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

ATRIBUTOS DO SOLO DECORRENTES DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVOS

GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP
Agosto de 2012

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

ATRIBUTOS DO SOLO DECORRENTES DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVOS

GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Co-orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP
Agosto de 2012

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

Castro, Gustavo Spadotti Amaral, 1983-
C355a Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos / Gustavo Spadotti Amaral Castro. – Botucatu : [s.n.], 2012
xvii, 155 f. : il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Co-orientador: Ciro Antonio Rosolem

Inclui bibliografia

1. Cereais. 2. Cultivos extensivos. 3. Plantas – Nutrição. 4. Plantio direto. 5. Produtividade agrícola. 6. Solos – Acidez. 7. Solos – Correção. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Rosolem, Ciro Antonio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS DO SOLO DECORRENTES DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E APLICAÇÃO SUPERCICIAL DE CORRETIVOS

ALUNO: GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE C. CRUSCIOL
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

PROF. DR. GODOFREDO CESAR VITTI

PROF. DR. SANDRO ROBERTO BRANCALIAO

PROF. DR. JOSE EDUARDO CORA

PROF. DR. LEONARDO THEODORO BULL

Data da Realização: 17 de agosto de 2012.

DESIDERATA

"Caminhe placidamente entre o rumor e a pressa e lembre-se de que a paz talvez se encontre no silêncio.

Seja cordial com todos sem inclinar-se além do possível. Diga sua verdade serena e claramente e ouça os outros, mesmo os cacetes e ignorantes; eles também têm a sua história.

Evite as pessoas ruidosas e agressivas pois elas irritam o espírito. Se você se compara aos outros poderá tornar-se frívolo e amargo, pois haverá sempre pessoas maiores ou menores do que você.

Desfrute de suas realizações como também de seus planos. Permaneça interessado em sua carreira, embora humilde; é algo realmente seu na sorte variável dos tempos.

Use cautela em seus negócios, pois o mundo é cheio de armadilhas. Todavia, não fique cego ante qualquer virtude onde houver; muitas pessoas lutam por altos ideais; por toda a parte, a vida é cheia de heroísmo.

Seja você mesmo. Especialmente não simule afeição. Nem seja cínico acerca do amor; pois ele é perene como a relva, em face de toda a aridez e desencanto.

Receba naturalmente a sabedoria dos anos e, com liberalidade, as coisas da juventude. Alimente a força do espírito para escudá-lo de desventuras inesperadas.

Não se aflija com a imaginação. Muitos temores nascem do cansaço e da solicitude.

Além de manter salutar disciplina, seja terno consigo mesmo. Você é filho do universo, não menos que as árvores e as estrelas e tem o direito de estar aqui. Claro ou não para você, sem dúvida, o universo expande-se como deve. Portanto, fique em paz com Deus, seja qual for a sua concepção acerca d'Ele, sejam quais foram seus trabalhos e aspirações.

Na confusão rumorosa da vida, permaneça em paz com a sua alma. Com todas as suas falsidades, monotonia e sonhos frustrados, este é ainda um belo mundo.

Tenha cautela. Lute para ser feliz."

Texto encontrado na antiga Igreja de São Paulo, em Baltimore, datado de 1662, traduzido em 1982 por Tina Cannabrava, publicado pela Ciência e Cultura, 36(5):851, 1984 e encontrado pelo presente autor no Informações Agronômicas nº 54 de junho de 1991.

Aos meus queridos pais, Sergio e Luzia
aos meus bons irmãos e cunhados, Tharsila, Sérgio, Renato e Daniele
às minhas pequenas sobrinhas, Stéphanie e Gabriele

DEDICO

À minha família,
aos meu amigos do coração
e a todos os colegas de profissão.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por absolutamente TUDO que colocou em meu caminho, seja pra me fortalecer, me testar ou me agraciar. Tudo no exato momento em que eu precisava para me tornar o que eu sou.

À Faculdade de Ciências Agronômicas. Primeiro, pela formação solida de seus Engenheiros Agrônomos. Segundo, por forjar mestres formadores de opinião. E terceiro, pela oportunidade e suporte para a realização deste Doutorado.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela orientação e amizade durante estes nove anos de convívio. Um exemplo de dedicação e empenho ao ensino e à pesquisa agropecuária brasileira que levarei por toda minha carreira.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, por me aceitar como orientado na etapa final deste trabalho e pela experiência, ensinamento e conselhos repassados durante o curso de graduação e pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos e auxílio, fundamentais no desenvolvimento e condução deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, Prof. Dr. Leonardo Teodoro Büll, Prof. Dr. José Eduardo Cora e Dr. Sandro Roberto Brancalião pela disponibilidade, atenção e correções que contribuíram para o resultado final desta tese. Agradeço ainda todos os conselhos sobre a vida profissional e pessoal.

À coordenação do curso de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), pela dedicação e qualidade de ensino proporcionado aos seus estudantes.

Aos professores e funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura, pelo companheirismo, amizade, conselhos e sabedoria transmitida.

Aos meus companheiros de batalha campal, os funcionários Lana, Vera, Amanda, Dorival, Valéria, Célio, Waldemir (FIO), Mateus, Casemiro, Cidão, Camargo e Cirinho. O conhecimento prático é insubstituível!

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

Aos meus amigos Jayme Ferrari Neto, Claudio Hideo Martins da Costa, Mauricio Antonio Cuzato Mancuso e Marcella Menegale, que iniciaram esta empreitada como amigos, passando por estagiários, e por fim colegas de pós-graduação. Agradeço pela presença em

todos os momentos, pela ajuda, nos dias mais nebulosos, mas também pela alegria e descontração, seja em nossos churrascos ou em qualquer outro dia de trabalho.

Aos meus amigos de Laranjal Paulista. Sei que estive muito ausente (e possivelmente agora ainda mais). Contudo, sabemos que nossa amizade é maior que a distância, e que décadas podem nos separar, sem alterar o que sentimos uns pelos outros.

Aos amigos de PG, pelo companheirismo de sempre, em especial à galera do futebol, que presenciou grande parte dos meus 945 gols. Pelas lesões, fico devendo o milésimo!

Aos estagiários Aline C. Frasca (Freska), Amanda O. Silva (Vem-ni-mim), Daniele D. Becero (Rosela), Dênis E. Bôa (Meupau), Juliana Moretto (Piriguete), Lucas A. Rozas (Borra-Botas), Luiz E. Ricardo (Smilinguido), Manoela C. Oliveira (Perdigão), Mariana Damha (Tosca), Rafael Soares (Zé Ruela), Tamires Ferreira (Sadomasoquista), Yuri Kacuta (Salário) e Fabio H. R. Barão (Ticomo), pela essencial ajuda na condução deste trabalho e pela amizade que se iniciou e jamais se encerrará.

Aos meus amigos da época de graduação, pós-graduação, de hoje e de sempre: Eduardo Gazola (Chapolin), Fernando A. dos Santos (Markito), Alexandre Merlin (Atchim), Rafael C. Nardini (Karnak), Leonard Tedeschi (Dino), André Giorgetti (Godofredo), Renata Pereira, Eduardo Negrisoli, Lucas Perim (Mamão) e Julio C. Bogiani (Grampola). Sem jamais esquecer jamais os amigos da comunidade + C.O.R.N.E.T.A.S! O apoio e a descontração nas horas de descanso foram fundamentais para a conclusão desta tarefa.

Ao casal de amigos, meu compadre Rodrigo Arroyo Garcia e minha comadre Mariana Zampar Toledo, pela paciência que tiveram comigo, nunca sonegando ajuda quando mais precisei de companheiros de batalha. Vocês são anjos que passaram na minha vida.

Aos Doutores Émerson Borghi, Rogério Peres Soratto e Rubia Renata Marques pela grande amizade, ensinamento acadêmico e por me inserirem no meio científico.

Ao amigo Juliano Carlos Calonego, pela transmissão de pensamentos que somente um pós-doutorando pode ter. Seus conselhos e ensinamentos a mim passados, no momento em que me encontrei ausente de um orientador, foram de extrema valia.

Aos amigos e companheiros de trabalho da Indústria Química Kimberlit, que passaram seus conhecimentos e me tornaram um profissional melhor em uma fase importante de minha carreira.

Aos meus pais pelo exemplo de vida e de perseverança. Exemplos como este eu jamais encontrarei. Seja na atenção desprendida aos detalhes, seja na doação incondicional ao trabalho, o exemplo que ambos são marcará minha conduta por toda a vida.

Novamente aos meus pais, e também aos meus irmãos, cunhados e sobrinhas, pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos. Pode parecer pouco, mas nos piores momentos, um sorriso vindo de pessoas amadas pode mudar o curso da história.

À minha namorada Barbara, por seu amor, incentivo, companheirismo, descontração, medo, alegria, felicidade, choro, força, enfim, tudo que a vida de um casal precisa pra que o amor iniciado cresça ainda mais. Você me completa!

Àqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização desta pesquisa.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS XII
LISTA DE FIGURAS XV
1 RESUMO 1
3 INTRODUÇÃO 5
4 REVISÃO DE LITERATURA 7
4.1 Sistema plantio direto 7
4.2 Correção do solo em SSD 8
4.2.1 Fatores que afetam a correção da acidez do solo em aplicações superficiais 11
4.3 Uso do silicato como corretivo do solo 14
4.3.1 O Silício 15
4.3.2 O Silício no solo 16
4.3.1 O Silício nas plantas 17
4.4 Rotação de culturas para regiões de inverno seco 19
4.5 Analogia entre a propriedades físicas e a matéria orgânica do solo 25
5 MATERIAL E MÉTODOS 29
5.1 Localização e caracterização climática da área experimental 29
5.2 Histórico da área experimental e caracterização do solo 32
5.3 Delineamento experimental e tratamentos 32
5.4 Caracterização dos corretivos de acidez do solo 34
5.5 Condução do experimento 34
5.5.1 Culturas de verão – Safra 35
5.5.2 Culturas de safrinha 36
5.5.3 Adubos verdes/Plantas de cobertura 37
5.5.4 Forrageira perene - *Brachiaria ruziziensis* 38
5.5.5 Pousio 39
5.6 Amostragens e avaliações realizadas 39
5.6.1 Atributos químicos do solo 39
5.6.2 Atributos físicos do solo 40
5.6.3 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo 42
5.6.4 Produção de matéria seca e diagnose foliar das culturas 42
5.6.5 Componentes da produção e produtividade de grãos 43
5.6.6 Custo de produção 44
5.7 Análise estatística 44
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
6.1 Matéria orgânica do solo 45
6.2 Fracionamento da matéria orgânica do solo 48
6.3 Características químicas do solo 55
6.3.1 Trinta e seis meses após a aplicação dos corretivos 55
6.3.2 Quarenta e oito meses após a aplicação dos corretivo 69
6.4 Atributos físicos do solo 83
6.4.1 Densidade, porosidade e estabilidade dos agregados do solo 83
6.4.2 Resistência à penetração 88

6.5 Produção de matéria seca, nutrição, componentes da produção e produtividade de grãos 89
6.5.1 Safra 2008/09.....89
6.5.2 Safra 2009/10.....99
6.5.3 Safra 2010/11.....110
6.6 Análise econômica.....118
7 CONCLUSÕES.....121
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....122
9 APÊNDICE.....146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas iniciais do solo avaliadas de 0 a 0,60m de profundidade. .30

Tabela 2. Características granulométricas do solo da área experimental. 30

Tabela 3. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo por ocasião da caracterização da área experimental. 30

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac) do solo, por ocasião da caracterização da área experimental. 30

Tabela 5. Estoques de carbono orgânico total (COT) nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20 e 0-0,20 m do solo em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012. 51

Tabela 6. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0-0,10 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2011. 85

Tabela 7. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,10-0,20 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2011. 86

Tabela 8. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,20-0,40 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2011. 87

Tabela 9. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (número de panículas m^{-2}, número total de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e massa de mil grãos) e produtividade de grãos de arroz em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2008-2009. 92

Tabela 10. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de racemos por planta, número de frutos por racemo e massa de 100 grãos) e produtividade de grãos da mamona em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009. 95

Tabela 11. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca da crotalária em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009. 97

Tabela 12. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca de *B. ruziziensis* em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009. 98

Tabela 13. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cem grãos) e produtividade de grãos de soja em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009-2010. 100

Tabela 14. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de grãos por panícula e massa de mil grãos) e produtividade de grãos de sorgo em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010. 106

Tabela 15. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca do primeiro corte, do segundo corte e produção de matéria seca total do milheto em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010. 108

Tabela 16. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca de *B. ruziziensis* em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010. 110

Tabela 17. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população, índice de espiga, grãos por espiga e massa de cem grãos) e produtividade de grãos de milho em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010-2011. 114

Tabela 19. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de grãos por planta e massa de mil grãos) e produtividade de grãos de crambe em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2011. 115

Tabela 19. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca do tremoço em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2011. 117

Tabela 20. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca de *B. ruziziensis* em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2011. 118

Tabela 21. Custo operacional total (COT), receita bruta e receita líquida de diferentes sistemas de produção em função da aplicação de corretivos. Botucatu, SP (2012).....119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluvial (▌), temperaturas máxima (▬) e mínima (─), registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2008/09, 2009/10 e 2010/11. 31

Figura 2. Valores de matéria orgânica (M.O.) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento. 46

Figura 3. Valores de matéria orgânica (M.O.) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento. 47

Figura 4. Teores de carbono orgânico total (COT) do solo em função da aplicação ou não de corretivos (A) e dos sistemas de produção (B). Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012. 50

Figura 5. Estoques de carbono orgânico particulado (COP) do solo nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m em função da aplicação ou não de corretivos (A) e dos sistemas de produção (B). Letras iguais, para a profundidade no interior das barras e para a camada 0-0,2 m no topo das barras, indicam semelhança pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012.....53

Figura 6. Labilidade da matéria orgânica do solo em função da aplicação ou não de corretivos (A) e dos sistemas de produção (B). Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012. 54

Figura 7. Valores do potencial hidrogeniônico (pH) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento. 56

Figura 8. Valores de hidrogênio e alumínio (H + AL) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento. 58

Figura 9. Valores de alumínio trocável (Al^{+3}) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento. 60

Figura 10. Valores de fósforo (P) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.....62

Figura 11. Valores de potássio (K) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.....64

Figura 12. Valores de cálcio (Ca) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.....65

Figura 13. Valores de magnésio (Mg) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.....66

Figura 14. Valores de silício (Si) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.....67

Figura 15. Valores de saturação por bases (V%) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento. 69

Figura 16. Valores do potencial hidrogeniônico (pH) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento. 71

Figura 17. Valores de hidrogênio e alumínio (H + AL) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento. 73

Figura 18. Valores de alumínio trocável (Al^{+3}) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento. 74

Figura 19. Valores de fósforo (P) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.....75

Figura 20. Valores de potássio (K) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.....77

Figura 21. Valores de cálcio (Ca) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.....79

Figura 22. Valores de magnésio (Mg) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.....80

Figura 23. Valores de silício (Si) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.....81

Figura 24. Valores de saturação por bases (V%) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.....82

Figura 25. Resistência à penetração (A) e umidade do solo (B) em função de diferentes sistemas de produção agrícola (Safra – Pousio (◊), Safra – Forrageira (Δ), Safra – Safrinha (□) e Safra – Adubo Verde (•)) sob sistema plantio direto. Botucatu-SP (2011).....89

1 RESUMO

O objetivo desta tese foi avaliar a influência da aplicação superficial de corretivos em diferentes sistemas de produção sobre Sistema Plantio Direto, bem como o efeito de ambas as variáveis nos atributos físicos, na movimentação de bases, na correção da acidez do solo, nas frações da matéria orgânica do solo, além da nutrição e produtividade das culturas produtoras de grãos em região de inverno seco. O presente trabalho é a continuação de um experimento instalado no ano agrícola 2006/2007, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), e foi conduzido nos anos agrícolas 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011. O delineamento experimental foi blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com 8 repetições. As parcelas foram constituídas por quatro sistemas de produção ("Safra - Forrageira"; "Safra – safrinha"; "Safra – Pousio" e; "Safra – Adubo Verde") e as subparcelas por duas fontes de corretivos de acidez e um controle (calcário; silicato de cálcio e magnésio; sem aplicação de corretivo). Foram realizadas as seguintes avaliações: produção de massa de matéria seca e teores de macronutrientes e silício em todas as culturas; componentes de produção das culturas graníferas; atributos químicos do solo aos 36 e 48 meses após a aplicação dos corretivos (outubro de 2006); atributos físicos do solo e fracionamento da matéria orgânica do solo após a colheita da terceira safra de outono/inverno (60 meses após a aplicação dos corretivos); e custo de produção das unidades experimentais. Com o presente estudo, pôde-se concluir que: A aplicação de corretivos influencia positivamente o teor de

matéria orgânica do solo, proporcionando maiores estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono associado aos minerais. Os melhores resultados foram observados no sistema safra-forrageira, e os piores no sistema safra-pousio. Decorridos 48 meses da aplicação dos corretivos, os mesmos continuam exercendo seus benefícios químicos para a fertilidade do solo. A utilização dos corretivos eleva os teores de fósforo do solo, sendo o silicato mais eficiente neste quesito. As rotações de culturas melhoram a estabilidade dos agregados e reduzem a resistência a penetração da camada superficial do solo quando comparadas ao sistema safra-pousio. Os corretivos não diferem entre si quanto à nutrição e produtividade das culturas, indicando que sua aplicação é fundamental para garantir altas produtividades de grãos e palha. A aplicação de ambos os corretivos elevou a receita líquida em todos os sistemas estudados, mesmo apresentando custo operacional total superior ao controle. Dentre os sistemas estudados, a sucessão Safra – Safrinha, quando recebe corretivos do solo, proporciona a maior receita líquida.

Palavras-chave: sistema plantio direto, culturas anuais, produtividade de grãos, nutrição de plantas, acidez do solo, correção do solo.

CHANGES IN SOIL TTRIBUTES AFFECTED BY CROP SYSTEMS AND SUPERFICIAL APPLICATION OF CORRECTION SOURCES. Botucatu, 2012. 155p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

Author: GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO
Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Co-adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

SUMMARY

This thesis had the objective of evaluating the influence of superficial application of correction sources in different cropping rotations under no tillage system on soil physical properties, base mobility, acidity correction, organic matter fractioning as well as crop nutrition and yield in dry winter region. The present study was conducted in 2008/2009, 2009/2010 and 2010/2011 and it was a sequence of an experiment that had been conducted since 2006/2007 in College of Agricultural Sciences – FCA/UNESP, in Botucatu-SP, Brazil. The experimental design was the complete randomized block with subdivided plots and eight replications. Main plots consisted of four cropping rotations ("Season-Forage"; "Season-Off-season"; "Season-Fallow" and "Season-Green manure") and subplots by two sources for soil acidity correction (dolomitic lime, calcium/magnesium silicate) plus a control, with no correction. The following evaluations were conducted: dry matter production, macronutrient levels and silicon levels in all crops, yield components of grain crops, soil chemical attributes at 36 and 48 months after correction (October 2006), soil physical attributes and organic matter fractioning in fall/winter of 2011 (60 months after correction), and production costs. It was concluded that the application of correction sources positively influences organic matter levels, increasing stocks of total organic carbon, particulate organic carbon and mineral-associated carbon. Best results are observed under "Season-Forage" rotation, opposed to "Season-Fallow" system. Chemical benefits of correction sources on soil fertility are still observed 48 months after the application. Soil correction increases phosphorus levels in soil, although silicate is more efficient than lime. Crop rotations improve aggregate stability and reduce penetration resistance of the uppermost soil layer compared to "Season-Fallow"

system. Correction sources do not differ from each other in affecting crop nutrition and yield, pointing out that this management is essential to ensure high grain yields and dry matter production. The application of both sources increased net income in all systems, even though total operational costs are higher than the control. Among all systems, “Season-Off-season” rotation under soil correction results in higher net income.Key words: soil correction, crop rotation, silicon, soil physics, cost of production.

Key words: no tillage system, annual crops, grain yield, plant nutrition, soil acidity, soil correction.

3 INTRODUÇÃO

A maior limitação para a sustentabilidade do SSD na maior parte do Estado de São Paulo e do Brasil Central é a baixa produção de palha no período de outono/inverno e inverno/primavera, tanto das espécies utilizadas para adubação verde e cobertura do solo, como das culturas produtoras de grãos, em razão das condições climáticas desfavoráveis, notadamente baixa disponibilidade hídrica. Para minimizar este problema pode-se cultivar o milho, soja, arroz, feijão e sorgo em consórcio com plantas forrageiras, notadamente, espécies do gênero *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*), semeadas concomitantemente, como forma de produção de forragem e de palhada para o SSD na safra seguinte.

A escolha da rotação adequada pode resultar em aporte de Matéria Orgânica ao solo, o que modifica as características químicas e físicas do perfil. Assim, o cultivo de espécies com características diferentes, seja como cultura principal, safrinha ou planta de cobertura, provavelmente terá impacto diferente na quantidade de carbono e na qualidade da matéria orgânica no perfil do solo. Foi demonstrado que as formas mais lábeis de carbono podem mostrar esses efeitos após poucos anos de rotação.

A calagem é uma prática essencial para a correção do solo, mas sua reação é restrita a uma pequena distância do local da aplicação. Entretanto, no SSD, a calagem tem sido realizada na superfície do solo, sem incorporação, forma de calagem que ainda é questionado, pois o calcário tem baixa solubilidade em água.

Outro problema relacionado à aplicação de calcário em superfície, em SSD, é a correção da acidez do subsolo, que limita, em muitos casos, o crescimento radicular e

a absorção de água e nutrientes pelas culturas, pois, a calagem não corrige a acidez e a deficiência de cálcio, em subsuperfície, de maneira a minimizar as consequências dos veranicos. Há movimentação do cálcio no perfil do solo através de ânions resultantes da reação de fertilizantes ou da decomposição dos resíduos orgânicos, ou seja, os ácidos orgânicos e os íons SO_4^{-2}, Cl^{-1} e NO^{3-}, que são íons acompanhantes do cálcio na sua lixiviação. Mas a intensidade com que o fenômeno ocorre, assim como suas condicionantes não são bem conhecidas. Os mecanismos que resultam na movimentação do cálcio para a subsuperfície dos solos devem estar ligados aos tipos de resíduos vegetais presentes nos sistemas de produção, proporcionando assim diferentes respostas. Ainda deve ser ressaltado que as plantas utilizadas nos sistemas de sucessão/rotação de culturas modificam os atributos físicos do solo, podendo aumentar o fluxo de caminhamento da água e, por conseguinte, a movimentação física de partículas dos corretivos e fertilizantes, modificando a velocidade de correção da acidez e de suprimento de cálcio em subsuperfície.

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo de acidez do solo é o calcário. No entanto, os silicatos de cálcio e magnésio provenientes das escórias de siderurgia são materiais que se comportam de forma semelhante aos calcários, podendo ser utilizados como corretivos, pois, além de promoverem elevação dos valores de pH, dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis, aumento na disponibilidade de fósforo, e redução de toxidez de ferro, manganês e alumínio, são fontes de silício para as plantas, que apesar de não ser considerado elemento essencial, sua absorção traz vários benefícios para algumas culturas, principalmente as gramíneas, tais como maior tolerância à deficiência hídrica, à toxidez por elementos tóxicos, à pragas e doenças. A utilização desses materiais no SSD pode ser uma alternativa interessante no processo de correção de acidez do solo, visto que algumas fontes de silicato apresentam maior solubilidade que o calcário, promovendo, dessa forma, efeito corretivo em profundidade e em menor tempo e disponibilizando Si às culturas.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações químicas e físicas do perfil de um latossolo argiloso em função de rotações de culturas, relacionando-as à qualidade da matéria orgânica. Como a adoção de rotações de culturas implica em custos, produtividades e rentabilidades diferentes, teve-se também como objetivo avaliar a produtividade e o retorno econômico de cada sistema empregado.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Sistema plantio direto

A maior fronteira agrícola do mundo são as regiões de savana dos trópicos. A maioria da parte central do Brasil é de savana tropical, conhecida como Bioma Cerrado, e abrange cerca de 205 milhões de hectares ou 23% da área do país. A maioria dos solos dessa região são Latossolos (46%) com baixa fertilidade natural, alta saturação de alumínio, e alta fixação de P (FAGERIA; BALIGARD, 2008). Embora de baixa fertilidade, estas áreas têm grande proporção de topografia favorável para agricultura e temperaturas adequadas para o crescimento das plantas durante todo o ano. A introdução do sistema plantio direto viabilizou a exploração contínua e racional de boa parte deste bioma, trazendo incrementos na produção agrícola nacional, elevando o teto produtivo e competitivo de nossos produtos.

A introdução do Sistema de Semeadura Direta (SSD), a partir da década de 70 no sul do Brasil, foi um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira (LOPES et al., 2004). Desde então, a área cultivada sob esse sistema aumentou de forma exponencial, tanto que, para a cultura da soja, aproximadamente 97% das propriedades rurais utilizam o SSD (BASTOS FO et al., 2007).

O progresso da área cultivada sob SSD trouxe, e ainda vem trazendo, reflexos positivos em vários setores da atividade agrícola nacional, principalmente na conservação dos recursos ambientais, sendo considerado o grande responsável pela

sustentabilidade da exploração agrícola dos solos brasileiros que, em sua maioria, são altamente intemperizados.

Para a exploração agrícola sustentável em SSD é preconizado o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura (AMARAL et al., 2004). Somado a isso, é necessária a manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo, resultando na proteção contra o impacto das gotas da chuva, o que favorece a infiltração, reduz as perdas de água por escoamento superficial, as perdas de solo e de nutrientes por erosão, bem como a redução da amplitude térmica do solo ao longo do dia (HERNANI et al., 1999).

Um dos maiores problemas dos solos tropicais brasileiros é a acidez, tanto em superfície quanto em subsuperfície, e as recomendações de correção da acidez e o manejo da fertilidade no SSD têm sido realizados a partir dos conhecimentos obtidos no sistema de preparo convencional do solo (SSD). No entanto, segundo Caires et al. (1999), os conhecimentos relacionados à fertilidade do solo no SSD nem sempre são os mesmos aplicados no SSD, uma vez que neste há a incorporação dos corretivos de solo, adubos e resíduos vegetais. Porém, as informações sobre o manejo das culturas e a fertilidade do solo ainda não estão bem definidas para o SSD. Com isso, há a necessidade de estudos que satisfaçam todos os questionamentos relacionados à correção da acidez do perfil do solo, partindo de uma aplicação superficial. Além do mais, existe grande interesse na busca de alternativas para a implantação e manutenção do SSD, sem incorporação prévia do corretivo, não havendo necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem superficial desde o estabelecimento do sistema (CAIRES et al., 1999, PETRERE; ANGHINONI, 2001; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e). Isso ganha maior importância quando da implantação da integração lavoura-pecuária em SSD, notadamente em pastagens não degradadas fisicamente, ou seja, sem impedimentos físicos, como trieiros e camadas compactadas, para a adequada implantação das culturas.

4.2 Correção do solo em SSD

A calagem é a prática mais utilizada para correção da acidez do solo e, quando realizada de modo adequado, eleva o pH e a saturação por bases, além de fornecer

Ca e Mg. A elevação do pH tem influência direta na redução da toxidez por Al, podendo alterar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (MIRANDA; MIRANDA, 2000).

Para Fageria e Zimmermann (1998), o $pH_{água}$ ideal para as culturas de soja, feijão, milho e trigo está em torno de 6,0, ficando clara a necessidade de correção dos solos das regiões que se caracterizam pela acidez elevada. Porém, como os calcários utilizados são pouco solúveis e os produtos de sua reação têm mobilidade limitada, a ação da calagem normalmente fica restrita às camadas superficiais do solo, conforme observado por Ritchey et al. (1982) e Caires et al. (1998). Por outro lado, alguns pesquisadores têm demonstrado que os benefícios supracitados podem ocorrer na subsuperfície do solo, mesmo com aplicação superficial de calcário (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER et al., 2000; CORRÊA et al., 2007; CORRÊA et al., 2008a; CORRÊA et al., 2008b; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; SORATTO; CRUSCIOL, 2008b; SORATTO; CRUSCIOL, 2008c; SORATTO; CRUSCIOL, 2008d).

A mínima movimentação do solo no SSD promove modificações químicas no solo em função do acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície e, segundo Rheinheimer et al. (2000), estas modificações ocorrem de forma gradual e progressiva, a partir da superfície do solo, e afetam tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo de acidificação do solo, formando assim uma frente de alcalinização no perfil do solo.

Pöttker e Ben (1998) e Alleoni et al. (2005) enfatizam que o calcário em superfície corrige a acidez, aumentando o pH e elevando os teores de Ca e Mg trocáveis do solo até à profundidade de 0,05m e, em menor grau, na camada de 0,05 – 0,10 m. Do mesmo modo, Corrêa et al. (2007) estudando o efeito de diferentes corretivos da acidez do solo, verificou que, aos três e quinze meses após a aplicação superficial, o calcário elevou o pH apenas nos primeiros 0,05 m e 0,10 m, respectivamente. Mello et al. (2003) destacam que em apenas 12 meses, os atributos químicos do solo (pH, H+Al, Ca e Mg) podem ser alterados positivamente na camada de 0,00 – 0,10 m.

Por outro lado, Oliveira e Pavan (1996) constataram a diminuição do alumínio trocável e o aumento do pH do solo em maiores profundidades, observando efeito até 0,40 m de profundidade, 32 meses após aplicação de calcário na superfície em um Latossolo Vermelho, na região de Ponta Grossa (PR), em SSD já estabelecido. Caires et al. (1999;

2006a) constataram que a aplicação superficial de calcário em SSD apresentou eficiência na correção da acidez das camadas superficiais e subsuperficiais do solo. Soratto e Crusciol (2008a), avaliando doses de calcário em um Latossolo Vermelho Distroférrico na região de Botucatu (SP), observaram elevação do pH do solo até a camada de 0,20-0,40 m aos 12 meses após aplicação do calcário, e elevação dos teores de Ca e Mg nas camadas de até 0,20-0,40 m aos 12 e 18 meses após a aplicação inicial do corretivo. Caires et al. (2011) avaliaram o efeito da calagem em superfície, após 8 anos da aplicação, e observaram redução da acidez até 0,60 m de profundidade.

Tal efeito é possível devido a dissolução do calcário em solos ácidos promover a liberação de ânions (OH^- e HCO_3^-), os quais reagem com os cátions de reações ácidas da solução do solo (H^+, Al^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}), havendo posteriormente a formação e a migração de $Ca(HCO_3)_2$ e $Mg(HCO_3)_2$ para camadas mais profundas do solo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER et. al., 2000).

Neste mesmo enfoque, Costa e Rosolem (2007), em estudos com calagem em SSD, verificaram aumento nos teores de Mg na solução do solo, em todo perfil do solo, indicando a movimentação para as camadas subsuperficiais do Mg oriundo da reação de hidrólise do calcário aplicado em superfície. Os resultados confirmaram a hipótese, estabelecida por Oliveira e Pavan (1996), de formação de pares iônicos entre o bicarbonato e o cálcio e o magnésio, facilitando sua movimentação no perfil do solo.

Quando o pH (em H_2O) da solução do solo alcança valores superiores à 5,5, a espécie HCO_3^- passa a estar presente como forma estável na solução e sua concentração aumenta até atingir valores máximos na faixa de pH 8,0 e 8,5 (BOHN et. al., 1979). Nessas condições, o HCO_3^- pode migrar com o Ca^{2+} e o Mg^{2+}, corrigindo a acidez do solo além do local de aplicação do calcário (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; COSTA; ROSOLEM, 2007). No entanto, enquanto existirem cátions ácidos, a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície (RHEINHEIMER et. al., 2000). Assim, para que a neutralização da acidez ocorra em subsuperfície, os produtos da dissolução do calcário devem primeiro corrigir a camada superficial do solo para depois serem lixiviados para camadas inferiores, formando assim uma frente de alcalinização (LIMA et al, 2009).

O critério e as recomendações de calagem para o estabelecimento do SSD permanecem os mesmos indicados para o sistema convencional, e os grandes questionamentos surgem por ocasião da aplicação do calcário no SSD estabelecido, quando a acidez do solo estiver limitando as produtividades das culturas. O conhecimento da dinâmica da correção da acidez a partir da superfície do solo no SSD, ao longo do tempo, é necessário para que possam ser estabelecidos ajustes na recomendação da calagem (doses e frequência) (AMARAL; ANGHIONI, 2001; CAIRES et al., 2005).

A necessidade e a frequência de reaplicação dos corretivos requerem critérios adequados, pois a recomendação baseada nos mesmos critérios utilizados no sistema convencional, com incorporação ao solo, pode superestimar a dose de corretivo (NOLLA et al., 2005). Doses excessivas levam à redução na absorção de Zn e de Mn, em decorrência do aumento do pH nas camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 2003; MIRANDA et al., 2005), prejudicando o desenvolvimento das culturas.

4.2.1 Fatores que afetam a correção da acidez do solo em aplicações superficiais

É possível que ocorra movimentação física do calcário aplicado na superfície para maiores profundidades, sendo atribuída a diversos fatores. O mais conhecido é o deslocamento através de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; PETRERE; ANGHINONI, 2001; AMARAL et al., 2004). Há também, a formação de planos de fraqueza no solo que permitem o deslocamento físico de finas partículas de calcário através do movimento descendente da água (AMARAL et al., 2004). Porém, esse mecanismo, sozinho, provavelmente não justifica os expressivos efeitos da calagem superficial em profundidade observados em diversos experimentos, principalmente quando a área encontra-se recém implantada no SSD. A lixiviação de partículas finas do calcário é pouco provável, visto que uma partícula muito fina (por exemplo, com diâmetro de 0,001 mm) é 2.000 vezes maior que um íon Ca^{2+} hidratado (ALCARDE, 1992). Dessa forma, a maior parte do efeito da calagem em profundidade é devido à movimentação de íons (TEDESCO; GIANELLO, 2000). Assim, a água que percola no solo, normalmente encontra-se enriquecida com os produtos da dissolução do calcário,

responsáveis pela neutralização da acidez e aumento dos cátions de reação básica, permitindo maior atuação em profundidade (RHEINHEIMER et al., 2000).

Também, pode ocorrer arrasto de calcário pela água de infiltração nas galerias de organismos do solo e macrocanais biológicos (RHEINHEIMER et al., 2000), formados pela mesofauna do solo (ácaros e colêmbolas) e macrofauna (minhocas, besouros, cupins, formigas, centopéias, aranhas, lesmas e caracóis). A incorporação biológica do calcário pela ação dos microrganismos é efetiva, pois são responsáveis por mais de 95% da decomposição ocorrida no solo, sendo que os outros 5% da fauna participam da sua desintegração, havendo com isto a incorporação dos resíduos vegetais da superfície juntamente com o calcário aplicado (HOLTZ; SÁ, 1995).

A pequena mobilização do solo que ocorre somente na linha de semeadura no SSD, também contribui com a movimentação física do calcário em função da incorporação ocorrida nesta região, e, com os repetidos ciclos de semeadura, auxilia no caminhamento em profundidade das partículas do corretivo (RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a).

Para Caires et al. (1999), a ausência de efeito da calagem superficial sobre o pH nas camadas intermediárias de solo, voltando a atuar em profundidade, é um forte indício de que não deve ocorrer acentuado deslocamento físico do calcário, devendo a elevação do pH em camadas mais profundas do solo ser atribuída a outros mecanismos.

É provável que outros ânions, como nitratos, sulfatos e cloretos, originados da decomposição dos resíduos vegetais ou da adição de fertilizantes, contribuam para o caminhamento do Ca e Mg e, em menor grau, de outros cátions (CAIRES et al., 1999; SILVA; VALE, 2000; CRUSCIOL et al., 2011). Existem muitos exemplos na literatura demonstrando a correção da acidez do subsolo pela adição de calcário e fertilizantes nitrogenados (PEARSON et al., 1962; ADAMS et al., 1967; CRUSCIOL et al., 2011). A redução da acidez, nesse caso, pode ser motivada pela absorção de nitratos, devida à chamada absorção alcalina (RAIJ et al., 1988). No SSD grande quantidade de NO_3^- é observada no solo, seja devido ao acúmulo de matéria orgânica, que ocorre em função das sucessões e rotações de culturas, ou pelas elevadas doses de adubos nitrogenados, que são utilizadas para obtenção de altas produtividades (CAIRES et al., 1999). Silva e Vale (2000) constataram que a movimentação de Ca em profundidade no perfil do solo foi mais dependente da fertilização

nitrogenada do que dos resíduos vegetais. Crusciol et al. (2011) constataram que a aplicação de N-inorgânico, nas culturas do milho e do arroz de terras altas, promoveu lixiviação de bases e correção da acidez no perfil do solo em área que recebeu calagem superficial. A elevação do pH no subsolo decorrente da aplicação de N-inorgânico pode ser atribuída à exsudação de OH^- ou HCO_3^- pela raízes da gramínea, para manter o equilíbrio iônico nas células, devido à elevada absorção de NO_3^- das camadas mais profundas do solo, o que resulta em elevação do pH na rizosfera (QUAGGIO, 2000).

A eficiência da calagem superficial sobre a elevação do pH, movimentação de Ca e Mg trocáveis e redução da acidez potencial (H+Al), nas camadas subsuperficiais, tem sido associada ao manejo de resíduos orgânicos (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; MIYAZAWA et al., 2002; FRANCHINI et al., 2001; MEDA et al., 2002). Segundo Miyazawa et al. (2002), a permanência de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento do solo reduzem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos, sendo que com a disponibilidade de água, os compostos orgânicos podem ser solubilizados e lixiviados. Tal fato, somado ao constante aporte de resíduos, possibilita a produção contínua desses compostos orgânicos, podendo resultar em sua perenização no solo (AMARAL et al., 2004). Soratto; Crusciol (2007), Marques et al. (2011) e Castro et al. (2012) verificaram que a calagem aumentou os teores de cátions hidrossolúveis de várias culturas anuais levando a crer que a calagem potencializa os efeitos benéficos destes cátions na solução do solo.

De acordo com Miyazawa et al. (2002) e Franchini et al. (2001), o provável mecanismo de lixiviação de bases trocáveis em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionado à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas, sendo esses ácidos orgânicos responsáveis por promoverem as maiores alterações químicas até camada subsuperficial dos solos. No entanto, o efeito do resíduo vegetal na mobilidade dos produtos da dissolução do calcário no solo varia com a espécie de planta, com as variedades de uma mesma espécie (MEDA et al., 2002) e com o estádio em que a planta é manejada (FRANCHINI et al., 2003), dependendo sempre do constante aporte de material vegetal para que este processo se torne contínuo.

O poder tampão do solo está ligado à sua capacidade de resistir à aplicações de ácidos, ou bases, sem ocorrer grandes alterações em seu pH. Esta capacidade

encontra-se associada aos constituintes do solo. Assim, solos argilosos ou com elevados teores de matéria orgânica, geralmente apresentam maior poder tampão, pois os pontos de troca dos colóides orgânicos e minerais funcionam como receptores e fornecedores de H^+, mantendo o pH do solo sem grandes alterações (LUCHESE, et al. 2001), ou promovendo seu rápido retorno ao estágio anterior à aplicação dos corretivos. Pöttker e Ben (1998) observaram que num solo de textura média, houve efeito mais prolongado da calagem aplicada em superfície na correção da acidez em profundidade, quando comparado com um solo de textura argilosa.

A qualidade do corretivo utilizado também pode ter influência na velocidade de correção do solo. Porém, são escassos os trabalhos relacionados com a utilização de diferentes tipos de corretivos em aplicações superficiais. Em linhas gerais, Verlengia e Gargantini (1972) e Souza e Neptune (1979) afirmam que quanto menor a granulometria do calcário, mais rápida é a sua reação de neutralização. Calcário com granulometria mais fina apresenta maior reatividade que calcário com granulometria mais grosseira no SSD (MELLO et al, 2003, GONÇALVES et al, 2011). No entanto, a velocidade de reação do corretivo e o efeito residual são duas grandezas inversas, que se contrapõem. Os materiais finamente moídos reagem rapidamente no solo, mas seu efeito é mantido por um período mais curto do que materiais mais grosseiros (TISDALE; NELSON, 1984). O efeito residual de um corretivo é fator primordial no manejo dos solos ácidos, devendo ser considerado, principalmente, na avaliação da economicidade da calagem (RAIJ; QUAGGIO, 1984).

4.3 Uso do silicato como corretivo do solo

Segundo Alcarde (1985), além do calcário, outros materiais podem ser utilizados como corretivos de acidez, desde que contenham um "constituinte neutralizante" ou "princípio ativo", óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio. Os silicatos de Ca e Mg, por apresentarem composição semelhante a dos carbonatos, podem substituir o calcário com vantagens (Corrêa et al., 2007), podendo sua recomendação de aplicação ser baseada em qualquer um dos métodos utilizados para recomendação de calagem (Korndörfer et al., 2004). Segundo Alcarde e Rodella (2003) o silicato de cálcio é 6,78 vezes

mais solúvel que o carbonato de cálcio ($CaCO_3$ = 0,014 g dm^{-3}; $CaSiO_3$ = 0,095 g dm^{-3}), sendo uma boa opção para aplicação superficial no SSD (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004).

