



**AVALIAÇÃO DE MATERIAIS CORRETIVOS
DE ACIDEZ DO SOLO E SEUS EFEITOS NO
DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO EM
CASA-DE-VEGETAÇÃO**

LEYSER RODRIGUES OLIVEIRA

2004



LEYSER RODRIGUES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE MATERIAIS CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO E
SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DO FEJJOEIRO EM
CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira, Leyser Rodrigues

Avaliação de materiais corretivos de acidez do solo e seus efeitos no desenvolvimento do feijoeiro em casa-de-vegetação / Leyser Rodrigues Oliveira. – Lavras : UFLA, 2004.

95 p. : il.

Orientador: Luiz Roberto Guimarães Guilherme.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Corretivos de acidez. 2. Avaliação laboratorial. 3. Reatividade em solo. 4. Feijão. 5. Crescimento. 6. Produtividade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.821
-635.6528921

LEYSER RODRIGUES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE MATERIAIS CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO E
SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO EM
CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 27 de fevereiro de 2004

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva


Ufla

Prof.ª Dr.ª. Janice Guedes de Carvalho

Ufla

Dr.ª. Miralda Bueno de Paula

Epamig



Prof. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Ufla

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

**A Deus,
que operou inúmeras maravilhas em minha vida,
OFEREÇO**

**À Jussara, pela cumplicidade, carinho e compreensão,
e à Marcella e Yasmim, pequenos anjos,
DEDICO**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e à Capes pela oportunidade de realização do curso e pela concessão da bolsa de estudos.

À Montical Representações Ltda, na pessoa de Cássio Oliveira Sâmia, pelo fornecimento do material e financiamento de parte deste projeto.

Ao meu orientador, mais que orientador, amigo e espelho profissional, professor Luiz Roberto G. Guilherme, que nunca restringiu sua orientação ao simples direcionamento da pesquisa, mas sempre dedicou, acima de tudo, sua amizade àqueles que o procuraram, digno de minha eterna admiração e gratidão.

Aos professores Dr. Carlos Alberto Silva e Dr^a. Janice Guedes de Carvalho e a Dr^a. Miralda Bueno de Paula, pelas críticas e sugestões apresentadas à dissertação, ao Prof. Vicente Gualberto, responsável pela iniciação na Ciência do Solo, e ao Prof. Tomás Aquino Ferreira (DEG/Ufla), responsável pela minha transferência para a Ufla, pelo carinho, amizade, respeito.

À minha mãe, Marlene Rodrigues Oliveira, grande incentivadora dos meus estudos; ao meu pai, Alciro Ari de Oliveira, pelo apoio e compreensão mesmo nas horas mais duras; à minha irmã, Alcilene Rodrigues de Oliveira, pela amizade e carinho e demais familiares.

À Jussara Maria Silva, pelo amor desprendido, estímulo, paciência e presença em todos os momentos; Jair José e Mauri Alves Cardoso, seus pais, e Isa Mara e Marcelo Ramos, sua irmã e cunhado, respectivamente, por todo carinho e afetuosidade demonstrada nestes últimos anos.

Aos amigos e colegas de curso, Liziane, Lislane, Vinícius Vieira, Rafaela e Júlio Nóbrega, Júlio Bertoni, Fábio Aurélio, Carolina Lisboa, Ana Rosa, Adriana, Alexandre Barberi, Alexandre D'Andrea Antônio Marcos, Edilene e Giuliano Marchi, Isabel Trammin, Renato Souza e Silvana Silva pelo

companheirismo e bons momentos vividos; aos alunos de graduação, Rafael, Enio, Rodrigo, Gabriel Jordão, Lorena Di Gennaro, e em especial, Carlos Eduardo, pela ajuda prestada na condução deste trabalho.

Ao grande amigo Antônio Claret, pela ajuda prestada principalmente nas fases iniciais deste trabalho e pelo estímulo declarado ao longo do curso.

À Mari Lúcia Campos, uma reserva de moral e exemplo de conduta profissional, e à Maria A. P. Pierangeli, minha grande “orientadora”, pelo companheirismo, amizade e ajuda prestada ao longo dos últimos anos.

À toda minha turma de graduação em Engenharia Agrícola DEZ/2001, em especial a Gustavo Rodrigues, Jorge Murilo e Saulo Salaber, que, mesmo distantes, torciam pelo meu sucesso profissional.

A todos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, Leninha, Ritinha, Wal, Adriana, Maria Alice, Vera Lúcia e aos laboratoristas, Manoel, Adalberto, José Roberto (Pezão), Daniel, Humberto, Vitinho, Marquinhos, Carlos, João Gualberto e em especial, Roberto Lelis Mesquita, o qual prestou grande ajuda na orientação dos experimentos realizados neste projeto.

A todos demais profissionais envolvidos neste projeto, bem como aquelas pessoas que por qualquer motivo, tomaram minha passagem nesta Universidade e nesta cidade mais prazerosa, presto meus agradecimentos e reafirmo a certeza de que vou, para sempre, trazê-los em memória.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	i
RESUMO GERAL	ii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução geral.....	1
2 Referencial teórico.....	3
2.1 Conceito químico de acidez.....	3
2.2 Acidez dos solos.....	4
2.3 Classificação dos corretivos de acidez	5
2.4 Avaliação da qualidade e eficiência dos corretivos de acidez.....	7
2.5 Corretivos de acidez e disponibilidade de micronutrientes no solo.....	10
3 Referências bibliográficas.....	12
CAPÍTULO 2. Caracterização química, física e mineralógica de corretivos de acidez e reatividade em solo.....	16
Resumo.....	16
1 Introdução.....	18
2 Material e métodos.....	19
2.1 Determinação do PN e RE.....	19
2.2 Determinação dos teores de Ca, Mg, micronutrientes e análise por difratometria de raios-X.....	20
2.3 Reatividade em solo e disponibilidade de micronutrientes.....	20
2.4 Análise estatística.....	23
3 Resultados e discussão.....	24
3.1 Características químicas, físicas e mineralógicas dos corretivos.....	24
3.2 Reatividade em solo e disponibilidade de micronutrientes.....	29
4 Conclusões.....	38

5 Referências bibliográficas.....	39
CAPÍTULO 3. Avaliação de corretivos de acidez como fonte de nutrientes para o feijoeiro	43
Resumo.....	43
1 Introdução.....	45
2 Material e métodos.....	46
3 Resultados e discussão.....	49
3.1 Componentes da produção.....	49
3.1.1 Produção de matéria seca da parte aérea.....	49
3.1.2 Produção de matéria seca da raiz.....	51
3.1.3 Produção de matéria seca dos grãos e matéria seca total.....	54
3.2 Resultados da análise de solo após o 1o cultivo.....	56
3.3 Teores de nutrientes no tecido foliar.....	61
4 Conclusões.....	68
5 Referências bibliográficas.....	69
Anexos.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

%CaO	Porcentagem de CaO
%MgO	Porcentagem de MgO
CTC	Capacidade de troca de cátions
CV (%)	Coefficiente de variação
DCS/Ufla	Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras
DEX/Ufla	Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GL	Grau de liberdade
LVAd	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico
m (%)	Saturação por alumínio
MO	Matéria orgânica
MSGRAOS	Matéria seca dos grãos
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSRAIZ	Matéria seca da raiz
MSTOTAL	Matéria seca total
NC	Necessidade de calagem
RQ	Neossolo Quartzarênico
PN	Poder de neutralização
PRNT	Poder relativo de neutralização total
RE	Reatividade
T	Capacidade de troca de cátions a pH 7,0
T	Capacidade de troca de cátions efetiva
V (%)	Saturação por bases
V_{proj} = 50%	Saturação por bases projetada em 50%
V_{proj} = 70%	Saturação por bases projetada em 70%
VTP	Volume total de poros

RESUMO GERAL

OLIVEIRA, Leyser Rodrigues. Avaliação de materiais corretivos de acidez do solo e seus efeitos no desenvolvimento do feijoeiro em casa-de-vegetação. 2004. 95p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de 4 materiais corretivos de acidez oriundos do Estado de Goiás na correção da acidez, fertilidade do solo e como fonte de nutrientes para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Para tal, conduziram-se quatro experimentos em laboratórios e em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizado-se dois solos distintos, sob vegetação natural, representativos da região do cerrado goiano. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo dois solos (RQ – Neossolo Quartzarênico e LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico), cinco corretivos de acidez (quatro corretivos e um produto puro para comparação) em dois níveis de calagem (saturação por bases projetada em 50% e 70% para a necessidade do feijoeiro), mais a testemunha (nível zero de calagem). Determinou-se o PRNT, %CaO, %MgO, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica e, por fim, submeteu-se os corretivos à análise por difratometria de raios-X para a identificação dos minerais presentes. Em seguida, os corretivos foram adicionados em vasos contendo 2750 cm³ de solo nas quantidades calculadas para se atingir os valores de saturação por bases pretendidos, sendo incubados por 92 dias, quando, então, amostras de cada um dos tratamentos foram retiradas e submetidas à análise. Semanalmente, a quantidade de água calculada para se atingir 60% do volume total de poros (VTP) era repostada, ocasião em que o pH era medido e os vasos trocados de posição. Posteriormente, realizaram-se dois cultivos para o feijoeiro com 3 plantas em cada vaso, sendo 1 colhida no período de florescimento para análise foliar e as demais no final do ciclo para determinação da matéria seca da parte aérea, grãos e raízes. Os resultados indicaram que dentre os quatro corretivos avaliados, dois atenderam às normas estipuladas por lei, sendo classificados como calcários dolomíticos, um foi classificado como escória e o outro como fonte suplementar de cálcio e magnésio. Entretanto, todos os corretivos promoveram aumento do pH, dos teores de Ca e Mg, saturação por bases e redução da saturação por alumínio, o que justifica o uso agrícola dos

* Comitê Orientador: Luiz Roberto G. Guilherme - Ufla (Orientador), Carlos Alberto Silva - Ufla, Janice Guedes de Carvalho - Ufla, Miralda Bueno de Paula - Epamig

corretivos de menores PRNT, desde que respeitadas as dosagens calculadas para a necessidade de calagem específica de cada corretivo. Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram encontrados em quantidades-traço, consideradas normais para esses corretivos. Para o feijoeiro, houve incrementos na produção de matéria seca da parte aérea, grãos e raízes em ambos solos, não se diferenciando muito entre cultivos, o que evidencia o efeito residual dos corretivos. A disponibilidade dos nutrientes avaliados variou em função do pH e das interações entre os corretivos adicionados e os solos. De maneira geral, concluiu-se que mesmo os corretivos de acidez que não atenderam à legislação atual consistiram em potenciais produtos de exploração agrícola, desde que suas quantidades sejam adicionadas respeitando-se o método escolhido para se atingir o valor da saturação por bases almejado.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Leyser Rodrigues. Evaluation of liming materials for soil acidity alleviation and development of common beans under greenhouse conditions. 2004. 95p. Dissertation (Master's degree in Soil Science and Plant Nutrition)-Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

The present work evaluated four liming materials mined in the State of Goiás, Brazil, with respect to their potential as soil acidity amendments and as sources of nutrients for common beans plants (*Phaseolus vulgaris* L.), as well as their effect upon soil fertility attributes. Laboratory and greenhouse experiments were performed at the Department of Soil Science, Federal University of Lavras (MG), Brazil, with two different soils collected under native conditions, in the Cerrado region of the State of Goiás. A randomly experimental design was set with four replications using two soils (RQ - an Entisol and LVAd - an Oxisol), five liming materials (four mining products + a pure product, for comparison), and two liming rates (50% and 70% of base saturation), as well as a control plot (no lime applied). Each liming material was characterized with respect to its total reactivity, CaO%, MgO%, as well as Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, and Zn contents by atomic absorption spectroscopy. X-ray diffraction was also used for assessing the mineralogical characterization of the tested products. All liming materials were added according to the previously calculated rates to pots containing 2750 cm³ of each soil and the incubation period extended for 92 days. After that, soil samples of each one of the treatments were taken for analysis. Original soil humidity (initially set at 60% of the total volume of pores) was restored weekly. Soil pH measurements were also done on a weekly basis. Common beans plants were cultivated for two growing seasons, with three plants per pot. One plant was harvested at flowering and the other two at the end of the growing season, for evaluation of grain, shoot and root dry matter. Results indicated that amongst all four liming materials tested, only two were in accordance with the current federal regulations for marketing lime, being classified as dolomitic limestone. A third liming material could be classified as basic slag and the fourth one as a supplemental source of calcium and magnesium. However, all liming materials caused an increase in soil pH, soil Ca and Mg, and base saturation levels, whereas aluminum saturation decreased in all cases. This fact justifies the agricultural use of low reactivity liming materials, if the appropriate correction of the actual dose is made. Copper, Fe, Mn, and Zn were found in trace-amounts in all liming materials, which was considered typical for such products.

* Guidance Committee: Luiz Roberto G. Guilherme - Ufla (Orientador), Carlos Alberto Silva - Ufla, Janice Guedes de Carvalho - Ufla, Miralda Bueno de Paula - Epamig.

Increments in grain, shoot, and root dry matter of common beans were observed in both soils, with little difference between growing seasons, which is an evidence of the residual effect of the liming materials tested. Nutrients availability varied as a function of soil pH, as well as the interactions between the liming materials and the soils. As a general conclusion, it could be seen that even the liming materials that did not agree with the current federal lime regulations consisted of potential products for agricultural use, as long as the lime requirement is adequately corrected for the actual reactivity of the selected product.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, a agricultura brasileira vem tomando-se mais eficiente, o que se expressa pelo aumento da produtividade e, conseqüentemente, da lucratividade. Num país cujos solos apresentam elevada acidez, dentre outras adversidades, os estudos que enfocam a sustentabilidade dos processos produtivos mostram-se cada vez mais relevantes.

Com o avanço da atividade agropecuária rumo ao cerrado, região formada naturalmente por solos ácidos e deficientes em nutrientes, percebeu-se a necessidade do emprego de corretivos de acidez, já que estes solos, mesmo quando dotados de boas propriedades físicas, apresentam características químicas inadequadas ou impróprias à produção. A elevada acidez, os altos teores de alumínio (Al^{3+}) trocável e a deficiência de nutrientes, particularmente cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) desses ambientes são obstáculos que podem ser corrigidos. Para a correção da acidez do solo, dentre os vários corretivos de acidez disponíveis no mercado, o calcário é o produto mais utilizado, dado sua abundância e custos de aplicação relativamente baixos.

A calagem é a prática que visa eliminar a acidez total ou parcial do solo pela elevação do pH, conferindo, ainda, uma série de outros benefícios, tais como o estímulo à atividade microbiana, a melhoria da fixação simbiótica de nitrogênio pelas leguminosas e o aumento significativo da biodisponibilidade de outros nutrientes para as plantas (Alvarez & Ribeiro, 1999). Vários outros trabalhos realizados em solos ácidos relatam o aumento da capacidade de troca de cátions, resultando numa maior retenção de nutrientes catiônicos e menores perdas por lixiviação, tornando o solo, portanto, mais adequado ao

desenvolvimento das plantas (Goedert et al., 1997; Tyler & Zohlen, 1998; Prado & Fernandes, 2000; Gomes et al., 2002; Prado et al., 2003; Caires et al., 2003).

Os calcários são corretivos que variam tanto na composição química e características mineralógicas quanto nas propriedades físicas. Assim, para a determinação da necessidade de calagem (NC) específica de um dado solo é importante que se conheça, com a maior exatidão possível, os teores dos carbonatos de cálcio e magnésio do calcário e a granulometria do calcário, fator este que determina a velocidade de reação do mesmo. Assim, a reatividade e os teores dos carbonatos de cálcio determinam o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), o qual é, portanto, um índice que conjuga o Poder de Neutralização Total (PN) com a eficiência relativa das partículas de diferentes tamanhos (RE).

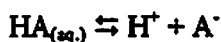
Os parâmetros utilizados na classificação de corretivos de acidez são normatizados por lei federal. Assim, quando determinado corretivo não atende aos requisitos mínimos da lei, sua exploração é, por vezes, descartada, gerando um passivo com implicações ambientais. Isso não significa, entretanto, que tais produtos não possam ser empregados. Atualmente, o mercado agrícola nacional encontra-se num contexto de economia estabilizada dentro de um mercado internacional altamente competitivo, o que implica em baixas margens de lucratividade das culturas, onde as tomadas de decisão são direcionadas para a redução dos custos. O uso de corretivos agrícolas mais baratos constitui, portanto, em uma alternativa atraente para esse mercado.

Dessa forma, os conhecimentos das propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos diferentes tipos de calcário, bem como os estudos acerca de seu comportamento, interação com os solos e potencial de fornecimento de nutrientes constituem o objetivo central deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito químico de acidez

O conceito químico de acidez reza que ácidos são substâncias que, quando em solução aquosa, liberam íons de hidrogênio (H^+), conforme a reação:



onde o ácido HA dissocia-se no cátion H^+ e no ânion A^- . A dissociação é completa se o ácido é forte, porém, se o ácido for fraco, a dissociação é incompleta (Cotton, 1999). Este último caso ilustra os problemas de acidez mais comumente encontrado em solos, o que gera baixas concentrações de H^+ . Por essa razão, o conceito de pH foi introduzido, de acordo com a equação descrita a seguir:

$$pH = -\log (H^+) = \log \frac{1}{H^+}$$

Desse modo, o termo pH define a acidez ou a alcalinidade relativa de uma solução. A escala de pH varia de 0 a 14, onde o valor 7,0 é neutro para soluções aquosas a 25°C. Em solos, os valores mais comumente encontrados situam-se na faixa compreendida entre os valores de 3 a 10 e, para os solos brasileiros, esta faixa situa-se entre 4,0 e 7,5. A maioria dos solos produtivos encontra-se com pH entre 4,0 e 9,0 (Lopes & Guidolin, 1988; Lopes, 1989). Segundo Fageria (2000), o pH é uma das propriedades mais importantes dos solos, pois exerce influência na solubilidade, concentração em solução e forma

iônica dos nutrientes e, conseqüentemente, na absorção e biodisponibilidade destes para as plantas.

