999
Avaliação	2	2,7929*	1,4986*	24,4764*
Corretivo x avaliação	6	0,1837*	0,3881*	8,2235*
Dose x avaliação	8	0,0668 ^{ns}	0,1424 ⁰	0,1224 ^{ns}
Corretivo x dose x avaliação	24	0,0667 ^{ns}	0,0861 ^{ns}	0,4122 ^{ns}
Resíduo (c)	80	0,0706	0,0802	1,0241
Média Geral		4,50	0,86	6,02
CV a (%)		5,80	30,92	8,63
CV b (%)		5,81	36,07	18,23
CV c (%)		5,90	32,76	16,84

*, ⁰ significativo a 5% e 10% de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.

Apêndice E – Resumo da análise de variância de cálcio e magnésio em amostras de solo para as diferentes doses dos corretivos para as três épocas de execução do experimento

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺
Bloco	2	0,0612 ^{ns}	0,0056 ^{ns}
Corretivo	3	0,3392 ^{ns}	0,1942*
Resíduo (a)	6	0,1505	0,0066
Dose	4	6,5281*	0,2811*
Corretivo x dose	12	0,1530 ^{ns}	0,0223 ^{ns}
Resíduo (b)	32	0,1285	0,0152
Avaliação	2	0,0333 ^{ns}	0,0171*
Corretivo x avaliação	6	0,7736*	0,0370*
Dose x avaliação	8	0,2015 ⁰	0,0212*
Corretivo x dose x avaliação	24	0,1258 ^{ns}	0,0173*
Resíduo (c)	80	0,1078	0,0127
Média Geral		1,30	0,32
CV a (%)		29,86	25,45
CV b (%)		27,59	38,59
CV c (%)		25,27	35,26

*Significativo a 5%; e ^{ns} não significativo pelo Teste de F.