O silício não é considerado nutriente, porém Barbosa Filho et al. (2000) e Korndörfer et al. (2002) relatam que as gramíneas como um todo, quando bem nutridas com silício, conseguem acumular grandes quantidades deste elemento na epiderme foliar, aumentando a resistência da parede celular e assim diminuindo a perda de água por evapotranspiração, elevando a tolerância à pragas e doenças e, também, a eficiência fotossintética.

De acordo com Korndörfer et al. (2002) e Pulz et al. (2008), os silicatos de Ca e Mg, por apresentarem composição semelhante a dos carbonatos, podem substituir os calcários com vantagens, podendo sua recomendação de aplicação ser baseada em qualquer um dos métodos utilizados para recomendação de calagem. Segundo os autores, os benefícios proporcionados pelos silicatos de Ca e Mg estão associados a elevação do pH, ao aumento de Ca e Mg trocável e da disponibilidade de Si. Também podem reduzir a toxicidade por Fe, Mn e Al às plantas e aumentar a disponibilidade de fósforo no solo.

Em sua revisão, Vidal e Prado (2011) afirmam que no Brasil, são produzidas cerca de 6,25 milhões de toneladas de escórias de siderurgia (Medeiros et al. 2009), como subproduto da mineração do ferro e da produção do aço, consideradas as fontes mais abundantes e baratas de silicatos. Assim, os materiais inertes do minério de ferro e do carvão, que não foram reduzidos no processo siderúrgico de formação do aço, combinam-se com o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) do calcário, dando origem à escória de siderurgia (Pereira, 1978).

4.3.1 O Silício

O Si, o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, tem sido motivo de várias pesquisas que tem demonstrado seus efeitos benéficos para agricultura, pois contribui para o crescimento e a produção vegetal de diversas maneiras: melhorando condições físicas, físico-químicas e químicas desfavoráveis do solo; contribuindo diretamente

para a nutrição das plantas; aumentando a tolerância de grande número de espécies vegetais a pragas e moléstias (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2005).

O registro da utilização do Si como fertilizante se deu há algum tempo e, curiosamente um dos primeiros experimentos contendo Si ainda está sendo conduzido, depois de 100 anos de avaliação na estação de Rothamsted (Inglaterra). Os efeitos benéficos foram observados até a década de 70, onde as maiores produtividades e disponibilidade de P para as plantas são encontradas nas parcelas fertilizadas, anualmente, com 450 kg ha^{-1} de silicato de sódio (Russel, 1976).

4.3.2 O Silício no solo

No processo de formação dos solos, o Si se apresenta como um dos principais elementos constituinte dos argilo-minerais e pode afetar de forma significativa à nutrição das plantas. Em geral, os solos possuem de 5 a 40% de Si na sua composição (MA et al., 2001). Essa grande variação percentual deve-se ao grau de intemperismo dos solos. Os mais intemperizados, como os Latossolos, possuem baixos teores, enquanto solos mais jovens como os cambissolos concentram maiores teores do elemento (TISDALE; NELSON et al.,1984).

Em solos de textura e idade variadas do Estado de São Paulo, Raij e Camargo (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel no Latossolo fase arenosa, e os maiores valores num Podzólico argiloso, atribuindo a referida observação à reduzida porcentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície específica total para o Argissolo, menos intemperizado e mais argiloso. Os autores verificaram ainda, teores de Si extraível com $CaCl_2$ 0,0025 mol L^{-1} variando de 1 a 43 mg dm^{-3} , sendo os valores maiores encontrados nos solos mais argilosos e havendo também relação inversa com o grau de intemperismo.

O silício está presente no solo de diversas formas, como constituinte dos minerais primários, minerais secundários e adsorvido aos coloides do solo. Contudo, a maior concentração do nutriente se encontra na forma de ácido monosilícico (H_4SiO_4), disponível na solução do solo, onde a maior parte não se encontra dissociada, elevando a possibilidade de perdas por lixiviação. Dessa forma, a quantidade do elemento disponível na solução do solo é diretamente dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida,

ocorrendo, portanto, correlação positiva entre os teores do elemento e a quantidade de argila no material coloidal (MEYER; KEEPING, 2001).

Um dos fatores mais estudados e que interfere na solubilidade do silício no solo, em condições aeróbicas, é o pH. A adsorção de silício monomérico por hidróxidos de ferro e alumínio recém-precipitados e por argilas de um Latossolo aumenta com a elevação do pH de 4,0 até 9,0 (MCKEAGUE; CLINE, 1963), fato este evidenciado na maior absorção de Si observada em plantas de arroz submetidas à elevação do pH do solo (OLIVEIRA et al., 2007).

4.3.1 O Silício nas plantas

O Si não é considerado elemento essencial às plantas (JONES; HANDRECK, 1967) porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. No entanto, Epstein e Bloom (2005) citam efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si como resistência às doenças e pragas, resistência à toxidez provocada por metais, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, aumento da atividade de enzimas, efeitos na composição mineral, dentre outros. Por isso, o Si é classificado como elemento benéfico ou útil (MARSCHNER, 1995).

A absorção do Si é um processo ativo, com gasto energético, mesmo quando as raízes estão em presença de altas concentrações do elemento (MALAVOLTA, 2006), pois as plantas absorvem Si exclusivamente como ácido monossilícico, também chamado de ácido ortosilícico [$Si(OH)_4$] (ELAWAD; GREEN JUNIOR, 1979). Essa forma monomérica de ácido silícico é encontrada na água doce e salgada em baixas concentrações ($< 10^{-4}$ M), e se gelatiniza formando sílica gel quando em elevadas concentrações ou baixo pH (CALOMME et al., 2002). Contudo, o solo não é o único meio de absorção de Si pelas culturas. Mitani et al. (2009) identificaram dois genes de transportadores de silício presentes em milho, o ZmLsi1 e o ZmLsi6, sendo que o primeiro é mais expressivo em raízes, enquanto o segundo ocorre mais em folhas.

O transporte do Si é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta. O elemento é imóvel na planta e, em plantas de arroz, é depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes, sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar (TANAKA; PARK, 1966).

O Si acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca das mesmas.

Existem duas hipóteses para a ação do Si nas plantas. Na primeira, considerada como barreira física, o Si depositado na epiderme das folhas de arroz está diretamente relacionado à resistência das plantas às doenças fúngicas, cujo mecanismo de resistência mais aceito é de natureza mecânica (BARBOSA FILHO et al., 2000). A segunda é considerada uma barreira química, e explicaria melhor o efeito benéfico do elemento, que tem levado a incrementos no crescimento e na produtividade final das culturas, uma vez que este elemento atua de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, e especialmente quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, seja de natureza biótica ou abiótica (MA; YAMAJI, 2006; ABDALLA, 2011). O mais provável, é que ambas possuam sua participação, proporcionando os benefícios observados nas mais diversas culturas.

O fornecimento de Si pode ainda reduzir a perda de água por transpiração (MA; YAMAJI, 2006) e aumentar a superóxido dismutase, a peroxidase e a atividade da catalase (MOUSSA, 2006), minimizando os danos causados por veranicos (CRUSCIOL et al., 2009). Segundo Agarie et al. (1998), o Si estaria também envolvido na biossíntese dos componentes da parede celular, devido às folhas das plantas de arroz tratadas com Si apresentarem níveis mais altos de polissacarídeos do que as folhas das plantas não tratadas com Si.

Outra hipótese relacionada com o controle de doenças seria a formação de fenóis favorecida pela absorção de Si. Compostos fenólicos e Si acumulam-se nos sítios de infecção, cuja causa ainda não está esclarecida. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e mobilidade destes no apoplasto. A rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 199l).

Respostas benéficas da aplicação de Si têm sido obtidas em culturas como arroz, cana-de-açúcar, cevada, milho, sorgo e trigo (HATTORI et al., 2005; GUNES et al., 2007), que são consideradas acumuladoras de Si. Entretanto, plantas dicotiledôneas, consideradas não acumuladoras, como tomate, pepino (LIANG et al., 2005), café (REIS et al.,

2008), girassol (GUNES et al., 2008), feijão caupi (MALI; AERY, 2009) e batata (PULZ et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2009), também tem respondido a aplicação de Si.

As respostas à aplicação de Si são potencializadas quando as culturas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de natureza biótica ou abiótica (MA, 2004; GUNES et al., 2007; 2008; HATTORI et al., 2005). A deficiência hídrica, comum no bioma Cerrado, pode inibir a fotossíntese devido a alterações no conteúdo de clorofila, danos no aparato fotossintético e redução da condutância estomática da folha, além de modificar a atividade de algumas enzimas e o acúmulo de açúcares e proteínas na planta (HATTORI et al., 2005), reduzindo a absorção de nutrientes (GUNES et al., 2008) o que pode resultar em menor crescimento, produtividade das culturas.

A ação benéfica do Si tem sido associada a diversos efeitos indiretos, dentre os quais, destacam-se o aumento na capacidade fotossintética, plantas mais eretas, redução da transpiração, aumento da resistência mecânica das células, maior resistência das plantas a certos insetos e doenças, diminuição do efeito tóxico do B, Mn, Fe e outros metais pesados e aumento da absorção de nutrientes (GUNES et al., 2007).

4.4 Rotação de culturas para regiões de inverno seco

Na maioria das regiões do Brasil, principalmente nas que possuem distribuição de chuvas irregular, normalmente é realizado apenas um cultivo, na estação chuvosa do ano, deixando-se o solo descoberto e sujeito às intempéries climáticas o resto do ano, o que muitas vezes causa erosão e consequente perda de nutrientes por lixiviação (GASSEN; GASSEN, 1996), sendo esta perda dependente das condições climáticas da região e das culturas utilizadas.

Para Derpsch et al. (1991) a rotação de culturas é um manejo conservacionista, que consiste em alternar espécies vegetais ao longo dos anos em uma mesma gleba ou talhão. Inúmeras vantagens têm sido relacionadas à rotação, dentre elas a diversificação de renda, melhor aproveitamento das máquinas, variação no tipo e na profundidade utilizada pelos sistemas radiculares, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, fixação de nitrogênio pelas leguminosas, efeitos alelopáticos, redução das perdas de água e de solo, além de aumento na produtividade. Todavia, Calegari (2000) infere que a rotação de culturas é a alternância de espécies vegetais na mesma estação em determinada

área, observando-se um período mínimo sem o cultivo da mesma espécie na mesma área. Ademais, Adegas (1997) cita que esta alternância regular e ordenada de culturas em sequência temporal numa determinada área dificulta a instalação de plantas invasoras. O fato ocorre pelas características das culturas utilizadas em um sistema de rotação, como rapidez de crescimento, eficiência na ocupação do espaço do solo, sombreamento e liberação de substâncias alelopáticas para as plantas daninhas (CASTRO et al., 2011).

A escolha da espécie que será semeada em sucessão dentro da rotação de culturas é determinante para o sucesso do SSD (ARGENTA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2002) e depende da manutenção de sistemas capazes de gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano (CERETTA et al., 2002). No entanto, a produção de palhada para o SSD em regiões com inverno seco, está sujeita principalmente às condições de umidade e temperatura elevadas em boa parte do ano, as quais causam a rápida decomposição da fitomassa depositada sobre o solo. Segundo Bertol et al. (2004), caso não haja esta manutenção, o sistema de cultivo, compreendido como rotação e sucessão de culturas, não influenciará, em geral, as propriedades físicas do solo, tanto em SSD quanto no preparo convencional e, além disso os efeitos benéficos do SSD e da rotação não ocorrerão da forma esperada.

Em função da relevância que a mamona apresenta para produção de biodiesel e o incentivo de seu cultivo em praticamente todo o país, a área de melhoramento genético tem contribuído, buscando lançar híbridos com as seguintes características: potencial produtivo, precocidade, amadurecimento uniforme, baixa deiscência, alto teor de óleo, resistência a pragas e doenças e porte baixo que são adequados à colheita mecanizada, tornando a cultura economicamente viável a médias e grandes propriedades que desejam fazer um cultivo a mais na época de baixa disponibilidade hídrica, como em safrinha (AZEVEDO et al., 2001). A mamona possui sistema radicular robusto e denso, capaz de explorar camadas profundas do solo, tornando-a mais tolerante à seca (SAVY FILHO et al., 1999). Assim, sua inclusão dentro de sistemas que utilizam a rotação de culturas, como o SSD, pode favorecer o desempenho de culturas subsequentes que necessitem de camadas mais revolvidas do solo para o desenvolvimento de seus sistemas radiculares.

Cultivada em maior escala no México e nos Estados Unidos para produção de óleo industrial, o cultivo do crambe iniciou-se no Brasil em 1995, na Fundação

MS, no município de Maracaju - MS, porém, na época, a planta era estudada somente para fins de rotação de cultura (ECHEVENGUÁ, 2007). Estudos realizados na estação de pesquisa da Fundação do Mato Grosso do Sul (2007), em Maracajú – MS destacaram como vantagens *Crambe abyssinica* Hochst: tolerância à seca, à geada, depois de estabelecida, elevada precocidade e elevado teor de óleo (34% a 38%). A produtividade em 2007 variou entre 1.000 e 1.500 quilos por hectare, contudo ressalta-se a possibilidade de aumentar a produtividade. Considerando esses aspectos, acredita-se que o crambe, por tratar-se de cultura de inverno, tem grande potencial para ocupar áreas ociosas, além de constituir-se em matéria-prima alternativa para a produção de biodiesel. Atualmente, na produção de biodiesel, empresas e órgãos estaduais e federais vêem a cultura com grande potencial de produção de óleo, principalmente pelos atributos agronômicos e tecnológicos, como: teor de óleo, produtividade e ciclo da cultura, se enquadrarem dentro do sistema produtivo dessas regiões.

O sorgo é bastante cultivado nas regiões semi-áridas do Brasil, devido à sua adaptação às condições de escassez de água (EMBRAPA, 2006). Para o Brasil, é estrategicamente importante ter áreas ocupadas com sorgo, para garantir o abastecimento de grãos em anos com ocorrência de condições desfavoráveis onde há déficit hídrico. Devido a sua boa adaptabilidade em diversos ambientes, principalmente naqueles onde há condições de deficiência hídrica, possibilita sua expansão em regiões com distribuição irregular de chuvas e, até mesmo, seu uso em sucessão a culturas de verão (COELHO et al., 2002). Neste sentido, a cultura do sorgo granífero apresenta amplo potencial para uso nos cultivos de safrinha na região Centro-Oeste. Adicionalmente, essa cultura permite, ainda, maior amplitude da época de semeadura, possibilitando maior flexibilidade na implantação da cultura em safrinha (PALE et al., 2003).

Experimentos realizados por Silveira (2002) objetivando avaliar os efeitos da rotação de culturas sobre o feijoeiro, no cerrado brasileiro, permitiram constatar que a rotação arroz consorciado com calopogônio proporcionou as maiores produtividades de grãos do feijoeiro nos seis anos de cultivo. De acordo com o autor a inclusão de leguminosas melhorou as características físicas, químicas e biológicas do solo, além do mais as rotações com leguminosas determinaram os maiores incrementos de nitrogênio total no solo. De modo geral, as piores produtividades do feijoeiro foram alcançadas nas rotações milho-feijão e milho-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. A menor produtividade do feijoeiro após o milho foi

atribuída, em parte, à deficiência de nitrogênio, devido à maior competição dos microrganismos, para com o nutriente, durante a decomposição da palhada de milho. A Embrapa (1996) relata que, para a cultura do arroz, a rotação de culturas é uma das práticas de cultivo de grande importância porque evita a incorporação contínua de restos com elevada relação C/N.

Silva e Rosolem (2001) avaliaram várias culturas antecessoras a soja e constataram que após o pousio a oleaginosa acumulou menor quantidade de N, K, Ca, Mg e S, mostrando, assim, que o cultivo anterior pode promover maior eficiência no acúmulo dos nutrientes na parte aérea das culturas subsequentes. Como o mesmo enfoque, estudando a rotação de culturas com soja, Santos et al. (1998) verificaram que os menores valores de produtividade de grãos e altura da inserção de vagens estão relacionados diretamente às características da cultura antecessora. Outro fator que deve ser levado em consideração é o aumento da produtividade das culturas quando cultivadas em intervalos maiores na mesma área, conforme observado por Silveira (2002), na região dos cerrados, em que constatou aumento da produtividade de grãos da soja em cultivos bienais.

A adubação verde é a prática de cultivo e incorporação de plantas, produzidas no local ou adicionadas, com a finalidade de manter os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos, indo ao encontro da tendência mundial pela busca de alimentos mais saudáveis, provenientes da agricultura orgânica ou produzidos com a mínima utilização de insumos “químicos” e degradação do ambiente (SILVA et al., 1999). Uma das principais limitações ao uso da adubação verde na região dos cerrados está relacionada à época de semeadura. Se o produtor optar pela semeadura do adubo verde antes da cultura comercial, pode ocorrer atraso na semeadura de verão, prejudicando o desenvolvimento da mesma. Segundo Pereira et al. (1992), o uso da adubação verde pode ser viabilizado com a semeadura no final da estação chuvosa, após a colheita da cultura comercial, aproveitando o beneficio da cobertura vegetal durante toda a entressafra.

A rotação utilizando-se adubos verdes e culturas gramíneas pode ser benéfica pela utilização do nitrogênio residual por esta cultura. O fato foi comprovado por Mascarenhas et al. (1998), que demonstraram que a produtividade de grãos do arroz foi maior quando em sucessão a soja e a crotalária, no segundo ano de cultivo, do que quando sucedeu somente a soja, indicando efeito positivo adicional do adubo verde, no caso a crotalária, sobre

o arroz. Trabalhos citam que a adubação verde pode provocar incrementos na produção de culturas subsequentes em até 65% em relação a cultivos contínuos. (TANAKA et al., 1992; RODRIGUES FILHO et al., 1996). Silva et al. (1999) destaca que o monocultivo de gramíneas, em decorrência de seu sistema radicular fasciculado e superficial, acaba explorando o solo continuamente a uma mesma profundidade, diminuindo o estoque de nutrientes na camada arável (0,00 – 0,20m), onde estão concentradas as raízes, além de degradar a estrutura do solo, compactando-o e reduzindo sua porosidade. Santos et al. (2006) avaliaram sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas (sistema I trigo/soja, sistema II trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo, sistema III trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo, e aveia branca/soja e sistema IV soja/trigo, milho/ervilhaca e soja e aveia branca) sobre a produtividade de grãos e componentes da produção da soja durante seis anos. Maior produtividade de grãos foi constatada quando a soja foi semeada após o sistema II (2866 $kg.ha^{-1}$) diferenciando, estatisticamente, dos demais.

Entre as diversas leguminosas que se utilizam para adubação verde na região dos cerrados e na maior parte do Estado de São Paulo, destacam-se: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), guandu (*Cajanus cajan*), crotalárias (*Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria paulina* e *Crotalaria spectabilis*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), estilosantes (*Stylosanthes guianensis*) (PEREIRA et al., 1992), além do milheto (*Pennisetum glaucum*) que vem se destacando no SSD de soja no Centro-Oeste, onde é semeado em agosto, sendo dessecado no início de novembro.

O guandú, de ciclo anual ou perene, é uma leguminosa forrageira comumente semeada nas regiões tropicais e subtropicais. Adaptada a ampla faixa de precipitação, é tolerante à seca, desenvolvendo-se melhor em temperaturas mais elevadas (CALEGARI, 2000). Segundo Pereira et al. (1992) durante a estação seca, na região dos cerrados, torna-se caducifólia devido à severa deficiência hídrica registrada na região nesse período. Comparando diferentes adubos verdes, Alvarenga (1993) concluiu ser o guandu a espécie de maior potencial para penetração de raízes no solo, maior produção de massa de matéria seca e maior quantidade de nutrientes imobilizados.

Além do guandú, a crotalária, de acordo com Kiehl (1960), também se destaca na produção de massa de matéria seca. Neste quesito, esta cultura se destaca dentre as

espécies de leguminosas normalmente utilizadas como planta de cobertura e adubo verde. As principais características dessa espécie são: a boa cobertura do solo, proporcionado pelo rápido crescimento, alta produção de biomassa, resistência a pragas e doenças, elevada reciclagem de nutrientes e supressão de nematóides parasitas (INOMOTO et al., 2008). Essa última característica tem acarretado em grande expansão do cultivo dessa espécie nas áreas de produção de grãos na região do cerrado brasileiro.

O milheto é da família das gramíneas, de ciclo anual e crescimento ereto, de alta adaptabilidade a solos de baixa fertilidade e arenosos, sendo muito tolerante à seca (KICHEL, 1998). Esta gramínea tem as mais diversas utilizações, como para formação de pasto, feno, silagem, cobertura morta para o SSD, bem como pode entrar em esquemas de consorciação ou em rotação, principalmente com lab-lab e guandú. O milhet é o sexto cereal mais cultivado em todo o mundo. Estima-se que no Brasil, entre as safras 2003/04 e a safra 2008/09, a área cultivada com este cereal tenha passado de quatro para cinco milhões de hectares (EMBRAPA, 2008). O sucesso da adaptação dessa cultura nos cerrados é devido à sua capacidade de produção de restos vegetais, além de ser uma cultura de fácil instalação e desenvolvimento e excelente forrageira. Enfatizando estas qualidades, Scaléa (1999) o apresenta como alternativa valiosa na Integração Lavoura – Pecuária, pois é altamente palatável, de grande capacidade de rebrota, e bom valor nutricional. Além disso, de acordo com Kichel e Macedo (1994), trata-se de uma espécie de alta capacidade de extração de nutrientes com amplas vantagens de reciclagem, principalmente nitrogênio e potássio.

Os benefícios proporcionados pela utilização dos adubos verdes nem sempre trazem melhorias visíveis ou lucro imediato ao produtor. No entanto, a sua utilização quando de forma racional e, se possível inserida dentro de um sistema de rotação ou sucessão de culturas, pode trazer inúmeros benefícios às culturas subsequentes como também ao próprio solo, mediante melhorias nas suas características físicas, químicas e biológicas.

A integração agricultura – pecuária, ou sistema safra-forrageira, poderá viabilizar a agropecuária brasileira, aumentando a receita do agricultor e do pecuarista, além de fornecer nutrientes para as plantas, melhorar a fertilidade do solo, permitir a rotação de culturas, diminuir a incidência de pragas e doenças e gerar empregos. Segundo Kichel (1998) dentre os inúmeros benefícios desta prática estão a recuperação eficiente da fertilidade do solo, a facilidade da aplicação de práticas para a conservação do solo, a implantação de

pastagens com baixos custos, a melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o controle de pragas, doenças e invasoras, a reciclagem dos nutrientes do solo, o aproveitamento de adubo residual, o aumento na produção de grãos e resíduos no sistema, o aumento das oportunidades de trabalho, a maior eficiência no emprego de máquinas, equipamentos e mão de obra, a diversificação do sistema produtivo e o aumento da produtividade e lucratividade. Além disso, Broch et al. (1997) citam que a mesma possibilita ao mesmo tempo, melhoria da qualidade das pastagens por meio do fornecimento de nutrientes residuais das lavouras e formação de palha com relação C/N alta, proveniente da dessecação da pastagem, o que é fundamental para a instalação do SSD. Dentro deste contexto, Heckler et al. (1998) citam que o gênero *Brachiaria* é muito utilizado nesta integração, pois apresenta sistema radicular abundante, agressivo, o que contribui para a melhoria da infiltração de água, da agregação e da aeração do solo e, de acordo com Vilela et al. (2001), a participação relativa de espécies do gênero *Brachiaria* na região dos cerrados é da ordem de 85%, sendo que a *Brachiaria decumbens* ocupa cerca de 55% da área total de pastagem.

4.5 Analogia entre a propriedades físicas e a matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é resultante, principalmente, da deposição de resíduos ao solo (tanto de origem animal como vegetal). Estes, ao serem depositados, sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, a ação decompositora dos microrganismos. O carbono presente nos MOS é tido como a forma mais abundante desse elemento quando se considera o seu ciclo global na superfície, excedendo o conteúdo da atmosfera e da biomassa terrestre, porque é nesses compartimentos que o carbono está prontamente disponível para participar do ciclo global (STEVENSON, 1994).

A MOS é um dos componentes do solo, complexo, dinâmico e reativo. É um importante constituinte do solo, porque afeta as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos. Ela possui função nutricional, ao servir como fonte de nutrientes para o crescimento de plantas; função biológica, ao influir na atividade da microbiota do solo; e função física, ao promover boa estruturação e aeração do solo e aumentar a retenção de água (STEVENSON, 1994). Em adição, a matéria orgânica do solo está envolvida na agregação das

partículas do solo, na quelação de metais, na bioatividade e na persistência e biodegradabilidade de agrotóxicos.

A MOS pode ser dividida em duas reservas, diferindo em estrutura e função. A fração leve "livre" é formada por resíduos de plantas e animais não decompostos e seus produtos de decomposição parcial, que possuem rápida taxa de movimento no solo, e serve com fonte de nutrientes para as plantas, além de apresentar densidade específica mais baixa do que dos minerais do solo. A fração "pesada" inclui produtos mais processados formando complexos organominerais, apresentando baixo movimento e alta densidade específica, devido a estar intimamente associada com os minerais do solo (GREENLAND, 1971).

No estudo da MOS, o clima é assumido como de grande importância sobre as características da matéria orgânica, devido principalmente à influência da temperatura e umidade na intensidade da decomposição microbiana (STEVENSON, 1999). Já as características minerais do solo e a cobertura morta, influenciam no tipo e grau de associação entre compostos orgânicos e minerais e interferem na estabilidade e no nível de recalcitrância química que a MOS venha a apresentar (SOLLINS et al., 1996; BALDOCK; SKJEMSTAD, 2000).

Como para a viabilidade do SSD objetiva-se a constante manutenção de resíduos na superfície do solo, uma alternativa para melhor a qualidade física do solo baseia-se na escolha de espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes das culturas subsequentes possam crescer (SILVA; ROSOLEM, 2001).

O aporte de matéria seca e consequentemente de M.O promovido tanto pela parte aérea quanto radicular das plantas de cobertura, em SSD, atuam como agentes agregantes das partículas individualizadas do solo, promovendo a formação de agregados mais estáveis (CALONEGO; ROSOLEM, 2008), aumentando a porosidade do solo, a infiltração e retenção de água e diminuindo a densidade e o escorrimento superficial.

Os efeitos diferenciados das plantas de cobertura quando comparados às culturas anuais, nas propriedades químicas do solo, também são consideráveis, com destaque para a absorção de nutrientes em camadas profundas do perfil do solo (GARCIA et al., 2008), velocidade de liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais (ROSOLEM et al.,

2005), absorção de formas pouco disponíveis e associações com microrganismos do solo (PAUL; CLARK, 1996).

A principal propriedade física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais propriedades físicas do solo, como a densidade, a resistência à penetração, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo (BAYER; MIELNICZUC, 2008).

Por ter papel essencial na sustentabilidade do sistema solo, o estoque do C orgânico total (COT) ou da matéria orgânica do solo, têm sido utilizados como indicadores de sua qualidade. Recentemente, a determinação dessas quantidades tem ganhado atenção devido ao solo incorporar C, e, consequentemente, diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa (GULDE et al., 2008).

Porém, a dinâmica da matéria orgânica do solo ou o carbono orgânico total têm mostrado baixa sensibilidade às mudanças promovidas pelos sistemas de manejo, o que levou à utilização do estudo dos compartimentos do COT que são mais sensíveis ao manejo do solo, como melhores indicadores dessa dinâmica (XAVIER et al., 2006; DOU et al., 2008). O carbono contido nas diferentes frações do solo, separadas por tamanho, é um dos melhores indicador do grau de proteção da matéria orgânica do solo, que está menos suscetível ao ataque dos microrganismos, elevando os estoques de C no solo (BALABANE; PLANTE, 2004).

Sabe-se que o solo necessita de espaço poroso para o movimento de água, gases e resistência favorável à penetração das raízes, porém os diferentes sistemas de produção alteram suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado ou em monocultura. Essas alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, como o SSD, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas.

Entretanto, mesmo em SSD há tendência de redução do espaço poroso, em virtude da ausência de movimentação do solo e contínuo tráfego de maquinário. Portanto, o estudo das características físicas em experimentos de longa duração e o efeito de diferentes sucessões de plantas se faz necessário, uma vez que as mesmas apresentam grande

correlação, como é o caso da resistência à penetração, que é uma característica física utilizada para estabelecer o grau de compactação dos solos, sendo intimamente relacionado à umidade e densidade do solo. A porosidade total também é outra característica diretamente proporcional à macroporosidade e microporosidade.

Não é raro observar que em regiões onde há distribuição de chuvas irregular o SSD fica comprometido, uma vez que a produção de resíduos vegetais não é suficiente. Assim, em muitos casos, nessas regiões, observam-se resultados semelhantes entre diferentes sistemas de produção agrícola, no que tange a produtividade das culturas. Entretanto, os aspectos negativos da monocultura aparecem quando o solo, descoberto pela degradação da palhada da cultura de verão, é submetido às chuvas erosivas, as quais o desagregam na superfície, pelo impacto das gotas, diminuindo a taxa de infiltração de água (BERTOL et al., 2004). Apesar de não se comparar a uma área em que não há ação antrópica, na semeadura direta há maior estabilidade dos agregados e continuidade dos poros (COSTA, 2001), o que favorece plenamente a infiltração de água e dificulta o escoamento superficial (SCHICK et al., 2000), bem como a lixiviação de alguns nutrientes.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização climática da área experimental

O experimento foi conduzido desde 2006 na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), apresentando como coordenadas geográficas 48º 23’ de longitude Oeste de Greenwich e 22º 51’ de latitude Sul, com altitude de 765 metros.

O solo do local é do tipo LATOSSOLO VERMELHO distroférrico típico argiloso (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação do experimento realizaram-se as análises de química do solo, até 0,60m de profundidade; textura do solo, até a profundidade de 0,40m, densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac), até 0,60m de profundidade e diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) até 0,10m de profundidade, cujos resultados estão contidos nas Tabelas 1, 2, 3, 4. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001) e as físicas de acordo com Embrapa (1997) e Kiehl (1979).

De acordo com a classificação de Köeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que caracteriza clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). Os dados diários referentes à precipitação pluvial e às temperaturas máxima e mínima durante a condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

Tabela 1. Características químicas iniciais do solo avaliadas de 0 a 0,60m de profundidade.

Prof.	Caracterização da área									
	P_{resina}	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Si	V
(m)	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	$CaCl_2$	----------$mmol_c$ dm^{-3}----------					mg dm^{-3}	%
0-0,05	9	23	4,7	2,1	21	9	50	4	7,5	26
0,05-0,10	8	19	4,4	1,1	11	6	69	6	6,3	25
0,10-0,20	2	18	4,0	0,6	10	4	61	5	6,2	24
0,20-0,40	3	17	4,0	0,7	12	4	64	6	6,0	24
0,40-0,60	2	15	4,0	0,6	9	4	80	12	6,7	22
0-0,20	4	18	4,2	0,8	12	6	54	4	6,2	24

Tabela 2. Características granulométricas do solo da área experimental.

Prof. (m)	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
	----------**g kg^{-1}**----------			
0-0,10	489	415	96	Argilosa
0,10-0,20	435	462	103	Argilosa
0,20-0,40	385	509	106	Argilosa

Tabela 3. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo por ocasião da caracterização da área experimental.

Prof. (m)	DMP	DMG	IEA%
	----------mm----------		
0-0,05	2,92	2,81	99,18
0,05-0,10	2,88	2,73	99,11

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac) do solo, por ocasião da caracterização da área experimental.

Prof. (m)	Ds	Pt	Mic	Mac
	----Mg m^{-3}----	----------cm^3cm^{-3}----------		
0-0,05	1,38	0,40	0,33	0,07
0,05-0,10	1,41	0,38	0,31	0,07
0,10-0,20	1,40	0,42	0,33	0,09
0,20-0,40	1,25	0,43	0,33	0,10
0,40-0,60	1,17	0,47	0,34	0,13

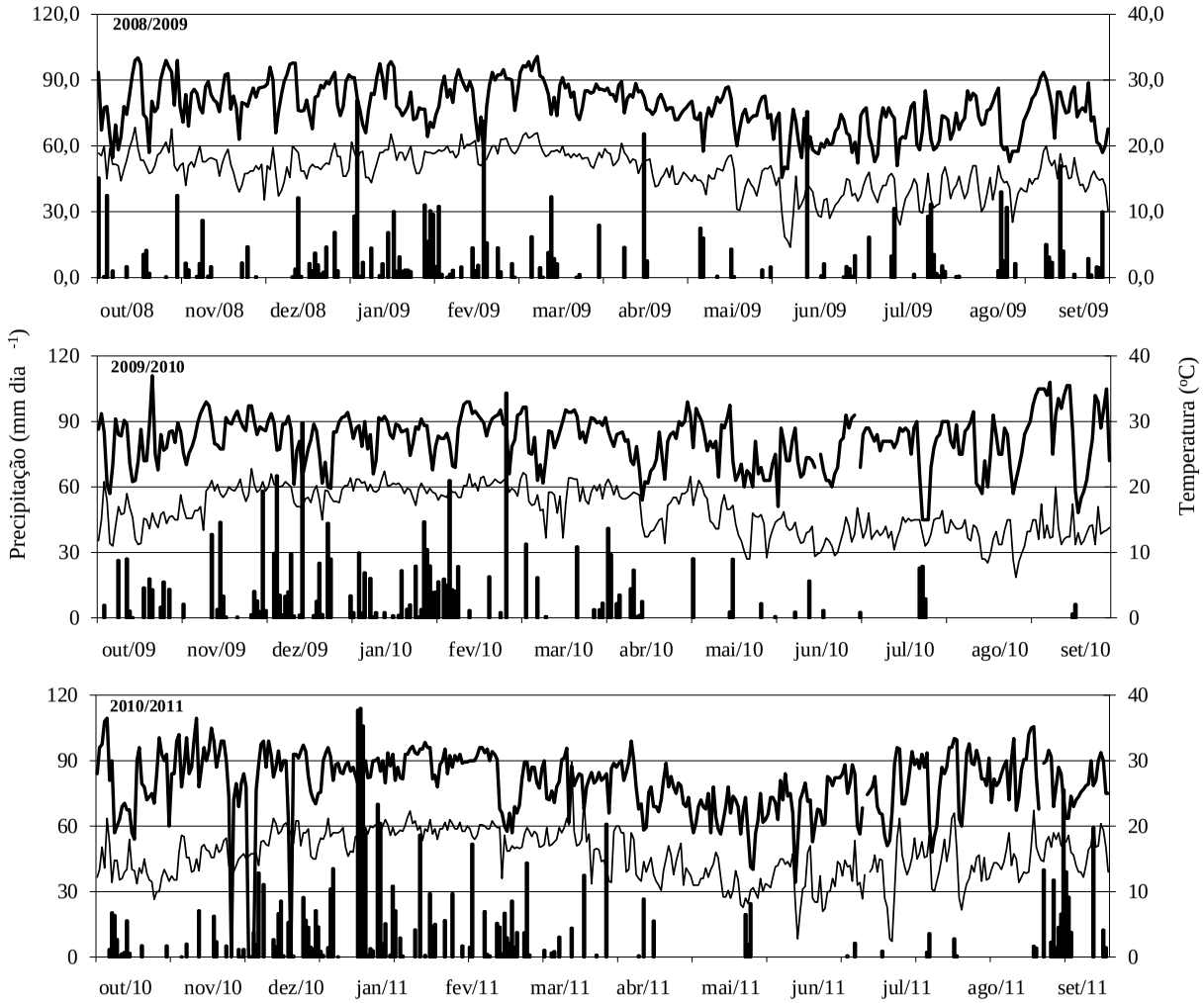

Figura 1. Precipitação pluvial (▌), temperaturas máxima (▬) e mínima (─), registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2008/09, 2009/10 e 2010/11.

5.2 Histórico da área experimental e caracterização do solo

A área experimental vem sendo cultivada no sistema plantio direto desde o ano agrícola 2002/2003 e sendo que desde 2006 ela mantém os tratamentos utilizados no presente experimento. A presente tese deu continuidade ao projeto de pesquisa de longa duração, que fez parte da dissertação de mestrado do presente autor, realizada entre os anos de 2006 e 2008.

Os sistemas de produção de grãos escolhidos representam a grande maioria das áreas cultivadas com culturas graníferas atualmente no Estado de São Paulo e na região dos Cerrados, os quais foram: safra consorciada com forrageira, safra-safrinha, safra-pousio, safra-adubo-verde/planta de cobertura, para todos os sistemas de produção utilizou-se na safra as culturas da soja e milho, respectivamente para os anos agrícolas 2006/07 e 2007/08.

O histórico da área experimental detalha que no sistema safra consorciada com forrageira foi utilizada a *Brachiaria ruziziensis* (Syn.*Urochloa ruziziensis)*. As culturas utilizadas na safrinha no sistema safra-safrinha foram aveia branca e feijão para o primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente. Os adubos verdes/plantas de cobertura utilizados foram milheto e guandu. No sistema safra-pousio, deixou-se a área com vegetação espontânea durante os períodos de entressafra. O detalhamento dos tratamentos pode ser consultado em Castro (2009).

5.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados dispostos em esquema de parcelas subdivididas, com oito repetições. As parcelas foram constituídas por quatro sistemas de produção (Sistema I – “Safra – Forrageira”; Sistema II – “Safra – Safrinha”; Sistema III – “Safra – Pousio”; IV – “Safra - Adubo Verde/Planta de Cobertura”) e as subparcelas por duas fontes de corretivos e um controle (calcário, silicato e sem corretivo), totalizando 12 tratamentos com oito repetições.

As parcelas tiveram as dimensões de 5,4m de largura e 30m de comprimento, totalizando 162m^2, enquanto as subparcelas 5,4m de largura e 10m de comprimento, totalizando 54m^2. A área útil foi constituída pelas linhas centrais, desprezando-se uma linha de cada lado das subparcelas e 1m em ambas as extremidades.

As sucessões de culturas seguiram o seguinte esquema:

Sistema "Safra consorciada com Forrageira"

1º ano agrícola (2008/09)

Arroz semeado em novembro de 2008 + Braquiária na caixa de fertilizantes da semeadora.

2º ano agrícola (2009/10)

Soja semeada em novembro de 2009 + Braquiária na entrelinha (estádio V5 da Soja).

3º ano agrícola (2010/11)

Milho semeado em novembro de 2010 + Braquiária na caixa de fertilizantes da semeadora.

Sistema "Safra – safrinha"

1º ano agrícola (2008/09)

Arroz semeado em novembro de 2008/Mamona semeado em março de 2009.

2º ano agrícola (2009/10)

Soja semeado em novembro de 2009/Sorgo semeada em fevereiro de 2010.

3º ano agrícola (2010/11)

Milho semeado em novembro de 2010/Crambe semeado em fevereiro de 2011.

Sistema "Safra – Pousio"

1º ano agrícola (2008/09)

Arroz semeado em novembro de 2008/Pousio (da colheita do arroz até novembro de 2009).

2º ano agrícola (2009/10)

Soja semeada em novembro de 2009/Pousio (da colheita da soja até novembro de 2010).

3º ano agrícola (2010/11)

Milho semeado em novembro de 2010/Pousio (da colheita do milho até novembro de 2010).

Sistema "Safra – Adubo Verde/Planta de Cobertura"

1º ano agrícola (2008/09)

Arroz semeado em novembro de 2008/ Crotalária semeado em março de 2009.

2º ano agrícola (2009/10)

Soja semeada em novembro de 2009/Milheto semeado em fevereiro de 2010.

3º ano agrícola (2010/11)

Milho semeado em novembro de 2010/ Tremoço semeada em fevereiro de 2011.

5.4 Caracterização dos corretivos de acidez do solo

Foram utilizados como corretivos o calcário (PN = 98%, RE = 92%, PRNT = 90%, CaO = 36% e MgO = 12%) e o silicato de cálcio e magnésio (PN = 93%, RE = 86%, PRNT = 80%, CaO = 34%, MgO = 10% e SiO_2 = 22%), uma escória de siderurgia previamente tratada para comercialização. Além destes dois corretivos, houve também um controle que não recebeu aplicação de corretivos. Em ambas as áreas, as doses dos corretivos foram calculadas objetivando elevar a saturação por bases (V%) a 70%.

As doses foram calculadas pelo método da saturação por bases proposto por RAIJ et al. (1997), onde a necessidade de calcário é calculada pela fórmula: NC (t ha^{-1}) = CTC ($V_2 - V_1$) / 10 PRNT, sendo a CTC a capacidade de troca de cátions do solo, expressa em $mmol_c$ dm^{-3}, o V_2 a saturação por bases esperada e o V_1 a saturação por bases do solo, ambos expressos em porcentagem, e o PRNT o poder relativo de neutralização total, também expresso em porcentagem.

O calcário foi proveniente de Formiga-MG, pois se assemelhava mais ao silicato no que diz respeito aos teores de cálcio e magnésio. Assim, em outubro de 2006, foram aplicados 3,8 t ha^{-1} do calcário e 4,1 t ha^{-1} do silicato de cálcio e magnésio em superfície, após correção do teor de água dos produtos. A aplicação foi realizada sobre palhada de milheto (4 t ha^{-1}), previamente dessecada com 1800g ha^{-1} de i.a. de glifosato.