2.2 Acidez dos solos

Os solos brasileiros estão situados na região tropical, onde as elevadas temperaturas e a intensa pluviosidade favoreceram as altas taxas de intemperismo do material de origem, geralmente pobre em bases, ou mesmo, por meio da remoção de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na, etc., gerando muitos solos ácidos e com baixa saturação por bases (Goedert et al., 1997; Plese, 2000). Independentemente do processo, a acidificação pode-se iniciar ou agravar, quando há a remoção das bases da superfície dos colóides do solo, o que pode acontecer pelo consumo de bases pelas plantas, pela erosão, etc. (Lopes & Guidolin, 1988).

Os solos ácidos são inadequados para o desenvolvimento da maioria das culturas, pois esses apresentam, associado à acidez, toxicidade de Al e deficiência de cálcio, ambos fatores apontados como responsáveis pelas restrições no crescimento do sistema radicular (Pavan et al., 1982; Lopes, 1989; Derome & Saarsalmi, 1999). Isso prejudica a produtividade das culturas, mesmo para aqueles solos que possuem boas características físicas, como é o caso da região dos cerrados (Lopes, 1983).

A acidez do solo foi inicialmente atribuída à presença de ácidos húmicos. Posteriormente, outros autores atribuíram a acidez ora ao Al^{3+} trocável, ora ao H^+ trocável, o que gerou muitas dúvidas, até que fosse aceita a idéia de que a acidez estaria ligada a ambos os fatores (Bellingieri, 1983). Segundo Yuan (1963), o pH no qual o Al^{3+} começa a se hidrolisar depende das quantidades de íons H^+ e Al^{3+} presentes no solo, ocorrendo em torno do valor de 5,3 a 5,4.

Basicamente, existem três tipos de acidez do solo: a acidez ativa, a acidez trocável e a acidez potencial. No primeiro caso, a acidez pode ser definida como todo o hidrogênio (H^+) presente na solução, cuja atividade pode ser medida, principalmente, por dois métodos potenciométricos (Bellingieri, 1983; Lopes, 1989), onde um utiliza uma suspensão de solo em água e o outro, uma suspensão de solo em cloreto de cálcio ($CaCl_2$) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Já a acidez trocável é formada pelos íons de Al^{3+} e H^+ quando estes estão adsorvidos na superfície dos solos por forças eletrostáticas, podendo ser extraídos empregando-se uma solução de KCl 1 mol L^{-1} , embora alguns trabalhos sugerem que, em condições naturais, a quantidade de hidrogênio trocável seja reduzida. Por último, a acidez potencial é o resultado do somatório da acidez devida aos íons Al^{3+} trocáveis e da acidez causada pelos íons H^+ fortemente ligados (ligação do tipo covalente) aos colóides com carga negativa. Essa acidez pode ser extraída com uma solução tampão SMP ($pH = 7,5$), ou com uma solução tamponada de sal neutro (acetato de cálcio) a $pH 7,0$ (Lopes & Guidolin, 1988; Plese, 2000).

2.3 Classificação dos corretivos de acidez

Os materiais que podem ser usados na correção da acidez dos solos são aqueles que possuem como princípio ativo, óxidos, hidróxidos, carbonatos e/ou silicatos de cálcio e magnésio. Dentre esses, o corretivo natural mais comum é o calcário, material relativamente abundante e mais amplamente empregado. (Bellingieri, 1983; Lopes, 1989, Lopes & Guidolin, 1988, 1992; Fageria, 2001).

Segundo a legislação brasileira vigente (Portaria SEFIS, nº 3 de 12/06/1986), os corretivos de acidez classificam-se em: i) calcário: materiais que possuem como componentes neutralizantes o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e o carbonato de magnésio ($MgCO_3$), cujos teores determinam sua classificação, conforme o Quadro 1; ii) cal virgem agrícola: produto obtido industrialmente

pela calcinação do calcário, apresentando o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de magnésio (MgO) como componentes principais; iii) cal hidratada ou cal extinta: produto obtido industrialmente pela hidratação da cal virgem, sendo o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e o hidróxido de magnésio (Mg(OH)₂) os constituintes principais; iv) calcário calcinado: produto obtido industrialmente pela calcinação parcial do calcário, constituído por CaCO₃ e MgCO₃ não-decompostos do calcário, além de CaO, MgO, Ca(OH)₂ e Mg(OH)₂; v) escória básica de siderurgia: sub-produto da indústria de ferro e aço, tendo o silicato de cálcio (CaSiO₃) e o silicato de magnésio (MgSiO₃) como componentes principais; vi) carbonato de cálcio: produto obtido pela moagem de margas, corais e sambaquis, cuja ação neutralizante se assemelha à do carbonato de cálcio dos calcários (Brasil, 1986).

QUADRO 1. Classificação dos calcários quanto aos teores de carbonato de cálcio (CaCO₃) ou óxido de cálcio (CaO) e carbonato de magnésio (MgCO₃) ou óxido de magnésio (MgO)

Classificação	Teor (em %)	
	MgCO ₃	MgO
Calcário calcítico	< 10	< 5
Calcário magnesiano	10 – 25	5 – 12
Calcário dolomítico	> 25	> 12

Fonte: Alcarde (1992).

O calcário é, portanto, um termo geral que abrange rochas carbonatadas ou fósseis, compostas, primariamente, de carbonato de cálcio e magnésio encontrados, principalmente, em quatro minerais (calcita, aragonita, dolomita e magnesita), podendo, ainda, ser encontradas quantidades variadas de impurezas, sendo a sílica e a alumina as mais comuns (Tyler, 1996; Misra & Tyler, 1999).

2.4 Avaliação da qualidade e eficiência dos corretivos de acidez

Os corretivos de acidez dos solos apresentam diversas características relacionadas com a qualidade, sendo o Poder de Neutralização (PN) e a reatividade (RE) as mais importantes. Entretanto, esses atributos isolados não possibilitam uma adequada avaliação dos corretivos (Alcarde, 1992) e, por essa razão, foram associados, dando origem ao termo Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), que é expressos pela equação:

$$\text{PRNT} = \text{PN} \times \frac{\text{RE} (\%)}{100}$$

O Quadro 2 mostra como os calcários podem ser classificados quanto ao PRNT:

QUADRO 2. Classificação dos calcários quanto ao PRNT

Tipo	PRNT (%)
A	45,00 a 60,00
B	60,10 a 75,00
C	75,10 a 90,00
D	Superior a 90,00

Fonte: Alcarde (1992)

O poder de neutralização de um corretivo de acidez é determinado analiticamente por meio da reação entre a amostra do corretivo e uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico relativamente diluído (Alcarde & Rodella, 1996). Nessa reação, o corretivo neutraliza o ácido, cuja quantidade é contabilizada. Segundo o princípio da equivalência química, a quantidade de ácido neutralizada equivale à quantidade de constituinte neutralizante presente na amostra, sendo o carbonato de cálcio (CaCO_3) a

substância tomada como padrão. Dessa forma, pode-se calcular a quantidade de CaCO_3 presente na amostra, expressando o resultado em “percentagem equivalente de carbonato de cálcio” ($\%E_{\text{CaCO}_3}$) (Alcarde, 1992). Juntamente com o PN, os valores das somas dos percentuais de CaO e MgO são os parâmetros utilizados pela legislação brasileira na classificação dos corretivos de acidez, conforme o Quadro 3.

QUADRO 3. Classificação dos corretivos de acidez quanto ao PN (% em CaCO_3) e percentagem de CaO e MgO

Corretivo de acidez	PN (% em CaCO_3)	Soma (%CaO + MgO)
Calcários	67	38
Cal virgem agrícola	125	68
Cal hidratada agrícola	84	60
Escórias	60	30
Calcário calcinado agrícola	80	43
Outros	67	38

Fonte: Alcarde (1992).

A reatividade é uma característica essencialmente dependente da granulometria, pois quanto mais fino for o corretivo, maior será sua velocidade de reação. Entretanto, outros fatores como as condições de solo e de clima (maiores ou menores valores da acidez do solo, temperatura e umidade) e a natureza química do corretivo também podem influenciar. A expressão matemática para a reatividade é dada por:

$$\text{RE (\%)} = \%F_{10-20} \times 0,2 + \%F_{20-30} \times 0,6 + \%F_{<50} \times 1$$

onde: $\%F_{10-20}$ = percentual do corretivo que passou na peneira ABNT nº 10 (2,00 mm) e ficou retido na peneira ABNT nº 20 (0,84 mm); $\%F_{20-30}$ = percentual do

corretivo que passou na peneira ABNT nº 20 ficou retido na peneira ABNT nº 50 (0,34 mm); %F_{<50} = percentual do corretivo que passou na peneira ABNT nº 50 e 0,2; 0,6; e 1 = taxas de reatividade das diferentes frações granulométricas.

Para os calcários, a legislação brasileira determina diferentes valores para a reatividade (tolerância de até 5%) conforme variam as frações granulométricas, segundo um período de três meses de reação do calcário no solo, o que pode ser visto no Quadro 4. Como a solubilidade das espécies neutralizantes presentes nos corretivos (CaCO₃: 0,014 g L⁻¹ a 25°C; MgCO₃: 0,106 g L⁻¹ a 25°C, Ca(OH)₂: 1,85 g L⁻¹ a 0°C; Mg(OH)₂: 0,009 g L⁻¹ a 18°C; CaSiO₃: 0,095 g L⁻¹ a 17°C) é baixa (Alcarde, 1992), a reatividade de um corretivo qualquer depende da moagem e da sua mistura com o solo (Lopes & Guidolin, 1988; Lopes, 1989; Plese, 2000).

QUADRO 4. Taxas de reatividade das partículas de diferentes tamanhos dos calcários após 3 meses (determinadas laboratorialmente)

Fração granulométrica		Taxa de reatividade (%)
Peneira nº (ABNT)	Dimensão (mm)	
> 10	> 2,00	0
20	2,00 - 0,84	20
50	0,84 - 0,30	60
< 50	< 0,30	100

Fonte: Alcarde (1992).

As interações entre os corretivos de acidez e as características do solo, como os teores de água no solo, a temperatura, o manejo do sistema em cultivo é que determinam a eficiência final do produto. Dessa forma, pode-se concluir que a eficiência dos corretivos de acidez não está ligada somente às suas características, mas também às diferentes situações ambientais nas quais esses produtos são empregados.

2.5 Corretivos de acidez e disponibilidade de micronutrientes no solo

Nos últimos anos, as operações agrícolas envolvidas no manejo do solo e da nutrição mineral das culturas, como a aplicação de corretivos, passaram a ter importância fundamental na maximização da produção numa determinada área. Lopes (1989) afirma que aplicações de fertilizantes sem o uso de corretivos agrícolas são uma prática inadequada, dada a estreita relação entre o pH, a disponibilidade e a absorção de nutrientes.

Os nutrientes podem ser classificados de acordo com critérios fisiológicos ou quantitativos. No primeiro caso, são divididos em quatro grupos conforme as funções desempenhadas nas plantas. Segundo o critério quantitativo, o carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são designados por macronutrientes, por serem necessários em quantidades mais elevadas, enquanto que o boro (B), o cloro (Cl), o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn), o molibdênio (Mo), o níquel (Ni) e o zinco (Zn), e são definidos por micronutrientes (Rajj, 2001).

À exceção do Fe, Cu, Mn e Zn, que apresentam uma diminuição na sua disponibilidade com a elevação do pH, os demais micronutrientes aumentam sua disponibilidade com a aplicação de corretivos. Esses podem ser fornecidos ao solo ou às plantas por aplicação foliar, na forma de sais minerais ou de quelatos (Lopes, 1989; 1999).

Segundo Camargo et al. (2001), a disponibilidade dos micronutrientes depende do pH, do potencial redox, do teor de matéria orgânica e associações com outros elementos do solo. Os micronutrientes podem ser divididos em catiônicos e aniônicos. Micronutrientes catiônicos como o Fe, Mn, Zn, Cu e Ni fazem parte da estrutura de várias enzimas, sendo importantes em vários processos metabólicos, como a fotossíntese, respiração celular, lenhificação dos tecidos e frutificação (Abreu et al., 2001; Borkert et. al., 2001).

De acordo com Fontes et al. (2001), os micronutrientes aniônicos principais incluem o B, Mo e Cl. O B reage com grupos hidroxil presentes em moléculas orgânicas, influenciando no metabolismo e transporte dos glucídios, metabolismo dos ácidos nucléicos, alongamento celular e a lenhificação das paredes celulares. O Mo faz parte de enzimas associadas ao metabolismo e fixação do nitrogênio atmosférico pelos rizóbios e microrganismos afins. O Cl participa na fotossíntese, na osmorregulação e no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos.

Os corretivos de acidez do solo, além do fornecimento de Ca e Mg, podem trazer alguns outros nutrientes como o Mn, Cu, B, Mo e Zn em menores concentrações, além de outros elementos não essenciais às plantas, como o Pb, Cr, Cd e As. Geralmente, esses nutrientes encontram-se em quantidades praticamente insignificantes, sendo liberados para o meio ambiente de forma muito lenta, à exceção daqueles materiais corretivos que são oriundos de regiões marcadas por anomalias geoquímicas, como os calcários de Paracatu, MG (Lima, 2001). Como os corretivos de acidez do solo podem ser oriundos de várias fontes (margas, corais, sambaquis, escórias, calcários) é natural que sua composição química apresente diferentes teores de nutrientes, mesmo dentre aqueles advindos de um mesmo local.

Assim, o presente trabalho objetivou analisar química, física e mineralogicamente quatro corretivos de acidez do solo do Estado de Goiás, verificar o comportamento e a disponibilidade de Ca, Mg, B, S e dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn nos solos por ocasião da adição dos corretivos de acidez, verificar o incremento nos componentes da produção do feijoeiro (produção de matéria seca da parte aérea, raiz e grãos) por adição de corretivos de acidez do solo e, por fim, verificar seu potencial de uso agrícola por meio de sua reação no solo em condições de casa-de-vegetação.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 125-150.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALCARDE, J.C.; RODELLA, A.A. Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 53, n.2-3, p.211-216, maio/dez. 1996.

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-60

BELLINGIERI, P.A. Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas. 1983. 99 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.E.; ABREU, C.A. Disponibilidade de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 151-185.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Decreto n. 86955 de 18 de fevereiro 1982. Portaria SEFIS, nº 3 de 12/06/1986., Brasília. 1986.

CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, p. 275-286, 2003.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 89-124.

COTTON, F.A. Advanced inorganic chemistry. 6.ed. New York: J. Wiley, 1999. 1354 p.

DEROME, J.; SAARSALMI, A. The effect of liming and correction fertilisation on heavy metal and macronutrient concentrations in soil solution in heavy-metal polluted scots pine stands. Environmental Pollution, v. 104, p. 249-259, 1999.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, nov. 2000.

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.

FONTES, R.L.F.; ABREU, C.A.; ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFÓS, 2001. p. 187-212.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; LOURENÇO, S. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils. In: MUNIZ, A.C. (Ed.). **Plant soil interactions at low pH**. Belo Horizonte: Embrapa, 1997. p. 97-104.

GOMES, F.T. et al. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1779-1786, dez. 2002.

LIMA, G.J.E.O. **Biodisponibilidade de cádmio, zinco e chumbo presentes em calcário comercial para o feijoeiro cultivado em três solos do noroeste de Minas Gerais**. 2001. 148 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 155 p.

LOPES, A.S. **Micronutrientes: filosofia de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 64 p.

LOPES, A.S.; GUIDOLIN, A. **Acidez do solo e calagem**. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1988, 16 p. (Boletim Técnico, 1)

MISRA, A.; TYLER, G. Influence of soil moisture on soil solution chemistry and concentrations of minerals in the calcicoles *Phleum phleoides* and *Veronica spicata* grown on a limestone soil. **Annals of Botany**, v. 84, p. 401-410, 1999.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 and CaSO_4 . *Soil Science Society of America Journal*, v. 6, p. 1201-1207, 1982.

PLESE, L.P.M. Efeito da umidade do solo na reatividade das frações granulométricas de um calcário. 2000. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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

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*, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.

RAIJ, B. Pesquisa e desenvolvimento em micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 1-10.

TYLER, G. Mineral nutrient limitations of calcifuge plants in phosphate sufficient limestone soil. *Annals of Botany*, v. 77, p. 649-656, 1996.

TYLER, G.; ZOHLLEN, A. Plant seeds as mineral nutrient resource for seedlings - a comparison of plants from calcareous and silicate soils. *Annals of Botany*, v. 81, p. 455-459, 1998.

YUAN, T.L. Some relationships among hydrogen, aluminum and pH in solution and soil systems. *Soil Science*, v. 95, p.155-163, 1963.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MINERALÓGICA DE CORRETIVOS DE ACIDEZ E REATIVIDADE EM SOLO

RESUMO

OLIVEIRA, Leyser Rodrigues. Caracterização química, física e mineralógica de corretivos de acidez e reatividade em solo. In: _____. Avaliação de materiais corretivos de acidez do solo e seus efeitos no desenvolvimento do feijoeiro em casa-de-vegetação. 2004. Cap. 2, p.16-44. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

Com o objetivo de avaliar o efeito de 4 corretivos de acidez oriundos do Estado de Goiás na correção da acidez e fertilidade do solo, conduziram-se dois experimentos em laboratórios e em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Utilizaram-se dois solos distintos, sob vegetação natural, representativos da região do cerrado goiano. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo dois solos (RQ – Neossolo Quartzarênico e LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico), cinco corretivos de acidez (quatro corretivos e um produto puro para comparação) em dois níveis de calagem (saturação por bases projetada para a necessidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em 50% e 70%), mais a testemunha (nível zero de calagem). Primeiramente, determinou-se o PRNT, %CaO e %MgO dos corretivos segundo o método oficial (Embrapa, 1997), submetendo, em seguida, os corretivos à análise por difratometria de raios-X e leitura dos teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn em espectrofotometria de absorção atômica. Em seguida, os corretivos foram adicionados em vasos contendo 2750 cm³ de solo nas quantidades calculadas para se atingir os valores de saturação por bases pretendidos, sendo incubados por 92 dias, quando, então, amostras de cada um dos tratamentos foram retiradas e submetidas à análise. Semanalmente, a quantidade de água calculada para se atingir 60% do volume total de poros (VTP) era repostada, ocasião em que o pH era medido e os vasos

* Comitê Orientador: Luiz Roberto G. Guilherme - Ufla (Orientador), Carlos Alberto Silva - Ufla, Janice Guedes de Carvalho - Ufla, Miralda Bueno de Paula - Eпамig.

trocados de posição. Os resultados indicaram que dentre os quatro corretivos avaliados, dois atenderam às normas estipuladas por lei, sendo classificados como calcários dolomíticos, um foi classificado como escória e o outro como fonte suplementar de cálcio e magnésio. Todos os corretivos promoveram aumento do pH, dos teores de Ca e Mg, saturação por bases e redução da saturação por alumínio. Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram encontrados em quantidades-traço, consideradas normais para esses corretivos. De maneira geral, concluiu-se que mesmo os corretivos que acidez que não atenderam à legislação atual consistiram em potenciais produtos de exploração agrícola, desde que as quantidades adicionadas respeitem os valores estipulados pelo método escolhido para se atingir os valores de saturação por bases almejado.

1 INTRODUÇÃO

Na avaliação dos corretivos de acidez, Alcarde (1992) determina o PN como um parâmetro-chave na análise química. Entretanto, conforme Galo & Catani (1954) citados por Prado & Fernandes (2000) afirmam, o PN não indica, necessariamente, a eficiência do corretivo de acidez. Os atributos químicos, mineralógicos e texturais dos solos como o pH, o poder tampão e a matéria orgânica no solo, por exemplo, têm sido apontados como influenciadores na solubilidade dos materiais calcários, podendo determinar variações de ação dentro de produtos que possuem uma mesma composição química e granulométrica, uma vez que o resultado final depende da interação entre os parâmetros do solo (Ye & Bjerle, 1994; Hosten & Gülsün, 2004).

Ademais, outros parâmetros influenciam na determinação do PN e, conseqüentemente, na eficiência dos corretivos, tais como a estrutura cristalina do material corretivo e sua granulometria (Bellingieri, 1983; Shih et al., 2000). Geralmente, as taxas de eficiência de cada fração granulométrica dos corretivos de acidez são determinadas em laboratório fazendo com que os valores da saturação por bases projetados (%) não sejam alcançados, pois a condição ideal de umidade dificilmente se repete em campo, dada a importância da água na solubilização do carbonato de cálcio presente no calcário (Misra & Tyler, 1999). Por fim, Alcarde & Rodella (1996) consideram que, do ponto de vista químico, a determinação do PN, usando uma solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, é considerada branda, o que coloca em dúvida o potencial real de solubilização integral dos componentes neutralizantes de uma amostra, principalmente no que se refere àqueles aprisionados em cristais como a sílica.

Analiticamente, são indicados dois métodos padrões para a determinação do PN: o da titulação potenciométrica e o da titulação com indicador. Este último é de difícil visualização da viragem do indicador, uma vez que a titulação

é feita na suspensão do resíduo da amostra. Com base nessas premissas, o objetivo do presente trabalho foi analisar química, física e mineralogicamente quatro corretivos de acidez do solo do Estado de Goiás e um produto puro para comparação (CaCO_3 e MgCO_3 , na proporção de 3:1, PRNT = 100%) pelo método oficial empregado pela Embrapa (1997), classificá-los segundo a legislação vigente e verificar o comportamento e a disponibilidade de Ca, Mg, B, S e dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn nos solos por ocasião da adição dos corretivos de acidez

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Determinação do PN e RE

Todos os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Relação Solo-Planta do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, à exceção do peneiramento do material corretivo, que foi realizada no Laboratório de Física deste mesmo departamento.

O poder de neutralização, capacidade potencial do corretivo para neutralizar ácidos, foi determinado segundo o método oficial proposto pela Embrapa (1997), com ligeiras modificações. Foram feitas três repetições, cada qual tomando-se 50 mL de uma solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ previamente padronizada em um béquer de 250 mL. Adicionou-se 1 g de cada material a ser avaliado, levando-os a fervura em chapa pré-aquecida a 100 °C durante 10 minutos. Após 30 minutos de resfriamento, o excesso de HCl presente em cada uma das amostras foi titulado potenciométricamente com uma solução de NaOH 0,25 mol L⁻¹, também previamente padronizada, já que o uso de indicador mostrou-se inadequado, devido ao resíduo suspenso das amostras. A quantidade de NaOH necessária para a viragem foi determinada com base na maior variação

do pH em relação ao volume do hidróxido de sódio adicionado ($\Delta\text{pH}/(\Delta\text{vol. NaOH})$).

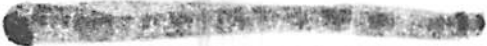
Paralelamente à avaliação química, a composição granulométrica dos corretivos de acidez também foi determinada conforme o método oficial (Embrapa, 1997). Utilizaram-se peneiras de diferentes malhas (ABNT n^{os} 10, 20 e 50), normatizadas conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas. Como os corretivos possuíam diferentes características texturais, o tempo de peneiramento foi estendido para 16 minutos, acima, portanto, dos 5 minutos propostos. Os dados aqui obtidos foram utilizados no cálculo do PRNT utilizado neste trabalho.

2.2 Determinação dos teores de Ca, Mg, micronutrientes e análise por difratometria de raios-X

Após a determinação do PN pelo método oficial, alíquotas de 5,0 mL de cada repetição foram retiradas e submetidas à leitura em espectrofotômetro de absorção atômica para determinação dos teores de Ca e Mg, além dos elementos-traço (micronutrientes) Fe, Cu, Zn e Mn. Por fim, as amostras dos corretivos foram submetidas à análise qualitativa por difratometria de raios-X, empregando-se o tubo de cobalto ($\lambda = 1,79 \text{ \AA}$), a 35 kV de voltagem e 25 mA de amperagem para a identificação dos principais minerais presentes.

2.3 Reatividade em solo e disponibilidade de micronutrientes

Para verificar a capacidade de elevação do pH e de alteração da disponibilidade de Ca, Mg, S e micronutrientes, instalou-se um experimento em condições de casa-de-vegetação, utilizando-se vasos de plástico de 3500 cm³ de capacidade nominal. O experimento foi montado em um esquema fatorial 5 x 2 (5 corretivos de acidez, 2 níveis de calagem, sendo de 50% e 70% os níveis de



saturação por bases projetados) com 4 repetições, mais a testemunha (em 4 repetições, nível zero de calagem) para cada um dos dois solos estudados, constituindo, portanto, em 88 parcelas experimentais. As quantidades de corretivos adicionadas foram calculadas com base no PRNT, obtido a partir do método oficial e calculadas de acordo com a necessidade de calagem sugerida pela Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais (1999).

Foram coletadas amostras da camada superficial (0 a 20 cm) de dois solos representativos do cerrado brasileiro, no Estado de Goiás, sob vegetação natural, abrangendo duas classes: Neossolo Quartzarênico (RQ) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura muito argilosa (LVAd). As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 5 mm de abertura e caracterizadas química e fisicamente (Quadro 5).

QUADRO 5. Principais características químicas e físicas dos solos utilizados antes da aplicação dos tratamentos¹.

Características	Solo	
	RQ	LVAd
pH em água (1:2,5)	5,8	5,3
P (mg dm ⁻³)	1,7	0,9
P-remanescente (mg dm ⁻³)	36,7	7,7
K (mg dm ⁻³)	33	25
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,8	0,2
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,1
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,7
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,7	7,0
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	1,1	0,4
CTC a pH 7,0 – T (cmol _c dm ⁻³)	2,8	7,4
CTC efetiva – t (cmol _c dm ⁻³)	1,2	1,1
Índice de saturação por bases – V (%)	38,8	4,9
Índice de saturação por Al – m (%)	8	66
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	13	33
Zn (mg dm ⁻³)	2,6	1,4
Fe (mg dm ⁻³)	132,3	325,4
Mn (mg dm ⁻³)	10,3	9,2
Cu (mg dm ⁻³)	1,3	1,6
B (mg dm ⁻³)	0,2	0,1
S (mg dm ⁻³)	5,8	8,4
Densidade aparente (g cm ⁻³)	1,45	0,91
Densidade de partícula (g cm ⁻³)	2,86	2,75
Argila (g kg ⁻¹)	60	630
Areia (g kg ⁻¹)	920	140
Silte (g kg ⁻¹)	20	230

¹ – Análises realizadas no DCS/Ufla

O pH em água (1:2,5) e as concentrações de P, Ca, Mg, Al e K foram determinadas conforme Vettori (1969), com modificações propostas pela Embrapa (1997).

Após a determinação da quantidade de corretivo necessária para se obterem os níveis de saturação por bases projetados em 50% ($V_{proj} = 50\%$) e 70% ($V_{proj} = 70\%$) para a cultura do feijoeiro, os corretivos foram pesados separadamente e adicionados, posteriormente, a cada parcela. Estas foram constituídas de vasos contendo 2750 cm³ de solo num sistema de drenagem fechada. Na seqüência, as quantidades de calcário correspondentes aos tratamentos foram adicionadas a cada vaso e a mistura homogeneizada em sacos individuais. Ao retornar a mistura de solo e corretivo para o vaso, buscou-se evitar a segregação das partículas através da massa de solo. Posteriormente, foi adicionada água deionizada suficiente para atingir o grau de umidade em torno de 60% do volume total de poros (VTP). Semanalmente, todos os vasos eram pesados, tendo o valor do seu pH em água (1:2,5) medido. A quantidade de água necessária para se atingir o grau de umidade desejado (60%) era repostada com base na variação de peso apresentada em relação ao peso inicial. O período de incubação estendeu-se de 07/02/03 a 02/05/03, num total de 13 semanas (92 dias) de incubação e, quando finalizado, tomaram-se amostras de cada parcela para a realização das análises químicas pertinentes.

2.4 Análise estatística

Análises de variância e teste de médias de Scott-Knott utilizando o programa Sisvar (DEX/Ufla) foram utilizados para a verificação da influência dos corretivos na elevação do pH e nos teores de nutrientes disponíveis nos solos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características químicas, físicas e mineralógicas dos corretivos

A Figura 1 mostra o ponto de viragem no qual o excedente de HCl presente na amostra do corretivo 1 foi neutralizado em função da adição do NaOH. Devido ao comportamento similar, as figuras que expressam essa relação foram omitidas para os demais corretivos.

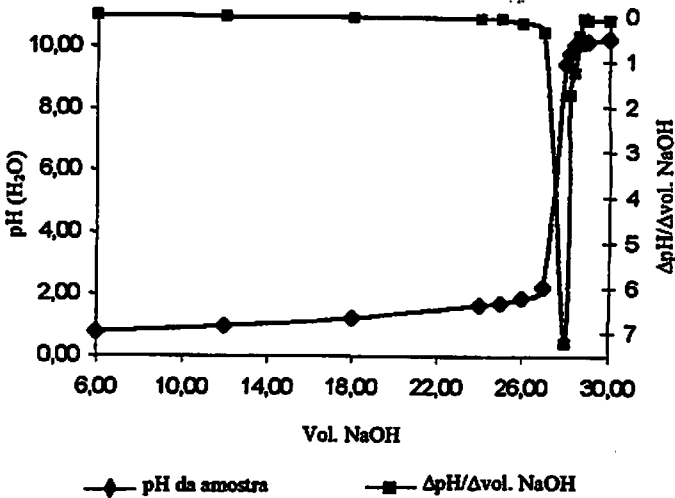


FIGURA 1. Valores de pH e $\Delta\text{pH}/\Delta\text{vol. NaOH}$ em função da titulação de HCl remanescente com NaOH.

Pela Figura 1, observa-se que o volume médio de NaOH gasto na titulação da amostra do corretivo 1 foi de 27,59 mL, o qual foi determinado pelo cruzamento das curvas do pH da amostra e do $\Delta\text{pH}/\Delta\text{vol. NaOH}$ em uma repetição. Dessa forma, o PN final de cada corretivo foi calculado pela média dos volumes de NaOH gastos nessa titulação. O Quadro 6 mostra ós resultados

das frações granulométricas, o PN, a reatividade e o PRNT de cada um dos corretivos, obtidos segundo o método oficial.

QUADRO 6. Parâmetros físicos e químicos dos materiais avaliados (valores médios de três repetições).

Corretivo	Composição granulométrica				PN ⁵ (% E _{CaCO₃})	RE ⁶ (%)	PRNT ⁷ (%)
	%F _{>10} ¹	%F ₁₀₋₂₀ ²	%F ₂₀₋₅₀ ³	%F _{<50} ⁴			
1	0,04	2,63	21,44	75,89	88,82	89,28	79,29
2	0,24	15,17	30,20	54,39	52,29	75,55	39,50
3	0,06	6,23	21,48	72,24	81,46	86,37	70,35
4	0,51	10,83	23,00	65,66	65,35	81,62	53,34

¹ - %F_{>10} = percentual do corretivo que não passou na peneira ABNT n° 10 (2,00 mm); ² - %F₁₀₋₂₀ = percentual do corretivo que passou na peneira ABNT n° 10 e ficou retido na peneira ABNT n° 20 (0,84 mm); ³ - %F₂₀₋₅₀ = percentual do corretivo que passou na peneira ABNT n° 20 ficou retido na peneira ABNT n° 50 (0,34 mm); ⁴ - %F_{<50} = percentual do corretivo que passou na peneira ABNT n° 50; ⁵ - PN = poder de neutralização; ⁶ - RE = reatividade; ⁷ - PRNT = poder relativo de neutralização total.

A legislação brasileira vigente (Portaria SEFIS, n° 3 de 12/06/1986) determina que os corretivos da acidez do solo devem passar 100 % pela peneira ABNT n° 10, 70 % pela peneira ABNT n° 20 e 50% pela peneira ABNT n° 50, cabendo uma tolerância de 5% para a peneira ABNT n° 10 (Brasil, 1986). Todos os corretivos analisados atenderam essa exigência.

Com base no conhecimento dos teores de Ca e Mg obtidos após a submissão das amostras à leitura em espectrofotometria de absorção atômica, pode-se refinar a classificação dos corretivos, conforme expressa a Quadro 7.

QUADRO 7. Classificação, teores de Ca e Mg e percentuais de CaO e MgO dos corretivos de acidez.

Corretivo	Ca	Mg	CaO ^(*)	MgO ^(*)	Classificação
	g kg ⁻¹		%		
1	220,67	82,27	30,89	13,71	Calcário
2	131,29	63,49	18,38	10,58	-
3	193,60	88,89	27,10	14,83	Calcário
4	164,06	74,64	22,97	12,44	Escória

(*) – Percentuais calculados admitindo que todo Ca e Mg estejam, respectivamente, sob a forma de óxidos.

Como se pode observar, apenas os corretivos 1 e 3 podem ser classificados como calcários. Analisando-se os teores de óxido de magnésio, pode-se subclassificar os calcários 1 e 3 como dolomíticos, pois os mesmos apresentam mais de 12% de MgO. Mesmo atendendo ao valor mínimo da soma das bases CaO e MgO (38%), o corretivo 4 foi classificado como escória, pois não atendeu ao PN mínimo de 67% estabelecido pela lei, estando, entretanto, com um PN bem próximo do valor exigido (65,35%). Dentre todos os corretivos avaliados, o corretivo 4 foi o que apresentou o menor valor de reatividade. Já o corretivo 2 não pode se enquadrar em qualquer categoria, pois não atende aos critérios mínimos determinados pela legislação para os teores de PN e a soma dos percentuais de CaO e MgO, devendo ser usado, segundo a lei, somente como uma fonte suplementar de Ca e Mg.

Os teores dos micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn foram quantificados nos corretivos, conforme expressa o Quadro 8 seguinte.

QUADRO 8. Micronutrientes presentes nos corretivos de acidez do solo¹.

Corretivo	Parâmetros químicos			
	Fe	Cu	Zn	Mn
	mg kg ⁻¹			
1	16,27	1,87	4,80	5,33
2	16,48	1,50	5,75	10,73
3	16,72	0,88	5,28	11,15
4	16,80	1,75	5,95	9,10

1- Extrator HCl 0,5 mol L⁻¹ e leitura em espectrofotometria de absorção atômica.