5.5 Condução do experimento

As determinações das frações não-trocáveis de Ca e Mg (SORATTO; CRUSCIOL, 2008c), aliada às características químicas apresentadas na análise de fertilidade do solo (pH e saturação por bases) na amostragem realizada 18 meses após a aplicação dos corretivos, evidenciaram que ainda havia calcário e silicato por reagir na área. Assim, optou-se por não realizar a reaplicação dos corretivos de acidez do solo.

Todas as operações de semeadura abaixo descritas foram realizadas utilizando-se uma multi-semeadora adubadora Semeato, modelo “Personale Drill” - 13. As

pulverizações foram realizadas com pulverizador tratorizado, dotado de barras com 12 m de comprimento, e bicos leque 110.02 espaçados de 0,50 m. A colheita das culturas foi realizada mecanicamente com o auxílio de uma colhedora automotriz de parcela, modelo Nurserymaster da Wintersteiger.

5.5.1 Culturas de verão – Safra

As culturas de verão foram semeadas e conduzidas da seguinte forma:

5.5.1.1 Arroz (Safra 2008/09)

Antes da semeadura da cultura do arroz, foi realizada a dessecação das plantas presentes na área com a utilização do herbicida glyphosate, na dose de 1800 gramas do ingrediente ativo (i. a.) ha^{-1}, utilizando volume de aplicação de 250 L ha^{-1}. No dia 29 de outubro de 2008 foi realizada a semeadura da cultura do arroz. Utilizou-se a cultivar IAC 202 no espaçamento de 0,45m e 200 sementes viáveis por metro quadrado. As sementes receberam tratamento com fungicida (Vitavax + Thiram – 50 + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes). A adubação de semeadura constou da aplicação de 200 kg ha^{-1} da formulação 02-20-20, levando-se em conta as características químicas do solo e as recomendações para a cultura do arroz (CANTARELLA; FURLANI, 1997). A adubação de cobertura foi realizada aplicando-se 60 kg ha^{-1} de N na forma de uréia na entrelinha da cultura. A emergência do arroz ocorreu no dia 6 de novembro de 2008. Foi realizada uma aplicação com o Propanil + Thiobencarb (1200 e 2400 mL ha^{-1} do i.a.) para o controle de plantas daninhas na área. Para o controle de pragas e doenças, realizou-se duas aplicações de Deltametrina (7,5 g ha^{-1} do i.a.) e do fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin (25 + 67 g ha^{-1} do i.a.), nos estágios de emborrachamento e florescimento pleno, que ocorreu 87 dias após a emergência da cultura. A colheita foi realizada dia 3 de abril de 2009.

5.5.1.2 Soja (Safra 2009/10)

Em 30 de novembro de 2009, após prévia dessecação da área seguindo a mesma dosagem da cultura anterior, foi realizada a semeadura da cultura da soja. Utilizou-se a cultivar CD 202, de ciclo precoce, crescimento indeterminado e exigente quanto a fertilidade do solo, no espaçamento de 0,45m e 18 plantas por metro. As sementes foram

tratadas com fungicida (Vitavax + Thiram – 50 + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Adubou-se a cultura com 250 kg ha^{-1} da formulação 04-20-20 (MASCARENHAS; TANAKA, 1997). A emergência da cultura se deu em 5 de dezembro de 2009. Foi realizada uma aplicação com o Bentazone (600 mL ha^{-1} do i.a.) para o controle de plantas daninhas na área. O controle de pragas e doenças na soja foi realizado mediante duas aplicações do inseticida Deltametrina (7,5 g ha^{-1} do i.a.) e do fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin (25 + 67 g ha^{-1} do i.a.). O florescimento pleno ocorreu 40 dias após sua emergência e a colheita no dia 29 de março de 2010.

5.5.1.3 Milho (Safra 2010/11)

A cultura do milho foi semeada, após prévia dessecação da área, no dia 18 de novembro de 2010, utilizando-se o híbrido 2B433, de ciclo médio e exigente em fertilidade do solo, no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e sementes necessárias para se obter três plantas por metro. As sementes foram previamente tratadas com fungicida (Captan - 120g do i.a. 100 kg de $sementes^{-1}$). Para a adubação de base nos sulcos foram utilizados 350 kg ha^{-1} da formulação 08-28-16, levando-se em conta as características químicas do solo e as recomendações para a cultura do milho (RAIJ; CANTARELLA, 1997). No dia 8 de dezembro de 2010 foi aplicado o herbicida Atrazine (2500 g ha^{-1} do i.a.). Em 18 de dezembro de 2010 foi realizada a adubação de cobertura, aplicando-se 160 kg ha^{-1} de N na forma de uréia na entrelinha. Posteriormente realizaram-se duas aplicações de inseticidas, sendo a primeira de Lambda-cialotrina + Thiamethoxam (20 e 28 g ha^{-1} do i.a., respectivamente) em 22/12/2010 e a segunda de Espinosade (48 g ha^{-1} do i.a.) em 07/01/2011. O florescimento pleno do milho ocorreu 66 dias após sua emergência e a colheita se deu dia 21 de março de 2011.

5.5.2 Culturas de safrinha

Para as culturas do sistema Safra-Safrinha, salienta-se que não foi realizada adubação de semeadura. Durante o ciclo das culturas, não foi necessário o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças ou ervas daninhas, pois nenhuma delas chegou ao nível de dano econômico. As culturas de safrinha foram semeadas e conduzidas da seguinte forma:

5.5.2.1 Mamona (Safrinha de 2009)

A cultura da mamona (*Ricinus communis*), variedade IAC 2028, foi semeada no dia 10 de abril de 2009. Foram utilizadas três sementes viáveis por metro, seguindo-se espaçamento de 0,45m. O florescimento pleno ocorreu 76 dias após a emergência e a colheita foi realizada dia 1 de outubro de 2009.

5.5.2.2 Sorgo (Safrinha de 2010)

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.), híbrido AG-1040, foi semeada em 30 de março de 2010. Foram utilizados 10 kg de sementes por hectare, seguindo-se espaçamento de 0,45m com população esperada de 200.000 plantas ha^{-1}. O florescimento pleno ocorreu 62 dias após a emergência e a colheita foi realizada dia 29 de julho de 2010.

5.5.2.3 Crambe (Safrinha de 2011)

A cultura do crambe (*Crambe abyssinica*), cultivar FMS Brilhate, foi implantada no dia 22 de abril de 2011 no espaçamento de 0,34m, semeando-se 15 kg de sementes ha^{-1} com objetivo de atingir a população de 600 mil plantas por hectare. O florescimento pleno ocorreu 30 dias após a emergência e a colheita foi realizada dia 8 de agosto de 2011.

5.5.3 Adubos verdes/Plantas de cobertura

Para as culturas do sistema Safra-Adubo verde/Plantas de cobertura, salienta-se que não foi realizada adubação de semeadura e de cobertura. Durante o ciclo das culturas, não foi necessário o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças ou ervas daninhas, pois nenhuma delas chegou ao nível de dano econômico. As culturas de cobertura e/ou adubos verdes foram semeadas e conduzidas da seguinte forma:

5.5.3.1 Crotalária (Adubo verde de 2009)

No dia 10 abril de 2009 foi realizada a semeadura da crotalária (*Crotalaria juncea*) cv IAC-KR1, utilizando-se 25 kg de sementes por hectare no espaçamento

de 0,45 m. O florescimento pleno da cultura ocorreu dia 19 de julho de 2009. Nesta ocasião foi realizado o manejo de corte das plantas para estimular a rebrota, o que não ocorreu.

5.5.3.2 Milheto (Adubo verde de 2010)

A semeadura do milheto (*Pennisetum americanum*) ocorreu no dia 30 de março de 2010, com espaçamento de 0,45m entrelinhas, 15 kg ha^{-1} de sementes e cultivar ADR 500, esperando uma população de 200 mil plantas por hectare. Cinquenta e cinco dias após a emergência, quando ocorreu o florescimento pleno da cultura, foi realizado o manejo de corte nas plantas a 15 cm do solo para estimular a rebrota. Decorridos 40 dias desta operação as plantas atingiram novamente o estádio de florescimento, sendo realizado mais um corte, esse rente ao solo.

5.5.3.3 Tremoço (Adubo verde de 2011)

A cultura do tremoço (*Lupinus albus*) foi implantada no dia 22 de abril de 2011 no espaçamento de 0,34 m, semeando-se 50 kg de sementes ha^{-1} com objetivo de atingir a população de 400 mil plantas por hectare. O florescimento pleno da cultura ocorreu dia 8 de agosto de 2011. Nesta ocasião foi realizado o manejo das plantas.

5.5.4 Forrageira perene - *Brachiaria ruziziensis*

Para as culturas do sistema Safra-Forrageira perene, salienta-se que não foi realizada adubação de semeadura. Durante o ciclo das culturas, não foi necessário o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças ou ervas daninhas, pois nenhuma delas chegou ao nível de dano econômico. A implantação e a condução da forrageira perene em sucessão ou em consórcio com as culturas graníferas no sistema Safra – Forrageira estão descritas abaixo:

5.5.4.1 Arroz – Braquiária

A *Brachiaria ruziziensis* foi semeada na mesma operação do arroz, sendo previamente misturada junto com o fertilizante empregado na cultura e armazenada no compartimento de adubo da semeadora e depositada a 8 cm de profundidade. Tal operação foi realizada devido aos resultados obtidos em experimentos anteriores na FCA/UNESP. A

densidade de semeadura foi de 10 kg ha^{-1} para o valor cultural de 25% com o objetivo de semear 2,5 kg de sementes puras viáveis por hectare, densidade esta preconizada por Kluthcouski et al. (2000).

5.5.4.2 Soja - Braquiária

A *Brachiaria ruziziensis* foi semeada a lanço quando a cultura da soja atingiu o estágio V5 (formação do canivete), técnica essa denominada sobressemeadura, utilizando as recomendações de Kluthcouski et al. (2000).

5.5.4.3 Milho - Braquiária

A *Brachiaria ruziziensis* foi semeada na mesma operação do milho, sendo previamente misturada junto com o fertilizante empregado na cultura e armazenada no compartimento de adubo da semeadora e depositada a 8 cm de profundidade. Tal operação foi realizada devido aos resultados obtidos em experimentos anteriores na FCA/UNESP. Utilizou-se mais uma vez a densidade esta preconizada por Kluthcouski et al. (2000).

5.5.5 Pousio

Neste sistema, a área permaneceu em pousio entre a colheita da safra de verão e a semeadura da mesma safra no ano seguinte, permanecendo somente as plantas daninhas em livre crescimento durante a entressafra.

5.6 Amostragens e avaliações realizadas

5.6.1 Atributos químicos do solo

As características químicas do solo (pH, Matéria Orgânica, H+Al, P, K, Ca, Mg, Al^{+3} e Si) foram determinadas aos 36 meses (outubro de 2009) e 48 meses (outubro de 2010) após a aplicação dos corretivos, nas camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m. Foram retiradas aleatoriamente, sempre na entrelinha da cultura antecessora, seis amostras simples na área útil de cada subparcela, para constituir uma amostra composta, com auxílio de trados do tipo tubular fechado. As amostras compostas foram secas e peneiradas (malha 2 mm) e analisadas seguindo metodologia proposta por Raij

et al. (2001) com exceção ao silício, onde seguiu-se a metodologia proposta por Korndörfer et al. (1999) utilizando-se como extrator o cloreto de cálcio.

5.6.2 Atributos físicos do solo

Em outubro de 2011, foram coletadas em trincheiras abertas em cada subparcela amostras de solo com estrutura não deformada para determinação de densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (Pt), por meio de anéis volumétricos com 0,05m de diâmetro e 0,05m de altura. As amostras foram retiradas em duplicata no centro das camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Em laboratório as amostras em anéis volumétricos foram colocadas para saturar em bandejas plásticas com água até 2/3 da altura dos anéis por 48 horas. Após pesagem das amostras saturadas com água, as mesmas foram levadas à mesa de tensão e submetidas à tensão de 0,006 MPa. Após atingir o equilíbrio nesse potencial matricial, as amostras foram pesadas e colocadas para secar a 105 ^{o}C em estufa de aeração forçada por 24 horas. As amostras secas foram pesadas novamente e com a diferença entre a massa das amostras saturadas com água e secas a 105 ºC calculou-se a Pt. Para calcular a Ds dividiu-se a massa das amostras secas a 105 ºC pelo volume do anel volumétrico. A macro e a microporosidade foram determinadas utilizando o teor de água retida nas amostras em equilíbrio com a tensão de 0,006 MPa, considerando que essa tensão é suficiente para retirar toda a água retida nos macroporos, sendo que a água restante representa o volume de microporos. Portanto, conhecendo a porosidade total e a microporosidade foi possível calcular a macroporosidade (CAMARGO et al., 2009).

Para avaliação da estabilidade de agregados coletou-se, com o auxílio de espátulas, monólitos com dimensões aproximadas de 0,05m de altura, 0,10m de largura e 0,15m de comprimento. Foram coletadas quatro amostras de solo por subparcela no centro das camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente pré-selecionadas em jogo de peneiras sobrepostas, tendo as peneiras superior e inferior malhas de 8 e 4 mm, respectivamente. Para a avaliação da estabilidade dos agregados utilizou-se a porção que passou pela malha de 8 mm e ficou retida na de 4 mm.

Para avaliar a estabilidade de agregados via úmida adotou-se o procedimento descrito em Camargo et al. (2009). Foram usados 25 g de solo de cada amostra,

que foram pré-umedecidas e mantidas em repouso em temperatura ambiente por 10 minutos. Em seguida, essas amostras foram colocadas no aparelho de oscilação vertical (tipo Yoder) sobre conjunto de peneiras de 2,00, 1,00, 0,50, 0,25 e 0,105 mm de diâmetro. Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para potes de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105 ºC por um período de 24 h para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas e conhecendo os teores de umidade das amostras de solo submetidas ao tamisamento, foram calculados a porcentagem de agregados retidos na peneira de 2 mm (agregados > 2 mm), o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), de acordo metodologia proposta por Kemper e Chepil (1965), que sugerem para o cálculo de DMP, DMG e IEA as seguintes equações:

$$DMP = \sum_{i=1}^{n} (xi.wi)$$

$$DMG = (\exp \sum_{i=1}^{n} (wp \,.\, \log xi)) / (\sum_{i=1}^{n} wi)$$

$$IEA = ((\text{peso da amostra seca} - wp25) / \text{peso da amostra seca}) \,.\, 100$$

Onde xi é o diâmetro médio das classes de agregados; wi é a proporção da massa de agregados de cada classe em relação ao total; wp é a massa de agregados de cada classe; wp25 é a massa de agregados das classes menores que 0,25 mm.

Por ocasião da coleta de solo, determinou-se a resistência mecânica do solo à penetração, avaliada com um penetrômetro construído com base no modelo de Stolf (1991), com massa de impacto de 2,880 kg e massa dos demais componentes de 1,185 kg, altura de queda da massa de impacto de 40 cm, cone com ângulo de 30° e área da base de 1,287 cm^2. Para minimizar diferenças de umidade do solo entre os tratamentos e entre as profundidades, realizou-se a avaliação três dias após uma precipitação. Foram realizadas três perfurações por subparcela até a profundidade de 0,40m. No mesmo instante, coletaram-se duas amostras deformadas de solo nas profundidades de 0,05, 0,15 e 0,30 m para determinação da umidade do solo, as quais foram acondicionadas no interior de sacos plásticos vedados e em caixas de isopor para conservação da umidade. Em seguida, em laboratório, as amostras

tiveram os teores de água determinados pelo método gravimétrico (CARMARGO et al., 2009).

5.6.3 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

As determinações de carbono orgânico particulado, associado aos minerais e total, foram efetuadas apenas nas amostras de solo coletadas nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-20 m, na mesma época da amostragem física do solo, ou seja, após a segunda safra do terceiro ano agrícola (outubro de 2011).

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado seguindo Cambardella e Elliot (1992), sendo que foram misturados 20 g de solo a 80 mL de solução dispersante de hexametafosfato de sódio (5 g L^{-1}). Em seguida, as amostras foram então agitadas por 15 h em agitador horizontal. Posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 0,053 mm com auxílio de jato de água, sendo o material retido na peneira seco em estufa a 50 ºC até massa constante. Depois de mensurada a massa, o material foi moído em gral de porcelana e teve o seu teor de C orgânico determinado pelo analisador elementar CHN Licor, sendo este considerado o C orgânico particulado (COP). O C orgânico associado aos minerais (CAM) foi calculado pela diferença entre o carbono orgânico total (COT) e o COP.

5.6.4 Produção de matéria seca e diagnose foliar das culturas

No florescimento de cada cultura foram realizadas amostragens para determinação da produção de matéria seca da parte aérea e para diagnose foliar, exceto para cultura da braquiária, cuja coleta foi realizada no momento do manejo de dessecação, antes da semeadura da cultura de verão. Para tanto, procedeu-se a coleta de duas amostras em cada subparcela mediante um quadro de 0,25 m^2 e a ceifa das plantas rente ao solo. Para todas as demais culturas, foram coletadas 20 plantas por parcela para a determinação da produção de matéria seca.

Para diagnose foliar da cultura do arroz, foram coletas 50 folhas bandeiras. Para a cultura da soja, as 3^{as} folhas com pecíolo, de 50 plantas por subparcela. Já na cultura do milho, foram coletados o terço central de 50 folhas da base da espiga. Na cultura da mamona, coletou-se a quarta folha a partir do ápice de 50 plantas. Na cultura do sorgo, coletou-se quarta folha com bainha visível, contada a partir do ápice, de 50 plantas por

subparcela (RAIJ et al., 1997). Para a cultura do crambe, que não possui recomendação oficial de folha diagnose, e para todas as culturas dos sistemas adubo verde e forrageira, utilizou-se o mesmo material coletado para produção de matéria seca.

O material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e levados para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 ºC, até atingirem peso constante. Em seguida, as plantas foram pesadas para determinação da produção de matéria seca. As partes para diagnose foliar foram moídas e submetidas à análise para determinação dos teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), segundo os métodos descritos por Malavolta et al. (1997) e de silício, segundo técnica descrita por Elliot e Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

5.6.5 Componentes da produção e produtividade de grãos

Estas variáveis foram mensuradas somente para as culturas de safra e safrinha. Por ocasião da colheita, foi avaliada a população de plantas (milho, soja, mamona, sorgo e crambe), mediante a contagem das plantas contidas em duas linhas de 5 m na área útil das subparcelas e transformada em plantas por hectare, e o número de panículas por metro quadrado (arroz), mediante a contagem em 2 m de duas fileiras de plantas na área útil da subparcela.

Quanto às culturas de verão, para a cultura do arroz, em quinze panículas, foram determinados o número de espiguetas por panícula, a fertilidade das espiguetas (pela divisão do número de espiguetas granadas pelo número total de espiguetas) e a massa de 1000 grãos. Na cultura do milho, foram determinados o índice de espiga, mediante a contagem das espigas contidas nas plantas de duas linhas de 5 m, o número de grãos por espiga (média de dez espigas) e a massa de 100 grãos. Já na cultura da soja, em vinte plantas por subparcela, foram determinados o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos.

Nas culturas de safrinha, para a cultura da mamona, em dez plantas foram determinados o número de racemos por planta, número de frutos por racemo, número de grãos por fruto, e massa de 100 grãos. Na cultura do sorgo, foram determinados o número de panículas por planta, o número de grãos por panícula e a massa de 1000 grãos. E por fim, para

o crambe, foram determinados, em 10 plantas, o número de grãos por planta e a massa de 1000 grãos.

As plantas da área útil de cada parcela foram colhidas com o auxílio de uma colhedora automotriz de parcela, modelo Nurserymaster da Wintersteiger. Os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} para o teor de água de 130 g kg^{-1} (base úmida).

5.6.6 Custo de produção

O custo de produção foi determinado para cada um dos tratamentos. A metodologia para o cálculo do custo foi baseada no custo operacional total (COT), desenvolvida pelo Instituto de Economia Rural (MATSUNAGA, 1976).

O custo operacional efetivo foi representado pelas despesas com mão-de-obra, sementes, fertilizantes, defensivos, reparos de máquinas, equipamentos, entre outros. Adicionando-se a essas despesas uma parcela dos custos fixos representados pelas despesas com depreciação dos bens duráveis empregados no processo de produção, juros de custeio, e outras despesas operacionais determinou-se o COT.

Para estimar a lucratividade dos tratamentos, foi estimada a receita bruta como o produto da produção pelo preço de venda atualizado; a receita líquida pela diferença entre a receita bruta e o custo operacional total (MARTIN, 1997).

5.7 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Os dados referentes às culturas de entressafra foram analisados comparando somente as médias dos corretivos, mediante teste de t (LSD) a 5% de probabilidade. Os demais dados foram analisados considerando os fatores corretivos e sistemas de produção, também mediante teste de t (LSD) a 5% de probabilidade. Em caso de interação, os dados foram desdobrados. Utilizou-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Matéria orgânica do solo

Aos 36 meses após a aplicação dos corretivos, observou-se elevação dos teores de MO até a camada 0,20- 0,40 m (Figura 2). Poder-se-ia esperar efeito deletério das práticas corretivas quando aos teores de M.O. em função da elevação do pH acarretar em aumento da atividade microbiana, promovendo a mineralização da M.O. (ROSOLEM et al., 2003; FUENTES et al., 2006). Contudo, a aplicação de corretivos da acidez favorece a produção de fitomassa das culturas, levando a maior adição de matéria orgânica (CONDRON et al., 1993) e maior proteção do solo contra os agente erosivos do solo, fundamento primordial do SSD. Por outro lado, o efeito em profundidade pode estar relacionado ao maior desenvolvimento radicular das culturas devido às melhores condições de acidez do solo.

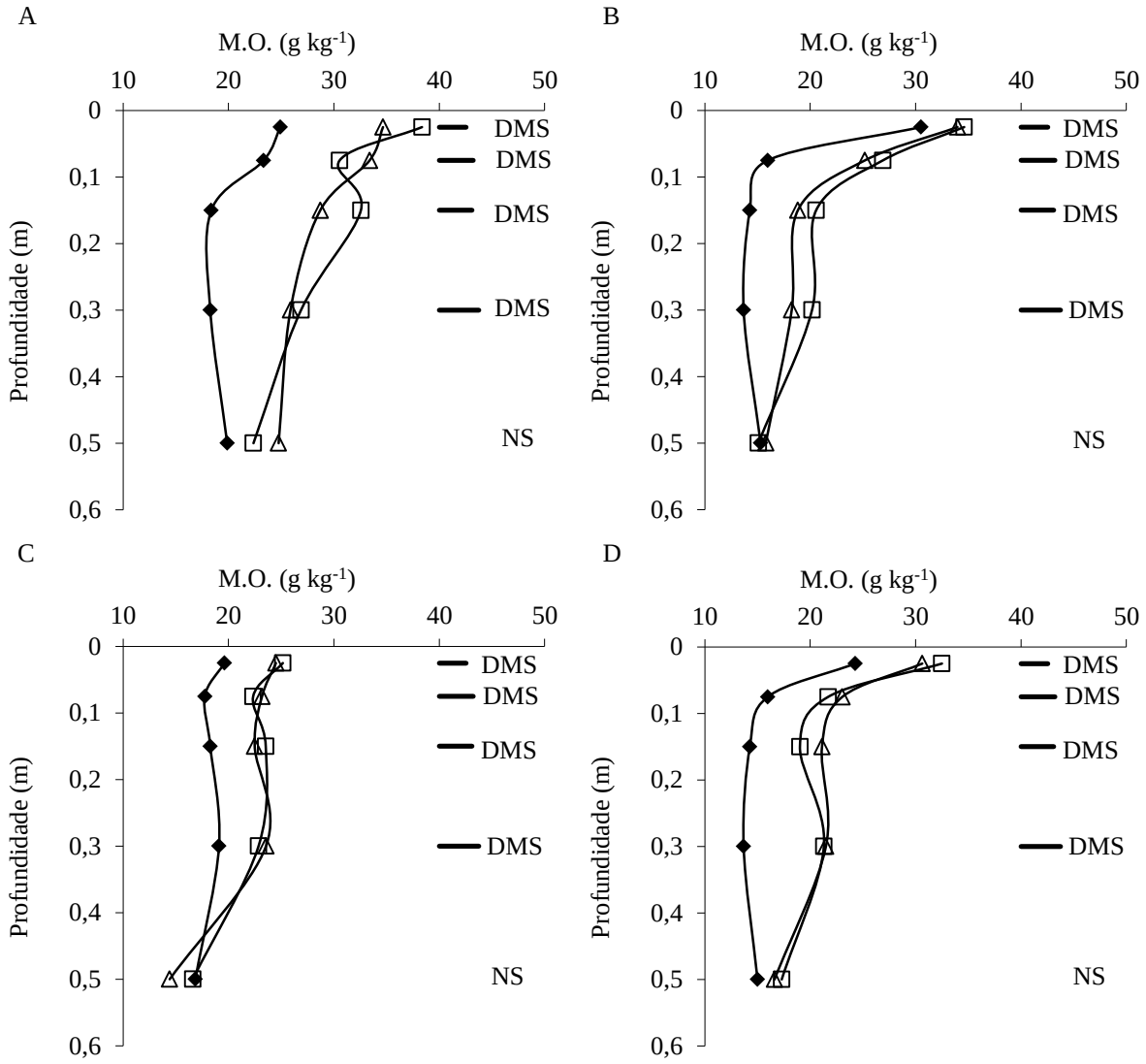

Figura 2. Valores de matéria orgânica (M.O.) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

Neste enfoque, além do efeito dos corretivos, pôde-se observar elevação dos teores de M.O. do solo pelo cultivo de uma segunda safra, em especial no sistema safra-forrageira, seguido pelos sistemas safra-safrinha e safra-adubo verde. Mais uma vez, este fato pode estar atrelado a maior produção de fitomassa e, consequentemente, maior aporte de carbono e maior proteção do solo durante a entressafra, garantindo a manutenção de quantidades satisfatórias de palhada na superfície, elevando o estoque e/ou impedindo a mineralização de carbono do solo.

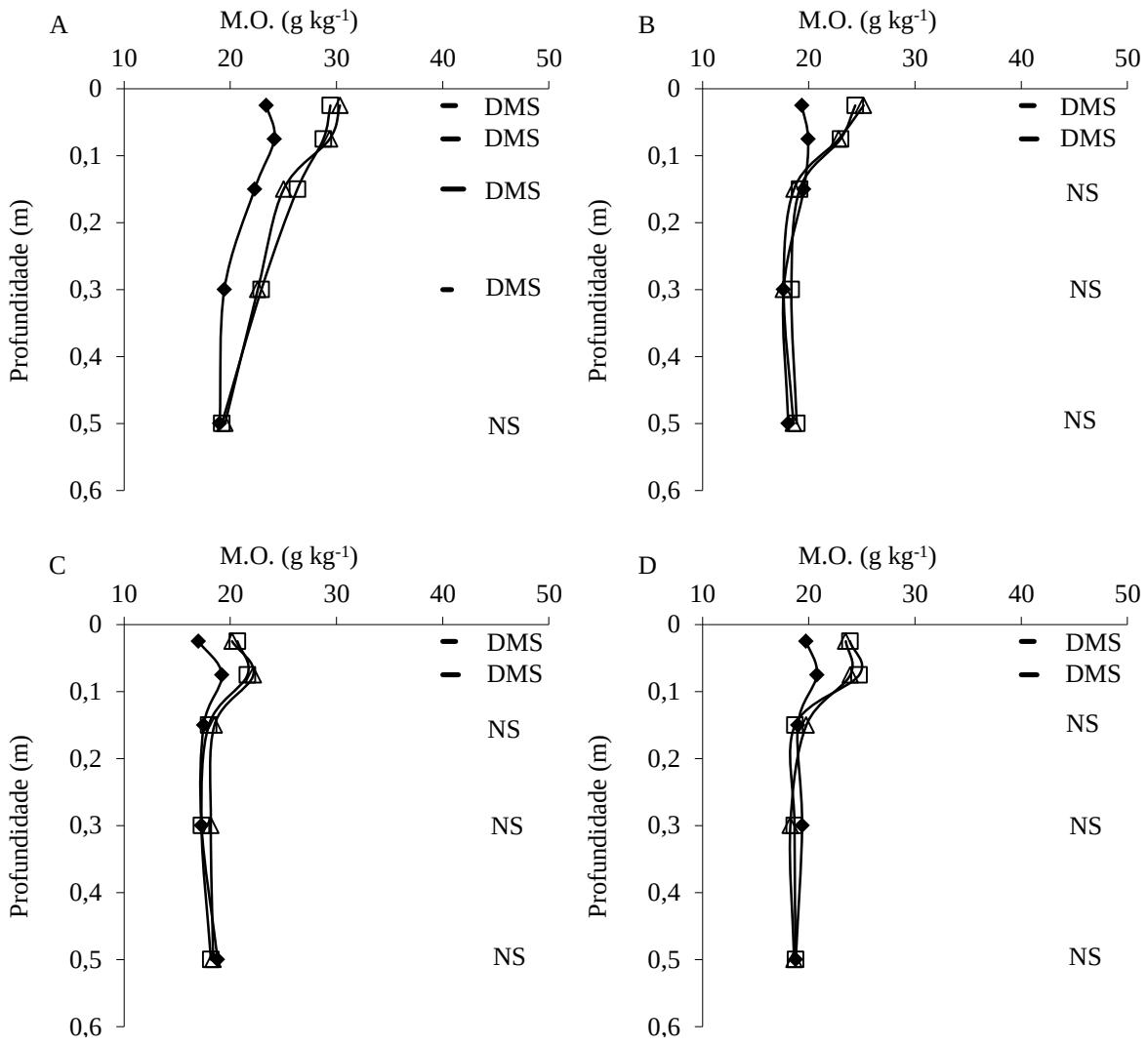

Figura 3. Valores de matéria orgânica (M.O.) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Aos 48 meses após a aplicação dos corretivos foram observados incrementos nos teores de matéria orgânica até a camada 0,20-0,40 m no sistema safra-forrageira. Nos demais sistemas, tal efeito foi verificado apenas até a camada 0,05-0,10 m. (Figura 3). A adoção de práticas conservacionistas, como o SSD, normalmente tem efeito positivo sobre o teor e a qualidade da matéria orgânica do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997), com reflexos diretos ou indiretos sobre as características químicas (FRAZÃO et al., 2008).

No entanto, nesta época de avaliação, as diferenças entre os tratamentos foram mais sutis, sendo que o maior efeito observado foi com relação aos sistemas de produção. Isso porque, mesmo na ausência de corretivos, a M.O. do solo do sistema safra-forrageira supera os níveis de M.O. do sistema safra-pousio onde foi realizada a correção do solo. Ainda, constatou-se que, nas duas primeiras camadas superficiais, o sistema safra-forrageira foi o que proporcionou os maiores valores de M.O. do solo, seguido dos sistemas safra-safrinha e safra-adubo verde. Entre as profundidades de 0,10-0,40 m, somente o sistema safra-forrageira diferiu positivamente dos demais quanto aos teores de M.O.

É provável que, devido ao sistema radicular mais vigoroso, a utilização de uma planta forrageira perene, como a *Brachiaria ruziziensis*, possa ter favorecido ainda mais seu desenvolvimento radicular, culminando na elevação dos teores de matéria orgânica do solo em profundidade. A limitação de profundidade do efeito benéfico dos sistemas safra-safrinha e safra-adubo verde pode estar relacionada à morfologia radicular das espécies cultivadas nestes sistemas, com raízes menos vigorosas que as da *B. ruziziensis*.

6.2 Fracionamento da matéria orgânica do solo

Os dados referentes ao fracionamento físico da matéria orgânica do solo, 60 meses após o início do experimento, estão contidos nas figuras 4, 5 e 6 e na tabela 5. Por meio desse modelo de caracterização da matéria orgânica, foram obtidas as frações carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP). Pela diferença entre COT e COP, obteve-se o carbono associado aos minerais CAM. A partir destes, derivaram-se os dados de estoque de carbono orgânico total, estoque de carbono orgânico particulado (Mg ha^{-1}) nas diferentes camadas do solo, calculados de acordo com os valores de densidade do solo: Estoque = Teor de C (%) x Densidade do solo (g cm^{-3}) x espessura da camada (cm). e labilidade da matéria orgânica do solo, calculada pela razão entre COP/CAM.

O teor de COT foi maior nas camadas superficiais do solo e decresceu com a profundidade, em todos os tratamentos (Figura 4). Quanto ao efeito dos corretivos, observa-se que a aplicação de ambos resultou em valores superiores de carbono no solo. Deve-se salientar que, por não possuir um dado inicial comparativo desta variável, não se pode inferir que a aplicação de corretivos elevou os teores de COT do solo, ou se minimizou

as perdas de carbono destes tratamentos. Isso vale para todas as demais variáveis quantificadas no item 7.2. Contudo, este resultado é provável pelo maior aporte de material vegetal e pelo hipotético melhor desenvolvimento do sistema radicular das culturas quando submetidas à aplicação de corretivos, o que resultou em maiores teores de COT nas três camadas avaliadas.

Quanto aos sistemas de produção, na camada mais superficial, os menores teores de COT foram observados no sistema safra-pousio. Por outro lado, os maiores teores foram observados para o sistema safra-forrageira, que diferiu dos demais sistemas em todas as profundidades. Os demais sistemas diferiram do controle apenas na primeira camada avaliada. Estes resultados, mais uma vez, devem estar ligados ao maior aporte de matéria seca destes sistemas. O efeito em profundidade do sistema safra-forrageira deve estar atrelado ao hábito de crescimento radicular das gramíneas tropicais perenes, notadamente as do gênero *Brachiaria*.

Sistemas com aporte de resíduos semelhante apresentam maior concentração de C na camada superficial, em virtude do acúmulo de resíduos sobre o solo, conforme em outros experimentos de longa duração na região Sul do Brasil (BODDEY et al., 2010). O acúmulo de C no solo depende da produtividade das plantas, como verificado por Lilienfein et al. (2003) que, ao comparar pastagens de *B. decumbens*, em condição degradada e produtiva, encontraram teores de C no solo (0-0,15 m) de 22 e 27 g kg^{-1}, respectivamente. Maiores taxas de C no solo estão associadas a maior aporte de material orgânico ao solo pelas culturas (LOVATO et al., 2004), o que foi confirmado pelos fato das maiores taxas coincidirem com o sistema safra-forrageira.

Atualmente, além da eficiência agronômica, os sistemas de produção devem proporcionar ganhos ambientais, como menor emissão de gases causadores de efeito estufa e sequestro de C atmosférico. Assim, quantificar o estoque de COT do solo é sempre indicado, pois, com o acompanhamento destes valores, pode-se inferir quanto à emissão ou sequestro de carbono destes solos.

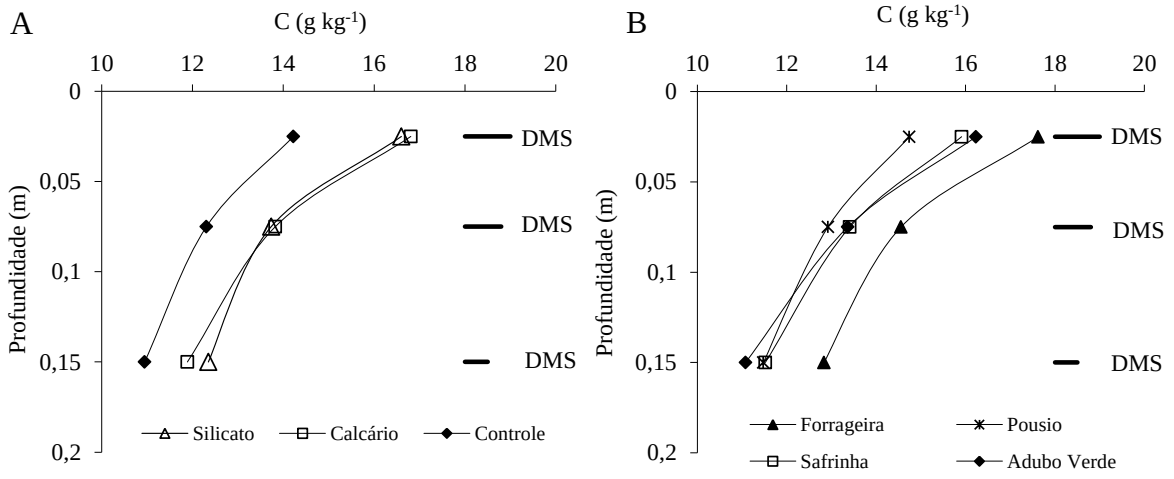

Figura 4. Teores de carbono orgânico total (COT) do solo em função da aplicação ou não de corretivos (A) e dos sistemas de produção (B). Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012.

Desta forma, pode-se verificar que a aplicação de corretivos proporcionou maiores estoques de COT nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, o que refletiu em maior estoque de COT na camada arável (0-0,20 m), a mais estudada pelos trabalhos atuais. Ressalta-se a impossibilidade da realização do cálculo do estoque de COT na camada 0-0,05 m, visto que não se determinou a densidade desta camada de solo, fundamental para a obtenção deste dado.

O aumento do estoque esteve diretamente relacionado ao aumento dos teores de C do solo, conforme já discutido (Figura 4). O mesmo comportamento refletiu no aumento do estoque de COT do solo com os sistemas de produção, sendo o sistema safra-pousio inferior aos demais na camada 0-0,10 m, e o sistema safra-forrageira sempre superior aos demais, em todas as profundidades. A utilização de diferentes culturas, com diferentes aportes de C, resulta em diferentes estoques de C no solo, conforme relato de Diekow et al. (2005). As pastagens possuem a maior parte do C armazenado abaixo da superfície do solo. Fujisaka et al. (1998) e Lal (2002), entre outros autores, atribuem ao sistema radicular de pastagens a grande capacidade de acumular C no solo. Contudo, de acordo com Roscoe e Buurman (2003), o efeito da textura do solo sobrepuja o efeito das rotações de culturas quanto ao estoque de carbono nos solos.

Tabela 5. Estoques de carbono orgânico total (COT) nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20 e 0-0,20 m do solo em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012.

Tratamentos	Estoque de carbono orgânico total (COT)		
	0-0,10 m	0,10-0,20 m	Camada arável (0-0,20 m)
CORRETIVOS	----------**Mg ha^{-1}**----------		
Controle	16,98b	14,45b	31,43b
Calcário	18,96a	15,70a	34,67a
Silicato	18,91a	16,46a	35,37a
DMSc (0,05)	0,96	1,05	2,63
CV%c	11,2	10,1	10,6
SISTEMAS			
Pousio	17,70c	15,04b	32,74b
Safrinha	18,24b	15,09b	33,33b
Ad. Verde	18,33b	15,00b	33,33b
Forrageira	19,57a	16,81a	36,38a
DMSs (0,05)	0,49	1,11	2,10
CV(%)s	8,01	12,9	11,4
	----------**Valores de F**----------		
Corretivos (c)	6,41*	4.94*	9,01*
Sistemas (s)	9,87*	7,25*	5,54*
s*c	1,69ns	2,01ns	1,80ns

* e ns, significativo a 5 e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

O fracionamento granulométrico da M.O (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992) consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (CAM). O COP é a fração da M.O. separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia, sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada pelos agregados (GOLCHIN et al., 1994). O CAM é a fração da M.O. associada às frações silte e argila do solo, sendo definida como a fração da M.O. que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 2000). No trabalho conduzido por oito anos por Loss et al. (2009), os autores observaram teores de COP na camada de 0-5 cm 26% maiores na rotação berinjela/milho em sistema plantio direto quando comparada à sucessão feijão/milho sob sistema convencional.

Desta forma, com relação ao COP após 60 meses, estas frações foram afetadas pela aplicação de corretivos e pelos sistemas de produção. Os corretivos afetaram de maneira similar o COP das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, resultando em benefícios em toda a

camada arável (Figura 5). Tal resultado confirma que existe não só o aumento do COT, mas também do carbono das frações mais grosseiras da matéria orgânica do solo, que está em estágio inicial de decomposição. Isso porque a COP quantifica o carbono retido na peneira de 0,053 mm.

Quanto aos sistemas, o efeito na camada superficial foi semelhante ao observado na COT. Contudo, na camada 0,10-0,20 m, o sistema safra-safrinha não diferiu do sistema safra-pousio, diferentemente dos sistemas safra-adubo verde e safra-forrageira, que proporcionaram valores superiores aos já citados. Quando o foco é a camada arável (0-0,20 m), mais uma vez o sistema safra-pousio foi o que proporcionou os menores valores e o sistema safra-forrageira os maiores. Isso porque a utilização de sistemas de manejo que promovem diferentes aportes de biomassa vegetal pode ser identificada por meio da fração particulada da M.O., sendo possível esta ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do solo, principalmente em um curto período de tempo (CONCEIÇÃO et al., 2005), visto que a determinação da COT (principalmente por meios tradicionais, com a oxidação do carbono do solo), pode mascarar o efeito benéfico da rotação de culturas. Neste sentido, Bayer et al.(2002) afirmaram que a fração particulada da MOS é mais sensível às práticas de manejo do solo, pois altera-se conforme as variações no aporte de material vegetal e nas taxas de decomposição promovidas por práticas de preparo do solo.

Salton et al. (2002) afirmaram que, em um sistema de integração lavoura-pecuária em SSD, ocorre aporte diferenciado de resíduos vegetais pelas raízes em relação aos sistemas puros de produção de grãos, tanto na superfície quanto no perfil do solo. De acordo com a intensidade de pastejo, ocorre maior crescimento radicular tanto da pastagem quanto da cultura de grãos integrante do sistema e, com isso, o aporte de matéria orgânica em profundidade é influenciado (SOUZA et al., 2008). No trabalho de Souza et al. (2009), a fração representada pelo COP, apontou que na área com maior intensidade de pastejo estava havendo a degradação da matéria orgânica a partir do terceiro ano, em função de sua tendência de queda. No entanto, intensidades de pastejo moderadas em sistemas de integração pastagem de gramíneas-soja em plantio direto promovem aumento nos estoques de COT e COP.

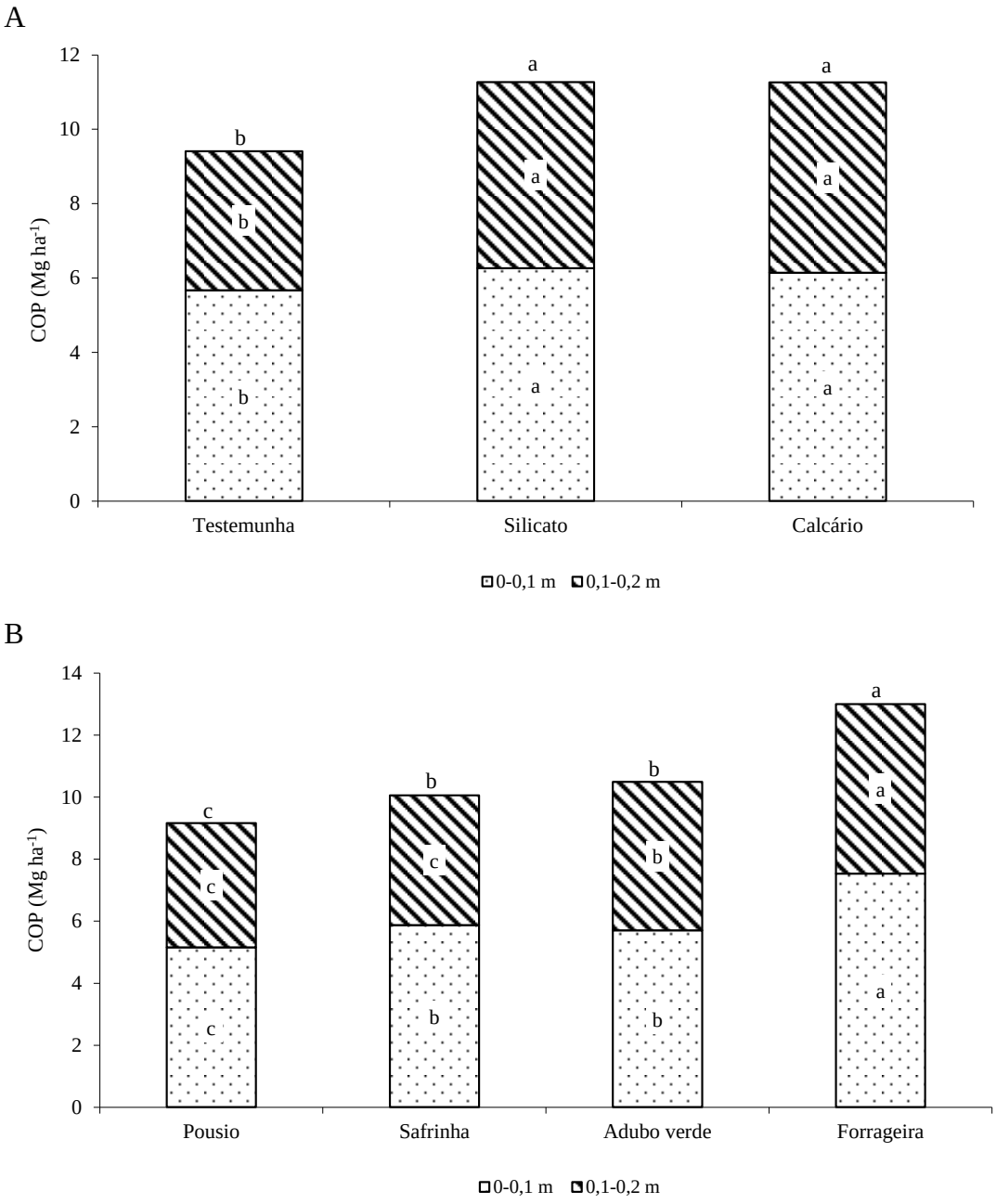

Figura 5. Estoques de carbono orgânico particulado (COP) do solo nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m em função da aplicação ou não de corretivos (A) e dos sistemas de produção (B). Letras iguais, para a profundidade no interior das barras e para a camada 0-0,20 m no topo das barras, indicam semelhança pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012.

Os sistemas de manejo, ao aportarem diferentes quantidades de C ao solo, alteram a labilidade da MOS, ou seja, a proporção de MOS lábil (COP) em relação à não

lábil (CAM). Isso é evidenciado na ausência de efeito dos corretivos sobre a labilidade da MOS (Figura 6). Assim, poderia-se inferir que existe maior influencia da qualidade do resíduo vegetal depositado na superfície do solo, do que da quantidade do resíduo da mesma espécie vegetal. Isso porque os sistemas influenciaram expressivamente a labilidade da MOS. Quando se observa o efeito dos sistemas, verifica-se que na camada superficial, o sistema safra-pousio proporcionou os menores valores e o safra-forrageira os maiores, estando os outros dois sistemas em posições intermediárias. Na segunda camada, o sistema safra-forrageira não diferenciou do safra-safrinha, mas foi superior aos sistemas safra-adubo verde e safra-pousio. Na camada 0,10-0,20 m, mais uma vez ocorreu destaque para o sistema safra-forrageira, que superou os demais em termos de labilidade da MOS.

Bayer et al. (2009) observaram maior taxa de sequestro de carbono e aumento nas relações de carbono lábil (COP/CAM) nos sistemas envolvendo o cultivo de mucuna-preta, em relação aos sistemas com plantas de cobertura de inverno. Segundo os autores, esses resultados estariam relacionados a maior produção de fitomassa e crescimento radicular da mucuna preta ao longo dos oito anos de experimento, podendo o mesmo fato explicar o acontecido no presente estudo.

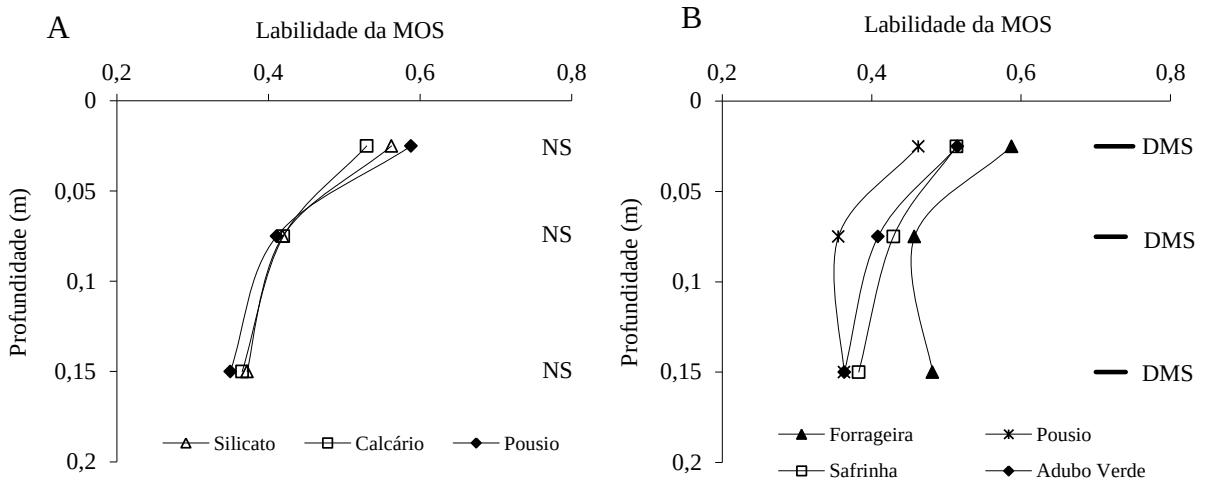

Figura 6. Labilidade da matéria orgânica do solo em função da aplicação ou não de corretivos (A) e dos sistemas de produção (B). Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2012.

Franzluebbers e Stuedemann (2002) avaliaram a distribuição da MOS nas frações particulada e não particulada, em perfis do solo nos EUA, e encontraram valores

maiores em pastagens e áreas sob pastejo do que em lavouras em preparo conservacionista e áreas para fenação. Isso demonstra a importância do material senescente e dos dejetos animais para o aumento dos teores de C no material particulado na pastagem, especialmente na camada superficial.

6.3 Características químicas do solo

As características químicas do perfil do solo, em duas épocas de amostragem, aos 36 e 48 meses após a aplicação dos corretivos, estão apresentadas em função da aplicação dos corretivos do solo (calcário e silicato) nas sucessões de culturas estudadas (Safra – Forrageira, Safra – Safrinha, Safra – Pousio e Safra – Adubo Verde).

6.3.1 Trinta e seis meses após a aplicação dos corretivos

Os valores para as características químicas do solo, 36 meses após a aplicação dos corretivos de acidez estão contidos nas Figuras de 7 a 15.

O pH do solo foi alterado pela aplicação dos corretivos até 0,40 m em todos os sistemas de produção, demonstrando a eficiência de ambos os corretivos na correção do solo (Figura 7). Os corretivos só diferiram na camada 0,10-0,20 m do sistema safra – forrageira, onde o silicato, além de diferir do controle, foi superior ao calcário. Estes dados, quando comparados aos resultados obtidos na mesma área aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação dos corretivos (CASTRO, 2009), demonstra a ação prolongada dos corretivos e com resultados muito próximos, mesmo depois de uma reação mais rápida em profundidade proporcionada pelo silicato nas primeiras épocas de avaliação, fato este justificado pelo autor à maior solubilidade deste material quando comparado ao calcário.

A elevação do pH com o uso dos corretivos é decorrente do aumento na concentração das hidroxilas e redução da concentração de H+ em solução (OLIVEIRA; PAVAN, 1996) e partia-se do principio que era necessária sua plena incorporação para a maximização dos seus benefícios. No entanto, em SSD, diversos trabalhos têm demonstrado que o efeito da calagem aplicada na superfície para a correção das camadas subsuperficiais varia com a dose e granulometria do produto, forma de aplicação, tipo de solo, condições climáticas (especialmente regime hídrico), sistema de cultivo, e tempo decorrido da aplicação (OLIVERIA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER et al., 2000; CAIRES et al., 2003, 2005;

SORATTO; CRUSCIOL, 2008b), o que torna a eficiência dessa prática controvertida, particularmente na correção da acidez do subsolo.

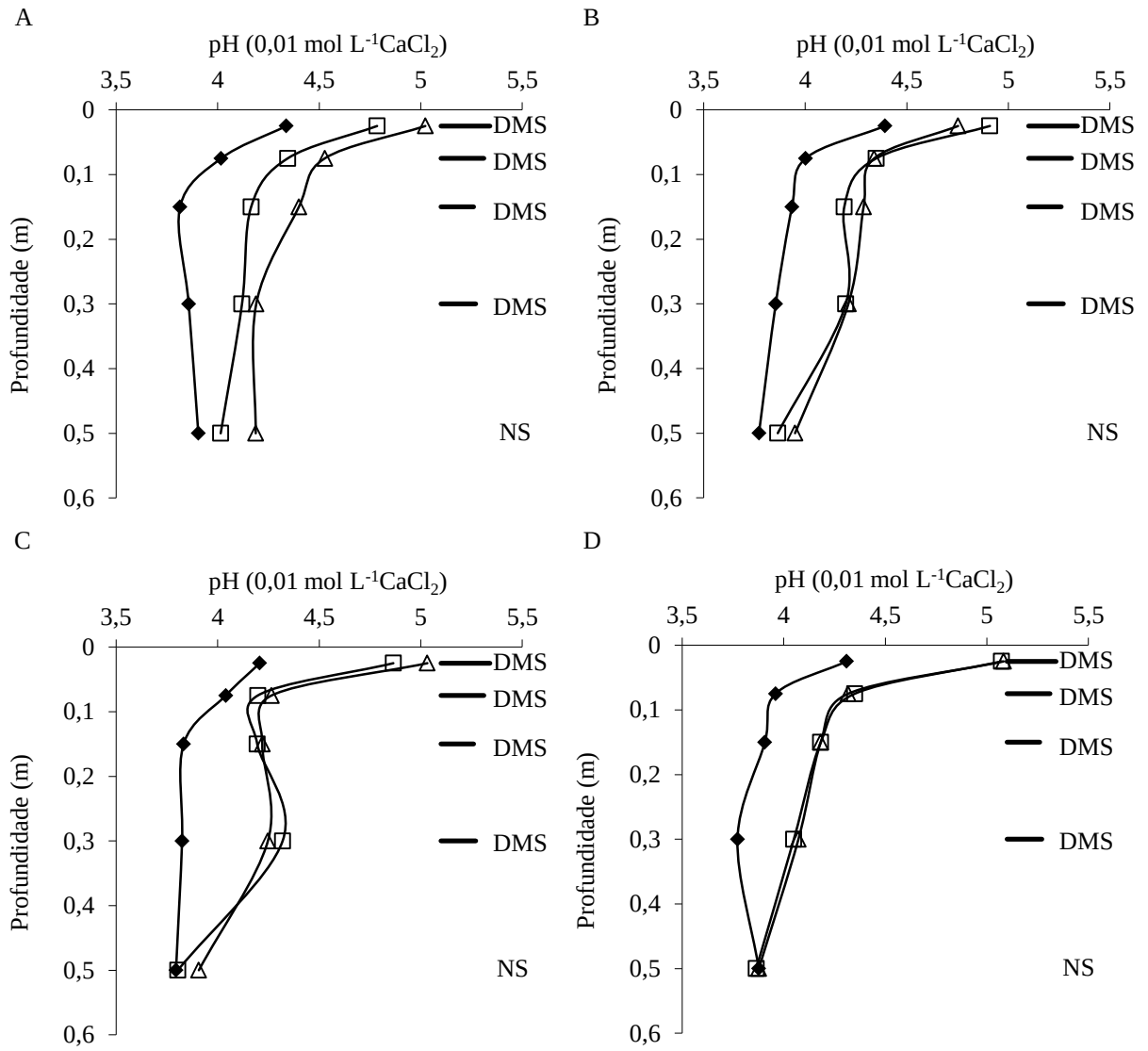

Figura 7. Valores do potencial hidrogeniônico (pH) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

O aumento de pH no perfil do solo decorrente da aplicação dos corretivos pode ter ocorrido devido a diversos fatores. O deslocamento físico das partículas finas do corretivo, pelos canais formados por raízes mortas (OLIVEIRA; PAVAN, 1996),

através de planos de fraqueza (AMARAL et al., 2004a) e/ou de galerias formadas por organismos e/ou microcanais biológicos (RHEINHEIMER et al., 2000), mantidos intactos, em razão do mínimo revolvimento do solo em SSD, é uma das hipóteses para o acontecido, visto que a área não possui histórico de movimentação do solo.

Outro fator que pode justificar o efeito da calagem superficial em profundidade é a movimentação de íons. O aumento do pH na superfície do solo, pode acelerar a velocidade com que os íons cloreto, sulfato, nitrato, formiato e bicarbonato, acompanhados por Ca e Mg, movimentam-se para o subsolo para reagir com H^+ e Al^{+3} (CRUSCIOL et al., 2011). De acordo com Rheinheimer et al. (2000), os efeitos da aplicação do calcário em profundidade somente ocorreram quando o pH em água, na zona de dissolução do calcário, atingiu valor entre 5,2 e 5,6. Nessa situação, ocorreram a formação e a migração de $Ca(HCO_3)_2$ e $Mg(HCO_3)_2$ para as camadas subsuperficiais. Considerando que os valores de pH (em água) se correlacionam com os de pH em $CaCl_2$, e que são em média 0,5-1,0 unidade maiores (LUCHESE et al., 2001), essa hipótese pode justificar o fato de que, no presente experimento, os produtos da reação dos corretivos chegaram até a profundidade de 0,20-0,40 m e aumentaram significativamente os valores de pH, 36 meses após a aplicação. Esse efeito em profundidade é conhecido como "frente de alcalinização", conforme observado por vários autores (PÖTTKER; BEN, 1998; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; CAIRES et al., 2008).

A aplicação de corretivos, aos 36 meses (Figura 8), promoveu redução da acidez potencial do solo (H+Al) em todas as camadas do sistema safra-forrageira, sendo que nos sistemas safra-pousio e safra-adubo verde, o efeito foi verificado até a camada 0,20-0,40 m e no sistema safra-safrinha apenas até a camada 0,10-0,20 m, concordando com os resultados obtidos por Gonçalves et al. (2011), que verificaram redução da acidez potencial com aplicação de calcário em superfície até a profundidade de 0,10-0,20 m aos 24 meses após sua aplicação.

A redução dos valores de H+Al se dá pelo aumento na concentração das hidroxilas no solo, decorrentes da aplicação de corretivos, onde parte destas hidroxilas reage com o excesso de H^+ em solução e o restante promove a precipitação do alumínio na forma de $Al(OH)_3$, atóxica às plantas (OLIVERIA; PAVAN, 1996). Os corretivos diferiram entre si nos sistemas safra-forrageira, safra-pousio e safra-adubo verde, na camada 0,10-0,20 m, onde o silicato apresentou menores valores de H+Al. Provavelmente, este ainda seja um

"resquício" da ação anterior deste corretivo, visto que ele teve maior velocidade de correção do perfil do solo (CASTRO, 2009). Quanto aos sistemas, a rotação com a forrageira tropical proporcionou maior efeito em profundidade quando da aplicação dos corretivos. Provavelmente possa ocorrer sinergismo entre a produção de palhada e o caminhamento dos produtos dos corretivos em profundidade devido a melhoria das propriedades físicas do solo.

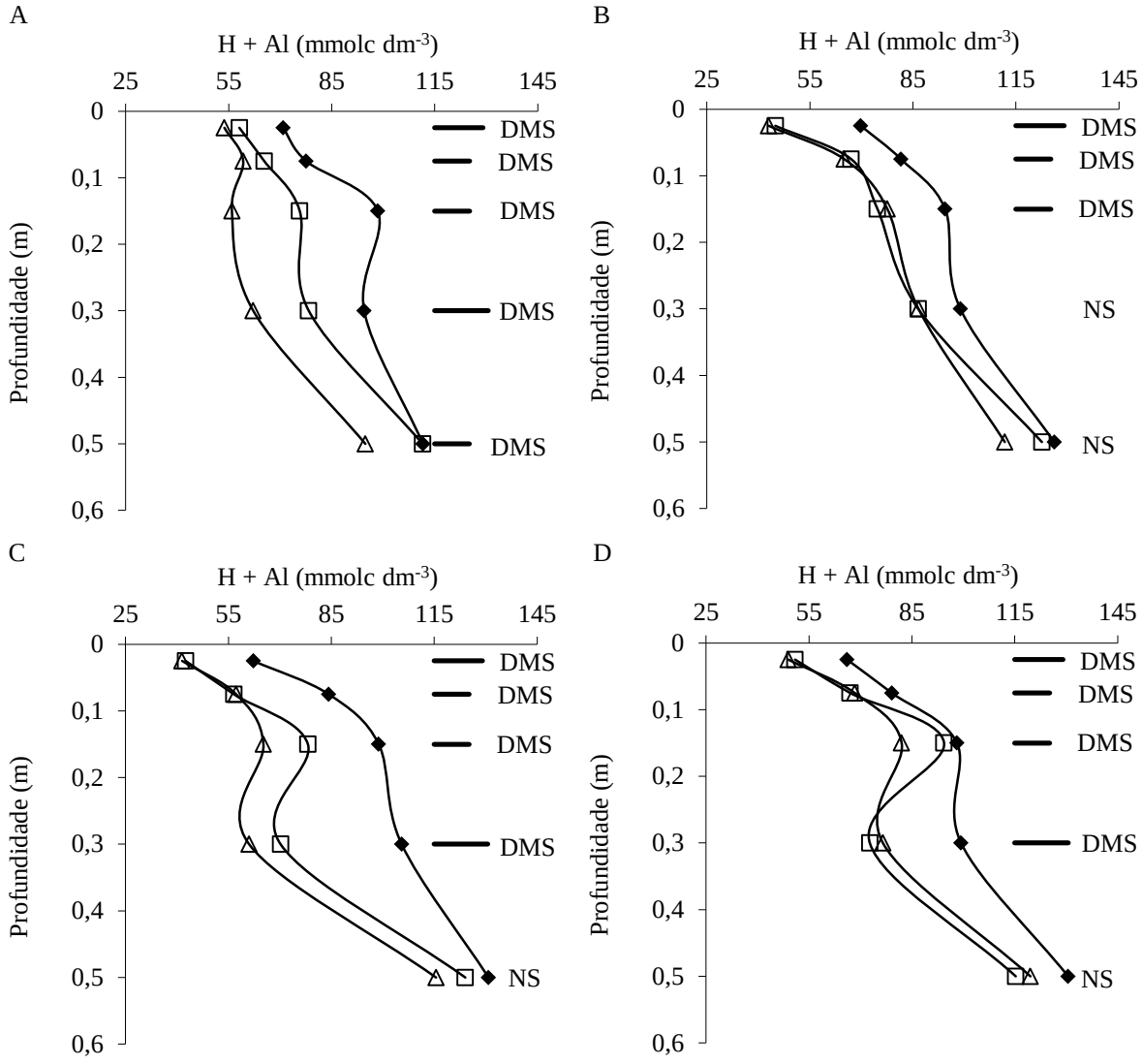

Figura 8. Valores de hidrogênio e alumínio (H + AL) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

De forma geral, os teores de Al^{+3} seguiram o comportamento constatado para H+Al. Os corretivos reduziram os níveis tóxicos até a camada 0,20-0,40 m, sendo que, nos sistemas safra-safrinha e safra-adubo verde, não diferiram do controle na camada 0,05-0,10 m (Figura 9). As espécies de íons de alumínio presentes variam de acordo com o pH, sendo que a saturação por Al^{+3} tem relação inversa com o pH. Acidez do solo aumenta a solubilização de Al, que é a fonte primária de toxicidade para as plantas em pH abaixo de 5,5. As formas de alumínio trocável sob condições muito ácidas são na sua maioria Al^{+3} e íons de hidróxidos de alumínio $Al(OH)_2^-$ e $Al(OH)^{--}$ (KARIUKI et al, 2007). Contudo, em condições mais próximas a alcalinidade, o Al^{+3} trocável precipita como espécies insolúveis Al-hidroxila ($Al(OH)_3$), atóxicas para as plantas (KORNDÖRFER; NOLLA, 2003), sendo que o aumento unitário do pH leva a redução de 1000 vezes a atividade do Al tóxico.

Entre os corretivos, no sistema safra-forrageira, somente o silicato foi eficiente na redução do alumínio tóxico na camada 0,05-0,60 m. Além disso, no sistema safra-safrinha, o silicato também proporcionou menores valores de Al^{+3} na camada 0,20-0,40 m. Os mecanismos de redução dos efeitos deletérios do Al tóxico nas culturas pela adição de silicato, não se dá apenas pelo aumento do pH do solo (PULZ et al., 2008), mas também pelo fato da presença do Si precipitar parte do Al na forma de Hidroxoaluminosilicato (HAS) (Exley, 1998), com consequente redução de sua mobilidade, formação de substâncias pouco solúveis com íons de Al, adsorção do Al móvel em superfícies silicatadas e formação de compostos solúveis de Si dentro das raízes, que podem incrementar a tolerância das plantas ao Al tóxico (MATICHENKOV; BOCHARNIKOVA, 2001). Todos esses mecanismos podem atuar simultaneamente, com alguns prevalecendo sobre os outros, dependendo das condições do solo.

Nota-se ainda que, no sistema safra-pousio na ausência de corretivos do solo, os teores de Al^{+3} entre as camadas 0,05-0,40 m foram superiores aos demais sistemas. Vários estudos vêm demonstrando o efeito de resíduos vegetais não só na mobilidade de cátions no solo, mas principalmente na redução da toxidez de Al (MEDA et al., 2001; MYAZAWA et al., 2002; FRANCHINI et al., 2003; SORATTO; CRUSCIOL, 2007).

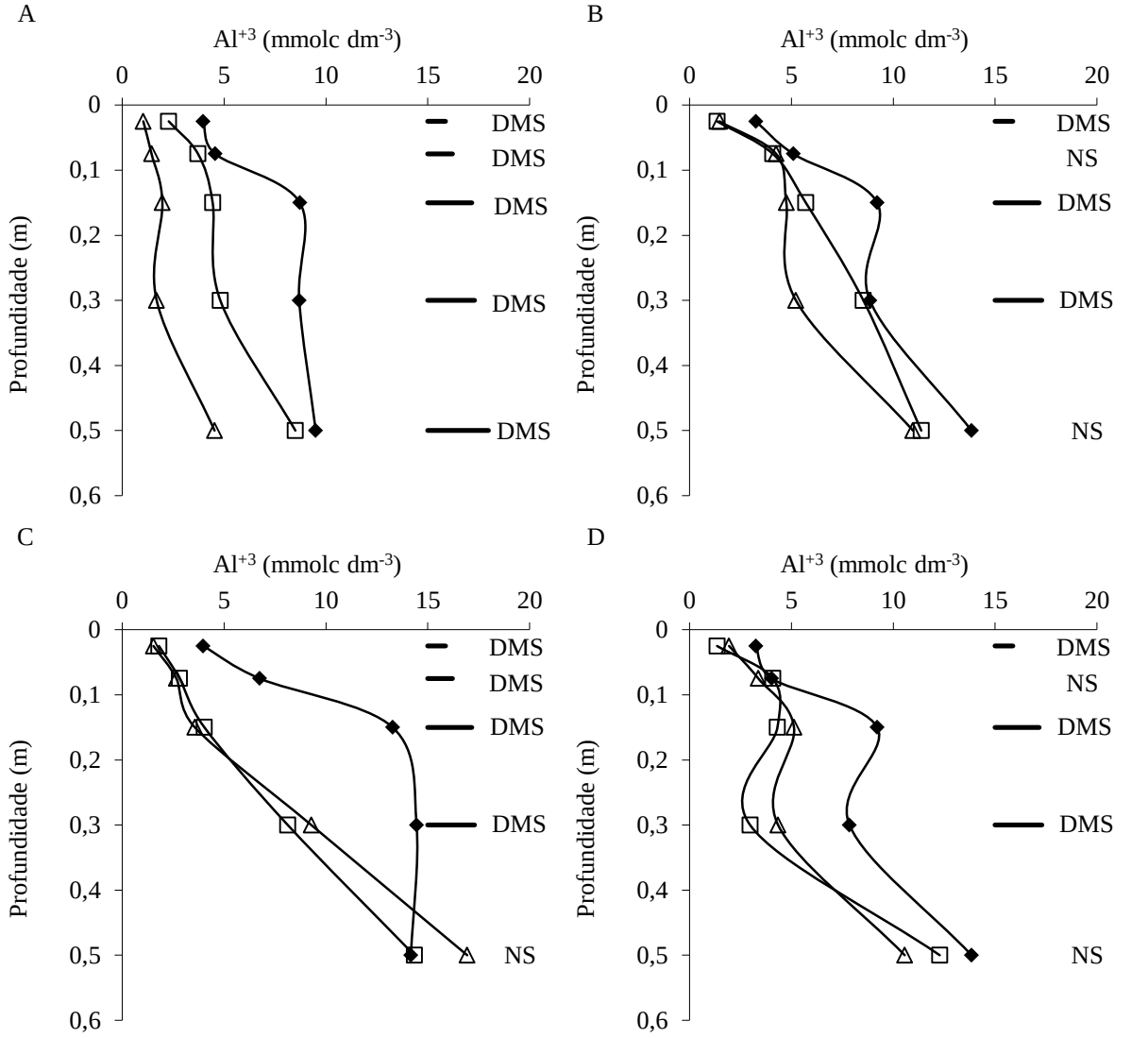

Figura 9. Valores de alumínio trocável (Al^{+3}) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

A redução dos teores de Al trocável em profundidade pela calagem no decorrer do tempo, podem estar relacionados com o mecanismo de lixiviação de cálcio e magnésio proposto por Miyazawa et al. (2002) por meio da formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Na camada superficial os ligantes orgânicos complexam o Ca e o Mg trocáveis, formando complexos [ML^0 ou ML^- (M = Ca ou Mg)]. A alteração da carga do Ca^{2+} e do Mg^{2+} facilita sua mobilidade no solo. Nas camadas subsuperficiais, o cálcio ou o magnésio dos complexos orgânicos é deslocado pelo Al trocável

do solo, porque os íons Al^{3+} formam complexos mais estáveis do que o Ca^{2+} e o Mg^{2+}, e isso diminui os teores de Al trocável.

Neste sentido, a ausência de um segundo cultivo no sistema safra-pousio, reduzindo o aporte de palha para a superfície do solo durante a entressafra, pode ter potencializado o efeito negativo deste elemento tóxico no solo. Contudo, segundo Bayer e Amaral (2003), o efeito dos resíduos vegetais na diminuição da acidez do solo é temporário, pois os ácidos orgânicos podem ser rapidamente transformados pelos microrganismos no solo e adsorvidos nos constituintes do solo, especialmente nos minerais de argila. Devido a isso, se faz necessária a cobertura do solo com resíduos vegetais durante todo o ano agrícola, afim de se conseguir os benefícios máximos destes sistemas de produção.

Para os teores de P, observou-se aumento consistente até a camada 0,05-0,10 m pela aplicação de corretivos (Figura 10). A elevação do pH do solo, aumentando a concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promove a precipitação de Fe e Al da solução, reduzindo a precipitação de fosfatos de ferro e alumínio de baixa solubilidade; há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (MCBRIDE, 1994). Fageria e Baligard (2008) relataram, em Latossolos brasileiros, aumento linear de P disponível com aumento do pH do solo na faixa de 5,3-6,9, justificando que o aumento da disponibilidade de P neste intervalo esteve associado à liberação de íons de P de Al e de óxidos de Fe, responsáveis pela fixação desse elemento em solos tropicais. Assim, a adição anual de fósforo na adubação de semeadura das culturas, proporcionou maior disponibilidade de P ao diminuir a força com que o fósforo foi retido no solo (ALVARADO; CAJUSTE, 1993).

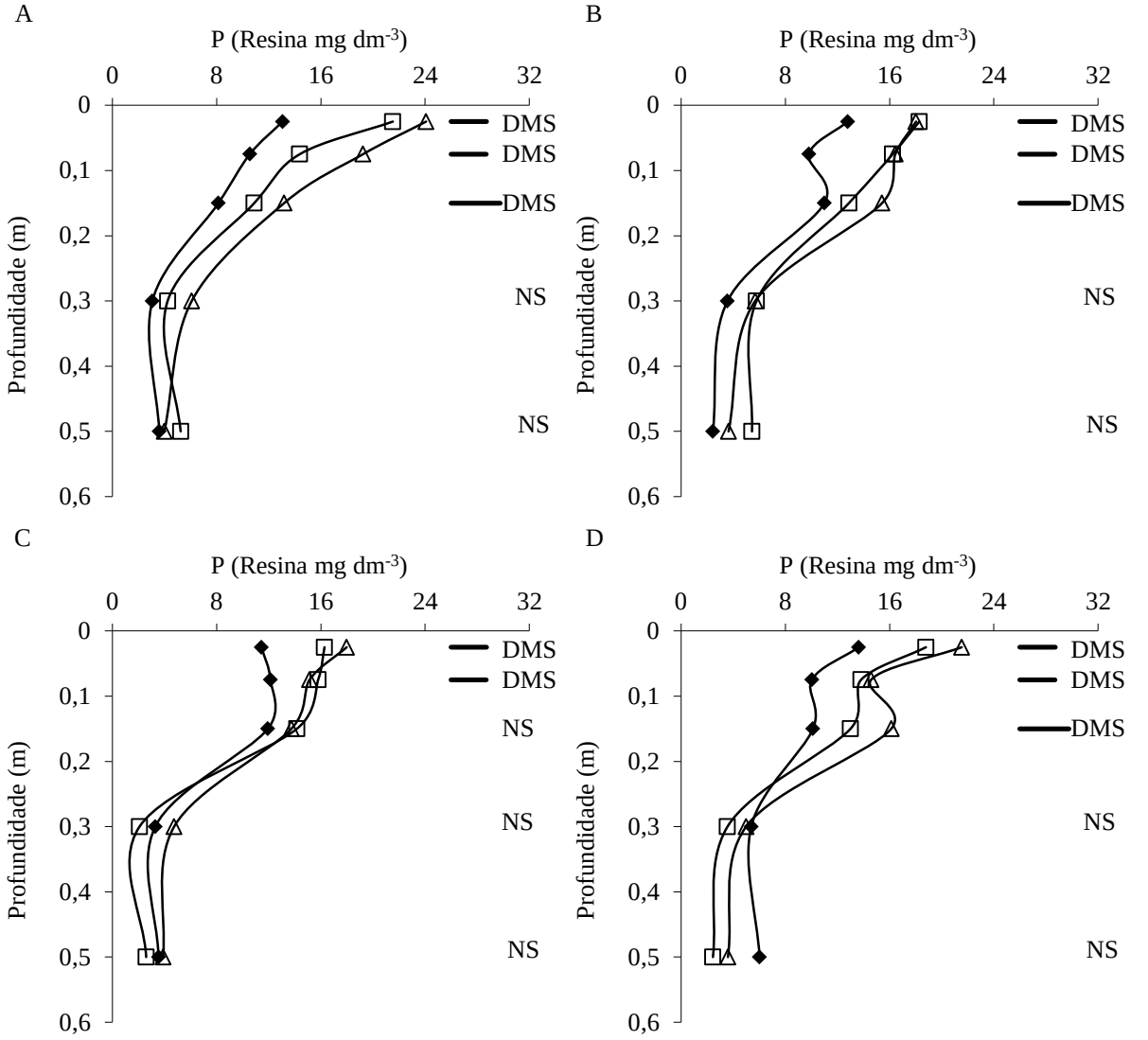

Figura 10. Valores de fósforo (P) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

Neste sentido, esperava-se que ambos os corretivos fossem semelhantes no aumento da disponibilidade de P. Porém, os mesmos diferiram, positivamente para o silicato em relação ao calcário, nas camadas 0,05-0,10 m no sistema safra-forrageira. Além disso, somente o silicato foi capaz de elevar os teores de P do solo na camada 0,10-0,20 m, nos sistemas safra-forrageira e safra-adubo verde. Os melhores resultados obtidos pela silicatagem foram decorrentes, também, da provável competição entre o Si e o P pelos mesmos sítios de adsorção dos coloides do solo, elevando a disponibilidade deste nutriente

para as plantas (PULZ et al., 2008). Hingston et al (1972) verificou que após a ação alcalinizante do $CaSiO_3$, há a formação do H_4SiO_4, que se transforma em $H_3SiO_4^-$ em pH próximo de 7, e pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, competindo com o $H_3PO_4^-$ pelos mesmos sítios de adsorção. Esses sítios de P são saturados ou bloqueados pelo ânion silicato, aumentando a eficiência da adubação fosfatada. Essa competição, conforme Carvalho et al. (2000), ocorre de maneira mais intensa quando se aplica o silicato antes do P das fertilizações. Esta constatação já foi relatada anteriormente na literatura.

Nota-se que o sistema Safra-Forrageira, quando recebeu corretivos da acidez do solo, proporcionou maior elevação dos teores de P, na camada 0-0,05 m, que os demais sistemas. Este fato já havia sido registrado em amostragens anteriores, aos 12 e 18 meses após a aplicação dos corretivos (CASTRO, 2009). Esta constatação pode estar relacionada à capacidade das raízes de *B. ruziziensis* solubilizarem frações de P não disponíveis para outras culturas (MERLIN et al., 2009), tornando este elemento disponível, seja pela ação de exudatos radiculares, seja pela posterior decomposição da parte aérea da forrageira.

Quanto aos valores de potássio (Figura 11), nota-se que os corretivos alteraram os teores de K trocável em diferentes camadas em cada sistema de produção. Nos sistemas safra-forrageira e safra-adubo verde, o efeito dos corretivos foi benéfico até a camada 0,10-0,20 m. Já no sistema safra-safrinha, este efeito foi evidenciado até a camada 0,05-0,10 m. No sistema safra-pousio, o efeito foi ainda menor, restrito apenas à camada superficial do solo. Flora et al.(2007) constatou elevação da disponibilidade de K devido à redução da lixiviação do mesmo após a aplicação de calcário. Isso ocorre pelo aumento de cargas elétricas negativas em decorrência da elevação do pH na camada mais superficial do solo (ALBUQUERQUE et al., 2003), para as quais parte do K migrou.

Ainda neste enfoque, entre os sistemas avaliados, nota-se que a sucessão safra–pousio foi a que proporcionou os menores valores de K na camada superficial (0-0,10 m). Tais constatações podem estar relacionadas à ciclagem de K das camadas mais profundas para a superfície do solo, fato apenas observado na camada 0,20-0,40 m do sistema safra-forrageira, onde os teores de K foram superiores na ausência de corretivos, provavelmente pela baixa extração deste nutriente nesta camada. Isso porque as plantas cultivadas nos sistemas com rotação de culturas e com aplicação de corretivos do solo

produzem maiores quantidades de matéria seca, liberando, posteriormente, mais potássio na superfície do solo mediante a decomposição de sua palhada, tornando este elemento disponível nas camadas superiores (ROSOLEM et al., 2006).

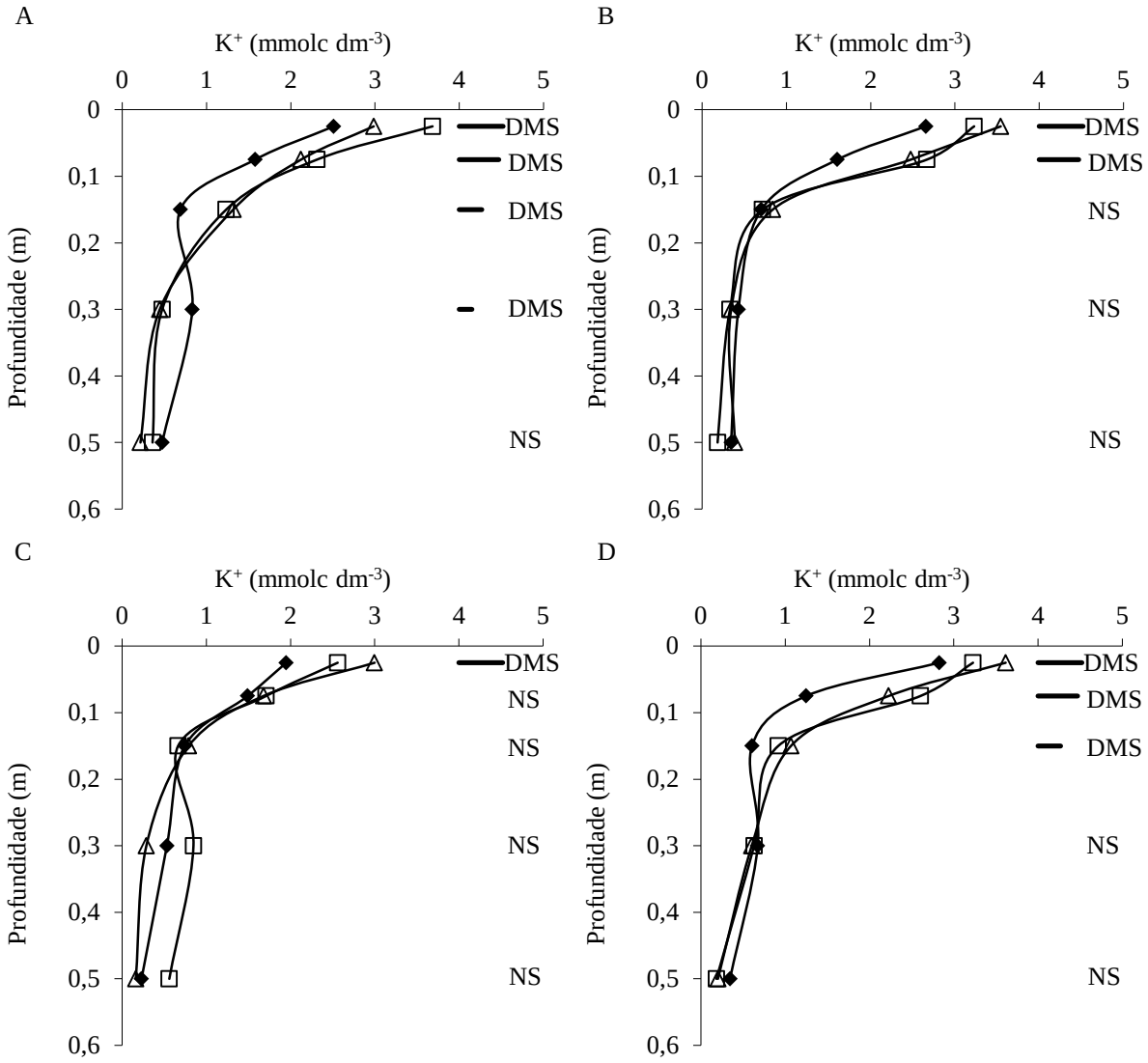

Figura 11. Valores de potássio (K) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

Para os teores de Ca e Mg trocáveis do solo (Figuras 12 e 13), o efeito da aplicação dos corretivos foi semelhante, sendo que o uso dos mesmos proporcionou elevação nos teores destes elementos.