Todos os micronutrientes avaliados foram encontrados em doses baixas, quando se leva em consideração as doses necessárias de corretivo a se aplicar para suprir as necessidades da maioria das culturas, revelando, assim, a necessidade de adubação complementar, independentemente do tipo de corretivo escolhido. Segundo Warren et al. (1993), os teores de micronutrientes encontrados podem ser considerados normais para os corretivos de acidez do solo.

Segundo Tisdale & Nelson (1975) citados por Prado & Fernandes (2000), a reatividade e o efeito residual de corretivos de acidez são características antagônicas. Tomando-se o efeito residual como a diferença entre o PN e o PRNT e, com base nos resultados encontrados, pode-se observar, que o efeito residual apresentado pelo corretivo 2 é o mais elevado (12,79%), seguido do corretivo 4 (12,01%). Entre os classificados como calcários, pode-se esperar um efeito residual maior para o 3 em relação ao calcário 1, pois 11,11% do seu PN estaria atuante após 3 meses de reação, comparado a 9,53% para o calcário 1.

De acordo com Hosten & Gülsün (2004), as diferentes taxas de reatividade e conseqüentes efeitos residuais podem ser explicados pelo tamanho de partícula específico, pela pureza do corretivo, pela temperatura do ambiente e

pelo nível de dissolução dos sais envolvidos no meio reagente. Shih et al. (2000) afirmam que o tamanho da partícula é de tal importância que, mesmo em corretivos de igual pureza, o efeito residual é maior naqueles de partículas maiores.

Hosten & Gulsun (2004), ao medirem a reatividade de diferentes corretivos na Turquia, observaram que dentre os vários calcários estudados, os dolomíticos foram os que apresentaram o maior efeito residual, devido a presença de $MgCO_3$ oriundo de dolomitas em maior abundância. Na análise por difratometria de raios-X dos corretivos estudados, este mineral foi encontrado em quantidades, conforme ilustram os resultados obtidos e expressos na Figura 2.

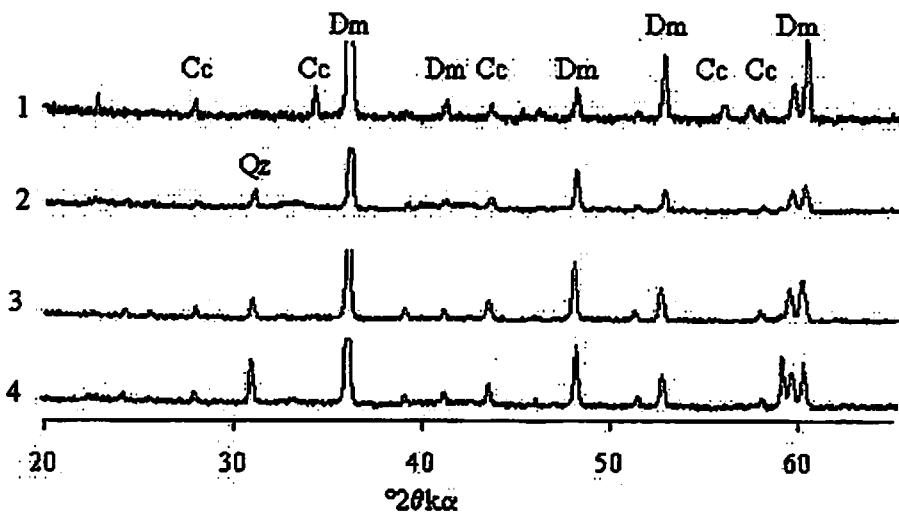


FIGURA 2. Difratomogramas dos corretivos de acidez 1, 2, 3 e 4 (Cc = calcita; Dm = dolomita; Qz = quartzo)

Embora as amostras não tenham sido submetidas a um pré-tratamento, os difratogramas permitiram uma boa identificação dos picos correspondentes à

calcita, dolomita e quartzo. Levando-se em conta o caráter semiquantitativo da difratometria de raios-X, percebe-se a presença de quartzo nos corretivos 2, 3 e 4 em pouca quantidade, o que justifica o pequeno pico no ponto de sua maior intensidade ($d = 3,34 \text{ \AA}$), além das maiores quantidades de dolomita em relação à calcita, o que já era esperado, uma vez que os calcários foram anteriormente classificados como dolomíticos. Possivelmente, a presença de quartzo nos corretivos 2, 3 e 4 seja mais uma causa que explique as diferentes reatividades e os efeitos residuais.

A escolha do corretivo deve, portanto, ser baseada na situação agrícola que demanda seu consumo, usando aqueles de reatividade mais rápida (1 e 3) nos casos de solos muito ácidos, culturas que demandem uma ação mais rápida, calagem tardia ou terrenos arrendados, por exemplo. Já os de menor reatividade (2 e 4) devem ser usados em culturas que demandam uma reação lenta tais como as perenes ou semiperenes, a exemplo dos citrus, café e pastagens. Em ambos os casos, deve-se considerar que o efeito residual do corretivo depende de outros fatores como a dosagem utilizada, o tipo de solo, a intensidade de cultivo e as eventuais adubações, além da umidade e do seu grau de contato com o solo, não desprezando, contudo, o aspecto econômico do projeto a ser implantado visando a melhor relação custo/benefício.

3.2 Reatividade em solo e disponibilidade de micronutrientes

Com base nos resultados do PRNT, calcularam-se as quantidades de corretivos necessárias para as saturações por bases almeçadas (50% e 70%) para a cultura do feijoeiro, as quais estão demonstrados no Quadro 9.

QUADRO 9. Quantidades de calcário adicionadas aos tratamentos¹.

Corretivo	PRNT (%)	V (%)	NC (t/ha)		NC (g/vaso)	
			RQ	LVAd	RQ	LVAd
1	79,29	50	0,39	3,93	0,44	4,42
2	39,50	50	0,78	7,89	0,88	8,88
3	70,35	50	0,44	4,43	0,49	4,99
4	53,34	50	0,58	5,84	0,65	6,58
MIST.	100,00	50	0,31	3,12	0,35	3,51
1	79,29	70	1,09	5,71	1,23	6,43
2	39,50	70	2,19	11,47	2,46	12,90
3	70,35	70	1,23	6,44	1,38	7,24
4	53,34	70	1,62	8,49	1,82	9,56
MIST.	100,00	70	0,87	4,53	0,97	5,10

¹- Quantidades calculadas segundo o método da saturação por bases.

Os solos utilizados no experimento são representativos das classes presentes na região estudada. A classe dos LVAd tem grande expressão no cerrado, apresentando o melhor potencial de cultivo dentre os dois solos estudados, sendo largamente cultivado para a produção de grãos (Gomes et al., 2002; Caires et al., 2003). Já o RQ não é muito recomendado, uma vez que o baixo teor de argila (menos de 5%) impede seu uso agrícola, sendo recomendado apenas para o uso de preservação ambiental, embora, na prática, isso não ocorra como regra.

De posse das amostras e após um período de 92 dias de incubação dos dois solos, todos os vasos foram amostrados. Os resultados da análise química dos solos são apresentados no Quadro 10. Os resumos das análises de variância são apresentados nos Quadros 1A, 2A, 3A e 4A.

A adição de corretivos agrícolas fez com que o pH fosse significativamente diferente ($P < 0,05$) entre a testemunha e os tratamentos aplicados no RQ e LVAd, sendo a maior elevação correspondente à maior dose. Paralelamente, houve uma expressiva redução do Al^{+3} trocável. A redução da saturação por alumínio ocorreu do mesmo modo, sendo mais evidenciada no

LVAd. Na Figura 3 é apresentado o comportamento de cada corretivo em relação ao pH durante as 13 semanas de incubação.

Tanto no RQ quanto no LVAd (exceto para o corretivo 4), a saturação por bases projetada em 50% foi ultrapassada. Embora todos os valores estejam próximos do estipulado, a saturação por bases projetada em 70% só foi alcançada na MIST do RQ e no corretivo 2 do LVAd e superada no corretivo 3 também do LVAd. Entre corretivos, a elevação da saturação por bases foi mais expressiva para aqueles aplicados no LVAd. Ambos solos apresentaram tendência de diminuição dos teores de Zn e Fe.

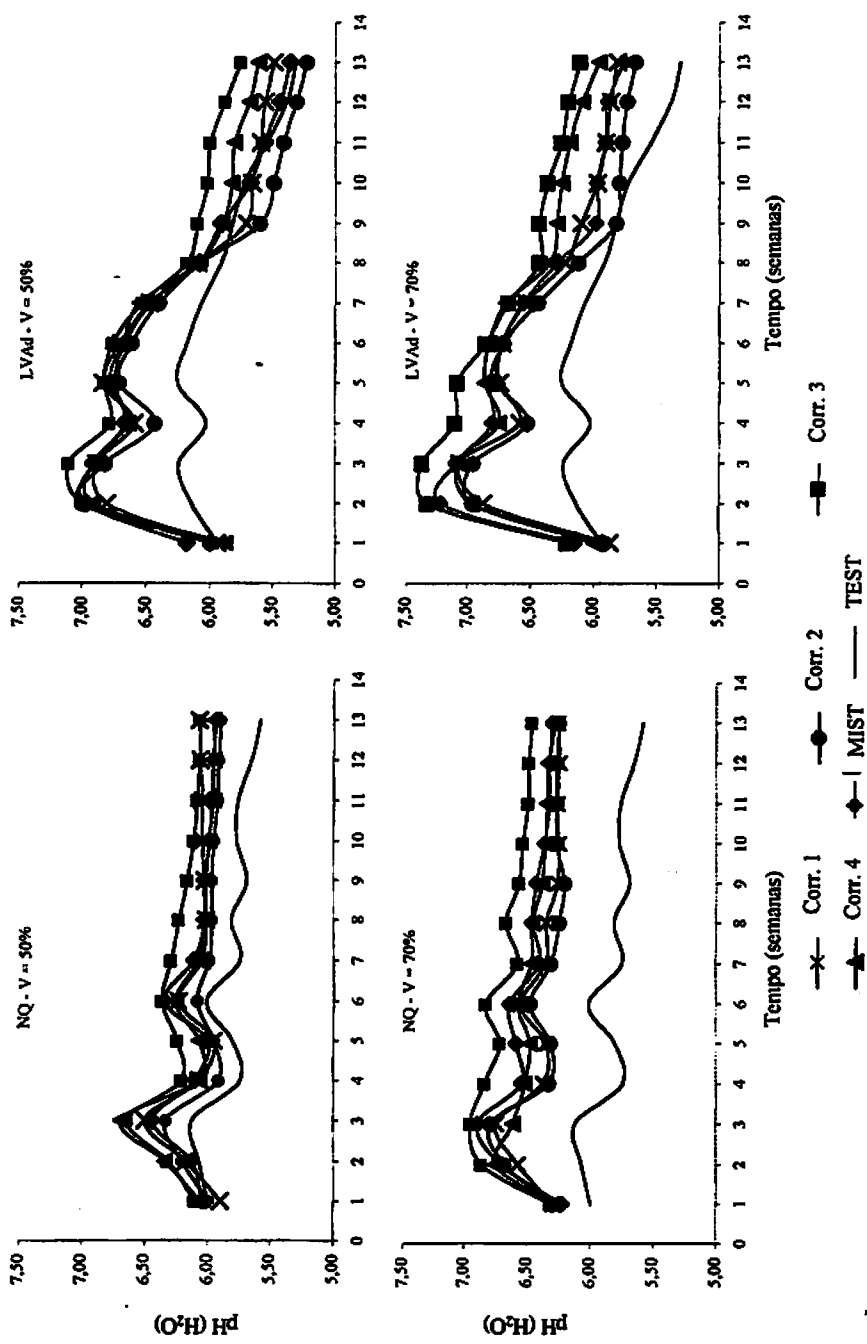


FIGURA 3. Comportamento do pH e reposição de água nos vasos durante 13 semanas de incubação.

Pela Figura 3 observa-se que houve oscilações significativas do pH durante a condução do experimento. Isso pode ter acontecido pela ação de diversos fatores como a água, a mineralização da matéria orgânica, dissociação de radicais OH expostos em arestas de fratura de minerais de argila e de óxidos hidratados de Fe e Al, o aumento da atividade microbiana, poder tampão do solo, temperatura, CTC do solo, podendo influir significativamente na variação do pH (Garcia, 1990; Alkattan et al., 1998; Rosolem et al., 2003). Dentre estes, sabe-se que a perda por volatilização do NH_3 é catalizada pela presença de CaO, mas como Zijlma et al. (2004) afirmam, esta reação é muito mais lenta do que outras reações de oxidação igualmente catalizadas pelo CaO, não podendo, portanto, ser apontado como um fator relevante. Segundo Vitti & Luz (2001), baixos teores de matéria orgânica não podem ter efeitos significativos nos valores do pH em solos tratados com corretivos, tais como os encontrados no presente experimento. Assim, acredita-se que o tipo e a quantidade de corretivo adicionada e sua interação específica com o solo tenham sido o fator-chave para este comportamento do pH neste experimento, uma vez que até o baixo teor de matéria orgânica permaneceu praticamente inalterado após a adição dos corretivos, o que pode ser verificado ao se comparar os dados do Quadro 10 com os do Quadro 5 do item 2.3 desta dissertação.

Juntamente com a adição dos corretivos agrícolas, ocorreram mudanças na disponibilidade de Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, B e S (Quadro 10) nos dois solos estudados.

O incremento do pH dos solos ocorreu em resposta às bases liberadas (HCO_3^- e OH^-) pela dissolução dos carbonatos presentes nos corretivos, aumentando, conseqüentemente, os teores de Ca e Mg nos solos de maneira significativa ($P < 0,05$). Tanto no RQ quanto no LVAd, a maior elevação em relação à testemunha ocorreu na saturação por bases de 70%. Não houve diferença estatística ($P < 0,05$) na relação Ca:Mg (Quadro 10) entre os corretivos

aplicados junto ao RQ; entretanto, no LVAd, houve diferenças significativas, embora, neste solo, a relação tenha sido menor do que a observada para o RQ.

Em relação ao Mn, quando se compara a testemunha em relação aos tratamentos aplicados, sua concentração também foi aumentada, o que se comprova pela diferença estatisticamente significativa ($P < 0,05$) encontrada no RQ e LVAd. No RQ, na $V_{proj} = 50\%$, não houve significância estatística entre os corretivos para o Mn, à exceção do corretivo 1. Na $V_{proj} = 70\%$ para o RQ e nos dois valores de saturação por bases projetado para o LVAd, o maior teor de Mn foi para o solo que recebeu o corretivo 2, de PRNT mais baixo. Embora a redução da disponibilidade do Mn com o aumento do pH seja um fato amplamente reportado na literatura (Garcia, 1990; Alcarde, 1992; Lopes, 1989; Fageria, 2001; Vitti & Luz, 2001; Prado & Fernandes, 2000; Prado et al., 2003), esse efeito não foi observado nos solos estudados. Borkert et al. (2001) relatam que as reações biológicas, a luz solar, a temperatura, o potencial redox e o equilíbrio com outros cátions, principalmente Fe, Ca e Mg aumentem a solubilidade do Mn.

O aumento da disponibilidade de B em relação à testemunha no RQ só foi observado para os corretivos 2 e 4 na $V_{proj} = 70\%$. O mesmo não ocorreu no LVAd, onde todos os tratamentos diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) da testemunha. Isso se deve, segundo Fontes et al. (2001), ao fato de que a maior parte do B no solo encontra-se fortemente ligada aos minerais de argila, principalmente os silicatados e aos óxidos cristalinos e amorfos de ferro e alumínio.

Para o S, também foi constatada uma diferença estatística entre os tratamentos e as testemunhas nos dois solos. Na $V_{proj} = 70\%$ para o RQ, foram verificados os maiores teores de S, tanto em relação à testemunha quanto à $V_{proj} = 50\%$. No LVAd, apenas o corretivo 1 não apresentou um teor maior de S em relação ao seu correspondente na $V_{proj} = 50\%$. Esse incremento de S nas

saturações por bases mais elevadas deve-se ao aumento do pH promovido pela adição dos corretivos.

O efeito da umidade é distinto para cada elemento, existindo vários trabalhos que relatam a diminuição dos teores de Zn devido a um aumento no regime hídrico e a adição de corretivos (Warren et al., 1993; Davis et al., 1995). Entretanto, segundo Abreu et al. (2001), o pH é o fator mais importante no controle da disponibilidade de Zn. No presente experimento, porém, não foi verificada qualquer interação significativa ($P < 0,05$) entre os teores de Zn encontrados e a adição dos corretivos (Quadro 10).

Diferenças significativas ($P < 0,05$) foram verificadas para o Cu. No RQ, os corretivos 3 e 5, na $V_{proj} = 50\%$, e os corretivos 3, 4 e 5, na $V_{proj} = 70\%$, aumentaram significativamente em relação à testemunha. O mesmo não foi observado para o LVAd. Embora o aumento do pH tenda a diminuir a disponibilidade de Cu no solo, Abreu et al. (2001) afirmam que baixos teores de matéria orgânica não permitem uma boa complexação deste elemento em formas inorgânicas insolúveis. Como os teores de matéria orgânica no RQ são menores do que os observados no LVAd (Quadro 10), acredita-se que este possa ter sido um dos fatores que determinaram esse comportamento para o Cu.