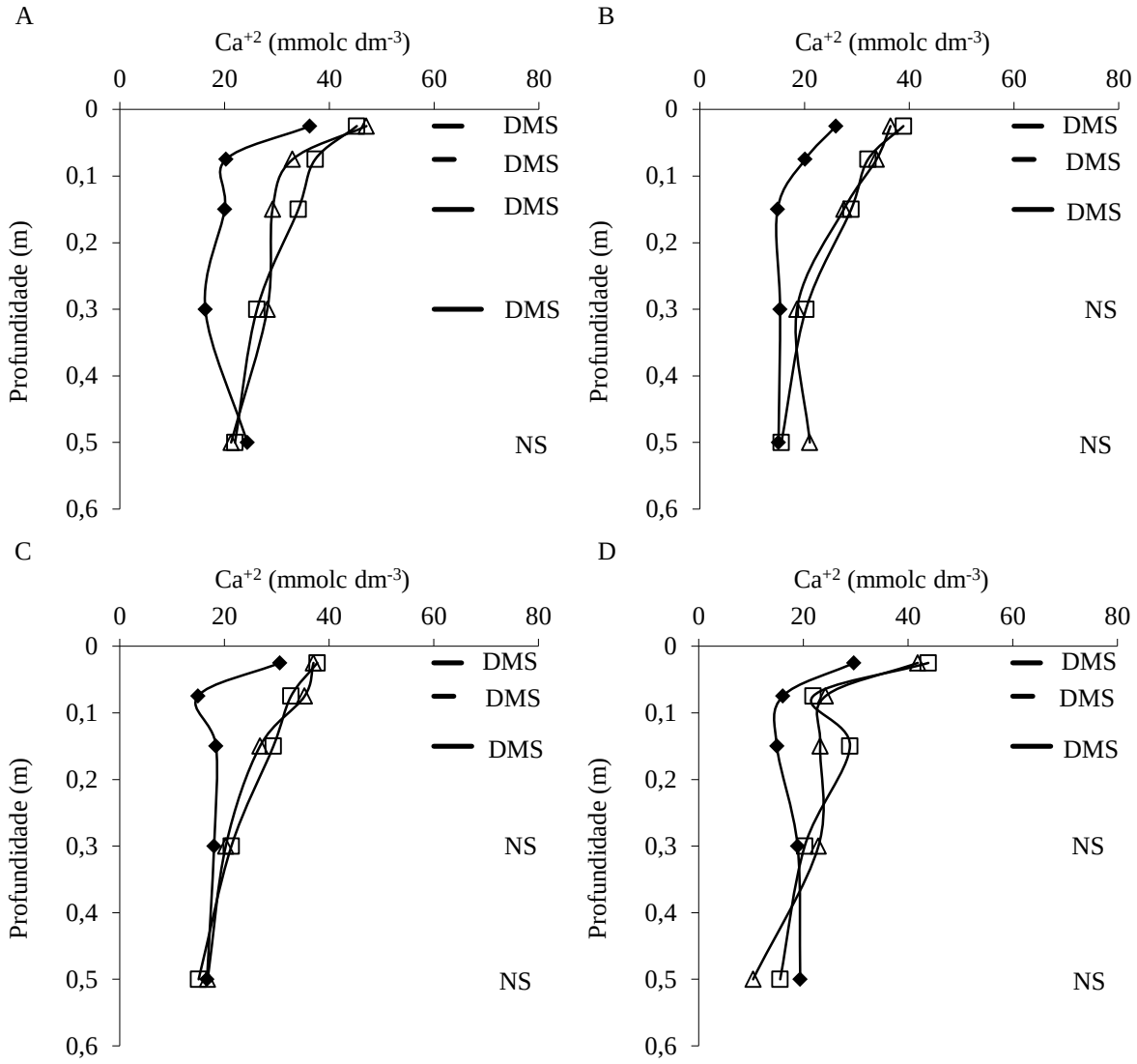

Figura 12. Valores de cálcio (Ca) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

Tal efeito era esperado, visto que ambos os materiais são fontes para o fornecimento de Ca e Mg para o solo. Esse efeito, de forma geral, foi notado até a camada 0,20 m para o cálcio e até a camada 0,40 m para o magnésio, sendo o efeito semelhante para ambos os corretivos. O mesmo efeito foi observado por Corrêa et al. (2007) avaliando o efeito do silicato e do calcário (27 meses após a aplicação superficial) em um Latossolo Vermelho da cidade de Botucatu, SP, porém a profundidade de amostragem foi apenas até 0,40 m. Soratto e Crusciol (2008b), também encontraram, no mesmo tipo de solo, dinâmica semelhante com o

passar do tempo. Contudo contrastam com os obtidos por Miranda et al. (2005) que, em um Latossolo Vermelho argiloso, só verificaram efeito da calagem superficial na movimentação das bases trocáveis na camada de 0-0,05 m, evidenciando que os resultados positivos da calagem superficial dependem de inúmeros fatores, muitos deles independentes das tradicionais operações agrícolas.

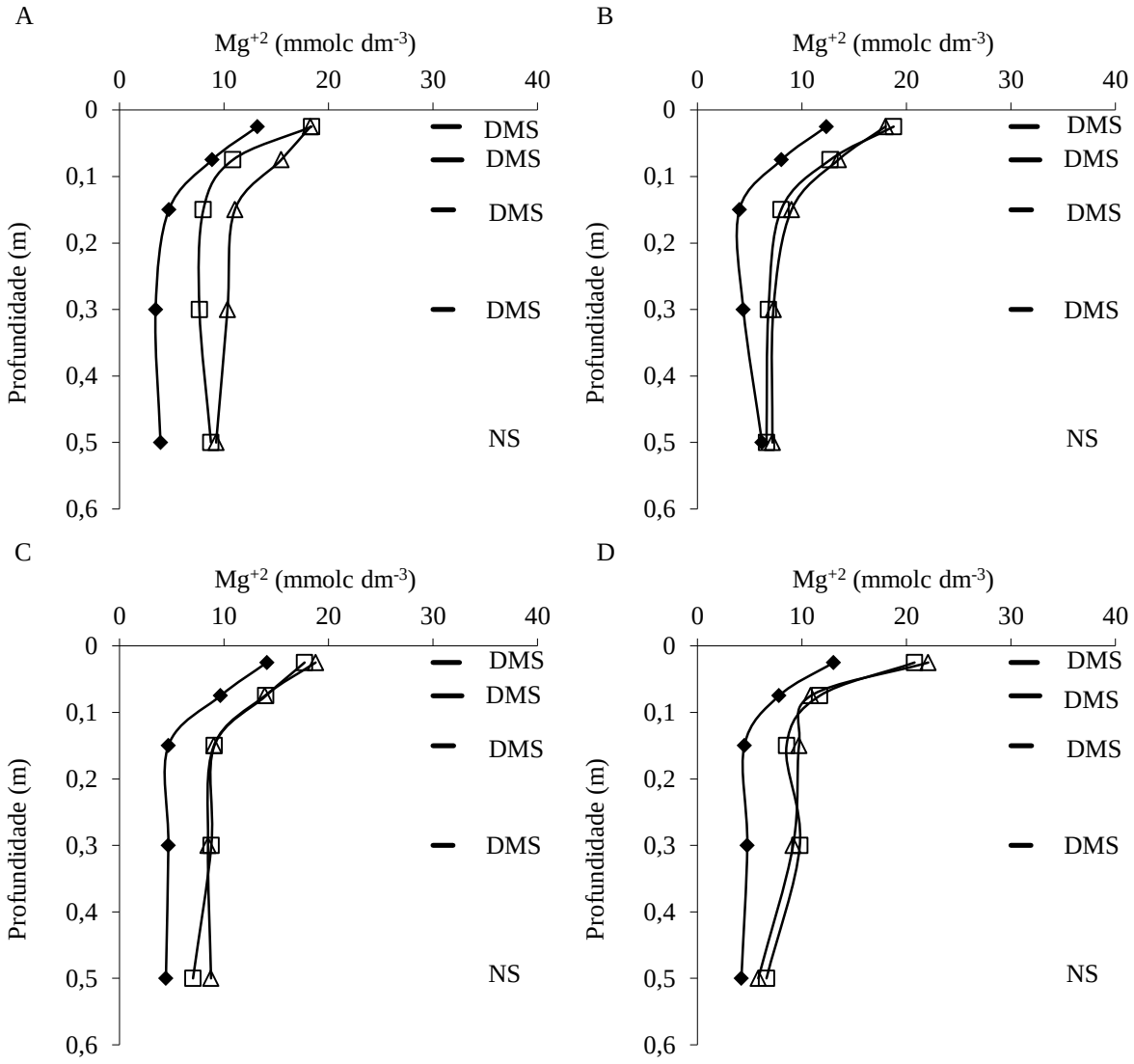

Figura 13. Valores de magnésio (Mg) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

A alta intensidade de lixiviação de Ca e Mg observada neste trabalho pode estar relacionada à formação de pares iônicos inorgânicos com NO_3^-(CRUSCIOL et al.,

2011), HCO_3^-, OH^- (RHEINHEIMER et al., 2000), Cl^- e SO_4^{2-} (CAIRES et al., 2006), oriundos da adubação mineral, bem como sua percolação por meio de canais radiculares, microcanais biológicos (bioporos) e planos de fraqueza do próprio solo mantidos intactos pelo SSD (FIDALSKI; TORMENA, 2005), proporcionando o carreamento destes no perfil.

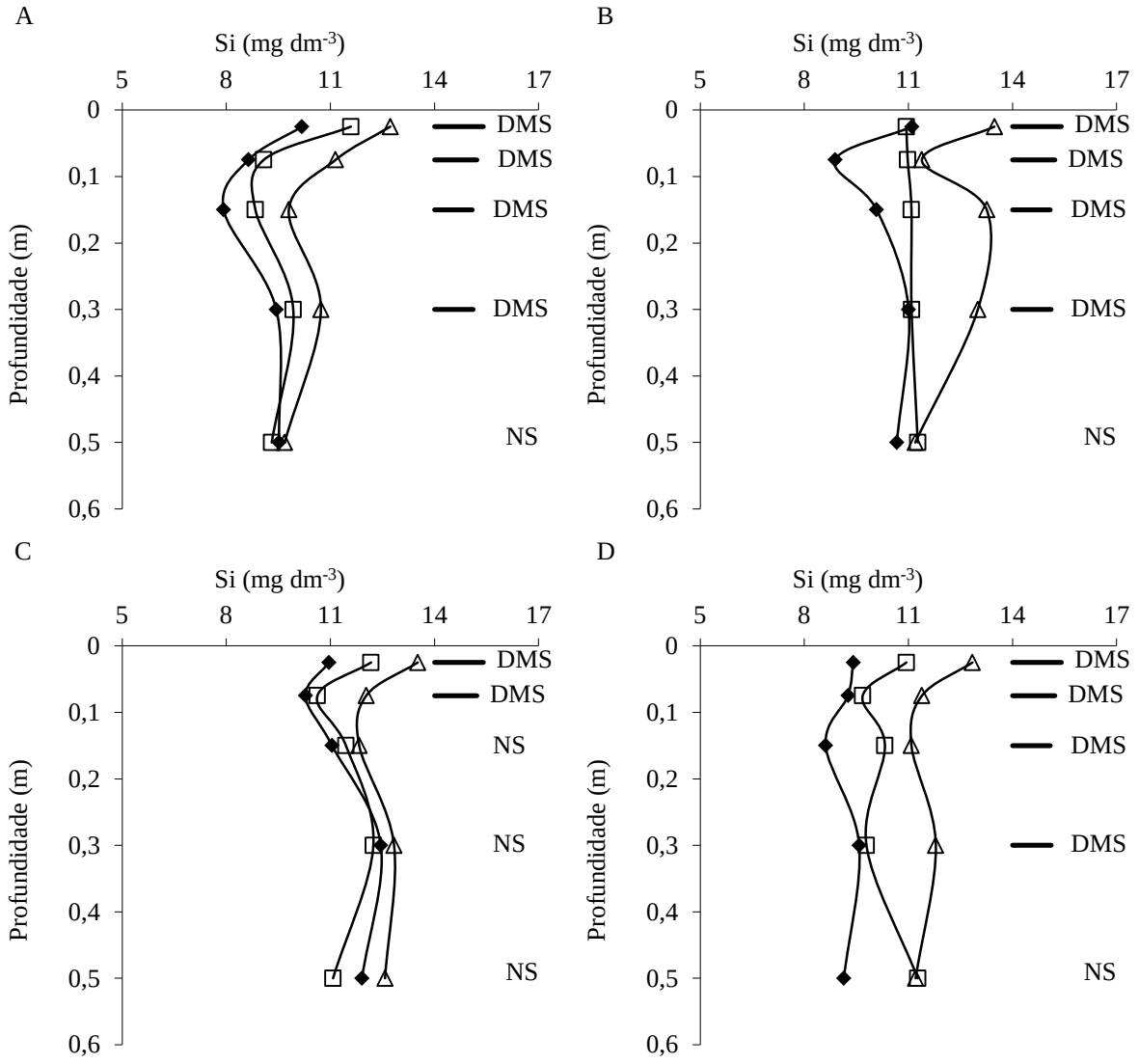

Figura 14. Valores de silício (Si) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

A aplicação do silicato elevou os teores de silício do solo até a profundidade de 0,40 m nos sistemas safra-forrageira, safra-safrinha e safra-adubo verde, sendo que no sistema safra-pousio, esta elevação foi restrita até a camada 0,10 m (Figura 14).

Isso era de se esperar devido à alta concentração de silício solúvel na composição deste corretivo. Constatou-se ainda que o calcário também influenciou, em menor escala, a disponibilidade de Si no solo. Resultado semelhante foi observado por Dalto (2003), utilizando calcário sobre palhada de cana-de-açúcar, onde observou a elevação da concentração de Si extraído em ácido acético (0,5 mol L^{-1}) quando submeteu o solo a doses de calcário. O aumento nos teores de Si com a aplicação do carbonato de Ca pode ser atribuído à solubilização de compostos de sílica com o aumento do pH e, ou, devido o aumento do pH reduzir a capacidade dos sítios de adsorção de silício no solo, aumentando a sua concentração na solução (PULZ et al., 2008).

Os resultados da saturação por bases foram o reflexo das alterações provocadas pelos corretivos sobre os resultados de H+Al, K, Ca e Mg, sendo as variações significativas até a camada de 0,40 m (Figura 15), fato este decorrente da movimentação do produto da dissociação dos corretivos no perfil do solo. Esses resultados concordam com os obtidos por Soratto e Crusciol (2008a) e Corrêa et al. (2007), porém contrastam com os obtidos por Miranda et al. (2005) onde só verificaram efeito do calcário aplicado em superfície na movimentação das bases trocáveis na camada de 0-0,05 m.

Para ocorrer a variação de pH, da mobilidade de cátions básicos no perfil do solo e, por consequência, de saturação por bases, é fundamental a baixa concentração de cátions ácidos (H^+ e Al^{+3}) nas camadas mais superficiais, uma vez que a prioridade das ligações será com esses cátions. Vale lembrar que a redução desses cátions ácidos ocorre quando o pH em água atinge valores de 5,2 e 5,5 (RHEINHEIMER et al., 2000). O deslocamento de cátions básicos (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}) é ainda dificultado com a adsorção pelas cargas negativas variáveis geradas com a elevação do pH (CAIRES et al., 2004). Portanto, a mobilidade dos cátions básicos no perfil do solo pode ter sido favorecida pela formação de pares iônicos. A formação de pares iônicos entre os cátions do solo e os compostos inorgânicos pode ocorrer com os próprios produtos da dissolução do corretivo ou de ânions liberados pela exudação radicular na rizosfera como OH^- e HCO^{3-}, além de outros ânions como nitrato (NO^{3-}), sulfato (SO_4^{2-}) e cloreto (Cl^-), provenientes da mineralização de adubos ou da decomposição de resíduos vegetais do solo pelos microrganismos, na camada superficial (ROSOLEM et al., 2003). Os pares iônicos orgânicos são formados por cátions do solo com compostos hidrossolúveis de baixo peso molecular, os quais também têm origem na

decomposição de resíduos vegetais e na exudação radicular, mediante radicais COOH (FRANCHINI et al., 2003), que podem agir pontualmente em épocas próximas ao colheita ou manejo de restos culturais de culturas antecessoras.

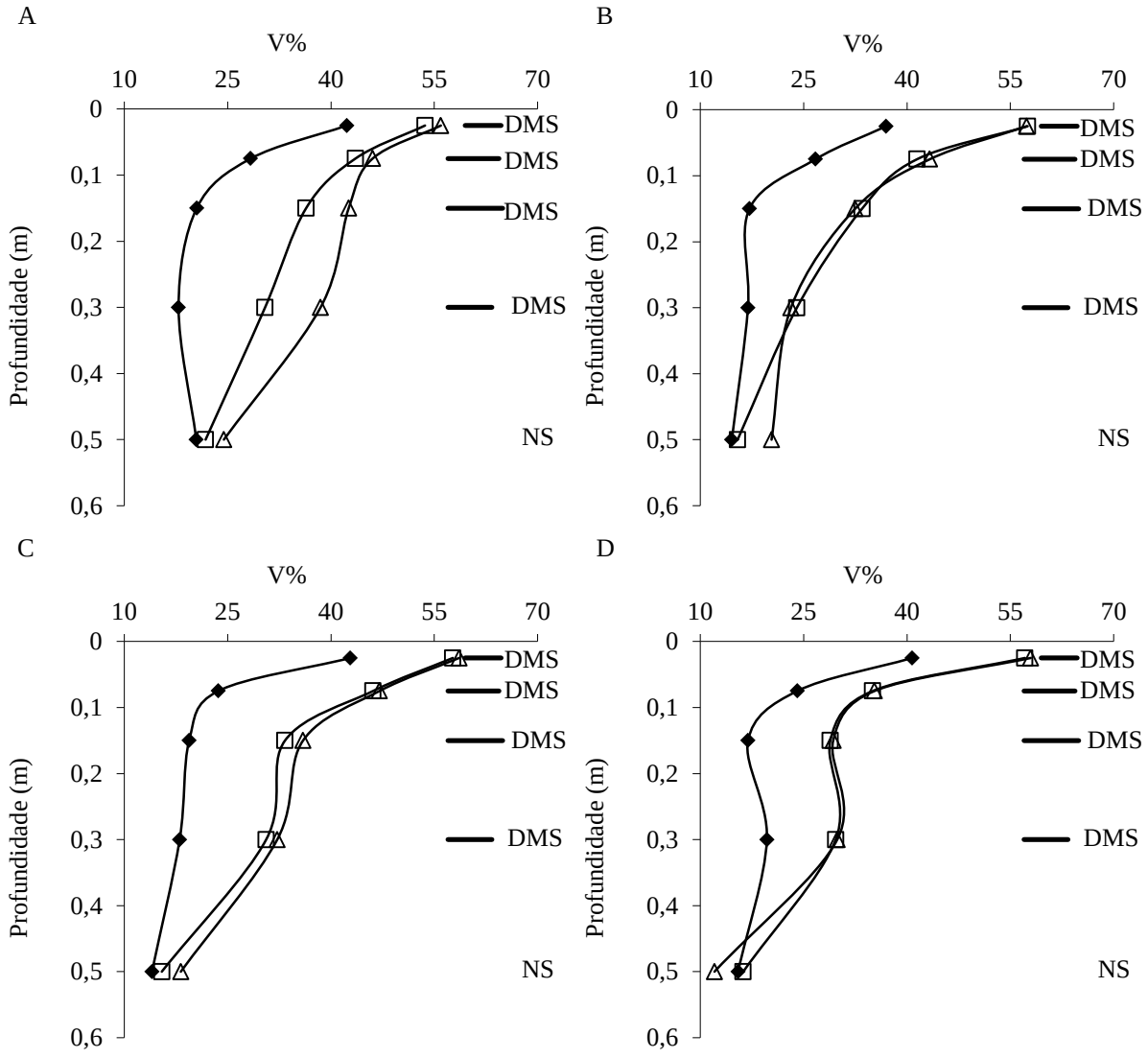

Figura 15. Valores de saturação por bases (V%) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 36 meses após tratamento.

6.3.2 Quarenta e oito meses após a aplicação dos corretivo

Os valores para as características químicas do solo, 48 meses após a aplicação dos corretivos de acidez do solo estão contidos nas Figuras de 16 à 24. Observa-se

que, diferentemente da época anterior, onde o silicato havia proporcionado os maiores valores de pH em algumas ocasiões, aos 48 meses ambas as fontes foram igualmente eficientes na correção do pH do solo (Figura 16) comprovando que, com o passar do tempo, os produtos da aplicação superficial de corretivos podem atingir profundidades maiores, sendo, portanto, uma técnica eficiente.

Com relação aos sistemas, apenas no sistema safra-pousio os produtos da reação dos corretivos não influenciaram os valores de pH na camada de 0,40-0,60 m, sendo que na época anterior, em todos os sistemas, os corretivos haviam reagido até a camada 0,20-0,40 m. A eficiência da calagem superficial sobre a elevação do pH e redução da acidez potencial, nas camadas subsuperficiais, tem sido associada ao manejo de resíduos orgânicos (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; MIYAZAWA et al., 2002; FRANCHINI et al., 2001; MEDA et al., 2002). Segundo Miyazawa et al. (2002), a permanência e/ou o constante aporte de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento do solo reduzem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos, sendo que com a disponibilidade de água, os compostos orgânicos podem ser solubilizados e lixiviados com maior facilidade, fato que auxiliaria a explicação do maior efeito dos corretivos do solo em profundidade com a utilização de um segundo cultivo no ano.

Verificou-se ainda que, comparativamente a época anterior, não houve grande redução do pH dos solos corrigidos. Tal efeito pode sugerir que ainda existiam quantidades significativas de corretivos reagindo até aos 48 meses. A partir da reação total dos corretivos, é provável que os processos de acidificação se manifestem mediante os valores de pH, tendo em vista o poder tampão do solo e os processos de extração de nutrientes e adubação, responsáveis pela elevação desta variável. Ciota et al. (2002) verificaram acidificação do solo no SSD e relacionaram tal efeito ao processo de nitrificação do amônio, proveniente dos fertilizantes de reação ácida que se concentram na superfície do solo, devido ao não revolvimento total do solo preconizado para o sistema.

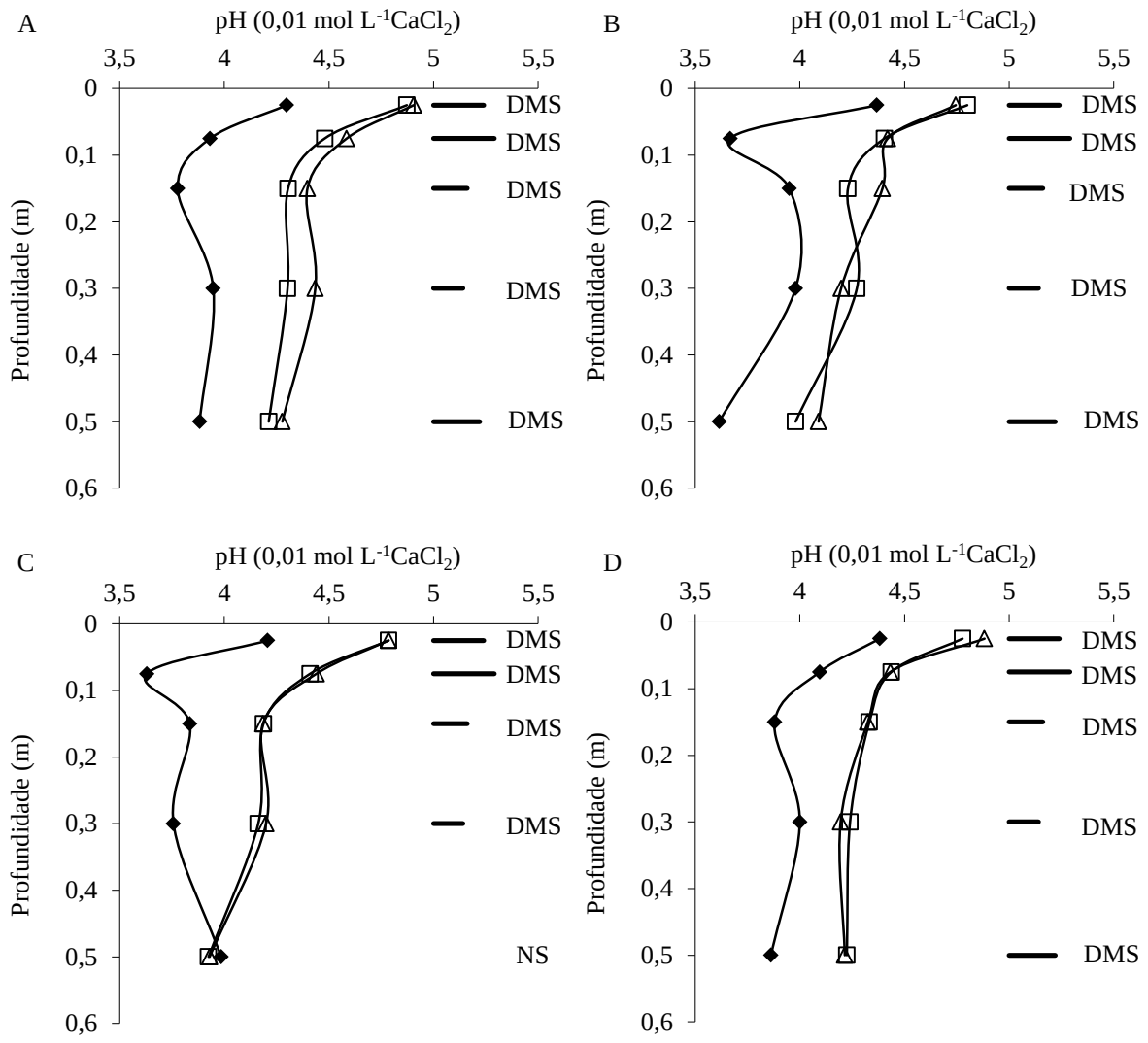

Figura 16. Valores do potencial hidrogeniônico (pH) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Vários trabalhos têm demonstrado que o tempo máximo decorrido para a máxima reação do calcário aplicado na superfície é variável, de 48 meses em um Argissolo Acinzentado distrófico plíntico textura média (RHEINHEIMER et al., 2000), de 32 meses em um Latossolo Vermelho argiloso (OLIVEIRA; PAVAN, 1996), de 28 a 30 meses em um Latossolo Vermelho textura média (CAIRES et al., 2000) e de 18 meses em um Latossolo Vermelho distroférrico textura argilosa (SORATTO; CRUSCIOL, 2008a, 2008c).

Os resultados dos teores de H+Al e de alumínio trocável (Figuras 17 e 18, respectivamente) foram o reflexo do ocorrido com o pH do solo, ou seja, ambos os corretivos foram eficientes na redução da acidez potencial e do Al^{+3} do solo, semelhantemente ao ocorrido na amostragem anterior. A exceção foi a camada 0,40-0,60 m do sistema safra-pousio, onde não foi observada variação no pH e ocorreu redução do Al^{+3}. Neste mesmo sistema, observou-se menor valor de alumínio tóxico na camada 0,10-0,20 m quando da aplicação de silicato, contrastando com a amostragem anterior, onde o silicato proporcionou efeitos mais expressivos, tanto na redução dos valores de H+Al como de Al^{+3}, em diversas camadas nos diferentes sistemas de produção.

O efeito do silicato sobre os teores de H+Al do solo foram, também, constatados por Prado e Fernandes (2001), em Latossolo Vermelho-Amarelo, por Prado et al. (2003), em Argissolo Vermelho-Amarelo, e por Barbosa et al. (2008), em Neossolo Quartzarênico. O efeito duradouro da calagem superficial na redução do Al trocável não é raro na literatura, sendo relatado por vários autores. Caires et al. (2008a) e Caires et al. (2011), verificaram efeito da calagem na redução dos teores de Al trocável em todas as profundidades, persistindo aos 36 e 96 meses após a aplicação. Contudo, estes resultados discordam dos obtidos por Soratto e Crusciol (2008a) que constataram efeitos mais expressivos no perfil do solo (até 0,60 m) aos 12 meses; após essa data os efeitos foram desaparecendo.

A redução do Al^{+3} deve ser creditada aos corretivos. Isso, visto que se tem observado menor toxicidade do Al em SSD, o que pode estar associada com a complexação do elemento pela M.O., que promove a remoção do Al da solução do solo (HARGROVE; THOMAS, 1981), e a formação de complexos com o carbono orgânico dissolvido (ZAMBROSI et al., 2007), pois a biodisponibilidade e o potencial tóxico dos elementos no ambiente dependem de sua especiação na solução do solo (CANCÉS et al., 2003). Contudo, não foi observado efeito dos sistemas que mais acumularam/protegeram a matéria orgânica do solo sobre os valores deste elemento.

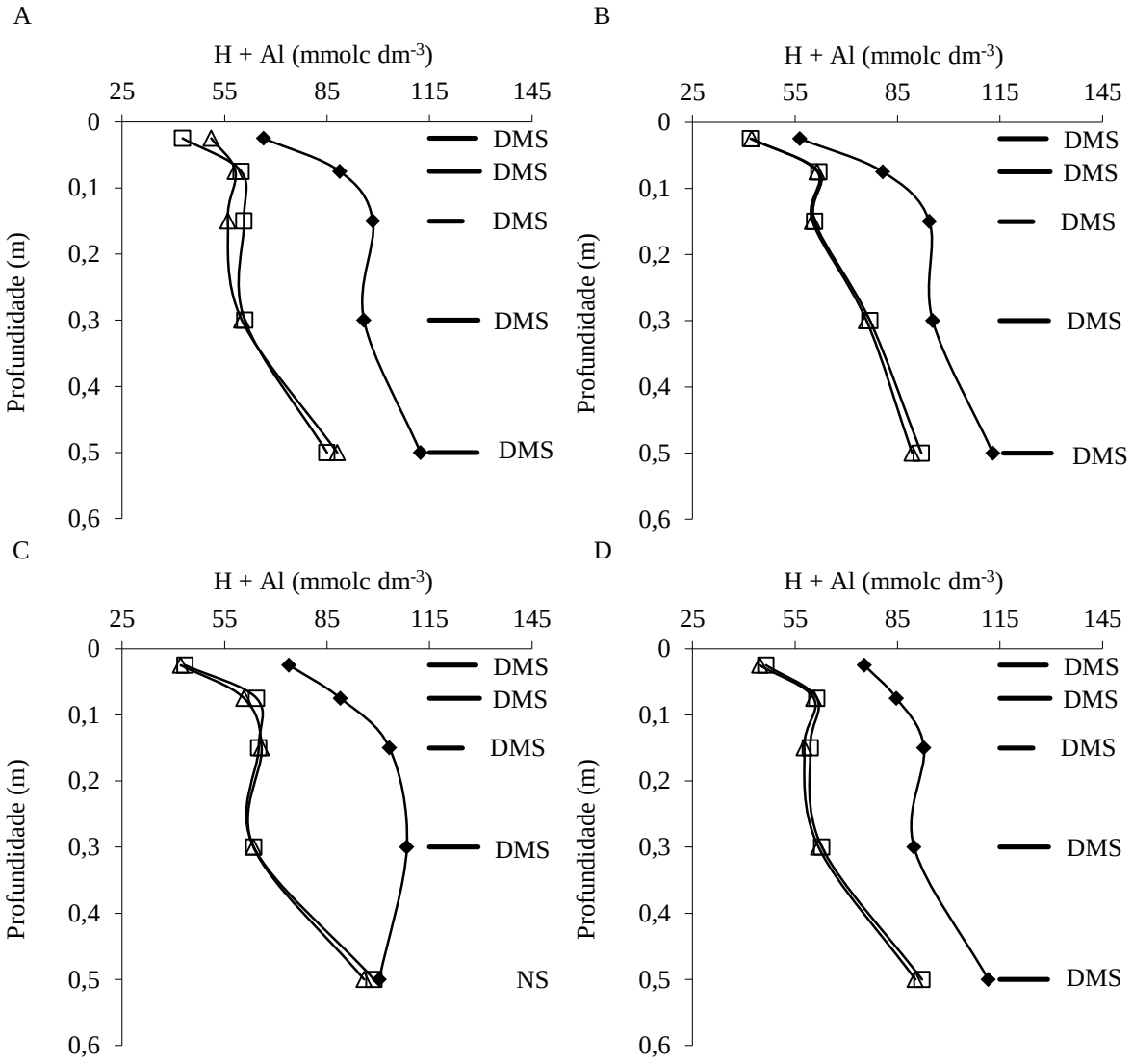

Figura 17. Valores de hidrogênio e alumínio (H + AL) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

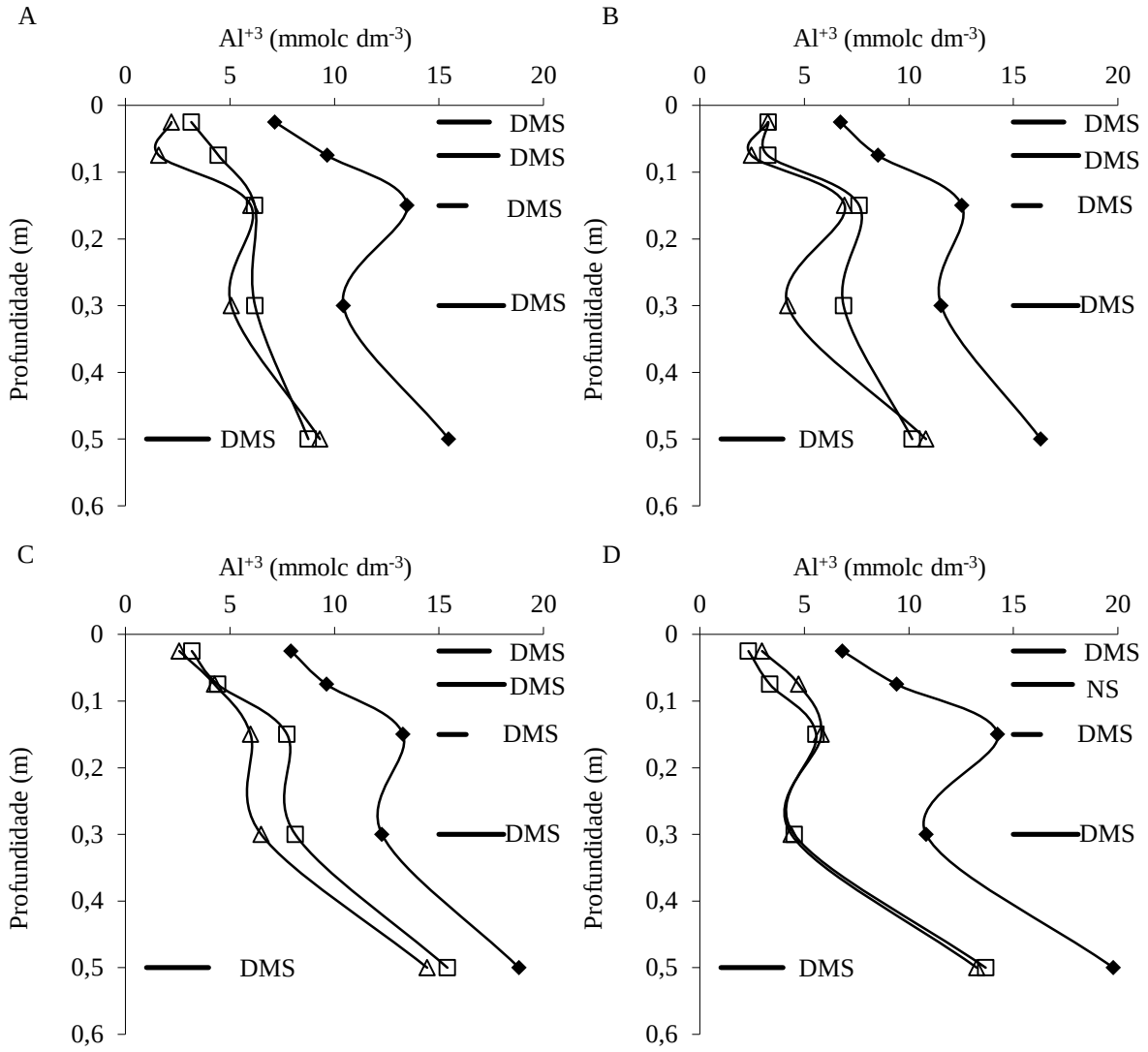

Figura 18. Valores de alumínio trocável (Al^{+3}) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Após 48 meses da aplicação superficial, os corretivos continuaram proporcionando maiores teores de fósforo (Figura 19) nas três primeiras camadas do solo. Costa (2011) também verificou, decorridos 60 meses da aplicação superficial de calcário, aumento nos teores de P, porém restrito até a profundidade de 0,20 m.

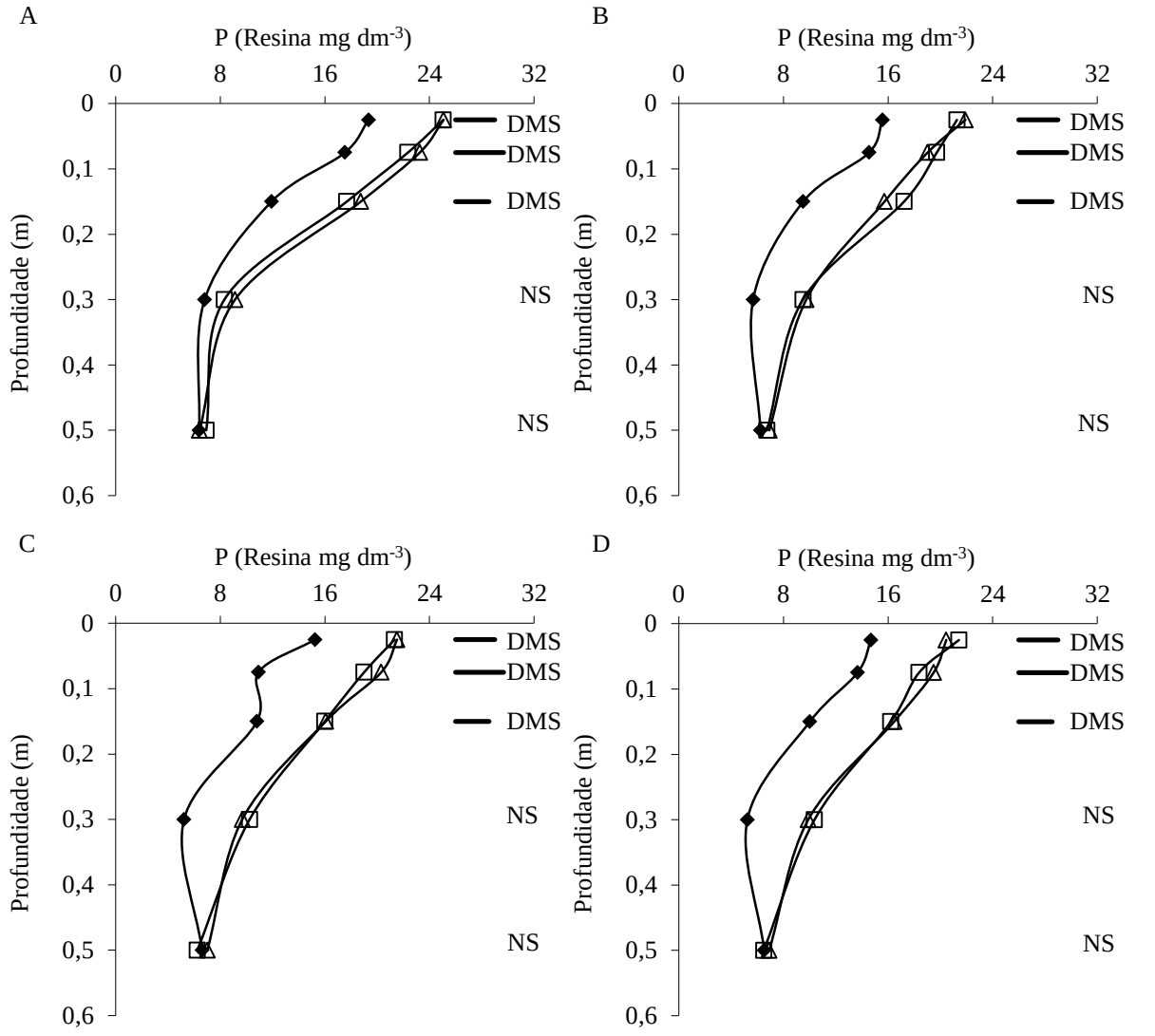

Figura 19. Valores de fósforo (P) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

O uso de corretivos da acidez, como o calcário e o silicato, auxilia na redução do problema de adsorção de P, pois, com a elevação do pH, conforme observado no presente estudo (Figura 16), ocorre aumento na solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio, aumento da concentração de OH^- na solução do solo, reduzindo a adsorção na fase sólida deste (CASAGRANDE; CAMARGO, 1997). Além disso, a adição anual de fósforo na adubação de semeadura das culturas potencializa a maior disponibilidade de P em detrimento da redução da imobilização do fósforo no solo (ALVARADO; CAJUSTE, 1993).

Com relação aos sistemas, verificou-se que, nas duas primeiras camadas do solo, o sistema safra-forrageira foi eficiente em elevar os teores de P quando comparado aos demais, tanto na ausência como na presença de corretivos de acidez, destacando assim a importância que o cultivo da Brachiaria ruziziensis teve no aumento da disponibilidade de P do solo.

Marx et al. (1997) observaram que solos cultivados com milho sob a rotação com gramíneas (*Brachiaria ruziziensis*) apresentaram menor capacidade de adsorção de P quando comparados à rotação do milho com leguminosas, fato este que pode estar atrelado ao fato das gramíneas contribuírem com maior quantidade de ácidos fenólicos para a matéria orgânica do solo (SIQUEIRA et al. 1991).

Os ácidos orgânicos liberados pelas raízes de certas culturas podem exercer funções importantes na ciclagem e utilização de nutrientes insolúveis para outras plantas. O aumento na disponibilidade de P pode ocorrer pela dissolução de fosfatos, tornando-os disponíveis para as plantas, estando envolvidos neste processo bactérias, fungos e plantas com capacidade de solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos, destacada a produção de ácidos (WHITELAW, 2000). Neste sentido, fracionando as formas de fósforo do solo, Merlin (2008) verificou que a braquiária alterou positivamente as diversas formas de P do solo, especialmente as formas lábeis no perfil.

Quanto aos teores de potássio do solo (Figura 20), constatou-se aumento consistente até a profundidade de 0,40 m, decorrente da aplicação dos corretivos, sendo que nos sistemas safra-safrinha e safra-adubo verde o efeito também foi verificado na última camada. Os corretivos diferiram entre si apenas nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m no sistema safra-safrinha, onde somente o silicato diferiu do controle, sem aplicação de corretivo.

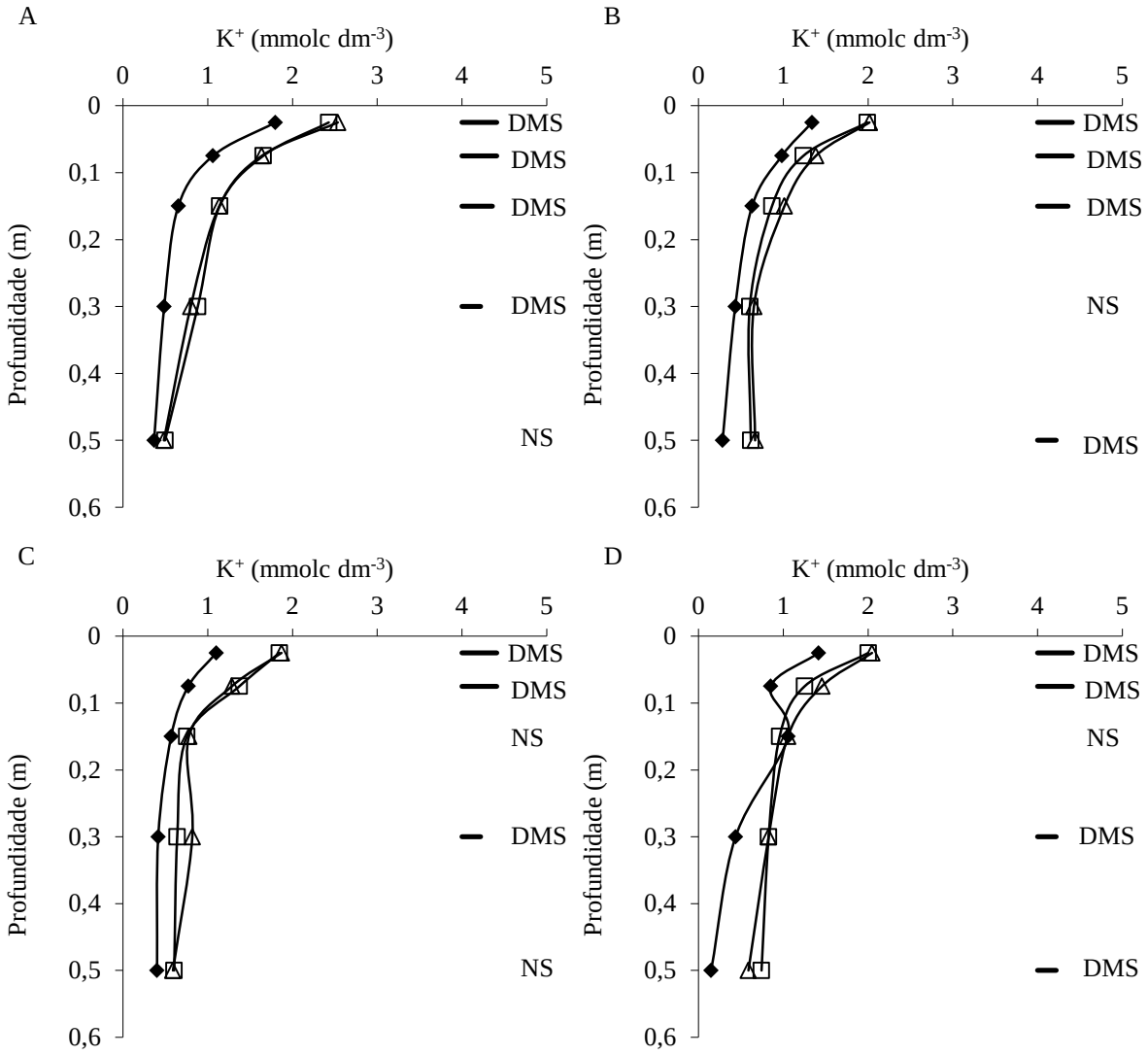

Figura 20. Valores de potássio (K) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Diversos autores citam que a calagem pode reduzir as perdas de potássio por lixiviação (QUAGGIO et al., 1982, 1993; CAIRES et al., 1998). Tal efeito pode estar relacionado ao aumento das cargas negativas dependentes de pH, ocasionado pela calagem (QUAGGIO et al., 1982), e a alteração das cargas dos cátions bivalentes (Ca e Mg), pela formação de complexos com ligantes orgânicos hidrossolúveis presentes nos resíduos vegetais (MIYAZAWA et al., 2002). Assim, a carga livre seria ocupada por K^+, aumentando o teor de K trocável pela redução de sua lixiviação para camadas mais profundas (CAIRES et

al., 1998). Por outro lado, quando ocorre supercalagem há excessivo fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}, os quais possuem maior afinidade pelas cargas negativas do solo em relação aos cátions monovalentes (ALMEIDA et al., 2008), podendo deslocar o K^{+} dessas cargas negativas para a solução do solo, facilitando sua lixiviação. Os corretivos podem ainda ter efeito indireto nos teores de K do solo, visto que as culturas cultivadas em solos corrigidos produzirem mais matéria seca, ciclando maiores quantidades de K no sistema.

Com relação aos sistemas, verificou-se, mais uma vez, que o sistema safra-forrageira foi o que proporcionou os maiores teores de K, especialmente nas duas primeiras camadas, diferindo, contudo, do sistema safra-pousio, também na camada 0,10-0,20 m. Tal resultado deve estar relacionado ao aumento de produção de matéria seca, elevando, por conseguinte, a ciclagem de nutrientes pelo sistema radicular das culturas principais, mas especialmente das cultivadas na entressafra. Rosolem et al. (2006) verificaram que com chuva de 50 mm, a lixiviação de K presente na palhada de milheto pode chegar até a camada de 8 cm, evidenciando a rapidez e a alta mobilidade deste cátion no perfil do solo.

Os teores de Ca e Mg trocáveis foram incrementados pela aplicação de corretivos em todas as camadas do perfil do solo, com exceção no sistema safra-pousio, onde os incrementos nos teores destes nutrientes ocorreram até a profundidade de 0,20 m, para o Ca, e 0,40 m, para o Mg (Figura 21 e 22). Vários autores relataram a elevação nos teores de Ca e Mg trocáveis do solo mediante aplicação superficial de calcário (CAIRES et al., 2006a, 2008a, 2011; RHEINHEIMER, et al., 2000; CIOTTA et al., 2002; ALLEONI et al., 2005; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a).

Como ambos os materiais são fonte de Ca e Mg, no presente trabalho foi possível observar os efeitos da calagem e da silicatagem, evidenciando que a aplicação em superfície contribuiu para a elevação nos teores destes nutrientes no perfil do solo, corroborando com os resultados obtidos por Caires et al. (1998; 2003) e Soratto e Crusciol (2008a). Vale ressaltar que esses efeitos, 48 meses após a aplicação dos corretivos, indicam que os produtos podem proporcionar período residual relativamente longo.

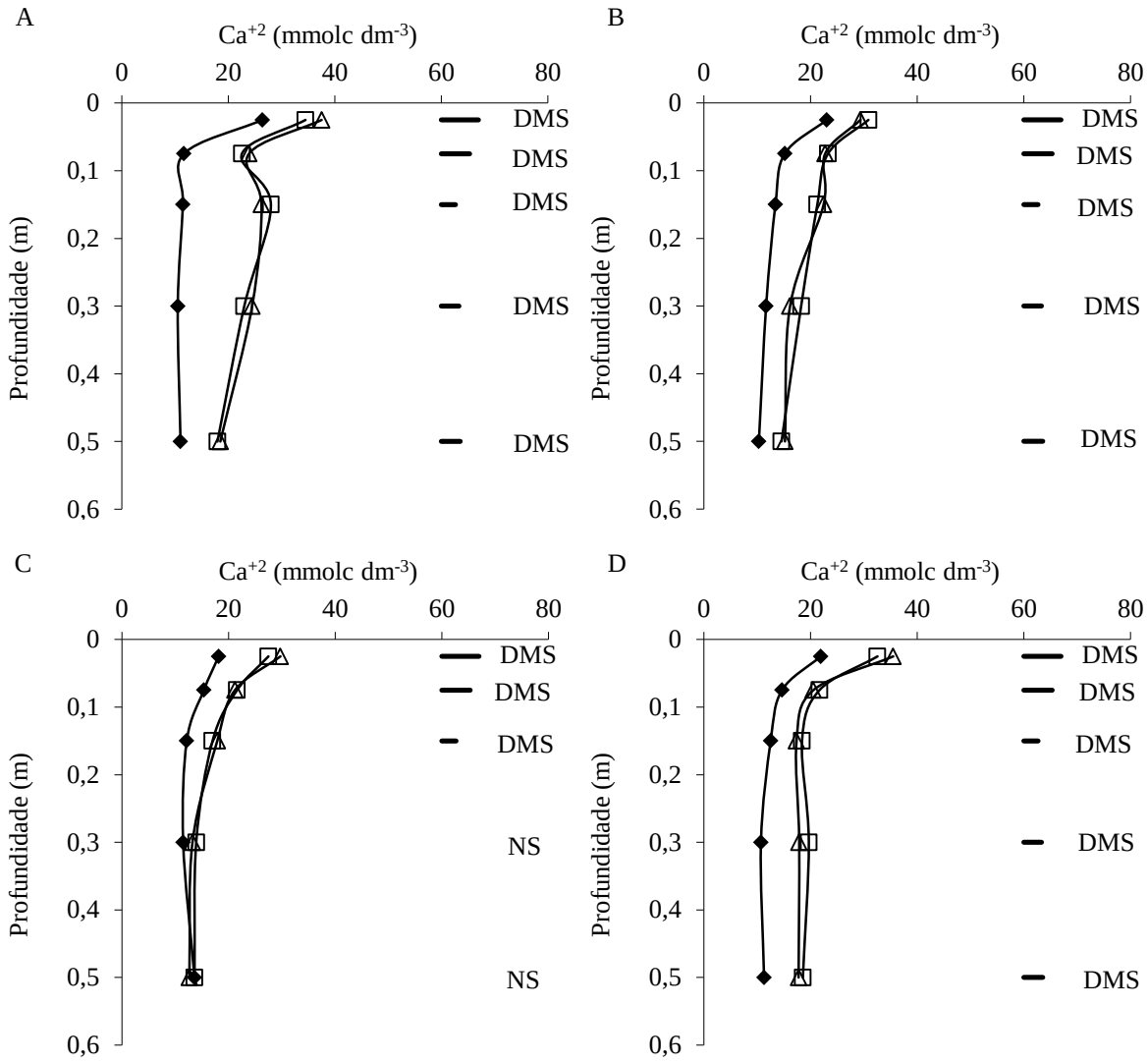

Figura 21. Valores de cálcio (Ca) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Um dos fatores que pode ter contribuído com esses resultados foi o constante aporte de resíduos vegetais na superfície do solo e posterior decomposição, ciclando as bases trocáveis, mas, também, fornecendo quantidade considerável de compostos orgânicos que funcionam como carregadores de Ca no perfil do solo.

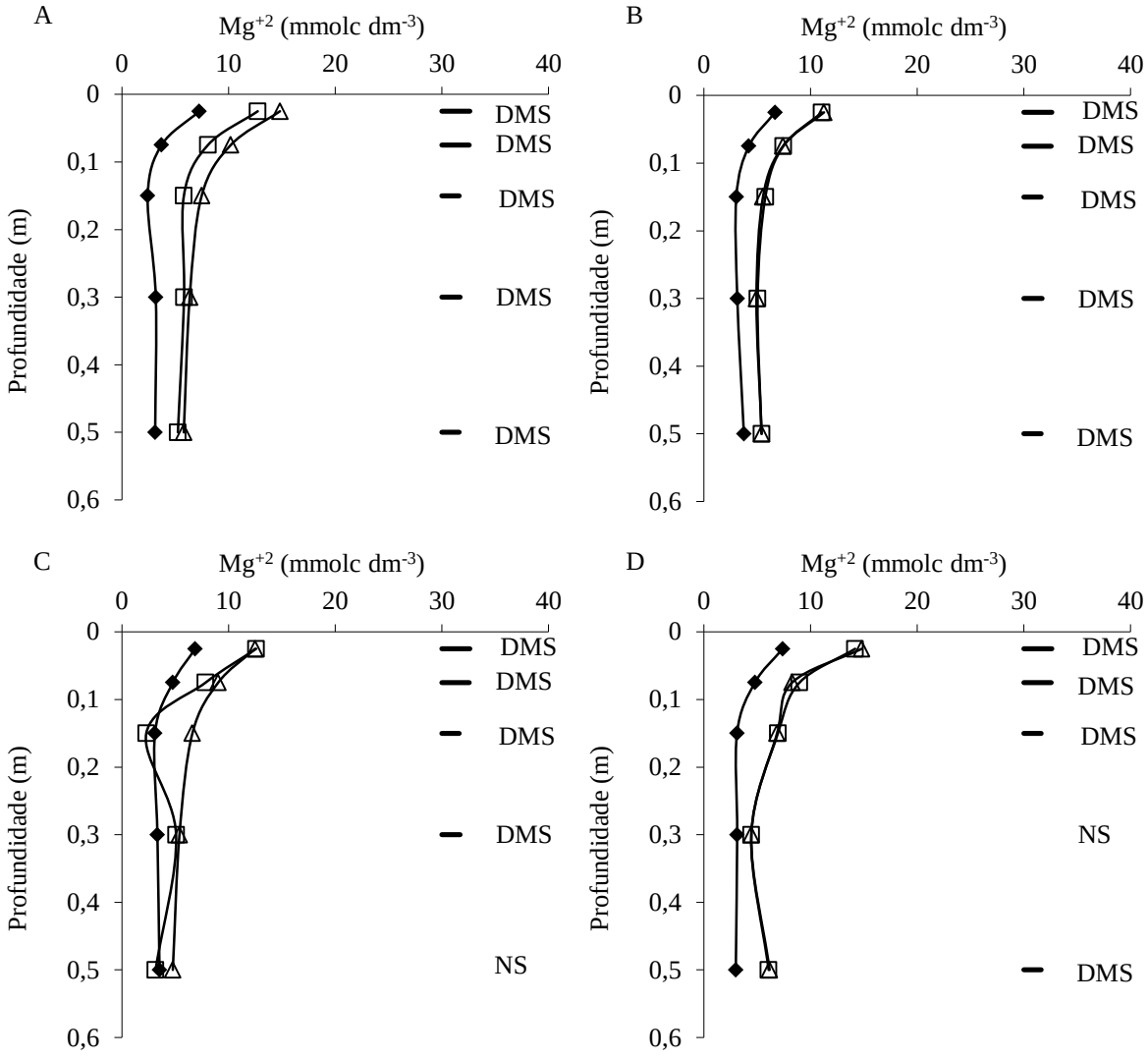

Figura 22. Valores de magnésio (Mg) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Os corretivos não diferiram entre si quanto aos teores de Ca nos sistemas de produção. Contudo, para os teores de Mg, observou-se maiores teores após aplicação de silicato na profundidade 0,05-0,10 m no sistema safra-forrageira e, no sistema safra-pousio, apenas o silicato diferiu do controle na profundidade 0,10-0,20 m. Possivelmente este seja efeito decorrente da mais rápida reação do silicato, obtendo maior ciclagem de nutrientes nos primeiros estágios após a aplicação dos corretivos.

Conforme observado na época anterior, aos 48 meses, a aplicação de silicato influenciou os teores de Si no solo (Figura 23), contudo com diferença até a camada mais profunda, sendo que aos 36 meses a ação deste corretivo foi observada até a camada 0,20-0,40 m.

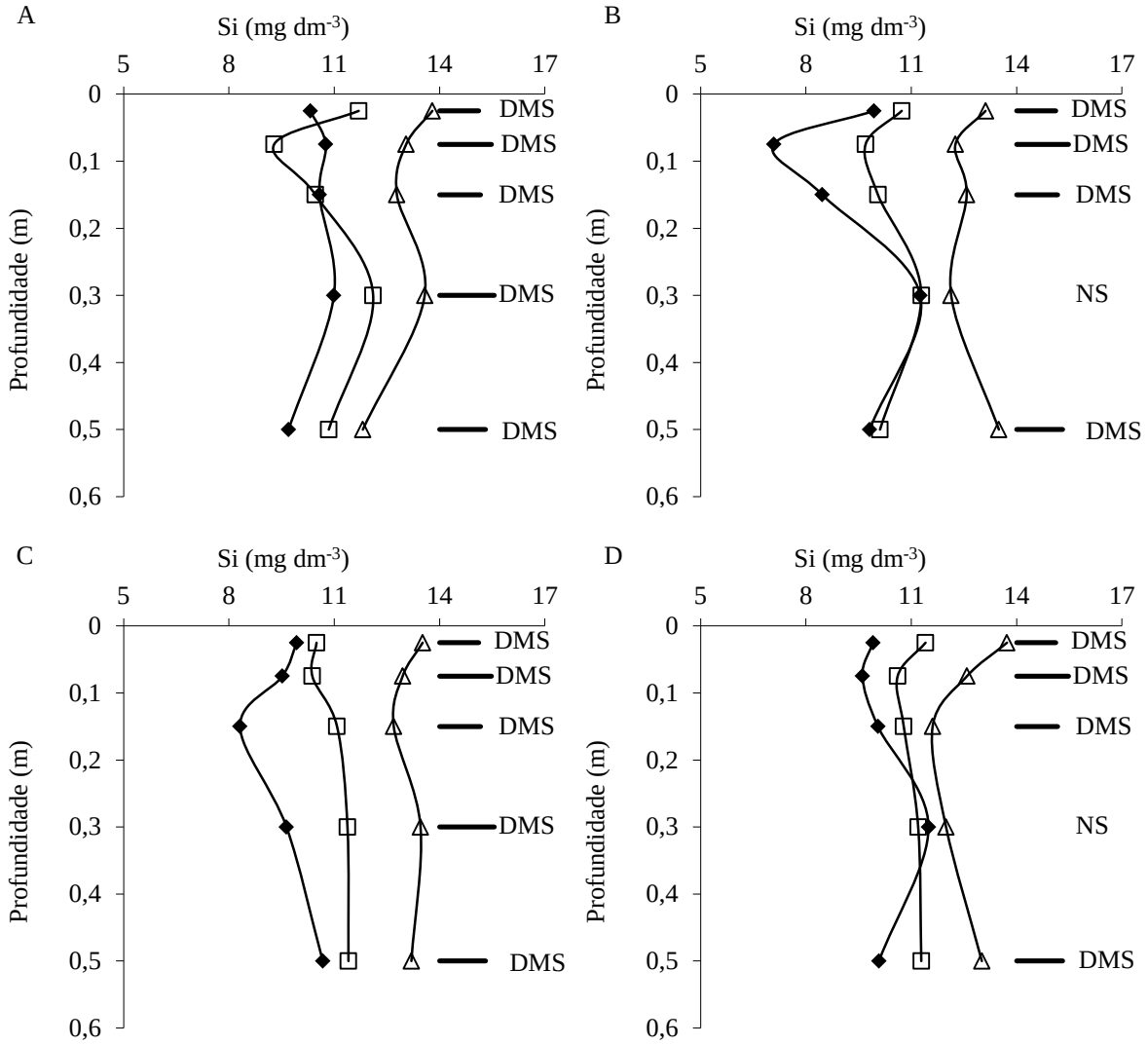

Figura 23. Valores de silício (Si) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

Isso foi decorrente do silicato possuir grandes concentrações de Si, elevando sua disponibilidade ao solo. Mais uma vez, ainda que em menor escala, a aplicação de

calcário também aumentou a disponibilidade de Si, provavelmente, como consequência da elevação do pH.

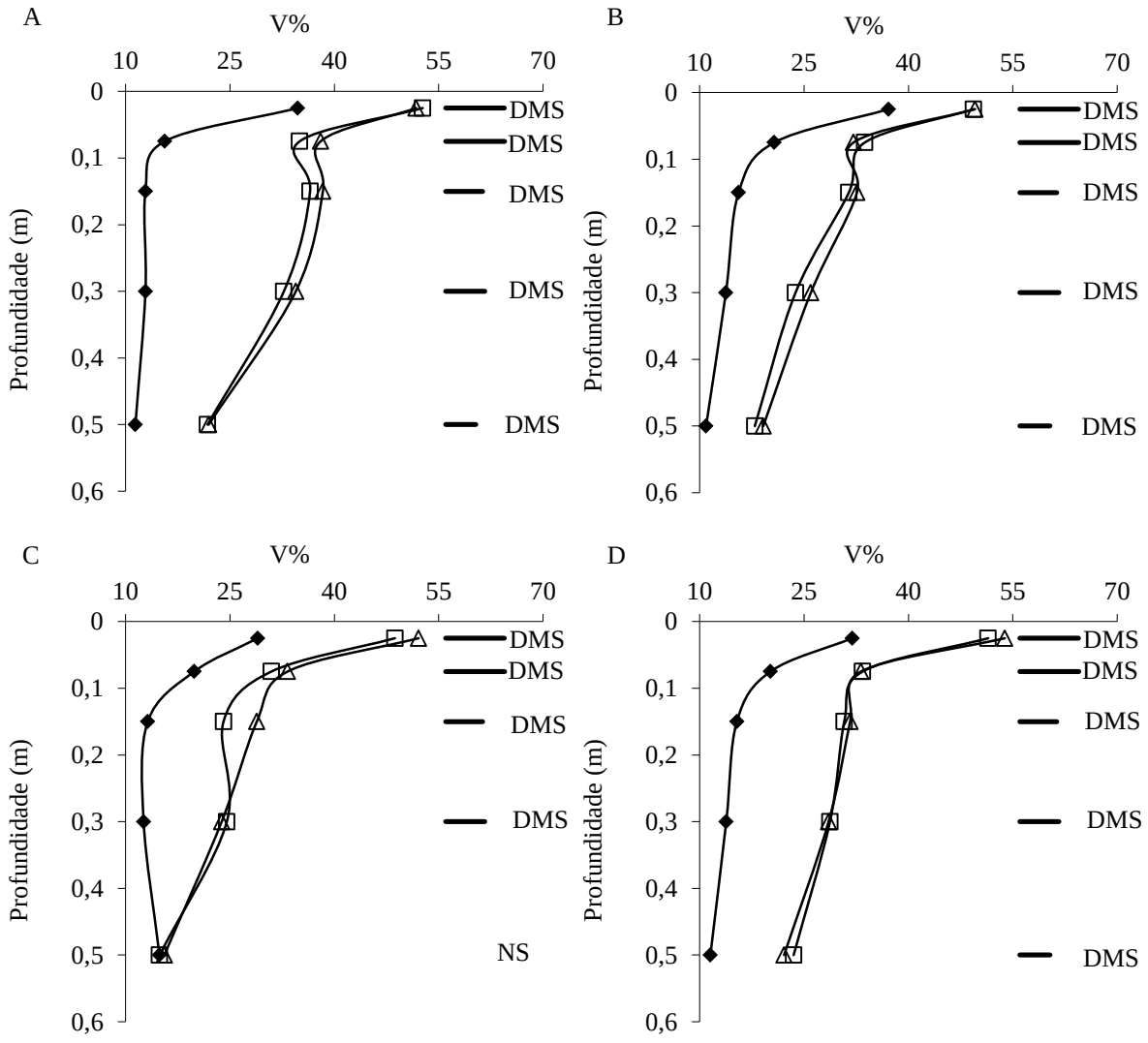

Figura 24. Valores de saturação por bases (V%) do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Safrinha (B), Pousio (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e controle (♦)), 48 meses após tratamento.

A V% foi, assim como o pH, incrementada, em todo o perfil, pela aplicação dos corretivos. Mais uma vez, a exceção foi o sistema safra-pousio, onde o efeito foi evidenciado até a camada 0,20-0,40 m. O aumento da saturação por bases no perfil do solo foi decorrente da diminuição dos teores de H+Al e do aumento dos teores de K, Ca e Mg trocáveis.

Esse efeito em subsuperfície demonstra a viabilidade técnica desta prática em solos cultivados em SSD na fase de implantação do sistema.

Constata-se ainda que os valores de saturação por bases nas camadas inferiores a 0,05 m, nos quatro sistemas de produção, foi inferior aos estimados pelos cálculos de recomendação de corretivos do solo, evidenciando que a recomendação dos corretivos, visando corrigir o pH do solo na camada de 0,20 m, precisa ser melhor estudada, especialmente quando se trata do acompanhamento desta prática ao longo do tempo, visto que, decorridos 48 meses da aplicação dos corretivos, acredita-se que boa parte de seu efeito tenha se perdido pelo poder tampão do solo e pela gradual acidificação dos solos tropicais. Pode-se observar ainda que, pela eficiência do silicato em melhorar as propriedades químicas do solo de forma semelhante ao calcário, a recomendação da utilização do mesmo pode ser semelhante à utilizada para calcário.

Os resultados do presente estudo evidenciam que a aplicação superficial de corretivos teve efeito duradouro na correção da acidez e elevação dos teores de Ca e Mg praticamente em todo o perfil do solo. No entanto, os maiores efeitos dos mesmos, tanto na correção, quanto na elevação dos teores de cátions em profundidade, foram verificados aos 48 meses, ou seja, é provável que a máxima reação possa ter ocorrido nesse período.

6.4 Atributos físicos do solo

6.4.1 Densidade, porosidade e estabilidade dos agregados do solo

Os valores obtidos na avaliação das características físicas do solo estão contidos nas Tabelas 6, 7, e 8 nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente.

A densidade do solo só foi alterada na camada superficial (Tabela 6), sendo que a aplicação de corretivos e a introdução da *B. ruziziensis* em rotação à cultura principal reduziu seus valores. A ausência de efeito negativo da aplicação de corretivos da acidez na agregação do solo também foi descrita por Costa et al. (2004). Estes autores afirmam que o aporte de C e o aumento da atividade microbiana ou do sistema radicular das culturas, resultante da aplicação de corretivos da acidez do solo, contribuem para a

manutenção da estabilidade de agregados, compensando o efeito dispersante desses corretivos. Os benefícios proporcionados pelos corretivos sobre a produção de matéria seca durante as cinco safras agrícolas pode ter beneficiado, ou minimizado o efeito deletério da dispersão da argila. Neste enfoque, Bortoluzzi et al. (2010) verificaram melhorias em atributos físicos do solo em solos que receberam corretivos da acidez. Além disso, o efeito positivo da rotação com *B. ruziziensis*, que proporcionou o maior incremento na matéria orgânica do solo (Figuras 2 e 3) foi fundamental para a redução da densidade do solo nesta camada superficial.

Quanto aos poros do solo, apenas a macroporosidade (Mac) foi alterada, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabelas 6 e 7, respectivamente), para ambos os tratamentos estudados. Constatou-se que o uso de corretivos e a adoção de um segundo cultivo foram práticas positivas, elevando os valores de macroporos, responsáveis pela aeração do solo. Tais efeitos devem estar relacionados ao maior desenvolvimento radicular, visto que a aplicação de corretivos promove alterações químicas no solo que possibilitam maior desenvolvimento deste órgão da planta. Além disso, o cultivo de uma segunda safra no mesmo ano agrícola possibilita a diversificação da morfologia radicular da área, que pode culminar em benefícios quanto à porosidade do solo, visto que, após sua morte, os canais deixados pelas raízes das culturas ajudam na elevação da macroporosidade do solo (SILVA; ROSOLEM, 2001). Em solos com baixa proporção de macroporos, como é caso do solo onde foi instado o experimento (Tabela 4), é importante a utilização de práticas de manejo que aumente a macroporosidade visando melhorar a aeração do solo (CALONEGO; ROSOLEM,2010). Apesar do aumento da macroporosidade nos tratamentos envolvendo a aplicação dos corretivos e culturas de entressafra, em nenhuma situação a macroporosidade apresentou-se abaixo do valor mínimo de 10% preconizado como limite crítico para que não ocorra limitação na aeração do solo (JONG VAN LIER, 2010), o que pode afetar o ótimo desenvolvimento da maioria das culturas, por restringir a difusão e as trocas gasosas.

Tabela 6. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0-0,10 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2011.

Tratamentos	**Parâmetros físicos do solo**						
	Densidade	**Pt**	**Mic**	**Mac**	**DMP**	**DMG**	**IEA**
CORRETIVOS	**Mg m^{-3}**	**----------cm^{3}cm^{-3}----------**			**--------mm--------**		**%**
Controle	1,28b	0,53	0,43	0,10b	3,68	3,20	91,2
Calcário	1,23a	0,55	0,43	0,12a	3,79	3,17	92,2
Silicato	1,22a	0,54	0,42	0,12a	3,81	3,22	90,7
DMS	0,04	0,29	0,12	0,01	0,44	0,39	5,10
CV(%)	7,27	10,0	16,7	14,9	20,2	15,4	15,9
SISTEMAS							
Pousio	1,28b	0,49	0,4	0,09c	3,77	3,18	87,9c
Safrinha	1,27b	0,55	0,44	0,11b	3,79	3,37	91,9b
Ad. verde	1,26b	0,54	0,43	0,11b	3,69	2,99	91,2b
Forrageira	1,21a	0,58	0,44	0,14a	3,81	3,21	94,4a
DMS	0,05	0,21	0,15	0,02	0,41	0,47	2,82
CV(%)	7,91	18,6	20,1	12,0	21,8	20,3	14,2
	----------Valores de F----------						
Corretivos (C)	4,65*	0,30ns	0,23ns	15,9**	0,40ns	0,47ns	2,14ns
Sistemas (S)	4,46*	0,69ns	1,90ns	6,11*	1,61ns	1,56ns	7,91*
C*S	1,00ns	0,91ns	1,19ns	1,29ns	0,80ns	0,94ns	1,80ns

*, ** e ns, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

Por fim, a agregação do solo não foi afetada pela aplicação de corretivos da acidez do solo. Em contrapartida, o índice de estabilidade de agregados (camada 0-0,10 m) e o diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico (camada 0,10-0,20 m) foram positivamente influenciados pelas culturas de entressafra, sendo que o sistema safra-forrageira se sobressaiu, apresentando maior potencial de agregação do solo, sendo os sistemas safra-adubo verde e safra-safrinha, intermediários entre o anterior e o sistema safra-pousio. Segundo Bayer e Mielniczuk (2008), os sistemas radiculares das plantas forrageiras tropicais apresentam boa eficiência na agregação dos solos, o que pode justificar o efeito intermediário dos sistemas envolvendo o cultivo de culturas de safrinha e adubos verdes na entressafra. Além do efeito do sistema radicular, as culturas de entressafra proporcionam maior aporte de resíduos orgânicos no sistema. Huang et al. (2010) verificaram que a aplicação de quantidades mais elevadas de resíduos orgânicos, via adubo verde, influenciou positivamente a agregação do solo.

São comuns na literatura relatos de maior efeito das plantas com sistema radicular fasciculado na estruturação do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997; CALONEGO; ROSOLEM, 2008). Para Salton et al. (2008), as gramíneas apresentam maior efeito na agregação do solo devido ao abundante sistema radicular formado por essas espécies. Segundo Bayer e Mielniczuk (2008), sistemas de manejo que aumentam o crescimento e distribuição de raízes no perfil do solo irão propiciar maior estabilidade de agregados, pois, além aumentar as substâncias agregadoras, ou seja, materiais que possuem ação cimentante e aglutinadora, como a matéria orgânica e exsudados radiculares, também irão promover a agregação do solo à medida que as raízes exerçam pressão sobre as partículas minerais no seu avanço pelo espaço poroso e que o secamento na região adjacente às raízes promova o aumento da força de coesão entre as partículas do solo (ZONTA et al., 2006).

Tabela 7. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,10-0,20 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2011.

Tratamentos	**Parâmetros físicos do solo**						
	Densidade	**Pt**	**Mic**	**Mac**	**DMP**	**DMG**	**IEA**
CORRETIVOS	**Mg m^{-3}**	**----------cm^{3}cm^{-3}----------**			**--------mm--------**		**%**
Controle	1,32	0,49	0,39	0,10b	3,41	2,98	90,2
Calcário	1,32	0,48	0,37	0,11a	3,41	2,97	90,4
Silicato	1,31	0,49	0,37	0,12a	3,42	2,99	90,9
DMS	0,05	0,06	0,06	0,01	0,22	0,16	2,18
CV(%)	5,32	7,91	8,17	16,1	22,8	17,1	11,7
SISTEMAS							
Pousio	1,31	0,49	0,39	0,10b	3,30b	2,91b	90,3
Safrinha	1,31	0,50	0,38	0,11ab	3,36b	2,89b	90,1
Ad. verde	1,32	0,47	0,36	0,11ab	3,31b	2,90b	90,6
Forrageira	1,31	0,48	0,37	0,12a	3,69a	3,22a	91,0
DMS	0,04	0,07	0,04	0,02	0,22	0,20	1,98
CV(%)	6,08	8,01	13,2	14,6	25,9	21,6	9,98
	----------Valores de F----------						
Corretivos (C)	1,01ns	0,75ns	0,32ns	3,33*	0,90ns	0,67ns	0,21ns
Sistemas (S)	0,59ns	0,90ns	0,61ns	4,56*	4,09*	3,88*	0,61ns
C*S	1,21ns	0,40ns	0,50ns	1,07ns	1,01ns	0,84ns	0,35ns

* e ns, significativo a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

A diferença nas características físicas do solo apenas nas camadas superficiais se explica por esta ser a camada do solo onde são depositados os resíduos vegetais

das plantas e onde ocorre a maior colonização das raízes (GARCIA; ROSOLEM, 2010). Segundo Cunha et al. (2007), o efeito dos sistemas de manejo na estabilidade de agregados se limita aos primeiros centímetros do solo, por ser a camada com maior diferença em termos de teor de MO entre os sistemas de manejo. Além disso, deve-se considerar que cinco anos de aplicação dos tratamentos é um período curto em se tratando de avaliações da física do solo. Portanto, interferências em maiores profundidades no perfil são esperadas a médio e longo prazo (BLANCO-CANQUI et al.,2010).

Tabela 8. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,20-0,40 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2011.

Tratamentos	**Parâmetros físicos do solo**						
	Densidade	**Pt**	**Mic**	**Mac**	**DMP**	**DMG**	**IEA**
CORRETIVOS	**Mg m^{-3}**	**----------cm^{3}cm^{-3}----------**			**--------mm--------**		**%**
Controle	1,24	0,43	0,38	0,05	2,94	2,62	96,5
Calcário	1,27	0,42	0,37	0,05	3,04	2,69	96,1
Silicato	1,27	0,43	0,38	0,05	2,99	2,63	94,3
DMS	0,07	0,05	0,04	0,02	0,23	0,19	3,22
CV(%)	10,1	12,5	15,4	22,7	21,6	17,5	9,19
SISTEMAS							
Pousio	1,25	0,42	0,37	0,05	3,01	2,65	96,7
Safrinha	1,26	0,43	0,38	0,05	3,05	2,65	94,5
Ad. verde	1,26	0,43	0,38	0,05	2,87	2,66	94,7
Forrageira	1,27	0,43	0,38	0,05	3,04	2,63	96,6
DMS	0,06	0,05	0,03	0,02	0,27	0,21	4,12
CV(%)	11,8	10,8	10,7	20,0	19,8	18,8	8,38
	----------Valores de F----------						
Corretivos (C)	1,02ns	0,41ns	0,92ns	0,68ns	0,22ns	0,71ns	0,55ns
Sistemas (S)	0,55ns	1,30ns	0,94ns	0,93ns	1,22ns	1,01ns	1,18ns
C*S	0,90ns	0,71ns	0,80ns	0,90ns	1,21ns	1,17ns	0,62ns

ns, não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

A literatura preconiza como sendo o solo ideal aquele que apresente valores de 0,10 a 0,16 cm^3cm^{-3} para macroporosidade, de até 0,33 cm^3cm^{-3} para microporosidade e aproximadamente 0,50 cm^3cm^{-3} para porosidade total do solo (BAVER, 1972; KIEHL, 1979). Quanto ao nível crítico da densidade do solo (valor acima do qual o solo é considerado compactado), não existe consenso na literatura. Camargo e Alleoni (1997) consideram crítico o valor de 1,6 Mg m^{-3} em solos franco-argilosos a argilosos. Já De Maria et

al. (1999) constataram que acima de 1,2 Mg m^{-3}, em Latossolo Roxo, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes quando o solo estiver na capacidade de campo, o que caracteriza estado de compactação do solo. Com base na literatura, os resultados permitem concluir que os valores de porosidade e densidade do solo estão próximos do ideal.

6.4.2 Resistência à penetração

A resistência à penetração e a umidade do solo, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em função dos diferentes sistemas de produção agrícola estão representadas na Figura 25 A e B, visto que a aplicação de corretivos da acidez do solo não influenciou a resistência à penetração e a umidade do solo. De acordo com Imhoff et al. (2000), a determinação da curva de resistência do solo é um parâmetro útil na avaliação da qualidade física do solo, permitindo a identificação de solos potencialmente limitantes ao crescimento das plantas.

A resistência à penetração foi crescente de acordo com o perfil estudado, variando de 1,70 a 3,1 MPa, estando próximos ao valor considerado limitante, que seria em torno de 2,5 kg cm^{-2} (TAYLOR, 1971). A manutenção da área em pousio por cinco anos consecutivos após o cultivo da safra de verão foi o suficiente para aumentar a resistência à penetração do solo (RP) na camada de 0 a 0,05 m (Figura 25A). Esse resultado pode estar relacionado com a menor estruturação do solo promovida por esse manejo nessa camada do perfil (Tabelas 6 e 7) ou pelo fato do solo apresentar menor umidade nessa camada no momento do teste de RP (Figura 25B). Cunha et al. (2007) também observaram menores valor de resistência à penetração na camada superficial (0 a 0,10 m) em tratamentos envolvendo rotações de culturas em SSD contendo braquiária, responsáveis por incrementar o teor matéria orgânica e a agregação do solo. Calonego (2007) verificou que a utilização por três anos consecutivos de milheto, sorgo forrageiro ou crotalária juncea como plantas de cobertura na primavera diminuíram a compactação do solo na camada de 0 a 0,05 m em relação ao sistema com pousio nessa época. Além disso, Calonego e Rosolem (2010), em experimento envolvendo plantas de cobertura ou pousio em primavera por três anos consecutivos, verificaram que o milheto em sucessão triticale e a crotalária em sucessão de triticale ou girassol, são boas opções para evitar que a densidade do solo, na camada de 0 a 0,20 m,

atingisse valores acima do considerado crítico, avaliada pela metodologia do intervalo hídrico ótimo.

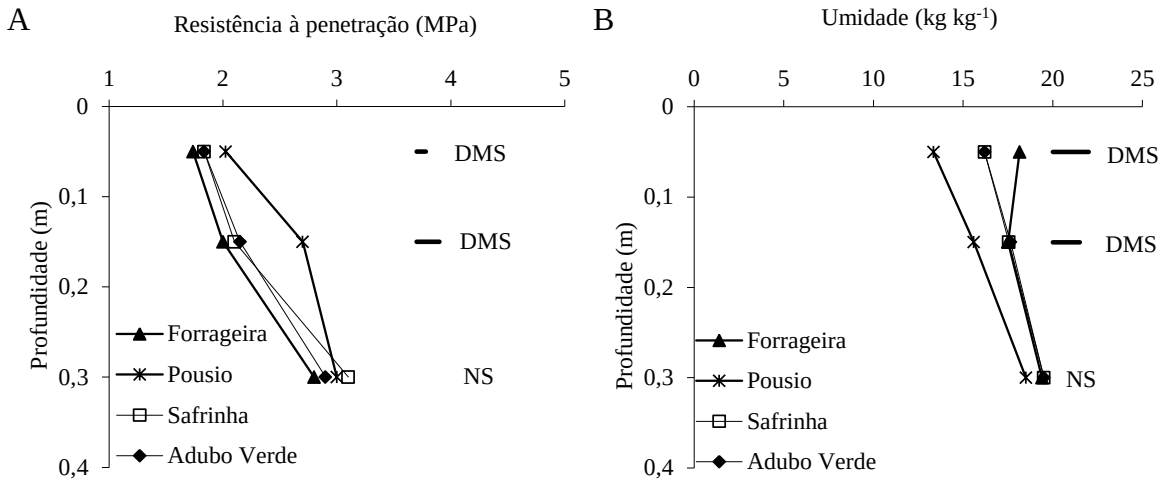

Figura 25. Resistência à penetração (A) e umidade do solo (B) em função de diferentes sistemas de produção agrícola (Safra – Pousio (◊), Safra – Forrageira (Δ), Safra – Safrinha (□) e Safra – Adubo Verde (•)) sob sistema plantio direto. Botucatu-SP (2011).