O Fe também teve sua disponibilidade significativamente reduzida ($P < 0,05$) em função da elevação do pH promovida pelos corretivos em ambos solos. Em amplo trabalho de revisão, Misra & Tyler (1999) observaram uma relação estreita entre o teor de água no solo e a calagem influenciando na disponibilidade de vários micronutrientes do solo. Dentre os elementos por eles estudados, o Fe foi o que apresentou a maior redução em função da elevação da umidade consorciada com a calagem. Há um incremento na concentração de HCO_3^- obtido com a adição de corretivos, o qual influencia fortemente a disponibilidade de Fe (e outros vários elementos), chegando a causar clorose em algumas espécies cultivadas como planta-teste. Isso se deve ao fato do Fe ser

imobilizado devido às interações com o HCO_3^- . No presente trabalho, acredita-se que a adição de água e corretivos de acidez favoreceu o aumento da atividade respiratória microbiana e a dissolução do CaCO_3 , liberando quantidades significativas de HCO_3^- e CO_2 , os quais reduziram os teores de Fe nos solos estudados.

Em outro estudo, Warren et al. (1993), trabalhando com resíduos oriundos do processamento de carvão no Canadá, de composição química e mineralógica semelhante a outros corretivos de acidez empregados no mundo, relatou que o teor total de Cu, Fe, Mn e Zn aumentou menos de 10% num solo que recebeu 167 t/ha desse produto. No presente experimento, nem a presença destes elementos nos corretivos estudados (Quadro 7) foi suficiente para compensar sua redução em função do aumento do pH, até porque estes elementos encontram-se em quantidades muito limitadas para terem alguma influência sobre os teores disponíveis de micronutrientes em solo.

Por fim, acredita-se que a diferenciação entre os corretivos nas alterações dos atributos químicos dos solos se deveu, provavelmente, as diferentes quantidades destes que foram adicionadas nos tratamentos e as interações que estes tiveram com o teor de água e os demais atributos do solo, como o poder tampão, o teor de matéria orgânica, óxidos, etc. O comportamento e a disponibilidade do Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, B, S e Zn presentes nos corretivos estudados está em de acordo com os os resultados obtidos em diversos estudos (Warren et al., 1993; Davis et al., 1995; Misra & Tyler 1999; Prado & Fernandes, 2000; Fageria, 2001; Caires et al., 2003; Prado et al., 2003).

4 CONCLUSÕES

- Os corretivos 1 e 3 podem ser classificados como calcários dolomíticos, 2 como escória e 4, fonte suplementar de cálcio e magnésio. Dentre estes, o corretivo 2 foi o que apresentou o efeito residual mais elevado (12,79%), seguido do corretivo 4 (12,01%); 3 (11,11%) e 1 (9,53%);
- Os corretivos 2 e 4, mesmo não podendo ser classificados como calcários devido seu baixo teor percentual de CaO e MgO e menor PRNT, se assemelharam a outros que obtiveram tal classificação na elevação do pH, fornecimento de Ca e Mg, elevação da saturação por bases no solo, redução do alumínio trocável, etc., constituindo, portanto, em potenciais produtos de exploração agrícola;
- Os teores de Ca, Mg, B, S elevaram-se significativamente com a adição dos corretivos de acidez, principalmente nas saturações por bases projetadas em valores mais altos, enquanto os teores de Fe, Cu, Mn e Zn tiveram comportamentos distintos em cada tratamento devido, possivelmente, às diferentes quantidades nas quais cada corretivo foi adicionada e a sua interação com os atributos do solo, estando, entretanto, em conformidade com os dados apresentados pela literatura científica atual.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 125-150.**

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).**

ALCARDE, J.C.; RODELLA, A.A. Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. **Scientia Agricola, Piracicaba, v. 53, n.2-3, p.211-216, maio/dez. 1996.**

ALKATTAN, M. et al. An experimental study of calcite and limestone dissolution rates as a function of pH from - 1 to 3 and temperature from 25 to 80°C. **Chemical Geology, v. 151, p. 199-214, 1998.**

BELLINGIERI, P.A. **Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas. 1983. 99 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.**

BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.E.; ABREU, C.A. Disponibilidade de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 151-185.**

BRASIL. Ministério da Agricultura. Decreto n. 86955 de 18 de fevereiro de 1982. Portaria SEFIS, nº 3 de 12/06/1986. Brasília. 1986.

CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 275-286, 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Lavras, 1999. 359 p.

DAVIS, J.G.; WEEKS, G.; PARKER, M.B. Use of deep tillage and liming to reduce zinc toxicity in peanuts grown on flue dust contaminated land. Soil Technology, v. 8, p. 85-95, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212 p. (Documentos, 1)

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 11, p.1419-1424, nov. 2001.

FONTES, R.L.F.; ABREU, C.A.; ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 187-212.

GARCIA, L. Efeito dos níveis de saturação em bases e micronutrientes sobre a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 1990. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

GOMES, F.T. et al. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 12, p.1779-1786, dez. 2002.

HOSTEN, Ç.; GÜLSÜN, M. Reactivity of limestones from different sources in Turkey. *Minerals Engineering*, v. 17, p.97-99, 2004.

LOPES, A.S. Manual de fertilidade do solo. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 155 p.

MISRA, A.; TYLER, G. Influence of soil moisture on soil solution chemistry and concentrations of minerals in the calcicoles *Phleum phleoides* and *Veronica spicata* grown on a limestone soil. *Annals of Botany*, v. 84, p. 401-410, 1999.

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

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*, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, fev. 2003.

SHIH, S.M.; LIN, J.P.; SHIAU, G.Y. Dissolution rates of limestone of different sources. **Journal of Hazardous Materials**, v. 79, p. 159-171, 2000.

VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim técnico, 7).

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Utilização agronômica de corretivos agrícolas. Piracicaba: FEALQ/GAPE, 2001. 96 p.

WARREN, C.J.; EVANS, L.J.; SHEARD, R.W. Release of some trace elements from sluiced fly ash on acidic soils with particular reference to boron. **Waste Management & Research**, v. 11, p. 3-15, 1993.

YE, A.; BJERLE, I. A numerical method for determination of particle size distribution of limestone based on pH-stat measurement. **Powder Technology**, v. 79, p. 273-277, 1994.

ZILMA, G.J. et al. NH₃ oxidation catalyzed by partially sulphated limestone – modeling and experimental work. **Fuel**, v. 83, p. 237-251, 2004.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA O FEIJOEIRO

RESUMO

OLIVEIRA, Leyser Rodrigues. Avaliação de corretivos de acidez como fonte de nutrientes para o feijoeiro. In: _____. **Avaliação de materiais corretivos de acidez do solo e seus efeitos no desenvolvimento do feijoeiro em casa-de-vegetação**. 2004. Cap. 3, p.45-99. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras*.

Conduziram-se dois experimentos em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras com o objetivo de avaliar o efeito de 4 corretivos de acidez do solo oriundos do Estado de Goiás, na correção da acidez do solo e fornecimento de nutrientes para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Utilizaram-se dois solos distintos, sob vegetação natural, representativos da região do cerrado goiano. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo dois solos (RQ – Neossolo Quartzarênico e LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico), cinco corretivos de acidez (quatro corretivos e um produto puro para comparação) em dois níveis de calagem (saturação por bases projetada em 50% e 70% para a necessidade do feijoeiro), mais a testemunha (nível zero de calagem). Realizou-se dois cultivos para o feijoeiro omitindo-se o fornecimento de Ca e Mg na adubação de plantio para evidenciar o efeito dos corretivos. Os tratamentos continham 3 plantas em cada vaso, sendo que uma foi colhida no período de florescimento para análise foliar e as demais foram conduzidas até o final do ciclo para determinação da matéria seca da parte aérea, grãos e raízes. Em todos os tratamentos, houve incrementos na produção de matéria seca da parte aérea, grãos e raízes em ambos solos, à exceção da testemunha, o que comprova a grande susceptibilidade do feijoeiro à acidez do

* Comitê Orientador: Luiz Roberto G. Guilherme - Ufla (Orientador), Carlos Alberto Silva - Ufla, Janice Guedes de Carvalho - Ufla, Miralda Bueno de Paula - Epamig



solo. Não houve grandes diferenciações entre os cultivos para a matéria seca de grãos, o que evidencia o efeito residual dos corretivos. A disponibilidade dos nutrientes avaliados variou em função do pH e das suas interações entre os solos. De maneira geral, conclui-se que mesmo os corretivos que acidez que não atendem à legislação atual consistem em potenciais produtos de exploração agrícola, desde que suas quantidades sejam adicionadas respeitando-se o método escolhido para se atingir o valor da saturação por bases almejado.

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta cultivada em mais de 100 países, destacando-se a Índia, Brasil, China, Estados Unidos e México, os quais respondem por mais de 60% da produção mundial, sendo o Brasil o maior consumidor de feijão, com cerca de 18,4 kg hab⁻¹ ano⁻¹ (IBGE, 1999).

A acidez do solo tem grande importância na produtividade agrícola. De acordo com a Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais (1999), somente após a prática de calagem é que se pode ter um panorama geral sobre a real disponibilidade de nutrientes, uma vez que o controle pH do solo em áreas marginais é o primeiro passo a ser dado no cultivo do feijoeiro. A correção da acidez é necessária, pois afeta diretamente o estado nutricional das plantas, alterando as características químicas e biológicas do solo. Segundo Lopes (1989), a calagem eleva o pH, sendo que quando este valor encontra-se entre 6,0 e 6,2, os nutrientes encontram-se em disponibilidade máxima (N, P, K, Ca, Mg, S e B) ou adequada (Mo, Fe, Cu, Mn e Zn).

O feijoeiro pode ser considerado uma planta sensível ao pH, sendo a faixa de 6,0 a 6,5 considerada ideal para o seu cultivo (Vieira, 1998). Segundo Fageria (2001), a adição de corretivos de acidez no cultivo do feijoeiro aumenta disponibilidade e, conseqüentemente, a absorção de Mo, aumenta a fixação simbiótica e assimilação de N, além de promover um maior desenvolvimento radicular, permitindo à planta, obter mais água e outros micronutrientes do solo.

Entretanto, a elevação do pH conduz a insolubilização do Fe, Zn, Mn e Cu. Garcia (1990) relatou a importância do fornecimento de micronutrientes para a cultura do feijoeiro e verificou o aumento da produtividade com a adição de B, Mo, Co e Zn, os quais promoveram uma maior fixação simbiótica de N,

observando, ainda, um aumento significativo na altura da planta, comprimento da raiz, número de vagens e peso da matéria seca total. A maior exigência nutricional foi observada no início da fase reprodutiva, sendo mais crítica por ocasião da formação dos grãos, quando considerável quantidade de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, são carreados para esse órgão da planta.

Galon et al. (1996), Moraes et al. (1998), Souza (2000) e Gomes (2002), dentre outros, observaram diferentes respostas do feijoeiro à aplicação de diferentes corretivos de acidez. Por essa razão, o objetivo do presente trabalho foi verificar a influência da adição de 4 corretivos de acidez, oriundos do Estado de Goiás, em dois solos, sobre os componentes da produção do feijoeiro (produção de matéria seca da parte aérea, raiz e grãos) em condições de casa-de-vegetação na produtividade do feijoeiro em dois cultivos, além do estudo do comportamento e a disponibilidade de Ca, Mg, B, S e dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn no tecido foliar do feijoeiro nos dois cultivos e nos solos após o 1º cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos contendo 2750 cm³ de solo, em condições de casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/Ufla).

As amostras de solo utilizadas foram as mesmas descritas no item 2.4 do Capítulo 2 desta dissertação, ou seja, solos representativos de duas classes do cerrado brasileiro: Neossolo Quartzarênico (RQ) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura muito argilosa (LVAd), seguindo o mesmo delineamento experimental (inteiramente casualizado, tipo 5 x 2, sendo 5 corretivos de acidez, 2 níveis de calagem, em 4 repetições e acrescido da testemunha, também em 4 repetições) para cada solo, totalizando 88 parcelas. Estas já continham os

corretivos avaliados nesse experimento, cuja caracterização química, física e mineralógica é descrita no item 3.1 desta dissertação, sendo adicionados nas quantidades apresentadas no Quadro 10 do Capítulo 2.

Foram realizados dois cultivos, onde o primeiro iniciou-se em 12/06/2003 e terminou em 20/09/2003 e o segundo, iniciou-se em 20/10/2003 terminando em 15/01/2004. Para a realização do plantio, cada parcela recebeu a adubação básica descrita no Quadro 11, utilizando-se, para esta finalidade, sais p.a., os quais foram dissolvidos em água e a solução foi aplicada uniformemente em cada vaso. Após a adubação, a umidade dos vasos foi elevada para cerca de 60% do VTP, aguardando-se 14 dias para o plantio. A adubação empregada foi a mesma para os dois solos, à exceção do P que foi aplicado em dose mais elevada no LVAd, devido à sua maior capacidade de fixação, conforme Malavolta et al. (1997). Em nenhum dos dois cultivos foram aplicados Ca e Mg via adubação, uma vez buscou-se, neste estudo, testar diferentes corretivos como fonte desses nutrientes.

QUADRO 11. Adubação por vaso para os solos RQ e LVAd¹.

Nutrientes	Conc. (mg dm ⁻³)	Fonte
N	300	NH ₄ H ₂ PO ₄ ; (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O; (NH ₄) ₂ SO ₄
P (RQ)	200	KH ₂ PO ₄ ; NH ₄ H ₂ PO ₄
P (LVAd)	300	KH ₂ PO ₄ ; NH ₄ H ₂ PO ₄
K	300	KH ₂ PO ₄
B	0,5	H ₃ BO ₃
Cu	1,5	CuSO ₄ · 5H ₂ O
Mo	0,1	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O
Zn	5,0	ZnSO ₄
S	50,0	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; CuSO ₄ · 5H ₂ O; ZnSO ₄

¹ – Adubação aplicada segundo Malavolta et al. (1997).

Foram semeadas 5 sementes de feijão pré-selecionadas (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar "Talismã", de grão tipo carioca (cor creme e estrias marrons), hábito de crescimento indeterminado, ciclo normal, fornecidas pelo Departamento de Biologia da Ufla. Após a semeadura, a umidade do solo foi mantida em cerca de 60% do VTP por meio de pesagens periódicas com a adição de água deionizada. Semanalmente, os vasos eram trocados de posição para atenuar os efeitos da diferença de luminosidade dentro da casa-de-vegetação. Após a germinação e emissão das folhas cotiledonares (cerca de 10 dias), foi realizado um desbaste, sendo, então, conduzidas 3 plantas em cada vaso.

A adubação de cobertura foi parcela em 5 vezes entre a germinação e os 45 dias do ciclo da cultura, quando foram aplicados, no total, no LVAd, 618 mg vaso⁻¹ de N, P e K e no RQ, 618 mg vaso⁻¹ de N e K e 367 mg vaso⁻¹ de P. Os sais eram dissolvidos em água destilada e adicionados semanalmente aos vasos.

Cerca de 40 dias após a germinação, durante a floração, uma planta foi colhida de cada vaso para análise de teores foliares dos elementos, sendo as duas restantes conduzidas até a colheita dos grãos. Após o final do ciclo das culturas, o qual ocorreu aos 96 dias no primeiro plantio e 85 dias no segundo, as plantas foram colhidas, sendo cortadas rente ao solo e separadas em grãos, parte aérea (palha das vagens, folhas e caule) e raízes. Estas últimas foram retiradas dos vasos por meio de peneiras de malha de 5 mm, após a evaporação da água que porventura o vaso pudesse conter, sendo então lavadas. Esse procedimento foi necessário para diminuir uma eventual perda de solo, uma vez que as parcelas seriam submetidas a novo cultivo. Todo o material vegetal foi seco em estufa, em temperaturas entre 60°C e 65°C até peso constante, pesado posteriormente e moído em moinho tipo Wiley e armazenada em sacos plásticos de 250 cm³.

No extrato obtido por digestão nitroperclórica do material foliar foram quantificados os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, e Zn por espectrofotometria de

absorção atômica, K por fotometria de chama, P por colorimetria, S por turbidimetria e o N total, pelo método micro-kjeldhal, conforme Malavoita et al. (1997). Para a determinação do teor de B, os extratos foram preparados a partir de amostras submetidas à incineração em mufla, a 550°C, utilizando-se a colorimetria com curcumina. Também foi feita uma nova amostragem dos solos entre o primeiro e o segundo plantio, sendo o procedimento de análise o mesmo descrito no item 2.3 do Capítulo 2 desta dissertação.

Os resultados de todas as variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância. Nos casos em que ocorreram diferenças significativas pelo teste F ($P < 0,05$), aplicou-se o teste de médias de Scott-Knott.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que a discussão dos dados aqui apresentados fosse feita de uma maneira mais ampla e comparativa, optou-se, nesta seção, por apresentar, primeiramente, os dados relativos à produção do feijoeiro nos dois cultivos. Em seguida, são apresentados os dados referentes aos resultados da análise de solo realizada após o 1º cultivo e, por fim, os resultados da análise do teor de nutrientes no tecido foliar do feijoeiro nos dois cultivos.

3.1 Componentes da produção

3.1.1 Produção de matéria seca da parte aérea

O Quadro 12 apresenta os resultados obtidos para a matéria seca da parte aérea para (MSPA) para cada um dos dois cultivos, nos dois solos, em função da adição dos corretivos. Os resumos das análises de variância encontram-se nos Quadros 5A, 6A, 7A e 8A.

QUADRO 12. Matéria-seca da parte aérea (MSPA) do 1° e do 2° cultivo do feijoeiro (em gramas vaso⁻¹) em função da adição de 5 corretivos de acidez do solo para dois valores de saturação por bases projetados (V_{proj}) em dois solos¹.