Todos estes resultados endossam os já obtidos por Castro et al. (2011), onde, nesta mesma área experimental realizaram as mesmas avaliações, no entanto apenas 18 meses após a instalação dos tratamentos. Contudo, os autores obtiveram resultados menos consistentes e restritos à primeira camada avaliada, enfatizando a necessidade de estudos de longa duração para avaliação das alterações físicas de solos em SSD.

6.5 Produção de matéria seca, nutrição, componentes da produção e produtividade de grãos

6.5.1 Safra 2008/09

No primeiro ano agrícola, conforme detalhado no item material e métodos, foi cultivada na área a cultura do arroz em área total. Após a colheita da mesma, foram cultivadas as culturas da mamona, crotalária e *Brachiaria ruziziensis*, que representaram os sistemas safra–safrinha, safra-adubo verde e safra-forrageira, enquanto as outras subparcelas permaneceram em pousio, caracterizando o sistema safra-pousio.

6.5.1.1 Arroz

Na Tabela 9 estão contidos os resultados de nutrição, componentes da produção e produtividade de grão de arroz de sequeiro em função da aplicação de corretivos e dos sistemas de produção. Em nenhuma variável houve interação entre os fatores. Todos os nutrientes estavam dentro ou acima da faixa considerada ótima para a esta cultura, seguindo aproximadamente a sequencia N>K>Ca>P=Mg>S (RAIJ et al., 1997). Os teores de N, P, K e S não foram influenciados pelo fator corretivos. Alguns estudos demonstraram que a aplicação de Si aumentou a concentração de P na planta e nos grãos de arroz, onde não houve adubação com fósforo (SAVANT et al., 1997b). É provável que as adubações anteriores e a ministrada para a cultura do arroz tenha suprido as necessidades deste cereal quanto a N, P e K, reduzindo o efeito dos corretivos.

Por outro lado, os teores de Ca, Mg e Si foram aumentados em decorrência da aplicação superficial de calcário e silicato. Esses resultados corroboram com os de Wielewicki et al. (1998) que não observaram efeito da calagem nos teores de P, K do arroz. No mesmo sentido, Soratto et al. (2008) constataram aumento linear nos teores foliares de Ca e Mg em arroz com o aumento das doses de calcário. Esta elevação se deu em função da concentração de Ca e Mg nos corretivos, que como discutido anteriormente, influenciou a disponibilidade destes nutrientes no solo. O cálcio possui papel estrutural (está presente nos pectatos de cálcio que compõem a lamela média) e grande papel na regulação do metabolismo da planta. Ele normalmente atua como mensageiro secundário ativando a proteína chamada calmodulina, a qual, por sua vez, ativa uma série de enzimas. O magnésio está presente na molécula da clorofila. O magnésio também faz parte de muitas metaloenzimas, ou seja, as enzimas que possuem um metal em sua estrutura. A ação conjunta destes dois nutrientes pode ser a chave para as melhores características agronômicas e produtividade obtidas pelo arroz, quando foram adicionados corretivos da acidez no solo.

Do mesmo modo que foi observado no solo o aumento do Si disponível com a aplicação de calcário, a cultura do arroz absorveu maiores quantidades de Si, contudo, a aplicação de silicato culminou em maiores teores desse elemento nas folhas. Segundo Korndörfer et al. (2005), aumentos na disponibilidade de Si no solo (Figura 14) são normalmente acompanhados por acréscimo da concentração desse elemento nas plantas, com resultados positivos no crescimento e na produtividade de diversas gramíneas, especialmente

arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, braquiária, aveia, trigo e milho, e algumas espécies não-acumuladoras como soja, feijão, tomate, morango e pepino.

Os sistemas de produção também influenciaram a nutrição do arroz, com exceção ao Ca e Si. O sistema safra-adubo verde proporcinou maiores teores de N quando comparado ao pousio, entretanto, sem diferenciar dos demais sistemas. A utilização do guandu, uma leguminosa, antes do cultivo do arroz, pode ter influenciado o fornecimento de N (CALEGARI, 2000).

Constatou-se ainda melhor nutrição por P no sistema safra-forrageira, quando comparado ao sistema safra-pousio. Tal fato está atrelado à maior disponibilidade de P neste sistema, conforme observado e discutido (Figura 10), sendo a forrageira capaz de tornar disponível maiores quantidades de P. É notória a capacidade das raízes de *B. ruziziensis* em solubilizar frações de P não disponíveis para outras culturas (MERLIN et al., 2009), tornando este elemento disponível, seja pela ação de exudatos radiculares, seja pela posterior decomposição da parte aérea da forrageira.

Com relação ao potássio, verificou-se que todos os sistemas que realizaram um segundo cultivo beneficiaram a nutrição do arroz. Isso porque os sistemas com rotação de culturas produzem maiores quantidades de matéria seca na entressafra, liberando, posteriormente, mais potássio na superfície do solo mediante a decomposição da palhada (ROSOLEM et al., 2006), fato este que também pode estar relacionado aos maiores teores de Mg e S observados nos sistemas com rotação de culturas na entressafra.

Tabela 9. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (número de panículas m^{-2}, número total de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e massa de mil grãos) e produtividade de grãos de arroz em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2008-2009.

Tratamentos	Teor de macroelementos na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	----------g kg^{-1}----------						
Controle	31,2a	3,5a	19,3a	14,2b	1,56b	4,2a	10,9b
Calcário	30,6a	3,5a	19,9a	15,5a	1,67a	3,9a	11,3b
Silicato	31,1a	3,4a	20,0a	15,2a	1,65a	4,0a	12,8a
DMSc (0,05)	1,37	0,22	0,97	0,60	0,07	0,33	1,14
CV%c	6,1	8,4	6,8	6,2	10,3	11,2	13,8
SISTEMAS							
Pousio	30,2b	3,4b	18,2b	14,9a	1,50b	3,5b	11,6a
Safrinha	30,7ab	3,5ab	19,9a	15,5a	1,63a	4,4a	11,3a
Ad. Verde	31,9a	3,5ab	19,7a	15,1a	1,62a	4,7a	11,1a
Forrageira	30,9ab	3,6a	19,9a	15,5a	1,65a	4,4a	11,3a
DMSs (0,05)	1,15	0,15	0,69	1,46	0,11	0,47	1,61
CV(%)s	4,0	4,6	3,8	10,3	6,2	12,7	15,8
	----------**Valores de F**----------						
Corretivos (c)	0,38ns	0,72ns	2,52ns	5,65*	6,60*	2,09ns	4,39*
Sistemas (s)	3,85*	3,94*	3,45*	0,52ns	5,50*	8,96*	0,16ns
s*c	0,38ns	1,10ns	1,26ns	1,3ns	1,17ns	2,04ns	0,91ns

Tratamentos	Componentes da produção					
	Matéria seca	Panículas por $metro^2$	Espiguetas por panícula	Fertilidade das espiguetas	Massa de mil grãos	Produtividade
CORRETIVOS	kg ha^{-1}	pl ha^{-1}	----------nº----------		g	kg ha^{-1}
Controle	5495b	108b	119b	66,6b	20,0a	2018b
Calcário	7025a	124a	147a	84,9a	20,1a	3289a
Silicato	7510a	126a	149a	86,5a	20,0a	3443a
DMSc (0,05)	750	5,69	10,9	8,12	0,88	168
CV(%)c	15,3	16,5	10,7	14,3	6,1	10,2
SISTEMAS						
Pousio	5995c	117b	113b	76,98a	20,5a	2551c
Safrinha	6500b	115b	148a	82,21a	19,8a	2925b
Ad. Verde	7185a	125a	155a	78,01a	19,9a	3316a
Forrageira	6650b	119b	138a	80,18a	20,2a	2876b
DMSr (0,05)	460	6,15	24,9	8,89	0,92	305
CV(%)s	12,4	15,6	19,4	12,1	4,9	14,7
	----------**Valores de F**----------					
Corretivos (c)	7,53*	24,08**	20,29**	15,83**	2,29ns	51,67**
Sistemas (s)	8,75*	5,46*	5,67*	0,70ns	0,01ns	8,68*
s*c	1,00ns	1,05ns	0,69ns	1,37ns	0,34ns	1,19ns

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

O reflexo das alterações na nutrição do arroz pôde ser observado na produção de matéria seca (MS) e nos componentes da produção, refletindo na produtividade de grãos da cultura. As alterações provocadas pelos corretivos culminaram no aumento da MS,

do número de panículas por metro^2, do número de espiguetas por panícula e da fertilidade das espiguetas, o que refletiu diretamente no incremento da produtividade de grãos. Os resultados encontrados na literatura são contraditórios quanto ao efeito de corretivos sobre os componentes da produção do arroz. Enquanto Takahashi (1995) observou aumento no número de panícula por m^2; Carvalho (2000) e Mauad et al. (2003) não obtiveram aumentos significativos. Fageria et al. (1999) relatam que a produção de arroz não foi influenciada por doses de calcário, por ser uma cultura considerada bastante tolerante à acidez do solo, em comparação com outras, como o feijão, milho, soja e trigo. No entanto, mesmo sendo adaptado às condições de acidez do solo, os cultivares de arroz diferem em suas respostas ao estresse de alumínio e à calagem (FERREIRA et al., 1986). Assim, Soratto et al. (2010) constataram que a calagem superficial aumentou o número de panículas por metro quadrado, o número de espiguetas por panícula e a massa de 1000 grãos, com consequente incremento da produtividade de grãos de dois cultivares de arroz de sequeiro.

O uso do Si tem promovido melhoria na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994), resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989). No entanto, no presente trabalho, não foi observada diferença significativa entre os corretivos mesmo com a maior absorção de Si pelo arroz cultivado após aplicação de silicato. Aumentos de produtividade de grãos do arroz atribuídos ao efeito do silício foram observados por Deren et al. (1994), Liang et al. (1994), Korndorfer et al. (1999) e Faria (2000). No entanto, Mauad et al. (2003) e Carvalho-Pupatto et al. (2003) não constataram esses benefícios, corroborando com o presente trabalho.

Quanto aos sistemas de produção, o uso da adubação verde diferiu dos demais, pois proporcionou maior produção de matéria seca e maior número de panículas por metro. Além disso, proporcionou maior número de espiguetas por panícula em relação ao sistema safra-pousio, o que resultou numa produtividade de grãos da ordem de 3316 kg ha^{-1}, superior a todos os outros sistemas. Em seguida, os sistemas safra-safrinha e safra-forrageira proporcionaram maiores quantidades de matéria seca, número de panículas por metro e número de espiguetas por panícula, proporcionando produtividade de grãos próximas à 3000 kg ha^{-1}, diferindo do sistema safra-pousio. Contudo, o presente experimento apresentou

valores inferiores aos obtidos por Carvalho-Pupatto et al. (2004), Buzetti et al. (2006) em São Manuel (SP) e Selvíria (MS), respectivamente. Estes autores demonstraram que o arroz de terras altas, quando irrigado por aspersão, o que não ocorreu no presente experimento, pode chegar a produtividade de grãos da ordem de 5000 kg ha^{-1}.

6.5.1.2 Mamona

Os dados referentes a nutrição mineral, a produção de matéria seca, os componentes da produção e a produtividade de grãos de mamona estão contidos na Tabela 10.

A aplicação dos corretivos aumentou os teores dos macroelementos, com exceção ao enxofre. Este resultado é reflexo do aumento da fertilidade do solo proporcionado pelos corretivos, que também incrementa ciclagem de nutrientes, elevando os teores de P e K, além de serem fontes de Ca e Mg. No entanto, a aplicação de silicato proporcionou maior teor de N em relação ao calcário. O uso do Si na adubação pode aumentar a quantidade clorofila (cujos principais componentes são o N e o Mg) das folhas. Segundo Elawad et al. (1982) e Savant et al. (1999) a aplicação de 15 t ha^{-1} de silicato aumentou os teores de clorofila em 78 e 65 % em cana-planta e cana-soca, respectivamente. Isso leva a crer que, conforme relatado para a cultura da cana-de-açúcar, o uso de silício na adubação da cultura da mamona resultou no maior teor de N nas folhas, provavelmente pela maior concentração de clorofila nas folhas da mesma.

A mamoneira é uma oleaginosa exigente em fertilidade do solo e sensivel a acidez do solo, não tolerando pH abaixo de 6,0 sendo responsiva em termos de produção de grãos à calagem e adubação (GONCALVES et al., 2005), portanto, requer correção do solo e fornecimento de quantidades significativas de nutrientes para a produção de grãos, síntese do óleo e proteínas (SAVY FILHO, 1996). Na cultura da mamona, o fósforo é extremamente importante por influenciar na formação das sementes, que é a parte da planta que mais interessa no fornecimento da matéria prima (LAVIOLA; DIAS, 2008).

A produção matéria seca foi incrementada pela aplicação dos corretivos, a calagem proporcionou maior valor em relação ao silicato. Com relação aos componentes produtivos, todos eles, com exceção à população de plantas, foram beneficiados pela aplicação de corretivos. Por outro lado, o número de racemos por planta, o número de frutos por racemo e a massa de cem grãos não diferiram entre os corretivos. A massa de cem

grãos da mamona, mesmo sendo uma característica pouco influenciada por fatores externos, sob certas condições de estresse (no caso o estresse proporcionado pelo baixo valor de pH no tratamento controle) pode ser afetada de forma expressiva.

Tabela 10. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de racemos por planta, número de frutos por racemo e massa de 100 grãos) e produtividade de grãos da mamona em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009.

Tratamentos	**Teor de macroelementos na matéria seca**						
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Si**
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------						
Controle	37,3c	3,71b	21,0b	25,3b	1,78b	5,16a	3,97b
Calcário	40,8b	3,97a	23,1a	28,6a	1,96a	5,58a	4,12b
Silicato	44,5a	3,91a	22,7a	28,4a	1,9a	5,46a	5,67a
$\mathbf{F_{calc,}}$	59,9**	7,76*	7,56*	29,1*	12,7*	1,84ns	7,70*
DMS (0,05)	9,64	0,10	1,17	0,96	0,07	0,46	1,00
CV(%)	9,4	7,5	7,2	14,8	15,2	11,8	29,5

Tratamentos	**Componentes da produção**					
	Matéria seca	**População**	**Racemos por planta**	**Frutos por racemo**	**Massa de 100 grãos**	**Produtividade**
CORRETIVOS	kg ha^{-1}	pl ha^{-1}	---------- n^o ----------		G	kg ha^{-1}
Controle	3165c	38000a	2,07b	19,2b	38,5b	1794b
Calcário	3951a	40000a	2,18a	22,4a	39,5a	2096a
Silicato	3587b	39500a	2,20a	22,2a	39,1a	2040a
$\mathbf{F_{calc}}$	13,7**	0,56ns	6,99*	5,64*	28,4**	6,87*
DMS (0,05)	307	3015	0,78	1,98	0,64	175
CV(%)	11,9	12,5	5,0	13,1	3,2	12,3

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

Apesar de ter sido constatada diferença entre os corretivos para matéria seca de plantas, a produtividade de grãos foi semelhante entre os corretivos, que diferenciaram do tratamento controle. Zuba Junior et al. (2011) não verificaram resposta da mamona à aplicação de uma tonelada de silicato de Ca e Mg, justificando o pouco tempo de reação do corretivo e o alto pH do solo antes da aplicação do mesmo . No mesmo sentido, em outra planta acumuladora de óleo, Prates (2011) observou que a cultura do pinhão manso, cultivado em solo semelhante ao utilizado nesse experimento, também não respondeu a aplicação de silicato de cálcio e magnésio. No Brasil, por a cultura ainda estar se difundindo para cultivos em larga escala, com todo o sistema de produção mecanizado e em SSD, a produtividade de grãos ainda está ao redor de 1000 kg ha^{-1} em razão da maior parcela da

produção nacional provir de sistemas pouco tecnificados (EMBRAPA, 2005). Assim, Soratto et al. (2012) constaram produtividades de grãos em cultivo de verão de até 4315 kg ha^{-1} e em safrinha (outono/inverno) de até 1975 kg ha^{-1}.

6.5.1.3 Crotalária

A aplicação dos corretivos proporcionou aumento nos teores de N, P, Ca, Mg e Si (Tabela 11). No entanto, o uso do silicato proporcionou valores superiores de N, P e Si quando comparado ao calcário. Assim como observado na mamona, é provável que o maior teor de N na crotalária, proporcionado pelo silicato, deve estar relacionado com a participação do Si no acúmulo de N nas culturas, visto que os teores de silício na folha variaram semelhantemente ao de N. Este efeito também foi constatado para os teores de P, evidenciando a participação do Si na disponibilidade do nutriente para a crotalária. Pois, segundo Pluckenet (1972) e Pulz et al. (2008), a aplicação de silicato aumenta a solubilidade do fósforo no solo e diminui a "fixação" desse elemento contido nos fertilizantes fosfatados, porém discute-se se o efeito favorável desse produto na absorção de fósforo e na produção de matéria seca deve-se ao aumento na absorção de silício; a menor "fixação" do fósforo causado pela elevação do pH, já que o silicato é um corretivo da acidez do solo; à competição entre o silicato e o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo ou ao conjunto destes fatores.

Soratto e Crusciol (2008), estudando doses de calcário, também concluíram que a aplicação deste corretivo elevou os teores de N na parte aérea da aveia preta.

Pode-se notar que os teores de K e S não variaram com a aplicação dos corretivos, mesmo com a maior disponibilidade de K no solo, fato este que pode ser explicado pela utilização do potássio oriundo da adubação de semeadura da cultura antecessora.

Quanto aos maiores teores de Ca e Mg nas plantas cultivadas nas áreas receberam os corretivos, os resultados são explicados por ambos os corretivos serem fontes desses nutrientes e terem elevados os níveis no perfil do solo. Efeitos positivos da calagem sobre a nutrição de Ca e Mg na cultura da soja (leguminosa, como a crotalária) foram observados em outros trabalhos com calcário incorporado, no sistema convencional de preparo do solo (QUAGGIO et al., 1982), e na superfície, em SSD (CAIRES et al., 1999). Todos os

macronutrientes primários estavam acima da faixa considerada ótima para a esta cultura, seguindo aproximadamente a sequencia N>K>P (RAIJ et al., 1997).

Tabela 11. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca da crotalária em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009.

Tratamentos	Teor de macroelementos na matéria seca							Matéria
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	seca
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------							kg ha^{-1}
Controle	28,34c	3,11c	20,2a	28,27b	2,02b	2,14a	5,00c	3412b
Calcário	31,39b	3,78b	21,1a	35,46a	2,61a	2,19a	5,28b	4300a
Silicato	34,16a	4,38a	21,5a	35,78a	2,64a	2,24a	6,95a	4468a
F_{calc}	35,41**	62,27**	1,62ns	24,59**	4,76*	0,78ns	28,91**	10,27**
DMS (0,05)	2,18	0,22	1,55	1,04	0,38	0,21	0,21	511
CV(%)	10,0	8,1	10,2	8,4	23,9	26,4	5,12	17,4

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

Nota-se que há resposta da cultura estudada a aplicação de corretivos da acidez do solo no sistema, pois os tratamentos diferiram significativamente do controle. Este comportamento pode ser justificado pela melhoria nas qualidades químicas do solo que recebeu os tratamentos, tais como aumento do pH para a faixa ótima para a absorção da maioria dos elementos essenciais às plantas, e ao fornecimento de Ca e Mg para as culturas. A elevada produção de fitomassa da leguminosa em curto período de tempo revelou que esta espécie estava adaptada às condições ambientais do experimento (RAMOS et al; 2001), mesmo esta sendo semeada em uma época propícia ao rápido florescimento da cultura. A crotalária é uma das principais culturas utilizadas para adubação verde e cobertura do solo por ser uma planta pouco exigente à fertilidade do solo (McSORLEY, 1999). Mesmo com esta característica, a cultura se beneficiou das melhorias provocadas pela aplicação dos corretivos, refletindo em seu aumento de produção de matéria seca.

Para a região de Ilha Solteira, estudo avaliando a produção de matéria seca de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo, indicou maiores produções de massa verde e seca com milheto (11,8 Mg ha^{-1}) e menores com a crotalária júncea (9,8 Mg ha^{-1}). A menor produção de massa verde da crotalária esteve associada ao seu lento desenvolvimento, que possibilitou o surgimento de plantas daninhas, competindo água, luz e nutrientes (SUZUKI; ALVES, 2006).

6.5.1.4 *Brachiaria ruziziensis*

Nota-se que os teores de P e S da *B. ruziziensis* do primeiro ano agrícola não foram alterados pelos tratamentos utilizados (Tabela 12), mesmo com a variação nos teores de P do solo, fato este que pode ser atribuído à rusticidade da cultura, ao seu sistema radicular vigoroso, que pode alcançar grandes profundidades, menos limitantes quanto aos teores de enxofre e à sua capacidade de absorver diferentes formas de fósforo do solo. Por outro lado, os teores de N, K, Ca, Mg, Si e a produção de matéria seca sofreram influência da aplicação superficial de corretivos da acidez do solo, destacando-se sobre os teores do tratamento controle.

Tabela 12. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca de *B. ruziziensis* em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009.

Tratamentos	**Teor de macroelementos na matéria seca**							**Matéria**
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Si**	**seca**
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------							kg ha^{-1}
Controle	23,66b	3,07a	30,90b	19,70b	1,38b	2,95a	10,2c	5342c
Calcário	27,33a	3,01a	36,97a	23,08a	1,91a	2,97a	10,8b	6964b
Silicato	27,96a	3,00a	37,16a	23,15a	1,81a	3,05a	12,4a	7198a
F_{calc}	22,59**	0,48ns	14,35**	6,10*	7,10*	1,26ns	31,11**	45,50**
DMS (0,05)	1,41	0,26	2,43	2,17	0,15	0,17	0,57	183
CV(%)	7,4	12,0	10,0	15,1	15,0	8,4	7,4	14,9

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

Quanto aos teores de K, Ca, Mg e Si e matéria seca, a *Brachiaria ruziziensis* deste ano agrícola se comportou da mesma forma que as cultivadas em anos anteriores (CASTRO, 2009), colaborando com os resultados da amostra de solo, onde se comprova a elevação dos teores destes elementos. O teor de silício da parte aérea da *Brachiaria ruziziensis* variou de acordo com a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário e a ausência da aplicação de corretivo proporcionaram valores de, respectivamente, 10,8 e 10,2 g kg^{-1} de MS. Estes valores foram significativamente inferiores aos obtidos com a aplicação de silicato (12,4 g kg^{-1}), evidenciando que este corretivo foi eficiente não somente no fornecimento de Ca e Mg à esta forrageira, mas também uma boa fonte de Si para a *Brachiaria ruziziensis*. De forma geral, todos os nutrientes estavam dentro ou pouco acima da

faixa considerada ótima para a esta cultura, seguindo aproximadamente a sequencia K>N>Ca> >P=Mg>S (RAIJ et al., 1997), exceção feita ao Ca, que esteve muito acima da faixa considerada adequada (2-6 g kg^{-1}).

Os melhores resultados na nutrição mineral desta cultura, quando submetida à aplicação de corretivos da acidez do solo, levou a maior produção de matéria seca. Isso resultou em melhor cobertura vegetal durante a entressafra, protegendo o solo contra agentes causadores de erosão. Guimarães (2000), trabalhando com doses de calcário, observou aumentos significativos nos teores de Ca, Mg e na MS de diferentes espécies de gramíneas forrageiras tropicais, à medida que elevou-se a saturação por bases do solo. Contudo, houve o destaque para o silicato na matéria seca, uma vez que o silício presente neste corretivo possa ter diminuído a perda de água por transpiração, aumentando sua eficiência fotossintética (BARBOSA FILHO et al., 2000, KORNDÖRFER et al., 2002)

6.5.2 Safra 2009/10

No segundo ano agrícola, conforme detalhado no item material e métodos, foi cultivada a cultura da soja em área total. Após a colheita da mesma, foram cultivadas as culturas do sorgo, milheto e *Brachiaria ruziziensis*, que representaram os sistemas safra–safrinha, safra-adubo verde e safra-forrageira, respectivamente, enquanto as outras subparcelas permaneceram em pousio, caracterizando o sistema safra-pousio.

6.5.2.1 Soja

Na Tabela 13 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato e dos sistemas de produção nos teores de macroelementos, na matéria seca, nos componentes da produção e na produtividade da soja. Nenhuma variável foi influenciada pela interação entre os fatores. Os teores de nutrientes pela parte aérea da planta estão na seguinte ordem: N > K > Ca > P > Mg > S, o que está de acordo com os resultados de Raij et al. (1997). Os mesmos mantiveram-se em níveis considerados suficientes para a soja, independentemente dos tratamentos.

Tabela 13. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cem grãos) e produtividade de grãos de soja em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2009-2010.

Tratamentos	Teor de macroelementos na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	----------g kg^{-1}----------						
Controle	46,92a	4,61a	22,2b	21,8b	3,06b	3,11a	3,54b
Calcário	46,78a	4,64a	24,3a	24,3a	3,45a	3,12a	4,01b
Silicato	45,78a	4,72a	24,2a	23,3a	3,29a	3,09a	4,88a
DMSc (0,05)	4,12	0,43	1,34	1,33	0,19	0,26	0,07
CV%c	12,2	12,7	7,9	7,8	7,8	11,4	16,9
SISTEMAS							
Pousio	45,00a	4,62b	24,4a	22,0a	3,09a	2,51c	4,16a
Safrinha	47,30a	4,37b	23,7a	23,5a	3,43a	3,45ab	4,11a
Ad, Verde	46,66a	4,59b	24,4a	23,2a	3,26a	3,36b	3,95a
Forrageira	46,94a	5,05a	23,4a	23,5a	3,31a	3,56a	3,97a
DMSr (0,05)	4,50	0,38	1,53	2,46	0,35	0,18	0,65
CV(%)s	10,4	8,8	7,1	11,5	11,4	6,12	24,1
	----------Valores de F----------						
Corretivos (c)	0,19ns	0,15ns	1,28ns	8,93**	8,95**	1,45ns	4,61*
Sistemas (s)	0,48ns	5,60*	1,48ns	1,69ns	1,69ns	7,17**	1,64ns
s*c	0,98ns	1,03ns	1,45ns	1,24ns	1,27ns	1,50ns	1,18ns

Tratamentos	Componentes da produção					
	Matéria seca	População	Vagens por planta	Grãos por vagem	Massa de cem grãos	Produtividade
CORRETIVOS	kg ha^{-1}	pl ha^{-1}	----------nº----------		g	kg ha^{-1}
Controle	5997b	267244b	30,2b	2,59b	20,8a	2577b
Calcário	5565a	280174a	37,2a	2,69a	21,0a	3245a
Silicato	5690a	280132a	37,8a	2,72a	20,9a	3323a
DMSc (0,05)	302	1229	3,64	0,08	1,28	140
CV(%)c	12,1	7,6	14,2	4,2	8,4	6,3
SISTEMAS						
Pousio	5336b	278344a	32,92a	2,57b	20,4a	2987a
Safrinha	5247b	277168a	36,46a	2,69a	20,8a	3025a
Ad, Verde	5328b	277319a	34,67a	2,69a	21,1a	3027a
Forrageira	5670a	272067b	36,29a	2,71a	21,4a	3154a
DMSr (0,05)	278	2043	5,74	0,11	2,07	186
CV(%)s	8,8	6,8	17,7	4,7	10,7	86,6
	----------Valores de F----------					
Corretivos (c)	12,73**	32,9**	11,31**	5,92*	0,04ns	72,09**
Sistemas (s)	4,44*	14,4*	0,84ns	4,93*	0,43ns	3,05ns
s*c	1,48ns	1,68ns	1,44ns	1,21ns	0,73ns	1,46ns

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

Não foram observadas alterações nos teores de N com a aplicação dos corretivos em superfície, apesar da elevada acidez do solo que interfere diretamente no processo de fixação simbiótica. Há relatos do efeito da calagem na nutrição nitrogenada da

soja tanto no sistema de cultivo convencional (RAIJ et al., 1977), como no sistema plantio direto (CAIRES et al., 1998). Sabe-se que a nutrição por N, parte é fornecida pelo solo (15 a 35%) e parte pela fixação simbiótica do N_2 atmosférico (65 a 85%) (BORKERT et al., 1994), no entanto, pode ser que a proporção proveniente do solo possa ter sido maior, justificando a ausência de efeito da correção do solo.

Os elementos P e S igualmente ao N, não apresentaram efeito à aplicação dos corretivos. A ausência de efeito nos teores de S pode estar atrelada a quantidade natural de enxofre neste solo. Por outro lado, esperava-se que as plantas cultivadas sobre parcelas com corretivos do solo apresentassem valores superiores de P, pois houve aumento nos teores deste nutriente no solo quando da aplicação dos corretivos. A ausência de efeito nos teores de P na soja pode ser explicada pela adição de fósforo na adubação de semeadura ter fornecido quantidades suficientes deste elemento para a nutrição das plantas.

Os teores de Ca e Mg foram superiores nas plantas de soja que receberam a aplicação de corretivos da acidez do solo. Isso evidencia que ambos os corretivos foram eficientes em fornecer estas bases trocáveis às plantas de soja, decorrente do aumento dos teores no perfil do solo, além de serem consideradas fontes destes nutrientes. Efeitos positivos da calagem sobre a nutrição de Ca e Mg na cultura da soja foram observados em outros trabalhos com calcário incorporado, no sistema convencional de preparo do solo (RAIJ et al., 1977; QUAGGIO et al., 1982), e na superfície, em SSD (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999). A ação conjunta destes dois nutrientes pode ser a chave para as melhores características agronômicas e produtividade obtidas pela soja, quando foram adicionados via corretivos de acidez.

O teor de silício da parte aérea da cultura da soja variou de acordo com a aplicação dos tratamentos. Os valores obtidos no tratamento controle e com a calagem foram inferiores aos obtidos com a silicatagem, evidenciando que este corretivo foi eficiente não somente no fornecimento de Ca e Mg às plantas, mas também como uma boa fonte de Si para a soja, mesmo esta não sendo caracterizada como acumuladora de silício. Os valores mencionados foram semelhantes aos encontrados por Grothge-Lima et al. (1998), que encontraram teores de 0,2 a 4,5 g kg^{-1} quando se aplicou doses de 0 e 100 mg kg^{-1} de Si em solução nutritiva.

Com relação a influencia dos sistemas de produção na nutrição da soja, constatou-se que não houve efeito para os teores de N, K, Ca, Mg e Si. A ausência de efeito sobre os teores de N e K pode estar relacionada, respectivamente, à fixação biológica de N e à adubação com formulado contendo K. Os demais elementos, de forma geral, são menos influenciados pela rotação de culturas.

Por outro lado, os teores de P e S foram influenciados pelos sistemas de produção. No caso do fósforo, verificou-se, mais uma vez, que o uso da *B. ruziziensis* no sistema safra-forrageira beneficiou o fornecimento de P para a cultura subsequente, evidenciando o potencial desta forrageira em liberar P no sistema solo-planta. A consistência destes resultados em diferentes anos agrícolas é fator chave para o estudo da dinâmica do P de solos cultivados com forrageiras tropicais. O enxofre, macroelemento muitas vezes sonegado em recomendações de adubação de culturas e sistemas, também foi beneficiado com a utilização de culturas de entressafra. Tal fato pode ser comprovado na diferença que os tratamentos safra-safrinha, safra-adubo verde e, especialmente, safra-forrageira proporcionaram em relação ao sistema safra-pousio, provavelmente em decorrência da maior ciclagem deste nutriente pelas culturas de entressafra.

A aplicação dos corretivos proporcionou aumento da matéria seca da parte aérea da cultura da soja. A melhor nutrição com Ca (elemento ligado à estruturação das plantas) e Mg (elemento fundamental na molécula de clorofila) certamente foram a chave na resposta da soja à aplicação dos corretivos. Caires e Fonseca (2000) não observaram efeito da calagem sobre esta variável, obtendo valores da ordem de 8 Mg ha^{-1}, valor semelhante ao obtido por outros autores (BATAGLIA; MASCARENHAS, 1977, CORDEIRO et al., 1979) e muito superiores ao observado no presente trabalho.

A aplicação dos corretivos proporcionou aumento de, aproximadamente, 13.000 plantas ha^{-1} na população final, diferindo do tratamento controle. A correção da acidez do solo é tida como fundamental para a germinação e estabelecimento das culturas em campo (BATAGLIA; MASCARENHAS, 1977). Além disso, o uso dos corretivos proporcionou incremento no número de vagens por planta e no número de grãos por vagem. Apenas a massa de 100 grãos não foi influenciada pelos corretivos, provavelmente por esta característica ser alterada mais pelas características do cultivar do que por fatores externos.

Assim, os efeitos constatados nos outros três componentes da produção refletiram diretamente na produtividade de grãos, ou seja, a aplicação superficial de calcário e silicato proporcionou aumento da produtividade de grãos em relação ao controle. Os incrementos foram superiores a 10 sacas ha^{-1}. Os resultados podem ser explicados, pelo fato de que a calagem e a silicatagem melhoraram diversos atributos do solo, conforme discutido anteriormente, resultando em maior desenvolvimento das plantas, manifestado por meio dos componentes da produção supracitados o que, consequentemente, culminou no aumento da produtividade. Corrêa et al. (2008), estudando a aplicação superficial de calcário, silicato e outros resíduos, também constataram esses mesmos efeitos na cultura da soja.

A resposta da soja à calagem é bastante conhecida na literatura quando se trata de cultivo convencional; são vários os trabalhos que estão relatados aumentos consideráveis da produtividade de grãos decorrentes da calagem (RAIJ et al., 1977; QUAGGIO et al., 1982, 1993). Alguns trabalhos mais recentes permitem constatar efeitos expressivos na produtividade de grãos da soja pela calagem superficial (CAIRES et al., 1998; PÖTTKER; BEN, 1998) em solos ácidos, sob plantio direto sem ocorrência de déficit hídrico. Sousa et al. (1989) constataram aumentos na produtividade de grãos da soja com a aplicação de calcário, e que a máxima foi obtida com 50% de saturação por bases. Tais efeitos, aliados aos resultados do presente trabalho, podem sugerir que a aplicação de calcário e silicato em superfície proporciona os benefícios esperados na correção do solo, evidenciando ser uma prática viável em SSD.

Como não houve diferença estatística nas características agronômicas, tampouco na produtividade das culturas, conclui-se que a maior concentração de silício nas folhas de soja não foi suficiente para proporcionar os relatados efeitos benéficos deste elemento às plantas. Ressalta-se que, durante a condução da cultura, não houve estresses bióticos ou abióticos significativos, fator primordial para ocorrência de resposta das culturas à aplicação de silício.

Quanto aos sistemas de produção, verificou-se que o safra-forrageira proporcionou maiores valores de matéria seca, comparativamente aos demais. Esperava-se que houvesse efeito significativo dos demais sistemas que tinham cultivos de entressafra, em razão da maior ciclagem de nutrientes, aumentando sua disponibilidade. No entanto, é provável que o resultado obtido no sitema safra-forrageira possa estar atrelado à maior disponibilidade de P,

visto que a rotação com *B. ruziziensis* foi a que proporcionou os maiores teores de P no solo e na parte aérea da soja. O fósforo é o nutriente mais limitante à produtividade de biomassa em solos tropicais (NOVAIS; SMYTH, 1999). Os solos brasileiros são carentes de P, em conseqüência do material de origem e da forte interação do P com o solo, em que menos de 0,1% encontra-se em solução (RAIJ, 1991). Por causa da presença da palhada e do maior nível de matéria orgânica, este manejo proporciona um ambiente menos oxidativo, fazendo com que as reações de fixação sejam minimizadas e que haja menor contato dos resíduos com o solo, promovendo impacto direto na fertilidade das camadas superficiais, até 10 cm de profundidade (COSTA; ROSOLEM, 2000). Ocorre, assim, uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada. Esse efeito, no entanto, é temporário (ANDRADE et al., 2003) necessitando, portanto, de constante aporte de palhada no sistema.

Os componentes da produção: população final de plantas, número de vagens por planta e massa de cem grãos não foram afetados pelos sistemas de produção. Por outro lado, o número de grãos por vagem foi menor no sistema safra-pousio. No entanto, as variações ocorridas na produção de matéria seca e no número de grãos por vagem não foram suficientes para alterar a produtividade de grãos, assim como fora observado em alguns trabalhos realizados pela Embrapa Arroz & Feijão (SILVEIRA; STONE, 2003). Porém, existem claras informações de que a produção acumulada de grãos de soja em um sistema de rotação é incrementada positivamente a longo prazo, demonstrando a viabilidade da rotação de culturas (OLIVEIRA; PAVAN, 1996, SÁ, 1999). As maiores produtividades de soja, quando em rotação com milho no verão, foram verificadas após nabo forrageiro, crotalária e milheto (MARCELO et al.,2009), similar ao utilizado no presente experimento pelo sistema safra-adubo verde.

6.5.2.2 Sorgo

Na Tabela 14 constam os teores de macroelementos, matéria seca e componentes da produção da cultura do sorgo em função da aplicação dos corretivos. Os teores de nutrientes na parte aérea da planta foram na seguinte ordem: N > K > Ca > S > P > Mg, pouco diferente da proposta por Raij et al. (1997): N > K > Ca = P > Mg = S. Contudo, todos os nutrientes estavam dentro da faixa considerada adequada pelos mesmos autores.

A aplicação dos corretivos proporcionou maiores teores foliares de N, P, Ca e Mg, em relação ao controle, e a silicatagem aumentou o teor de Si nas plantas de sorgo, diferindo dos demais tratamentos.

Os maiores teores de N pode ser consequência da elevação do pH na camada superficial (Figuras 2), que proporciona maior mineralização de N orgânico do solo (ROSOLEM et al., 1990), visto que, não foi realizada qualquer tipo de adubação na cultura. Porém, Gallo et al. (1986) e Costa (2011), pesquisando a calagem em lavouras de sorgo sob plantio convencional, não constataram resposta significativa da calagem na aquisição de N pelas plantas. Da mesma forma, Soratto e Crusciol (2008), estudando doses de calcário, também concluíram que a aplicação deste corretivo eleva os teores de N na parte aérea da aveia preta. O nitrogênio possui forte papel estrutural fazendo parte dos nucleotídeos, os quais formam os ácidos nucléicos (DNA e RNA). Além disso, o nitrogênio está presente nos aminoácidos que formam as proteínas e na própria molécula de clorofila (EPSTEIN; BLOOM, 2005), e seu fornecimento à planta é tido como fundamental para cultivos de alto rendimento.

Os maiores teores de P, Ca e Mg nas plantas foram decorrentes da maior disponibilidade destes nutriente no solo (Figuras 10, 12 e 13), proporcionada pelo aumento do pH, que interfere diretamente na dinâmica do P no solo, e pelo fornecimento dos dois cátions pelos corretivos. Diversos trabalhos relataram elevação dos teores de Mg nas folhas de diferentes culturas, em função da aplicação superficial de calcário (CAIRES et al., 2002; CAIRES et al., 2004),

Os elementos K e S não foram afetados pela aplicação dos corretivos, provavelmente pela capacidade que a cultura do sorgo possui em absorver os nutrientes e por ser eficiente em aproveitar a adubação residual da cultura antecessora.

Os maiores teores de Si nas plantas que receberam a silicatagem foram decorrentes da maior disponibilidade no solo. Segundo Barbosa et al. (2008), doses de silicato aplicadas promovem aumento de produção e aumento nos teores de silício no solo e nas plantas, corroborando com o presente estudo. Com isso, pode-se afirmar que o silicato é uma boa fonte de Si para a cultura do sorgo, elemento que mesmo não sendo considerado nutriente (JONES; HANDRECK, 1967) pode proporcionar benefícios às plantas, como resistência às doenças e pragas, resistência à toxidez provocada por metais, menor evapotranspiração, dentre outros (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Tabela 14. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de grãos por panícula e massa de mil grãos) e produtividade de grãos de sorgo em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010.