Solo	Corretivo	V_{proj} (%)	MSPA 1° cult.	MSPA 2° cult.	
RQ	TEST	0	9,35d	10,27f	
	1	50	17,50b	15,71e	
	2	50	14,79c	18,51c	
	3	50	16,80b	18,95c	
	4	50	17,11b	17,08d	
	MIST	50	16,93b	17,16d	
	1	70	21,48a	20,46b	
	2	70	17,49b	21,52a	
	3	70	22,73a	19,95b	
	4	70	21,14a	18,56c	
	MIST	70	22,08a	20,68b	
	LVAd	TEST	0	7,66g	9,09e
		1	50	17,57d	22,21b
		2	50	16,64e	18,97d
3		50	17,68d	21,93b	
4		50	15,07f	18,55d	
MIST		50	17,95d	19,42d	
1		70	25,86a	24,94a	
2		70	21,71b	21,63b	
3		70	23,02b	21,13c	
4		70	19,96c	20,43c	
MIST		70	22,35b	25,03a	

¹- Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, dentro de cada solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

Em todos os casos, a testemunha confirmou que a falta de corretivos constitui-se na maior restrição no crescimento das plantas. De maneira geral, ocorreram incrementos na produção de MSPA com o aumento da quantidade de corretivos adicionada para se atingir os valores da saturação por bases mais altos.

Para o primeiro cultivo no RQ, ao se analisar a produção de MSPA, independentemente dos valores de saturação por bases projetado, o corretivo 2 teve o rendimento mais baixo dentre os tratamentos aplicados e diferiu-se estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais, isto é, teve o rendimento mais baixo dentre os demais corretivos aplicados para a $V_{proj} = 50\%$ e teve também o pior desempenho dentre aqueles aplicados para a $V_{proj} = 70\%$. Não ocorreram diferenças significativas na produção da MSPA entre os corretivos 1, 3 e MIST na $V_{proj} = 70\%$ no RQ para o segundo cultivo. Comportamentos distintos também foram observados para a $V_{proj} = 50\%$ no segundo cultivo no RQ.

Para o primeiro cultivo no LVAd, não foram observadas diferenças para a MSPA entre os corretivos 1, 3 e MIST na $V_{proj} = 50\%$; na saturação por bases projetada mais elevada ($V_{proj} = 70\%$), ainda no primeiro cultivo, não foram observadas diferenças estatísticas entre os corretivos 2, 3 e MIST. Para a $V_{proj} = 50\%$ no LVAd no segundo cultivo, não ocorreram diferenças estatisticamente significantes entre os corretivos 2, 4 e MIST; também não foram observadas diferenças estatísticas entre os corretivos 1, 3 ($V_{proj} = 50\%$) e 2 ($V_{proj} = 70\%$).

Ao analisar a produção de matéria seca nos dois cultivos e nos dois solos, conclui-se que o tipo de solo, o tipo e a quantidade aplicada de cada corretivo determinou um comportamento distinto. Equações de regressão não puderam ser ajustadas em nenhum dos tratamentos devido ao pequeno número de doses (zero, $V_{proj} = 50\%$ e $V_{proj} = 70\%$) aplicado.

3.1.2 Produção de matéria seca da raiz

O Quadro 13 apresenta os resultados obtidos para a matéria seca da raiz (MSRAIZ) para cada um dos dois cultivos, nos dois solos em função da adição dos corretivos. Os resumos das análises de variância encontram-se nos Quadros 5A, 6A, 7A e 8A.

QUADRO 13. Matéria-seca da raiz (MSRAIZ) do 1º e do 2º cultivo do feijoeiro (em gramas vaso⁻¹) em função da adição de 5 corretivos de acidez do solo para dois valores de saturação por bases projetados (V_{proj}) em dois solos¹.

Solo	Corretivo	V_{proj} (%)	MSRAIZ 1º cult.	MSRAIZ 2º cult.	
RQ	TEST	0	6,83d	5,95d	
	1	50	10,99b	9,42c	
	2	50	8,61c	10,66b	
	3	50	10,53b	9,43c	
	4	50	9,18c	10,19b	
	MIST	50	11,56b	8,87c	
	1	70	13,21a	11,76a	
	2	70	11,94b	12,66a	
	3	70	12,43a	12,60a	
	4	70	14,09a	13,62a	
	MIST	70	13,30a	12,24a	
	LVAd	TEST	0	5,95f	6,75e
		1	50	9,42e	11,19d
2		50	10,66d	12,55c	
3		50	9,43e	10,91d	
4		50	10,19d	12,09c	
MIST		50	10,37d	10,58d	
1		70	11,26d	13,74b	
2		70	12,66c	14,84a	
3		70	12,60c	14,23b	
4		70	13,62b	15,84a	
MIST		70	14,99a	13,08b	

¹- Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, dentro de cada solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

A produção da MSRAIZ foi inferior em todos os solos, na ausência dos corretivos, confirmando a necessidade de correção de acidez, conforme discutido anteriormente.

A raiz do feijoeiro foi afetada significativamente ($P < 0,05$) pelos diferentes corretivos de acidez. De maneira geral, observa-se que ocorreram

incrementos no peso da MSRAIZ com a aplicação dos corretivos nos valores de saturação por bases mais elevados.

Para a MSRAIZ no RQ na $V_{proj} = 50\%$, houve diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$) entre os corretivos. Comparando-se os dois cultivos, observa-se que os corretivos tiveram um efeito inverso na $V_{proj} = 50\%$, isto é, o corretivo que proporcionou maior produção no primeiro cultivo não teve o mesmo efeito no segundo, onde teve menor produção. Já na $V_{proj} = 70\%$, independentemente do cultivo, os corretivos mostraram o mesmo comportamento estatístico, à exceção do corretivo do corretivo 2 no primeiro cultivo. Observa-se que na dose mais elevada, a MSRAIZ não apresentou diferenças significativas, à exceção, conforme fora dito, do corretivo 2. Na $V_{proj} = 50\%$, independentemente do cultivo, os corretivos 2 e 4 não foram estatisticamente diferentes.

A MSRAIZ para o LVAd no primeiro cultivo apresentou o mesmo comportamento estatístico significativo ($P < 0,05$) para os corretivos 2, 4 e MIST na $V_{proj} = 50\%$ e o corretivo 1 na $V_{proj} = 70\%$. No segundo cultivo, os corretivos 1, 3 e MIST na $V_{proj} = 50\%$ não foram estatisticamente significantes. O mesmo ocorreu na $V_{proj} = 70\%$ também no segundo cultivo, isto é, os corretivos 1, 3 e MIST não foram estatisticamente diferentes. Isso indica que, para este solo, no segundo cultivo, independentemente da dosagem aplicada, os corretivos tiveram a mesma influência na produção da MSRAIZ.

As razões para respostas na produção da MSRAIZ nos dois solos nos dois cultivos podem estar ligadas aos efeitos que as diferentes quantidades adicionadas dos diferentes corretivos de acidez aplicados tiveram sobre o pH, a saturação por bases e a relação Ca:Mg.

3.1.3 Produção de matéria seca dos grãos e matéria seca total

O Quadro 14 apresenta os resultados obtidos para a matéria seca dos grãos (MSGRAOS) e matéria seca total (MSTOTAL) para cada um dos dois cultivos nos dois solos em função da adição dos corretivos. Os resumos das análises de variância encontram-se nos Quadros 5A, 6A, 7A e 8A.

QUADRO 14. Matéria-seca de grãos (MSGRAOS) e matéria-seca total (MSTOTAL) do 1º e do 2º cultivo do feijoeiro (gramas vaso⁻¹) em função da adição de 5 corretivos de acidez do solo para dois valores de saturação por bases projetados (V_{proj}) em dois solos¹.

Solo	Corretivo	V_{proj} (%)	MSGRAOS	MSTOTAL	MSGRAOS	MSTOTAL	
			1º cult.	1º cult.	2º cult.	2º cult.	
RQ	TEST	0	3,16f	19,33e	3,22f	19,44e	
	1	50	9,66c	38,15b	8,94d	34,06d	
	2	50	6,49e	29,88d	11,16b	40,32b	
	3	50	9,69c	37,03b	9,90c	38,28c	
	4	50	7,52d	33,81c	10,62b	37,89c	
	MIST	50	7,41d	35,90c	8,06e	34,08d	
	1	70	13,07a	47,75a	12,51a	44,73a	
	2	70	9,44c	38,87b	11,90a	46,08a	
	3	70	13,09a	48,25a	12,16a	44,71a	
	4	70	11,49b	46,73a	12,77a	44,95a	
	MIST	70	10,90b	46,28a	11,84a	44,76a	
	LVAd	TEST	0	3,87e	17,48e	2,66g	18,49h
		1	50	13,34c	40,33d	13,91f	47,31e
		2	50	11,83d	39,13d	16,03e	47,54e
3		50	12,98c	40,09d	16,76e	49,60d	
4		50	10,42d	39,17d	14,35f	39,17g	
MIST		50	13,57c	41,89d	14,21f	44,21f	
1		70	15,92a	53,04a	19,59b	58,26a	
2		70	13,16c	47,53c	20,56a	57,03b	
3		70	14,98b	50,59b	18,94c	54,30c	
4		70	13,19c	46,77c	18,20d	54,47c	
MIST		70	15,93a	53,27a	18,04d	56,14b	

¹- Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, dentro de cada solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

A produção de grãos e a matéria seca total, que é a soma das matérias seca da parte aérea, raiz e grãos do feijoeiro, foram afetadas significativamente ($P < 0,05$) pelos diferentes corretivos de acidez.

No primeiro cultivo no RQ, o corretivo 2 na $V_{proj} = 70\%$ teve comportamento similar aos corretivos 1 e 3 adicionados na $V_{proj} = 50\%$. Independentemente da saturação por bases projetada no primeiro cultivo, os corretivos 4 e MIST não apresentaram diferenças significativas. Já no segundo cultivo, também no RQ, não houve diferenças significativas entre os corretivos na $V_{proj} = 70\%$, o que não aconteceu na $V_{proj} = 50\%$. Nesse caso, apesar do consumo do Ca e Mg pelas plantas do primeiro cultivo e a redução da saturação por bases, a produção foi similar à do primeiro cultivo. Isso pode ter ocorrido em função da diminuição do pH, o que propiciou uma maior disponibilidade de micronutrientes para as plantas e o efeito residual dos corretivos.

Observou-se, ainda, a relação existente entre o efeito residual dos corretivos nos dois cultivos e a MSGRAOS no RQ, independentemente da saturação por bases projetada. A ordem do PRNT dos corretivos (1>3>4>2) foi exatamente inversa à ordem de produção de MSGRAOS (2>4>3>1) quando comparados os dois cultivos, isto é, o tratamento que produziu mais no primeiro cultivo, produziu menos no segundo. Essa última relação também expressa o efeito residual determinado para os corretivos, conforme determinado e discutido no item 3.1 do Capítulo 2 desta dissertação. Essas mesmas relações entre efeito residual e produção de MSGRAOS nos dois cultivos não foram diretamente verificadas no LVAd.

Para o LVAd no primeiro cultivo, os corretivos 1 e 3 na $V_{proj} = 50\%$ foram estatisticamente semelhantes aos corretivos 2 e 4 na $V_{proj} = 70\%$ na produção da MSGRAOS. Acredita-se o aumento da quantidade de corretivo adicionada por ocasião da elevação da saturação por bases pretendida compensou o menor PRNT dos corretivos 2 e 4 em relação aos corretivos 1 e 3,

de PRNT's mais elevados. Isso já não ocorreu para o segundo cultivo, onde os corretivos 1, 4 e MIST só foram semelhantes para a $V_{proj} = 50\%$, onde outros fatores como o pH, a saturação por bases, relação Ca:Mg e a disponibilidade de nutrientes consorciados com o efeito residual dos corretivos pode ter sido a causa na distinção na produção da MSGRAOS.

A relação entre a produção de MSGRAOS e o efeito residual dos corretivos mostra-se particularmente importante ao se considerar que produtos aparentemente sem valor comercial, como é o caso do corretivo 2, podem apresentar boa eficiência agrônômica, tal como evidenciado no RQ. Esse efeito residual dos corretivos sobre a MSGRAOS ou sobre qualquer outro componente da produção (MSPA, MSRAIZ ou MSTOTAL) poderá ser mais bem verificado num eventual terceiro ou quarto cultivo nestes solos.

3.2 Resultados da análise de solo após o 1º cultivo

Os resultados da análise química dos solos após o 1º cultivo são apresentados no Quadro 15. Os resumos das análises de variância são apresentados nos Quadros 9A, 10A, 11A e 12A dos anexos.

QUADRO 15. Caracterização química das amostras de solo após o primeiro cultivo¹.

Solo	Trat.	V _{prej} (%)	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	t	T	V	m	Ca:Mg	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	
				mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%		g kg ⁻¹		mg dm ⁻³									
RQ	TEST.	0	5,38c	53,65a	62,00a	0,70c	0,20b	2,20a	1,28b	3,28a	32,48c	16,00a	3,50a	12,5a	6,85a	34,90a	7,95c	1,80a	0,13b	19,48d	
	1	50	5,88a	56,43a	77,25a	0,80b	0,20b	2,20a	1,33b	3,40a	35,28c	14,25a	4,00a	12,5a	7,05a	35,60a	8,70b	1,88a	0,18a	34,33b	
	2	50	5,90a	57,98a	53,00a	0,78c	0,20b	2,20a	1,33b	3,33a	34,40c	14,75a	3,90a	11,8a	6,63a	35,43a	8,38c	1,98a	0,15b	26,90c	
	3	50	5,60b	60,68a	67,25a	0,73c	0,20b	2,15a	1,30b	3,28a	34,13c	15,25a	3,65a	12,5a	7,30a	32,78a	8,45c	1,85a	0,15b	27,45c	
	4	50	5,38c	60,35a	56,25a	0,73c	0,20b	2,23a	1,48a	3,33a	32,20c	17,50a	3,65a	12,3a	6,95a	33,85a	8,00c	1,93a	0,10b	18,18d	
	MIST.	50	5,28c	62,08a	71,00a	0,78c	0,20b	2,20a	1,50a	3,38a	34,55c	14,75a	3,90a	12,3a	6,73a	32,70a	8,15c	2,00a	0,10b	26,50c	
	1	70	5,53c	59,05a	65,00a	0,83b	0,45a	2,05a	1,63a	3,48a	41,10a	12,50b	1,84b	12,8a	7,53a	35,43a	9,05b	1,90a	0,18a	27,30c	
	2	70	5,50c	46,73b	51,25a	0,90a	0,45a	2,10a	1,63a	3,58b	41,13a	9,25b	2,00b	12,8a	7,08a	35,60a	9,78a	1,80a	0,20a	24,78c	
	3	70	5,60c	48,60b	53,00a	0,93a	0,40a	2,00a	1,45a	3,45a	42,00a	9,75b	2,33b	12,8a	7,00a	32,90a	8,78b	2,03a	0,20a	26,10c	
	4	70	5,55c	51,68b	58,25a	0,83b	0,30b	2,15a	1,43a	3,43a	37,05b	11,25b	2,77b	13,0a	6,70a	34,15a	8,55b	2,00a	0,20a	27,40c	
	MIST.	70	5,28c	53,50b	55,25a	0,90a	0,40a	2,33a	1,65a	3,78b	37,88b	12,75b	2,25b	12,8a	6,98a	33,43a	8,05c	1,85a	0,20a	44,40a	
	LVAd	TEST.	0	4,88d	32,18a	263,00a	0,45f	0,20f	8,80a	1,98d	10,13a	13,00e	33,50a	2,25a	32,5a	5,50b	86,40a	8,00d	1,68a	0,20a	44,35a
		1	50	5,33c	27,88a	192,50a	1,68c	1,38c	5,50d	3,78b	9,05c	38,98b	6,75c	1,22b	31,0a	4,98b	81,85a	7,93d	1,55a	0,28a	41,65a
		2	50	5,43c	27,48a	102,75b	1,40d	1,48c	6,13c	3,35b	9,25c	33,90c	6,25c	0,95c	31,0a	5,30b	60,45b	10,70b	1,58a	0,28a	41,20a
		3	50	5,53b	25,40a	137,50b	1,55c	1,60c	5,63	3,65b	9,13c	38,18b	5,75c	0,97c	31,0a	4,98b	66,73b	9,08c	1,48a	0,25a	43,55a
		4	50	5,23c	31,68a	96,75b	1,05e	0,85e	7,45b	2,50c	9,60b	24,93d	14,00b	1,24b	31,0a	5,90a	72,25b	9,05c	1,70a	0,15b	37,35a
MIST.		50	5,28c	30,35a	116,50b	1,40d	0,80e	6,65c	2,80c	9,13c	27,35d	10,50b	1,75a	32,3a	5,23b	69,95b	7,10d	1,60a	0,20a	42,40a	
1		70	5,43c	24,25a	107,75b	1,93b	1,55c	5,30d	3,90b	9,05c	41,43c	4,00c	1,25b	31,5a	5,08b	69,55b	7,38d	1,58a	0,25a	36,83a	
2		70	5,65a	34,75a	136,50b	1,95b	2,10a	4,53e	4,40a	8,93c	49,33a	1,35c	0,93c	31,8a	6,15a	57,60b	13,25a	1,68a	0,28a	35,73a	
3		70	5,75a	43,33a	94,50b	2,25a	2,23a	4,33e	4,60a	8,88c	51,63a	1,25c	1,01c	31,0a	6,10a	57,78b	10,43b	1,55a	0,10b	49,53a	
4		70	5,38c	24,45a	97,75b	1,28d	1,78b	6,30c	3,50b	9,60b	34,28c	5,50c	0,72c	31,8a	5,90a	70,20b	10,28b	1,63a	0,10b	35,23a	
MIST.		70	5,50b	27,73a	76,25b	2,05b	1,05d	5,95d	3,43b	9,23c	35,65c	4,25c	1,95a	31,0a	6,25a	62,30b	7,00d	1,63a	0,10b	36,88a	

¹ - Análises realizadas no DCS/Ufla. Médias seguidas por uma mesma letra numa mesma coluna e para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Scott_Knott, ao nível e 5%.

Tanto o solo RQ quanto o LVAd apresentaram tendência de redução do pH quando comparado ao pH antes do 1º cultivo (Quadro 10, item 3.2, Capítulo 2), sendo que os corretivos diferenciaram-se entre si dentro de uma mesma dosagem. No RQ, o corretivo 3 apresentou o mesmo valor de pH nas duas dosagens calculadas para os dois níveis de saturação por bases projetados. Também não houve diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os corretivos 1 e 2 que, mesmo possuindo PRNT's tão diferentes, apresentaram o mesmo valor de pH em ambos solos, à exceção da dosagem calculada para a $V_{proj} = 70\%$ no LVAd, o que pode ser explicado pelo efeito residual.

Segundo Vitti & Luz (2001), a relação Ca:Mg apropriada para a cultura do feijoeiro é de 4 a 6. Embora essa relação seja uma propriedade desejável, mas secundária, no presente experimento, a relação Ca:Mg só esteve próxima da faixa ideal na $V_{proj} = 50\%$ do RQ. Nos dois solos, entretanto, os valores de Ca e Mg apresentam-se abaixo do ideal, o que se confirma pelos valores de saturação por bases encontrados, onde o menor valor foi referente ao corretivo 4. A redução dos teores destes elementos se deu em função de seu consumo pelas plantas de feijoeiro. No RQ com $V_{proj} = 50\%$, a relação Ca:Mg só foi alcançada devido ao grande consumo de Mg em relação ao Ca, o que, evidentemente, aumentou essa relação.

A redução da saturação por alumínio (m%) no RQ só foi significativamente diferente ($P < 0,05$) entre as dosagens aplicadas, não se diferenciando entre corretivos. No LVAd, não houve diferenças significativas entre corretivos na $V_{proj} = 70\%$, mas na $V_{proj} = 50\%$, os corretivos 4 e a MIST foram menos eficientes que os demais, não se diferenciando significativamente entre si ($P < 0,05$). A saturação por bases alcançada e a redução da saturação por alumínio indicam um comportamento similar dos corretivos, quando respeitadas as quantidades calculadas.

Nova análise estatística foi feita, comparando-se os micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn antes e após o 1º cultivo. Verificou-se que estes aumentaram significativamente ($P < 0,05$) se comparados ao solo antes do 1º cultivo, como pode ser visualizado na Figura 4. O resumo das análises estatísticas aqui empregadas pode ser visualizado nos Quadros 13A e 14A nos anexos desta dissertação. O Zn e o Cu tiveram suas disponibilidades aumentadas devido à adição destes na adubação de plantio e à redução do pH e à interação dos atributos do solo com os corretivos, ao passo que o Fe e Mn tiveram suas disponibilidades aumentadas em razão da diminuição do pH e das reações de interação entre o solo e o corretivo, uma vez que estes não foram adicionados junto aos solos.

Os dois solos apresentaram reduções nos teores de Ca e Mg, sendo o RQ, o solo que apresentou a maior redução de Mg em relação ao solo antes do plantio. Essa redução, conforme já foi dito, deve-se ao consumo desses elementos pelo feijoeiro e pela acidificação provocada pela adubação de plantio e os exudados liberados pelas raízes, tendo como consequência, a diminuição do pH e a diminuição nos valores da saturação por bases (Marschner, 1997). Segundo Vitti & Luz (2001), a aplicação de fertilizantes pode resultar na acumulação de ácidos, como os descritos na equação abaixo:



Como o sulfato de amônio foi empregado na adubação de plantio (Quadro 11), acredita-se que este pode ter sido uma das causas da acidificação do solo (Sánchez, 2004).

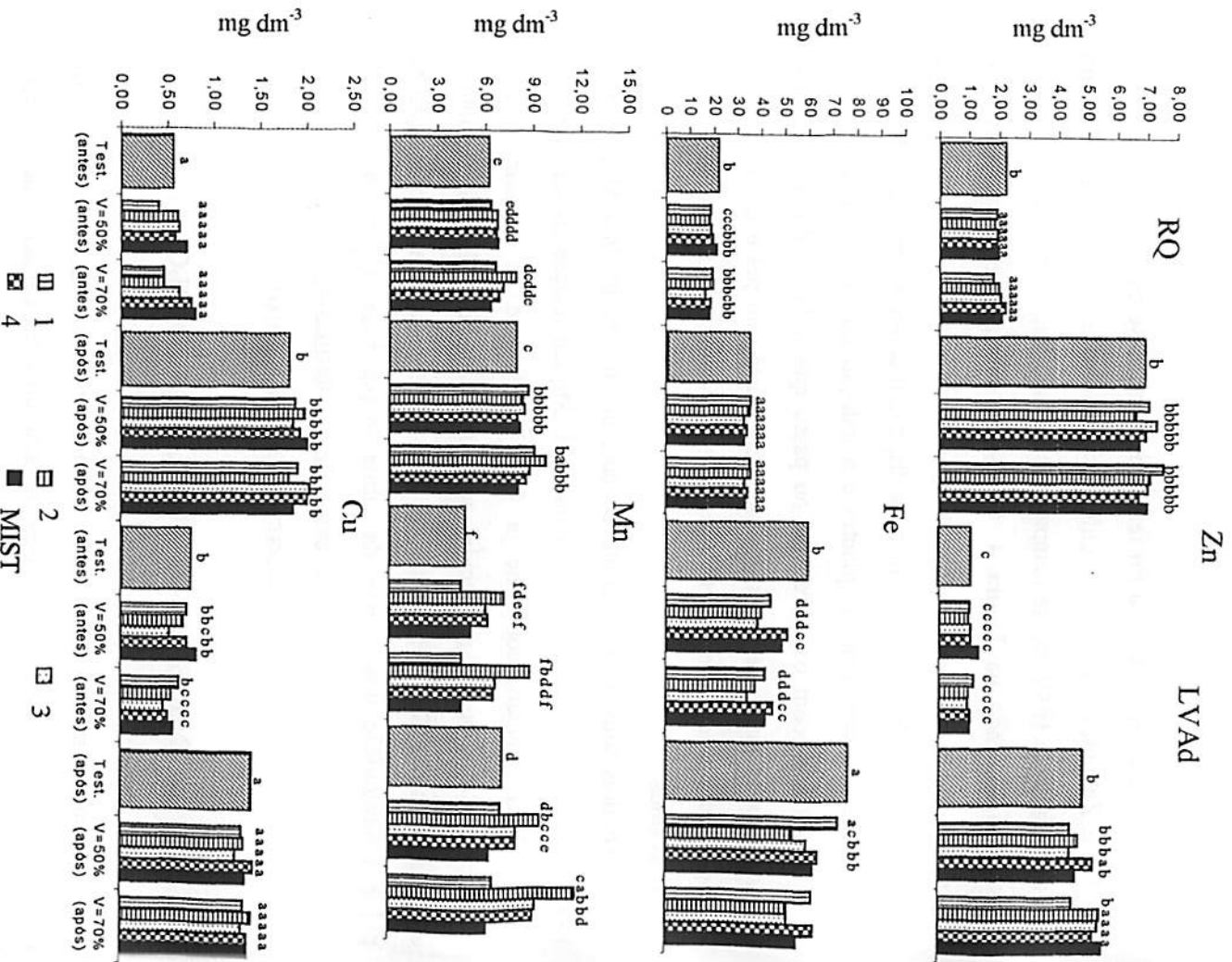


FIGURA 4. Disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn entre os solos antes e depois do 1º plantio (Test. (antes) e Test. (após) = testemunha antes e após o 1º plantio, respectivamente; V=50% (antes), V=70% (antes), V=50% (após) e V=70% (após) = saturação por bases projetada em 50% e 70% antes e após o 1º plantio, respectivamente). Médias seguidas por uma mesma letra num mesmo solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

O S, apesar da redução do pH, também teve incrementos significativos em função de sua adição no solo, o que indica que este elemento não é tão sensível ao pH quanto o Fe, por exemplo. Já o B, mesmo sendo adicionado, teve sua disponibilidade reduzida, o que deve ter ocorrido em função do consumo pelas plantas e pela redução do pH. Os baixos teores encontrados pode ter sido uma das causas de limitação de crescimento do feijoeiro.

Por fim, cabe salientar que o efeito residual dos corretivos e suas implicações sobre o pH pode ter determinado os comportamentos distintos para cada elemento dentre os tratamentos estudados. Os mecanismos que regulam o comportamento e a biodisponibilidade dos nutrientes em função do pH foram discutidos no item 3.2 do Capítulo 2 desta dissertação.

3.3 Teores de nutrientes no tecido foliar

Os diferentes corretivos de acidez utilizados afetaram significativamente ($P < 0,05$) os teores dos nutrientes nas folhas (Quadros 16 e 17). Os resumos das análises de variância encontram-se nos Quadros 15A, 16A, 17A, 18A, 19A, 20A, 21A e 22A.

Os maiores teores de Ca e Mg foram encontrados no LVAd para os dois cultivos, onde também constatou-se um maior elevação na saturação por basés projetada. Isso se deve aos baixos teores de argila do RQ em relação ao LVAd, fazendo com que estes elementos, nas doses mais elevadas, permaneçam como íons livres na solução do solo, o que aumenta sua disponibilidade e, conseqüentemente, seu consumo. Tal afirmação pode ser constatada quando se compara o segundo com o primeiro cultivo, ocasião em que os teores de Ca no tecido foliar reduziram mais acentuadamente no RQ que no LVAd, alterando significativamente a relação Ca:Mg.

Os teores foliares dos nutrientes considerados adequados para a cultura do feijoeiro (Quadro 1B, anexado ao final desta dissertação) podem variar, segundo Malavolta et al. (1997) em função de uma série de fatores, tais como o solo, cultivar, época de amostragem, tipo de folha amostrada, condições de campo, etc, podendo, entretanto, estabelecer-se uma faixa geral de teores considerados adequados para a cultura do feijoeiro. Observando-se esses limites, verifica-se que os teores ideais de Ca no RQ só foram atingidos no 1º cultivo, sendo alcançados em ambos cultivos no LVAd, à exceção das testemunhas. Os teores de Mg foram atingidos em ambos solos e em ambos cultivos, à exceção da testemunha no segundo cultivo. Embora sejam estatisticamente diferentes, a proximidade dos valores encontrados para a relação Ca:Mg sugere que mesmo os corretivos de menor PRNT tem efeitos semelhantes aos corretivos de maior PRNT devido ao maior efeito residual esperado para os cultivos seguintes, desde que respeitadas as doses prescritas segundo os a necessidade de calagem de cada corretivo.

QUADRO 16. Teores foliares de nutrientes no feijoeiro por ocasião do florescimento no 1º cultivo.

Solo	Corretivo	V _{proj} (%)	g kg ⁻¹						Ca:Mg	mg kg ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
RQ	TEST	0	25,55b	2,97a	13,38f	7,10h	5,38f	3,70a	1,32d	87,63a	8,90b	453,96b	516,47a	93,03a	
	1	50	27,80b	2,47e	14,25e	14,16e	8,20c	2,64e	1,73c	69,67d	30,43a	418,50b	302,50c	84,47c	
	2	50	25,90b	2,62d	13,60f	12,97g	7,98d	2,85d	1,63c	64,66e	29,52a	423,82b	335,41b	83,26c	
	3	50	23,90b	2,50e	16,01c	13,61f	8,38c	3,25c	1,62c	68,25d	26,51a	424,96b	258,72e	76,38d	
	4	50	19,80b	2,97a	17,54a	14,29e	7,42e	3,07c	1,93b	82,78b	10,08b	482,96b	343,40b	89,17b	
	MIST	50	27,00b	2,71c	15,13d	15,92c	8,45c	3,36b	1,88b	89,53a	8,25b	527,10a	279,37d	76,83d	
	1	70	37,00a	2,79b	14,69c	17,16b	8,76b	2,93d	1,96b	81,65b	9,70b	414,24b	242,47f	54,19f	
	2	70	39,30a	2,90a	16,67b	17,28b	9,40a	2,37f	1,84b	75,12c	7,78b	410,53b	207,66g	40,82h	
	3	70	27,60b	2,70c	12,28g	15,25d	8,97b	3,18c	1,70c	66,43e	7,95b	345,11c	185,61h	54,37g	
	4	70	26,15b	2,55e	11,84g	15,32d	8,27c	2,98d	1,85b	82,86b	7,88b	388,91c	234,90f	58,32f	
	MIST	70	37,00a	2,81b	17,54a	18,59a	7,35e	2,83d	2,53a	56,81f	10,56b	397,06b	185,05h	66,19e	
	LVAd	TEST	0	26,05f	1,71c	10,96a	4,17i	4,00h	1,79d	1,04h	60,00a	5,72e	637,63a	440,33a	88,55b
		1	50	33,10d	2,08d	9,21c	23,09g	9,42e	1,91c	2,45c	34,36f	8,84a	445,45e	147,47g	56,16d
2		50	35,35c	2,38b	10,74a	22,30h	12,42a	1,95c	1,80g	59,17a	7,28b	424,27f	214,24c	43,69g	
3		50	31,70e	2,20c	10,09b	22,34h	12,71a	1,91c	1,76g	57,21a	7,44b	386,75g	167,84e	41,57h	
4		50	32,30d	2,08d	9,43c	21,98h	11,57c	1,74d	1,90f	56,04b	6,46d	417,40f	257,62b	48,39f	
MIST		50	35,80c	2,59a	11,18a	26,15e	5,50g	2,15a	4,75b	52,30c	7,52b	315,70i	195,38d	59,81c	
1		70	39,8a	2,55a	10,74a	25,29f	10,53d	2,25a	2,40c	52,30c	7,03c	501,51c	171,04e	50,17e	
2		70	36,00c	2,26c	10,31b	28,78c	12,09b	1,69d	2,38c	48,08d	7,66b	531,47b	161,92f	45,19g	
3		70	38,2b	2,52a	11,18a	28,08b	12,49a	2,04b	2,25d	43,81e	7,72b	453,82d	102,85i	39,48i	
4		70	30,00e	2,52a	11,18a	26,94d	12,70a	2,15a	2,12e	54,14b	6,93c	528,42b	263,95b	95,62a	
MIST		70	34,35d	2,48a	12,28a	32,47a	6,07f	1,85c	5,35a	45,42e	6,94c	377,27h	131,14h	48,20f	

1- Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, dentro de cada solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

QUADRO 17. Teores foliares de nutrientes no feijoeiro por ocasião do florescimento no 2º cultivo.

Solo	Corretivo	V _{proj} (%)	g kg ⁻¹						Ca:Mg	mg kg ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
RQ	TEST	0	19,25f	4,80b	10,82b	4,30h	2,79h	8,45a	1,54c	46,63g	25,65a	454,23c	466,26c	123,20d	
	A	50	31,80c	4,45d	12,15a	8,02f	5,54f	7,42c	1,45d	70,20b	8,09c	405,12c	431,34d	131,18d	
	B	50	18,25f	5,50a	13,03a	9,11e	7,57c	7,16c	1,20f	76,18a	17,13b	532,70a	453,75c	131,86d	
	C	50	27,00e	4,62b	10,60b	9,36e	7,45c	7,22c	1,26e	20,46h	8,94c	411,03c	556,19a	109,04f	
	D	50	37,90a	5,37a	9,94c	7,46g	6,35d	7,94b	1,17f	60,85c	10,04c	418,72d	557,29a	124,30d	
	MIST	50	34,40b	4,76b	10,16c	8,22f	4,69g	7,85b	1,75b	68,34b	8,84c	474,20b	522,64b	133,10c	
	A	70	32,80b	3,91e	9,72c	11,54b	7,66c	7,49c	1,51d	58,81d	9,32c	377,11g	544,64a	166,79a	
	B	70	28,90d	4,20c	9,72c	11,07c	8,66a	8,35a	1,28e	44,62g	7,15c	454,42c	541,75a	122,10d	
	C	70	26,50e	4,20c	9,06c	12,38a	8,28b	7,42c	1,50d	54,12e	7,07c	449,75c	555,64a	115,09e	
	D	70	29,95d	4,26c	9,94c	10,48d	5,94e	7,80b	1,76b	44,97g	7,49c	388,50f	471,02c	116,33e	
	MIST	70	31,90c	4,29c	10,60b	10,89c	5,71f	7,78b	1,90a	51,52f	7,42c	467,06b	550,00a	146,16b	
	LVAd	TEST	0	45,70a	1,34d	13,03b	3,78g	2,39e	3,73d	1,58d	45,27a	4,43i	346,34d	575,44a	282,98b
		A	50	32,80c	2,37c	10,16c	21,79d	7,76b	5,14b	2,81c	38,33c	5,52h	337,01d	302,36c	443,99a
		B	50	28,90c	2,74a	10,60c	18,77f	9,60a	5,10b	1,96d	33,96e	13,08b	306,52e	419,24b	163,63c
C		50	26,50c	2,91a	9,06c	19,86e	6,43c	5,06b	3,09c	38,62c	20,86a	464,31a	306,23c	115,78c	
D		50	29,95d	2,35c	9,72c	18,58f	5,09d	5,06b	3,65b	44,27a	7,57c	341,54d	560,31a	146,71c	
MIST		50	31,90c	2,27c	9,94c	23,79c	8,43b	4,68c	2,82c	41,71b	6,88e	445,08b	313,50c	211,61b	
A		70	38,00b	2,83a	9,50c	19,95e	8,33b	5,54a	2,40c	38,94c	7,06d	354,58e	204,46f	112,08c	
B		70	30,00d	2,52b	7,29d	22,04d	10,26a	4,43c	2,15d	35,99d	6,63f	431,08b	268,13d	73,70d	
C		70	29,10d	2,85a	7,29d	26,30b	9,37a	4,65c	2,81c	32,59e	6,47h	399,35c	232,93c	238,29b	
D		70	36,20b	2,45b	11,48a	19,64e	9,91a	4,46c	1,98d	26,50f	6,73f	462,66a	307,45c	64,08d	
MIST	70	36,90b	2,50b	9,94c	27,79a	5,16d	5,06b	5,38a	46,28a	5,74g	406,22c	305,66c	147,40c		

1- Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, dentro de cada solo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%.

~~CONFIDENTIAL~~

Os teores de nitrogênio nas folhas do feijoeiro cultivado tanto no RQ quanto no LVAd foram expressivamente alterados pelos corretivos tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, constando-se diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). De maneira geral, os teores encontrados em ambos solos em ambos cultivos estão dentro ou próximos à faixa considerada adequada ao feijoeiro (Quadro 1B). A aplicação de corretivos de acidez aumenta a eficiência das estirpes de *Rhizobium phaseoli* na fixação do N, possibilitando um incremento do N foliar e produção de matéria seca quando da elevação do valor pH acima de 5,5 (Galon et al., 1996).

No primeiro cultivo, em ambos solos, o teor adequado de S (Quadro 1B) não foi conseguido em nenhum tratamento, o que não aconteceu no segundo cultivo, onde todos os valores estiveram próximos ou dentro da faixa preconizada por Malavolta et al. (1997), sendo, em todos os casos, significativamente afetados ($P < 0,05$) pela adição dos corretivos. Isto pode ser explicado pela alteração do pH do solo ocorrida entre os cultivos. Segundo Ambrosano et al. (1996), isto é particularmente preocupante, pois o S é um elemento essencial na constituição protéica do feijoeiro e tende a se tornar um nutriente limitante da produção.

Em relação aos micronutrientes, observa-se que a aplicação dos corretivos de acidez influenciou significativamente na sua disponibilidade ($P < 0,05$). Os micronutrientes tiveram um comportamento bastante variável no tecido foliar do feijoeiro em função dos corretivos, das dosagens utilizadas e dos solos nos quais o feijoeiro foi cultivado. Como os solos utilizados neste experimento são naturalmente pobres em micronutrientes, sua aplicação torna-se indispensável ao aumento da produtividade do feijoeiro consorciada com a adição dos corretivos de acidez dos solos.

A aplicação dos corretivos de acidez afetou significativamente ($P < 0,05$) os teores de boro encontrados do tecido foliar, em ambos os solos e cultivos,



estando dentro da faixa adequada para o feijoeiro (Quadro 1B), à exceção dos teores encontrados no RQ (inclusive testemunha) no primeiro cultivo, que apresentaram valores ligeiramente superiores ao recomendado. Entretanto, tais valores encontram-se abaixo da faixa considerada tóxica para a cultura, não afetando sua produtividade.

Os teores de Cu nas folhas do feijoeiro ficaram acima da faixa recomendada (Quadro 1B) para os corretivos 1, 2 e 3, no RQ, no primeiro cultivo. Independentemente do corretivo utilizado, do solo ou do cultivo, os teores dos outros nutrientes analisados ficaram dentro ou abaixo desta faixa, cabendo as devidas diferenças significativas. As interações com os diferentes solos, o efeito residual dos diferentes corretivos e as conseqüentes implicações no pH do solo e as dosagens aplicadas foram determinantes para essa significância estatística.

Os teores de Zn encontrados no tecido foliar no primeiro cultivo estão dentro da faixa considerada adequada para o feijoeiro (Quadro 1B). No segundo cultivo todos os teores de Zn encontrados estão acima da faixa ideal, à exceção dos corretivos 2 e 4. Segundo Abreu et al. (2001), isso pode ser explicado pela diminuição do pH do solo e pelo aumento da temperatura e da intensidade da luz, fatores que aumentam a absorção deste elemento, embora os valores encontrados neste experimento estejam muito abaixo dos teores considerados tóxicos para esta cultura. Há ainda que se considerar o efeito da diluição no primeiro caso, o qual pode afetar significativamente os teores, não só do Zn, mas de todos os demais nutrientes no tecido foliar (Gomes et al., 2002).

De modo similar aos outros nutrientes, os teores foliares de Fe e Mn para o feijoeiro também foram estatisticamente afetados ($P < 0,05$) pela adição dos corretivos de acidez nos dois solos e para os dois cultivos. Embora o ferro e o manganês não tenham sido adicionados na adubação de plantio, o efeito residual dos diferentes corretivos alterou o pH dos solos também, contribuindo para a

maior ou menor disponibilidade deste elemento. Todavia, é interessante notar que, em várias situações, os teores de Fe e Mn ficaram acima da faixa ideal (Quadro 1B) preconizada por Malavolta et al. (1997), sendo menores nas dosagens de corretivos mais elevadas ($V_{proj} = 70\%$), o que confirma a forte interação entre o pH e a disponibilidade desses elementos (Borkert et al., 2001).

4 CONCLUSÕES

- A calagem aumentou a produção de matéria-seca da parte aérea, raiz e grãos do feijoeiro, sendo a saturação por bases projetada em 70% a que proporcionou os melhores resultados;
- Os efeitos dos corretivos sobre o crescimento e a produtividade do feijoeiro variam de uma fonte para outra, dependendo, ainda, do cultivo analisado;
- As quantidades e os diferentes efeitos residuais dos corretivos adicionados, o pH e suas implicações sobre a disponibilidade de Ca, Mg, B, S e os micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn para o solo e o efeito de diluição foram os fatores determinantes para explicar as diferenças estatísticas ($P < 0,05$) encontradas nos teores dos nutrientes no tecido foliar do feijoeiro;
- Apesar de possuírem diferentes valores de PRNT, o efeito residual dos corretivos de acidez, por vezes, incrementou a produção de matéria seca do feijoeiro e os teores de nutrientes encontrados tanto no solo quanto no tecido foliar destas plantas, evidenciando o potencial de exploração agrícola, desde que respeitados os cálculos para as diferentes necessidades de calagens específicas de cada corretivo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 125-150.

AMBROSANO, E.J. et al. Resposta da aplicação de micronutrientes no cultivo de feijão irrigado no inverno. *Scientia Agricola*, v. 53, n.2-3, p.273-279, maio/dez. 1996.

BORKERT, C.M; FERREIRA, M.E.; ABREU, C.A. Disponibilidade de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 151-185.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Lavras, 1999. 359 p.

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

GALON, J.A.; BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. Efeito de modos e épocas de aplicação de gesso e calcário sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. carioca-80. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 53, n.1, p.119-125, jan./abr. 1996.

GARCIA, L. Efeito dos níveis de saturação em bases e micronutrientes sobre a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 1990. 83 p. Dissertação (Mestrado Agronomia)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

GOMES, F.T. et al. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 12, p.1779-1786, dez. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. *Brasil em números*. Rio de Janeiro, 1999. v. 7, 337 p.

LOPES, A.S. *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 155 p.

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

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

MORAES, J.F.L. et al.. Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. carioca-80. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.55, n.3, p.438-447, 1998.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, fev. 2003.

SÁNCHEZ, E. et al. Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high NH_4NO_3 application rates. *Scientia Horticulturae*, v. 99, p. 237-248, 2004.

SOUZA, A.B. Populações de plantas, níveis de adubação e calagem para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) num solo de baixa fertilidade. 2000. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1998. p. 123-151.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Utilização agronômica de corretivos agrícolas. Piracicaba: FEALQ/GAPE, 2001. 96 p.

... ..

... ..

... ..

... ..

ANEXOS

... ..

QUADRO 1A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Neossolo Quartzarênico após a incubação com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	pH
Trat.	17	0,108595	0,408570	0,084183*	9,096413	0,753309	0,036928	0,008864	0,960139	0,280163
Erro	51	0,002952	0,028069	0,149085*	0,825498	0,180215	0,005708	0,002111	0,053385	0,012386
CV (%)		5,95	27,48	18,71*	4,63	6,52	13,01	24,87	6,24	1,86

1- Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 2A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Neossolo Quartzarênico após a incubação com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios								
		P	K	H+ Al	t	T	V (%)	m(%)	MO	Ca:Mg
Trat.	17	0,031634*	4,235294*	0,052786	0,867614	0,520662	345,427721	11,202614	0,006765	4,275749
Erro	51	0,026645*	3,335512*	0,000999	0,025458	0,028766	6,375803	0,468410	0,001863	0,697948
CV (%)		13,83*	6,56*	2,64	9,26	6,01	4,52	10,48	3,78	38,03

1- Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 3A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico após a incubação com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	t	T	V(%)
Trat.	17	0,911544	0,032908*	3,470588	3,168309	4,679060	7,606928	10,960163	1,233529	2630,156634
Erro	51	0,018124	0,029423*	2,078431	0,015281	0,067535	0,030523	0,051797	0,065359	3,271340
CV (%)		2,49	25,52*	5,03	8,22	20,49	4,73	7,10	3,89	4,36

1- Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 4A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico após a incubação com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		m(%)	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	Boro	S	Ca:Mg
Trat.	17	1629,994281	0,033962*	0,032059*	426,384485	7,588791	0,059779	0,055654	10,691838	3,936176
Erro	51	2,401688	0,020586*	0,025392*	17,549540	0,156046	0,005640	0,004172	0,301250	0,090573
CV (%)		7,82	4,63*	13,37*	7,49	6,43	9,44	34,20	9,03	15,22

1- Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 5A. Resumo das análises de variância para a matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSRAIZ), grãos (MSGRAOS) e total (MSTOTAL) do 1º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		MSPA	MSRAIZ	MSGRAOS	MSTOTAL
Trat.	17	109,742437	30,442448	58,387580	548,432527
Erro	51	1,059935	0,633890	0,431330	2,541820
CV (%)		7,05	8,41	9,53	5,15

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 6A. Resumo das análises de variância para a matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSRAIZ), grãos (MSGRAOS) e total (MSTOTAL) do 2º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		MSPA	MSRAIZ	MSGRAOS	MSTOTAL
Trat.	17	84,251106	33,903147	68,386157	531,628981
Erro	51	0,474811	0,375400	0,294349	0,813592
CV _z (%)		4,58	6,93	7,20	2,87

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 7A. Resumo das análises de variância para a matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSRAIZ), grãos (MSGRAOS) e total (MSTOTAL) do 1º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		MSPA	MSRAIZ	MSGRAOS	MSTOTAL
Trat.	17	177,753046	39,826128	103,948105	872,361162
Erro	51	1,045611	0,381416	0,794279	2,250473
CV (%)		7,10	6,83	9,65	4,56

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 8A. Resumo das análises de variância para a matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSRAIZ), grãos (MSGRAOS) e total (MSTOTAL) do 2º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		MSPA	MSRAIZ	MSGRAOS	MSTOTAL
Trat.	17	169,795370	46,227785	228,933508	1174,522549
Erro	51	0,337549	0,523246	0,255955	1,198553
CV (%)		3,64	7,11	4,75	3,00

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 9A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Neossolo Quartzarênico após o 1º cultivo do feijoeiro com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	t	T	V(%)
Trat.	17	0,131144	64,637059*	167,457516	0,025335	0,037516	0,020662*	0,076176	0,073529	46,218497
Erro	51	0,028159	28,825664*	147,409586	0,004485	0,013094	0,010771*	0,027266	0,034532	7,371155
CV (%)		3,07	9,80*	19,80	8,75	44,78	4,76*	11,94	5,52	7,76

1- Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 10A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Neossolo Quartzarênico após o 1º cultivo do feijoeiro com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		m(%)	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	Ca:Mg
Trat.	17	65,121732	0,002786*	0,181838*	3,738203*	1,028015	0,027647*	0,004967	181,577426	0,860482
Erro	51	7,394063	0,004660*	0,299747*	7,749488*	0,252633	0,059303*	0,001547	22,419104	0,507454
CV (%)		19,56	5,45*	7,90*	8,07*	6,05	13,05*	26,71	19,41	21,07

1- Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 11A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico após o 1º cultivo do feijoeiro com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		pH	P	K	Ca	Mg	Ca:Mg	H+Al	t	T
Trat.	17	0,399649	77,651511*	24924,190359	1,823178	2,207712	1,433742	11,448987	3,601732	1,060139
Erro	51	0,019714	95,136457*	3948,040033	0,027753	0,044031	0,072274	0,168922	0,150468	0,104213
CV (%)		2,70	31,65*	34,66	14,90	23,03	16,00	5,77	13,51	3,36

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 12A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico após o 1º cultivo do feijoeiro com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios								
		V(%)	m(%)	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
Trat.	17	782,749779	836,360294	0,018864*	0,581732	519,517320	9,914845	0,015752*	0,012786	62,125433*
Erro	51	18,817731	12,965959	0,016620*	0,318704	87,068322	0,483821	0,013595*	0,005052	70,288069*
CV (%)		16,28	19,87	4,05*	10,18	12,35	8,02	7,15*	3,79	19,98*

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

* - não significativo ao nível de 5%

QUADRO 13A. Resumo das análises de variância para a comparação entre os teores de Zn, Fe, Mn e Cu na análise foliar do 1º cultivo e do 2º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		Zn	Fe	Mn	Cu
Trat.	35	24,476450	234,459403	4,167000	1,732706
Erro	105	0,230138	4,894699	0,223090	0,031876
CV (%)		10,67	8,18	6,38	14,59

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 14A. Resumo das análises de variância para a comparação entre os teores de Zn, Fe, Mn e Cu na análise foliar do 1º cultivo e do 2º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		Zn	Fe	Mn	Cu
Trat.	35	19,811016	853,958260	15,081212	0,753355
Erro	105	0,186725	58,234001	0,328905	0,014281
CV (%)		12,82	11,61	7,74	9,85

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 15A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 1º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		P	K	Ca	Mg	S	B
Trat	17	0,131802	11,245420	79,847743	9,909635	0,778265	423,833210
Erro	51	0,002612	0,203639	0,120573	0,025996	0,016913	4,546978
CV (%)		1,81	3,17	2,96	2,30	3,96	2,67

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 16A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 1º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		N	Zn	Ca:Mg	Cu	Fe	Mn
Trat.	17	99,339869	1178,108146	0,455144	489,427212	6297,288895	77092,869123
Erro	51	14,845839	1,998333	0,005236	271,852820	17994,584586	70,037622
CV (%)		14,01	1,78	4,45	123,74	30,70	2,25

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 17A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 1º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		P	K	Ca	Mg	S	B
Trat.	17	0,527762	1,883664	511,898932	60,588946	0,102332	218,044332
Erro	51	0,005386	0,184155	0,156262	0,098340	0,005320	3,794316
CV (%)		3,54	3,98	2,45	4,10	3,86	3,57

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 18A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 1º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		N	Zn	Ca:Mg	Cu	Fe	Mn
Trat.	17	96,605882	1895,859382	6,318555	3,770494	51739,888742	75887,047100
Erro	51	11,508235	1,408616	0,007779	0,065439	31,923262	23,554554
CV (%)		11,00	1,73	4,47	3,85	1,07	1,64

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 19A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 2º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		P	K	Ca	Mg	S	B
Trat.	17	0,636255	3,219501	38,042221	20,368343	0,963091	619,566834
Erro	51	0,009129	0,566874	0,112855	0,023142	0,077384	1,902774
CV (%)		2,05	7,08	4,55	3,04	3,48	2,69

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 20A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 2º cultivo do feijoeiro no Neossolo Quartzarênico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		N	Zn	Ca:Mg	Cu	Fe	Mn
Trat.	17	234,838824	647,708107	0,144917	303,615683	4955,178878	7688,010295
Erro	51	3,008192	12,935912	0,001520	328,396042	51,876352	127,866763
CV (%)		7,04	2,84	2,59	109,94	1,62	2,28

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 21A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 2º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		P	K	Ca	Mg	S	B
Trat.	17	1,718280	16,823632	363,107708	40,974258	1,723924	131,143680
Erro	51	0,009211	0,418297	0,456179	0,279324	0,069369	1,293311
CV (%)		4,73	5,84	4,89	9,57	6,00	2,77

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 22A. Resumo das análises de variância para os parâmetros químicos da análise foliar do 2º cultivo do feijoeiro no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com os cinco diferentes corretivos de acidez estudados¹.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios					
		N	Zn	Ca:Mg	Cu	Fe	Mn
Trat.	17	165,188007	38664,472608	4,276054	67,187660	9287,255036	88822,349734
Erro	51	3,826852	25527,411858	0,182118	0,015395	55,277345	70,696763
CV (%)		5,00	72,24	18,22	1,83	1,99	1,93

1 - Análise de variância feita segundo o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

QUADRO 1B. Teores foliares considerados adequados para a cultura do feijoeiro¹

Macronutrientes (g kg ⁻¹)					
N	P	K	Ca	Mg	S
30-50	2-3	20-25	15-20	4-7	5-10
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					
B	Cu	Fe	Mn	Zn	
30-60	10-20	100-450	30-300	40-100	

1 - Malavolta et al. (1997).