Tratamentos	Teor de macroelementos na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	g kg^{-1}						
Controle	27,28b	3,83b	20,70a	4,90b	2,11b	2,70a	9,4b
Calcário	31,41a	4,09a	20,67a	5,57a	2,41a	2,85a	10,0b
Silicato	31,46a	4,29a	20,89a	5,58a	2,51a	2,74a	12,1a
F_{calc}	6,99*	8,24*	0,05ns	3,93*	8,22*	0,71ns	16,9**
DMS (0,05)	3,29	0,22	1,62	0,64	0,19	0,29	1,40
CV(%)	10,3	5,9	7,3	11,3	7,9	9,8	26,9

Tratamentos	Componentes da produção				
	Matéria seca	Panículas	Grãos por panícula	Massa de mil grãos	Produtividade
	kg ha^{-1}	nº		g	kg ha^{-1}
Controle	6863b	183450a	132b	25,25b	2538b
Calcário	9005a	180450a	218a	26,50a	3801a
Silicato	8497a	182000a	221a	26,75a	3761a
F_{calc}	4,91*	0,56ns	44,50**	43,41**	41,24**
DMS (0,05)	1531	9054	12,72	0,37	339
CV(%)	17,6	8,7	6,6	10,3	9,4

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

A produção de matéria seca das plantas do sorgo cultivadas em solos corrigidos foi maior em relação ao tratamento controle. Resultados semelhantes foram observados por Barbosa et al. (2008), num Neossolo quartzarênico de cerrado, avaliando a aplicação de silicato de cálcio e magnésio e por Gallo et al. (1986), avaliando aplicação de doses de calcário na produção de matéria seca pela cultura do sorgo.

Nota-se que a aplicação dos corretivos, apesar de não ter influenciado o número de panículas, incrementou o número de grãos por panícula e a massa de 1000 grãos. O número de grãos por panícula, por possuir alta variabilidade, foi o que mais contribuiu para a elevação da produtividade de grãos do sorgo.

As baixas temperaturas fizeram com que o período vegetativo se estendesse, e o florescimento ocorreu em uma época com baixa disponibilidade hídrica, meados de maio de 2010 (Figura 1), o que pode ter elevado a esterilidade das espiguetas

(FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009), menos agravado nos tratamentos com melhor nutrição das plantas, decorrente, provavelmente, de maior crescimento radicular, em razão do perfil do solo mais fértil, que confere maior tolerância ao estresse hídrico, o que culminou na maior produtividade de grãos de sorgo, superando o tratamento controle em mais de 20 sacas por hectare. Esses resultado corroboram com os obtidos por Gallo et al. (1986) e Costa (2011), que verificaram aumento considerável na produtividade de sorgo em função de doses de calcário. São poucos os trabalhos que estudaram a aplicação superficial de corretivos do solo nas características da cultura do sorgo, provavelmente por muitos considerarem esta cultura com elevada rusticidade. No entanto, os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que a cultura é altamente responsiva a correção da acidez do solo do solo, como, também, foi observado por Costa (2011), principalmente em condições de limitação hídrica.

6.5.2.3 Milheto

No primeiro corte da cultura do milheto (Tabela 15), a aplicação dos corretivos proporcionou maiores teores foliares de N, P, Ca, Mg e Si em relação ao controle. Contudo, os teores de N, P e Si foram maiores nas plantas cultivadas nas áreas com silicato, diferindo do tratamento com calcário. Entretanto, isso não refletiu em maior produção de matéria seca no primeiro corte, apenas no segundo corte e na matéria seca total.

Guimarães (2000), trabalhando com doses de calcário, observou aumentos significativos nos teores de macronutrientes na matéria seca de diferentes espécies de gramíneas forrageiras tropicais, à medida que se elevou a saturação por bases do solo pela aplicação de corretivos.

O P está intimamente ligado à formação do ATP, que é o principal composto rico em energia requerido para a síntese de amido. A energia do ATP pode ser também transferida para outras coenzimas as quais são requeridas para a síntese da sacarose e celulose. Por isso está intimamente ligado a produtividade das culturas e produção de matéria seca das mesmas. O cálcio possui papel estrutural e grande papel na regulação do metabolismo da planta. O magnésio está presente na molécula da clorofila, sendo fundamental na transformação de energia solar em carboidratos nas plantas. A ação conjunta destes três nutrientes pode ter sido chave para a maior produção de MS pelo milheto.

O benefício da melhor nutrição por Si foi observado no segundo corte do milheto, uma vez que a silicatagem proporcionou maior produtividade que a calagem. Tal resultado pode estar atrelado ao período de baixa quantidade e irregularidade de chuva (Figura 1) que caracteriza esta região como de inverno seco.

Esta cultura pode ainda ser considerada como acumuladora de Si. De acordo com Ma et al. (2001), são consideradas plantas acumuladoras desse elemento as que possuem teor foliar acima de 10,0 g kg^{-1}. Vale ressaltar, ainda, que os teores tomados como referência por esse autor são apenas foliares, diferentemente deste estudo, que avaliou os teores da planta inteira.

Tabela 15. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca do primeiro corte, do segundo corte e produção de matéria seca total do milheto em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010.

Tratamentos	**Teor de macroelementos na matéria seca**						
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Si**
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------						
Controle	16,66c	2,40c	22,45a	12,45b	1,08b	4,36a	9,10c
Calcário	18,97b	2,85b	24,56a	18,35a	1,29a	4,33a	10,62b
Silicato	22,33a	3,18a	24,60a	18,86a	1,33a	4,29a	12,05a
$F_{calc,}$	20,75**	23,91**	2,03ns	11,83**	12,03**	0,05ns	8,78*
DMS	1,89	0,24	2,62	1,62	0,11	0,44	1,02
CV(%)	9,2	8,1	10,2	8,6	8,5	9,5	24,24

Tratamentos	**Produção de Matéria Seca**		
	MS do 1º corte	**MS do 2º corte**	**MS Total**
CORRETIVOS	---------- **t ha^{-1}** ----------		
Controle	3140b	2588b	5728c
Calcário	3818a	2531b	6349b
Silicato	3633a	3789a	7422a
$F_{calc,}$	6,25*	17,75**	22,63**
DMS	425	511	546
CV(%)	11,2	16,1	7,8

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

Epstein e Bloom (2005) citam efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si como resistência às doenças e pragas, resistência à toxidez provocada por metais, menor evapotranspiração, efeitos na composição mineral, dentre outros. Provavelmente, a melhor nutrição com silício pode ter influenciado a maior produção de matéria seca na rebrota do milheto.

O milheto é uma gramínea de clima tropical, de crescimento ereto, altura variando entre 1,50 a 1,80 m e ciclo de 130 a 160 dias, sendo considerado uma espécie rústica, indiferente à textura do solo, com baixa exigência quanto à fertilidade, média tolerância ao Al e ao frio, resistência moderada à geada e boa tolerância à seca, necessitando de no mínimo 600 mm anuais (SALTON; KICHEL, 1997). Entretanto, apesar da capacidade de produzir em condições extremamente adversas, como em solos de baixa fertilidade, responde muito bem à adubação ou a solos mais férteis e com boa disponibilidade hídrica. No Mato Grosso do Sul, o milheto tem se constituído em uma boa opção de planta de cobertura, assim como no restante de toda a região de cerrado, fornecendo quantidades razoáveis de massa seca, que vem possibilitando o sucesso do SSD. PITOL et al. (1996) menciona que a produção de massa seca pode variar de 4000 a 5000 kg ha^{-1}. Da mesma forma, França e Madureira (1989), em área de cerrado, sem adubação, produziram 4500 kg ha^{-1} de matéria seca de milheto. Porém, CARVALHO (2000) relatou produção variável de 10024 a 10316 kg ha^{-1}, em solo de cerrado. Produtividade semelhante foi obtida no presente estudo, contudo na soma dos dois cortes do milheto.

6.5.2.4 *Brachiaria ruziziensis*

Observa-se na Tabela 16 que os corretivos aumentaram os teores foliares de N e P, sem, no entanto, alterar os demais macronutrientes da *B. ruziziensis*. Desde a instalação do presente experimento, esta foi a primeira vez que os teores de Ca ou Mg não foram alterados pela aplicação dos corretivos. De forma geral, todos os nutrientes estavam dentro ou pouco acima da faixa considerada ótima para a esta cultura, seguindo aproximadamente a sequencia K>N>Ca> >P=Mg>S (RAIJ et al., 1997), exceção feita ao Ca, que esteve muito acima da faixa considerada adequada (2-6 g kg^{-1}).

Por se tratar de uma cultura rústica, a forrageira pode ter se aproveitado da fertilidade natural do solo para suprir suas necessidades de nutrientes. Contudo, este fato também pode indicar redução da disponibilidade de nutrientes para as culturas, tornando necessária reaplicação dos corretivos. Na segunda entressafra também houve resposta da cultura da *Brachiaria ruziziensis* para produção de matéria seca quanto à aplicação dos corretivos do solo, onde observou-se praticamente o mesmo comportamento da forrageira

em relação à entressafra anterior, contudo sem o efeito benéfico do silício, visto que os corretivos não diferiram entre si.

Nas condições de condução do experimento, a aplicação de ambos os corretivos proporcionou aumento na produção de matéria seca. Além desse benefício, a forrageira apresenta sistema radicular abundante e agressivo, o que contribui para a melhoria da infiltração de água, da agregação e da aeração do solo, o que é fundamental para a sustentabilidade do SSD.

Tabela 16. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca de *B. ruziziensis* em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010.

Tratamentos	**Teor de macroelementos na matéria seca**							**Matéria**
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Si**	**seca**
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------							$kg\ ha^{-1}$
Controle	24,25b	2,64b	31,79a	18,79a	1,32a	2,93a	10,0b	5225b
Calcário	27,57a	3,28a	31,31a	20,79a	1,46a	3,15a	10,8b	7700a
Silicato	26,63a	3,00a	31,92a	20,34a	1,43a	2,99a	12,6a	7675a
$\mathbf{F_{calc}}$	4,94*	5,48*	1,55ns	1,30ns	1,29ns	1,89ns	11,44*	28,96**
DMS (0,05)	2,33	0,35	2,99	2,78	0,19	0,41	1,19	801
CV(%)	10,9	8,31	10,8	8,3	12,9	13,0	6,9	10,0

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

6.5.3 Safra 2010/11

No terceiro ano agrícola, conforme detalhado no item material e métodos, foi cultivada a cultura do milho em área total. Após a colheita da mesma, foram cultivadas as culturas do crambe, tremoço e *Brachiaria ruziziensis*, que representaram os sistemas safra–safrinha, safra-adubo verde e safra-forrageira, enquanto as outras subparcelas permaneceram em pousio, caracterizando o sistema safra-pousio.

6.5.3.1 Milho

Na Tabela 17 estão contidos os resultados de teores de macroelementos, matéria seca, componentes da produção e a produtividade de grãos de milho em função dos fatores. Nenhuma variável foi influenciada pela interação entre os fatores.

Analisando os teores foliares dos macroelementos, constata-se que, com exceção da concentração de cálcio no tratamento controle, que se encontrava abaixo do

limite inferior da faixa considerada adequada para a cultura do milho, a concentração dos demais macronutrientes na folha diagnose estavam dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997) e os teores de Si na planta estavam de acordo com os sugeridos por Voronkov et al. (1978), classificando esta cultura como acumuladora de silício.

Os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre não foram influenciados pela aplicação dos corretivos. Os resultados corroboram com os observados por Caires et al. (2004; 2006), que constataram que a calagem não alterou os teores desses nutrientes no milho.

Por outro lado, a aplicação dos corretivos aumentou os teores de potássio, cálcio e magnésio. Para o potássio, observou-se efeito semelhante a todas as outras culturas de safra, visto que a aplicação de corretivos não alterou os teores de N e P, mas elevou os teores de K. Pode-se discutir que a adubação fosfatada e nitrogenada (nos casos das culturas do arroz e milho) pode ter suprido as quantidades requeridas destes nutrientes pelo milho, sendo que a adubação potássica pode estar aquém das necessidades da cultura, evidenciando a resposta dos corretivos, uma vez que houve incremento dos teores desse nutriente no perfil do solo. Se pensarmos na adubação de sistemas, com o foco extrapolado além da visão exclusiva da cultura, a aplicação de corretivos vem ao encontro desta premissa, fazendo com que a eficiência da utilização destes nutrientes, em especial do K nas culturas de verão, seja potencializado, demandando menores quantidades de fertilizantes.

Para os teores de Ca e Mg, resultados semelhantes para a cultura do milho foram obtidos por Oliveira et al. (1997) com a aplicação de calcário. Deve se levar em conta que o calcário e o silicato são fontes de cálcio e magnésio, sendo este o fator preponderante que contribuiu para a maior disponibilização desses nutriente e consequente absorção pelas plantas de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por Castro (2009) com a aplicação de calcário e silicato em superfície. Nota-se ainda que aplicação dos corretivos aumentou os teores de Si na folha em relação ao tratamento controle, mas o silicato proporcionou o maior teor. A elevação dos teores de Si pela aplicação de calcário também foi observada por Ramos et al. (2006). O maior teor de Si obtido quando da aplicação do silicato se deve ao fato deste corretivo ser fonte deste elemento (22% de SiO_2).

Quanto ao efeito dos sistemas sobre a nutrição do milho, observou-se a inalteração dos teores de N, Ca, Mg, S e Si. Por outro lado, a inclusão de uma segunda safra agrícola elevou os teores foliares de P e K. A utilização de plantas, gerando constante

cobertura do solo e aporte de palhada no sistema pode ter favorecido a redução da imobilização de P e a ciclagem de P e K no sistema, tornando-os disponíveis nas camadas cimeiras do solo. Além disso, quanto ao K, deve ser ressaltado a elevada capacidade de ciclagem que as braquiárias possuem, mas também a grande capacidade de extração de K não trocável, o tornando trocável após a liberação da palhada (Garcia et al., 2008).

A produção de matéria seca aumentou com a aplicação superficial dos corretivos. Por serem fontes de Ca e Mg promoveram incrementos dos teores desses nutrientes na cultura. Além disso, esses nutrientes são fundamentais na estruturação da planta e na transformação de água, nutrientes e energia solar em carboidratos, consequentemente ocorre o aumento no acúmulo de matéria seca, conforme observado por Forestieri e De-Polli (1990) e Nwachuku e Loganathan (1991). A produção de matéria seca pela cultura do milho foi superior à 13 Mg ha^{-1}, valores parecidos com os relatados por Silva (2009) e cerca de 60% superiores aos relatados por Tissi et al. (2004), em condições semelhantes

A população de plantas e o índice de espiga foram os únicos parâmetros dos componentes da produção que não foram influenciados pela aplicação superficial dos corretivos do solo. Os resultados para a segunda variável eram esperados, uma vez que muitos estudos evidenciam que este caráter é determinado geneticamente (DEOBLEY, 1990).

A aplicação superficial do calcário e do silicato proporcionou maior número de grãos por espiga e massa de cem grãos, que resultaram em maior produtividade de grãos de milho, ou seja, elevaram a produtividade, na média, em 5600 e 6000 kg de grãos ha^{-1}, apresentaram ganhos expressivos, em relação ao controle, da ordem de 74 e 80% para o calcário e o silicato, respectivamente. Essa elevada produtividade de grãos pode ser explicada pela alta correlação com número de grãos por espiga e massa de cem grãos. Entre os corretivos, houve diferença apenas na massa de cem grãos, entretanto não refletiu na produtividade final, embora haja tendência de efeito superior com a aplicação de silicato em comparação ao calcário.

De fato, o milho é considerado uma cultura responsiva à aplicação de corretivos (FAGERIA, 2011), embora exista grande variabilidade genética com respeito à tolerância à acidez do solo. Vários trabalhos demonstraram aumentos na produtividade de grãos da cultura, justificados principalmente pelas melhorias na nutrição das plantas,

proporcionada pela aplicação dos corretivos (CAIRES et al., 2004; MIRANDA et al., 2005). Oliveira et al. (1997) relataram que a aplicação de 6,6 Mg ha^{-1} de calcário proporcionou a produtividade máxima para a produção de milho em Latossolo Vermelho-Escuro na região dos cerrados. Por outro lado, Raij e Quaggio (1997) determinaram que a dose econômica de calcário nos solos de cerrado para a cultura do milho foi de 9 Mg ha^{-1}.

Quanto ao efeito dos sistemas sobre a cultura do milho, observou-se grande variação quanto à produção de matéria seca. Todos os sistemas que tiveram algum cultivo introduzido na safrianha proporcionaram produções de matéria seca do milho maiores que o sistema safra-pousio. Contudo, os sistemas safra-adubo verde e safra-forrageira proporcionaram as maioree quantidades de matéria seca diferindo dos demais sistemas. Além das alterações promovidas na física e na química do solo, dados resultantes da avaliação da incidência de plantas daninhas neste experimento, permitiram constatar que os sistemas com cultivos na safrinha proporcionaram controle, da infestação e da sociologia das plantas, da ordem de 55%, 88% e a 98%, respectivamente, para os sistemas safra-adubo verde, safra-safrinha e safra-forrageira, em relação ao sistema safra-pousio (CASTRO el al., 2011).

Quanto aos componentes da produção, somente a população de plantas e o índice de espiga não foram influenciados pelos tratamentos. Por outro lado, o número de grãos por espiga e a massa de cem grãos foram inferiores no sistema safra-pousio, quando comparado aos demais sistemas. Entre os sistemas cultivados com uma segunda safra, o sistema safra-safrinha proporcionou o menor número de grãos por espiga. A união destes efeitos culminou nas diferentes produtividades de grãos de milho. As maiores foram obtidas pelos sistemas safra-forrageira e safra-adubo verde (12800 e 12527 kg ha^{-1}, respectivamente), seguidas pelo sistema safra-safrinha, que produziu 11665 kg ha^{-1}. O sistema com menor produtividade de grãos foi o safra-pousio, com 8339 kg ha^{-1}.

Da mesma forma, experimento desenvolvido por Silveira (2002) na região dos Cerrados testando alternância de cultivos, destaca que houve aumento de produtividade do milho em cultivos bienais. Cabe destacar a influencia do sistema safra-adubo verde, mesmo com a menor produção de palha na entressafra quando comparado ao sistema safra-forrageira, vindo de encontro com o observado por Mascarenhas et al. (1998) que constataram que o uso de soja e crotalária em qualquer esquema foi mais produtivo que o monocultivo do milho e a rotação com arroz. Já Derpsch et al. (1991) constataram que depois

do cultivo de soja e tremoço sem adubação nitrogenada, houve considerável aumento na produtividade de milho quando comparado à produção em monocultura e pousio de inverno.

Tabela 17. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população, índice de espiga, grãos por espiga e massa de cem grãos) e produtividade de grãos de milho em função da aplicação superficial de corretivos e de sistemas de produção em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2010-2011.

Tratamentos	**Teor de macroelementos na matéria seca**						
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Si**
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------						
Controle	28,16a	2,59a	17,49b	2,15b	1,65b	1,99a	7,30c
Calcário	29,98a	2,62a	18,60a	3,16a	2,08a	2,13a	9,00b
Silicato	31,34a	2,67a	18,58a	3,11a	2,09a	2,12a	10,10a
DMSc (0,05)	3,39	0,19	1,02	0,43	0,24	0,26	0,59
CV%c	15,6	10,1	15,4	20,8	16,7	17,4	17,5
SISTEMAS							
Pousio	29,93a	2,33b	15,42c	2,96a	2,01a	2,08a	8,97a
Safrinha	29,27a	2,66a	17,53b	2,94a	1,89a	2,10a	9,03a
Ad, Verde	30,70a	2,69a	17,12b	2,88a	1,92a	2,08a	9,52a
Forrageira	29,42a	2,84a	18,99a	2,80a	1,95a	2,06a	9,52a
DMSs (0,05)	4,24	0,29	1,20	0,47	0,46	0,37	0,72
CV(%)s	15,4	12,0	13,0	18,0	25,5	19,6	19,1
	---------- Valores de F ----------						
Corretivos (c)	1,87ns	0,40ns	5,77*	9,13*	9,59*	0,74ns	20,7**
Sistemas (s)	0,23ns	5,46*	8,02*	0,61ns	0,13ns	0,02ns	1,11ns
s*c	0,59ns	1,43ns	0,98ns	0,37ns	0,52ns	1,14ns	0,79ns

Tratamentos	**Componentes da produção**					
	Matéria seca	**População**	**Índice de espiga**	**Grãos por espiga**	**Massa de cem grãos**	**Produtividade**
CORRETIVOS	kg ha^{-1}	pl ha^{-1}	---------- nº ----------		g	kg ha^{-1}
Controle	10422b	59000a	1,1a	476b	29,85c	7593b
Calcário	13979a	61500a	1,1a	592a	31,93b	13246a
Silicato	14068a	60750a	1,1a	615a	33,57a	13684a
DMSc (0,05)	1446	3150	0,21	32,65	1,39	538
CV(%)c	15,4	12,0	3,6	7,9	6,0	16,4
SISTEMAS						
Pousio	9803d	60000a	1,1a	500c	28,58b	8339c
Safrinha	12574c	61000a	1,1a	538b	32,99a	11665b
Ad, Verde	14901a	60000a	1,1a	587a	32,50a	12527a
Forrageira	14014b	60750a	1,1a	583a	33,07a	12800a
DMSr (0,05)	880	3050	0,18	37,02	1,52	741
CV(%)s	7,4	11,0	3,5	7,3	5,2	16,9
	---------- Valores de F ----------					
Corretivos (c)	9,5*	0,57ns	0,50ns	44,42**	15,20**	39,45**
Sistemas (s)	65,68**	0,11ns	0,34ns	6,89*	20,41**	42,91**
s*c	1,97ns	0,72ns	0,39ns	1,50ns	1,79ns	1,78ns

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

A utilização deste cereal em SSD e com isso em sistemas de rotação de culturas é muito importante, pois se trata da segunda cultura mais cultivada no Brasil, e, além disso, é uma gramínea com elevada relação C/N, que produz grande quantidade de matéria seca, conseguindo repor e manter resíduos vegetais para a cobertura do solo na semeadura direta, geralmente superior a 10 t ha^{-1}, na safra de verão, sem irrigação suplementar (WISNIEWSKI; HOLTZ, 1997).

6.5.3.2 Crambe

Quanto aos teores de macroelementos da cultura do crambe, observou-se que apenas os teores de P, Ca, Mg e Si foram alterados pelos tratamentos, sendo os macronutrientes beneficiados pela aplicação dos corretivos e o silício, macroelemento tido como benéfico para as culturas, superior quando da aplicação de silicato, diferindo do controle e da aplicação do calcário (Tabela 18). São escassos, pra não dizer nulos, os trabalhos relacionados a nutrição da cultura do crambe, restando poucos trabalhos quanto a liberação de nutrientes de sua palhada, estando os dados da presente tese próximos aos observados por Heinz et al. (2011) que avaliou a taxa de decomposição desta cultura.

Tabela 18. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si), produção de matéria seca, componentes da produção (população de plantas, número de grãos por planta e massa de mil grãos) e produtividade de grãos de crambe em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2011.

Tratamentos	**Teor de macroelementos na matéria seca**						
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**Si**
	---------- g kg^{-1} ----------						
Controle	25,0a	3,5b	33,9a	5,3b	2,5b	5,0a	6,7b
Calcário	26,1a	4,1a	32,0a	6,3a	3,6a	4,8a	6,9b
Silicato	25,8a	4,2a	33,2a	6,3a	3,7a	5,2a	7,5a
$\mathbf{F_{calc}}$	1,22ns	5,59*	0,88ns	7,80*	7,02*	0,29ns	8,10*
DMS (0,05)	3,1	0,4	3,9	0,7	0,7	0,9	0,5
CV(%)	12,1	10,9	15,7	10,0	12,1	8,98	10,4

Tratamentos	**Componentes da produção**				
	Matéria seca	**População**	**Grãos por planta**	**Massa de mil grãos**	**Produtividade**
	kg ha^{-1}	---------- n^o ----------		g	kg ha^{-1}
Controle	2176b	375000b	229b	8,09a	700b
Calcário	2535a	428676a	347a	8,01a	1274a
Silicato	2617a	422058a	443a	7,83a	1428a
$\mathbf{F_{calc}}$	5,09*	10,82*	10,67*	2,76ns	12,91**
DMS (0,05)	395	26992	99,51	0,53	331
CV(%)	17,69	6,16	27,26	3,96	26,43

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

A produção de matéria seca do crambe foi elevada com a aplicação de corretivos. Da mesma forma que os componentes população de planta e número de grãos por planta foram positivamente afetados pela aplicação de corretivos. Tais resultados culminaram na elevação da produtividade de grãos, que passou de apenas 700 kg ha^{-1}, no tratamento controle para 1274 e 1428 kg ha^{-1} nos tratamentos calcário e silicato, respectivamente. A limitação de recursos e pesquisas com relação à esta cultura ainda não permitiu inferir com precisão quais são os seus componentes da produção, visto que poder-se-á discutir quanto aos componentes avaliados neste trabalho. Provavelmente, a inclusão do item número de ramos produtivos possa ser interessante, visto que a contagem de todas os grãos por planta é um processo extremamente moroso.

6.5.3.3 Tremoço

Na Tabela 19 constam o efeito da aplicação superficial de corretivos sobre a nutrição e produção de matéria seca do tremoço. É necessária pesquisa básica com algumas espécies, dentre as quais, destaca-se o uso de corretivos. São escassos, para não afirmar inéditos, trabalhos relacionando a aplicação de calcário e silicato sobre esta cultura, porém, observou-se que ela se comportou muito bem a aplicação dos corretivos, melhorando sua nutrição, especialmente quanto aos teores de Ca e Mg para ambos os corretivos. Os teores estavam na mesma faixa obtida por Dorneles et al. (2007) estudando esta cultura em solos arenosos do Rio Grande do Sul. Quanto aos teores de Si, somente o silicato elevou os mesmos. Contudo, a melhor nutrição por Si não foi capaz de proporcionar diferença quanto à produção de matéria seca, visto que ambos os corretivos elevaram de forma semelhante a esta variável quando comparados ao controle.

Tabela 19. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca do tremoço em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2011.

Tratamentos	Teor de macroelementos na matéria seca							Matéria
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	seca
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------							kg ha^{-1}
Controle	23,6a	2,2a	10,9a	4,6b	3,0b	1,5a	5,1b	1641b
Calcário	24,4a	2,2a	10,7a	6,1a	4,2a	1,4a	5,0b	2910a
Silicato	23,9a	2,3a	11,1a	5,8a	4,0a	1,5a	6,0a	3071a
F_{calc}	0,91ns	0,12ns	0,81ns	7,8*	8,7*	0,7ns	8,5*	25,26**
DMS (0,05)	1,4	0,3	1,0	0,9	0,8	0,3	0,8	472
CV(%)	16,9	16,7	12,9	11,1	10,5	16,6	12,3	17,36

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

6.5.3.4 *Brachiaria ruziziensis*

No cultivo da forrageira na terceira safra agrícola, observa-se que apenas a aplicação de silicato influenciou os teores de Si na parte aérea da cultura (Figura 20). No mais, a aplicação dos corretivos não influenciaram a nutrição, tampouco a produção de matéria seca da *B. ruziziensis.* De forma geral, todos os nutrientes estavam dentro ou pouco acima da faixa considerada ótima para a esta cultura, seguindo aproximadamente a sequencia K>N>Ca> >P=Mg>S (RAIJ et al., 1997), exceção feita ao Ca, que esteve muito acima da faixa considerada adequada (2-6 g kg^{-1}).

Levando-se em conta que o potencial de resposta das culturas mais sensíveis às condições de acidez do solo dá uma ideia da fertilidade do mesmo, pode-se inferir que a ausência de resposta à aplicação de corretivos observada nesta forrageira pode indicar a redução da fertilidade dos solos corrigidos à cerca de 48 meses. Este fato pode sugerir a necessidade biológica da reaplicação dos corretivos. Contudo, esta prática deve ser também baseada em análises de solo, como já discutido anteriormente.

Tabela 20. Teores de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S e Si) e produção de matéria seca de *B. ruziziensis* em função da aplicação superficial de calcário e silicato em sistema de semeadura direta. Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 2011.

Tratamentos	Teor de macroelementos na matéria seca							Matéria
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	seca
CORRETIVOS	---------- g kg^{-1} ----------							kg ha^{-1}
Controle	25,15a	3,04a	30,29a	19,89a	1,52a	2,83a	11,1b	5225a
Calcário	26,17a	3,38a	30,41a	19,49a	1,46a	3,25a	11,0b	4900a
Silicato	26,13a	3,20a	31,02a	20,04a	1,43a	2,89a	12,4a	5375a
F_{calc}	1,94ns	0,48ns	1,55ns	1,30ns	1,29ns	1,09ns	11,44*	1,86ns
DMS (0,05)	2,11	0,41	2,03	2,78	0,25	0,51	1,19	601
CV(%)	13,0	11,3	12,1	8,3	10,1	16,0	6,9	13,4

*, ** e ns, significativo a 5, a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$).

6.6 Análise econômica

Na Tabela 21 estão contidos de forma resumida os custos operacionais totais, receitas brutas e receita líquida dos sistemas de produção, após a utilização de dois corretivos do solo. O valor do dólar comercial é referente a 17 de fevereiro de 2012 (US$ 1,00 = R$ 1,71).

O custo operacional foi composto pelas operações mecanizadas, como semeadura, adubação de cobertura, aplicação de agroquímicos e colheita; e dos insumos utilizados, como os agroquímicos, sementes e fertilizantes. As demais despesas e depreciação de maquinário e equipamentos não entraram no balanço. A receita bruta foi resultado da multiplicação da produtividade obtida em cada sistema de produção pelo valor venal dos grãos.

Nota-se que qualquer sistema de produção sem utilização de corretivos do solo, o risco produtivo, ou seja, a chance de ter prejuízo ou lucros mínimos é maximizado. Contudo, a utilização da safrinha com solo corrigido pode ser uma alternativa, visto que estas culturas, de forma geral, são mais rústicas e, mesmo com a marginalidade da época de semeadura, a aplicação de corretivos possibilita boa chance de sucesso. Na ausência de corretivos, torna-se inviável a prática de um esquema de rotação de culturas com adubo verde ou mesmo a produção de forragem. Isso porque os tratos culturais empregados, a semeadura e a adubação encarecem o sistema, não garantindo a sustentabilidade do mesmo.

Entre os sistemas de produção estudados, o sistema safra-pousio proporcionou o pior resultado em termos de receita líquida. Esta baixa lucratividade ocorreu

devido à menor receita bruta, visto que este sistema foi o que proporcionou os piores resultados quanto a produtividade de grãos da safra principal. Neste enfoque, os sistemas safra-adubo verde e safra-forrageira, mesmo com gastos com sementes, maior número de operações de semeadura e uma dessecação a mais que a área em pousio, o que refletiu na elevação do Custo Operacional Total (COT), compensaram, pois a produtividade de grãos da safra de verão foi superior. Estes dados contrastam com os obtidos por Castro (2009) nesta mesma área, contudo analisando apenas as duas primeiras safras. O autor constatou que, naquela época, os sistemas safra-adubo verde e safra-forrageira eram menos vantajosos que o pousio, confirmando sua hipótese levantada, de que este sistema, no médio prazo, se tornaria mais eficiente, com os benefícios conhecidos da prática da adubação verde e da integração lavoura-pecuária.

Tabela 21. Custo operacional total (COT), receita bruta e receita líquida de diferentes sistemas de produção em função da aplicação de corretivos. Botucatu, SP (2012).

TRATAMENTOS		**COT**	**RECEITA BRUTA**	**RECEITA LÍQUIDA**	
CORRETIVO	**SUCESSÃO**	**R$**	**R$**	**R$**	**US$**
Controle	**Safra – Pousio**	5.821,91	5.833,94	12,02	7,03
Controle	**Safra – A. Verde**	7.529,72	7.172,64	(357,08)	(208,82)
Controle	**Safra – Forrageira**	7.274,72	6.959,82	(314,91)	(184,16)
Controle	**Safra – Safrinha**	8.415,99	10.521,87	2.105,88	1.231,51
Calcário	**Safra – Pousio**	6.028,11	9.372,65	3.344,54	1.955,87
Calcário	**Safra – A. Verde**	7.735,92	11.229,97	3.494,04	2.043,30
Calcário	**Safra – Forrageira**	7.480,92	11.478,99	3.998,07	2.338,05
Calcário	**Safra – Safrinha**	8.622,19	15.361,91	6.739,72	3.941,36
Silicato	**Safra – Pousio**	6.415,91	9.506,14	3.090,23	1.807,15
Silicato	**Safra – A. Verde**	8.123,72	11.865,54	3.741,82	2.188,20
Silicato	**Safra – Forrageira**	7.868,72	12.012,19	4.143,46	2.423,08
Silicato	**Safra – Safrinha**	9.009,99	15.802,87	6.792,88	3.972,45

A aplicação de ambos os corretivos proporcionou ganho extra na produtividade em todos os sistemas, mesmo apresentando COT superior ao controle devido ao custo dos corretivos e o frete no momento da compra dos mesmos. Entre os corretivos, mesmo sendo mais oneroso que o calcário e utilizando uma dose ligeiramente superior, a receita

líquida do silicato foi muito semelhante a do calcário, evidenciando sua viabilidade econômica para essa região do Estado de São Paulo.

A safrinha pode ser considerada manejo conservacionista, ainda que não muito eficiente, pois, do ponto de vista prático, foi o sistema que proporcionou as melhores receitas líquidas, em função da receita obtida com a produção de grãos na entressafra. Essa receita extra cobriu o COT, que foi superior aos demais sistemas devido a semeadura, colheita e gastos com sementes, adubos e herbicidas para dessecação da área. Isso nos leva a crer que este sistema é viável aos produtores da região de Botucatu (SP) que utilizam corretivos da acidez do solo.

7 CONCLUSÕES

A aplicação de corretivos influencia positivamente o teor de matéria orgânica do solo, proporcionando maiores estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono associado aos minerais. Quanto às rotações, os melhores resultados foram observados no sistema safra-forrageira, e os piores no sistema safra-pousio.

Decorridos 48 meses da aplicação dos corretivos, os mesmos continuam exercendo seus benefícios químicos para a fertilidade do solo, atingindo a profundidade de 0,60 m quando foi realizado um segundo cultivo na área.

A utilização dos corretivos eleva os teores de fósforo do solo, sendo o silicato mais eficiente neste quesito.

As rotações de culturas melhoram a estabilidade dos agregados e reduzem a resistência a penetração da camada superficial do solo quando comparadas ao sistema safra-pousio.

Os corretivos não diferem entre si quanto à nutrição e produtividade das culturas graníferas, indicando que sua aplicação é fundamental para garantir altas produtividades de grãos e palha.

A aplicação de ambos os corretivos elevou a receita líquida em todos os sistemas estudados, mesmo apresentando custo operacional total superior ao controle.

Dentre os sistemas estudados, a sucessão Safra – Safrinha, quando recebe corretivos do solo, proporciona a maior receita líquida.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M. M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress**. Agriculture and Biology Journal of North America**, Milford, v. 2, p. 207-220, 2011.

ADAMS, F.; WHITE, A. W.; DAWSON, R. N. Influence of lime sources and rates on Coastal bermuda grass production, soil profile reaction, exchangeable Ca and Mg. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, p. 147-149, 1967.

ADEGAS, F. S. Manejo integrado de plantas daninhas. In: CONFERENCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Pato Branco. **Resumos de palestras...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p. 26-47.

AGARIE, S.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Involvement of silicon in the senescence of rice leaves. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 1, n. 2, p. 104-105, 1998.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 27, p. 799-806, 2003.

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2003. p. 291-334.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). **Seminário sobre corretivos agrícolas.** Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. cap. 3, p. 97-117.

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

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um latossolo

de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.

ALMEIDA, V. P. de et al. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1227-1237, 2008.

ALVARADO, J.; CAJUSTE, L. J. Encalado y retención de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. **Turrialba**, San José, v. 43, n. 4, p. 235-241, 1993.

ALVARENGA, R. C. **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. 1993. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004.

AMARAL, A. S; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 695-702, 2001.

ANDERSON D. L.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on everglades histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 8, p. 870- 874, 1991.

ANDRADE, F. V. et al. Addition of organic and humic acids to latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 1003-1011, 2003.

ARGENTA, G. et al. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 851-860, 2001.

AZEVEDO, D. M. P. et al. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 121-160.

BALABANE, M.; PLANTE, F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. **European Journal of Soil Science**, Londres, v. 55, p. 415-427, 2004.

BALASTRA, M. L. F. et al. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, p. 2356-2363, 1989.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry,** Oxford, v. 31, p.

697-710, 2000.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, Q. F. Adubação e aplicação de corretivos para a cultura do feijoeiro irrigado em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.

BARBOSA, N. C. et al. Formas de aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em neossolo quartzarênico de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 290-296, 2008.

BASTOS FO, G. et al. **Uma avaliação do plantio direto no Brasil.** Disponível em <www.agrisus.org.br/arquivos/rally_safra_07_avalia_PD.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2009.

BATAGLIA, O. C.; MASCARENHAS, H. A. A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: Instituto Agronômico, 1977. 36 p. (Boletim Técnico, 41).

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics.** 4. ed. New York: John Wiley, 1972. 529 p.

BAYER, C.; AMARAL, A. S. Amenização da acidez de um latossolo argiloso por extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, p. 88-96, 2003.

BAYER, C. et al. Cover crop effects increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova Iorque, v. 40, p. 1499-1511, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BAYER, C. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Amsterdã, v. 238, p. 133-140, 2002.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 1, p. 155-163, 2004.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. R. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 32, p. 2525-2532, 2008.

BLANCO−CANQUI, H.; STONE, L.R.; STAHLMAN, P.W. Soil response to long-term cropping systems on an Argiustoll in the central Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p. 602−611, 2010.

BODDEY, R. M. et al. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero−till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Londres, v. 16, p. 784−795, 2010.

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York: John Wiley e Sons, 1979. 329 p.

BORGGAARD, O. K. et al. Influence of humic substances on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides. **Geoderma**, Amsterdã, v. 127, p. 270-279, 2005.

BORKERT, C. M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 725-734, 2010.

BROCH, D. L.; PITOL, C.; SPERA, S. T. Influência de doses de fósforo e uso de calcário e gesso sobre o rendimento da soja em plantio direto sobre pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 38, p. 17-18, 1997.

BUZETTI, S. et al. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de clormequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, 2006.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia,** Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil and Use Management**, Londres, v. 27, p. 45-53, 2011.

CAIRES, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à aplicação de corretivos e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F. et al. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência**

do Solo, Viçosa, MG, v. 26, p. 1011-1022, 2002.

CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F. et al. Soil acidity and aluminum toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, Londres, v. 24, p. 302-309, 2008.

CAIRES, E. F. et al. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 502-509, 2006a.

CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006b.

CAIRES, E. F. et al. Surface application of lime for crop grain production under no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, p. 791-798, v. 97, p. 791-798, 2005.

CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: _____. **Guia para plantio direto**. Ponta Grossa: FBPDP, 2000. p. 68-78.

CALOMME, M. et al. Silicon absorption from stabilized orthosilicic acid and other supplements in healthy subjects. **Trace Elements in Man and Animal**, Aberdeen, v. 10, p. 1111-1114, 2002.

CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado**. Botucatu, 2007. 125 f. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1399-1407, 2008.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Londres, v. 33, p. 242-249, 2010.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: Ed. ESALQ, 1997. 32 p.

CAMARGO, O. A. de et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a

grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.

CANCÈS, B. et al. Metal ions speciations in a soil and its solution: experimental data and model results. **Geoderma**, Amsterdã, v. 113, p. 641-355, 2003.

CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz-de-sequeiro. Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, n. 100, p. 48-49, 1997.

CARVALHO, R. et al. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 69-74, 2000.

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

CARVALHO-PUPATTO, J. G. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 1323-1328, 2003.

CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácrico avaliada por um modelo de complexação de superfície. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 21, p. 353-360, 1997.

CASTRO, G. S. A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Efeito da aplicação superficial de calcário e silicato na cultura da soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: UNESP, 2007. p. 191-194.

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, C. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 46, n. 12, p. 1690-1698, 2011.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; MENEGALE, M. L. C. Calagem e silicatagem superficiais e a disponibilidade de cátions hidrossolúveis em culturas anuais e braquiária. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 740-748, out.-dez. 2012

CASTRO, G. S. A. et al. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, p. 1001-1010, 2011.

CERETTA, C. A. et al. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 163-171, 2002.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil**: structure, function and turnover. Tijele: DIAS, 2000. 95 p. (Plant Production Report, 30).

CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 777-788, 2005.

CONDRON, L. M. et al. Effects of liming on organic matter decomposition and phosphorus extractability in an acid humic Ranker soil from northwest Spain. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdã, v. 15, n. 4, p. 279-284, 1993.

CORDEIRO, D. S. et al. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMBRAPA-CPPSO. **Ecologia, manejo e adubação da soja**. Londrina, 1979. p. 19-49. (Circular Técnica, 2).

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia Preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1583-1590, 2008a.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 1209-1219, 2008b.

CORRÊA, J. C. et al. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1307-1317, 2007.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero.** 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011).

COSTA, F. S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimentos de longa duração**. 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdã, v. 97, p. 207-217, 2007.

COSTA, F. S. et al. Calagem e as propriedades eletro-químicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 281-284, 2004.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Sistemas de produção e eficiência agronômica de

fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes:** contexto mundial e técnicas de suporte. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 1, p. 229-275.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 949-954, 2009.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Lixiviação de bases em função da adubação nitrogenada e da calagem superficial em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS-UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Nitrate role in basic cation leaching under no-till, **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 35, p. 1975-1984, 2011.

CUNHA, E. de Q. et al. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 665-674, 2007.

DALTO, G. **Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Solos)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

DE, N.; DATTA, S. C. Relationship between phosphorus sorption and soil acidity as affected by bicarbonate and silicate ions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova Iorque, v. 38, p. 679-694, 2007.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DEREN, C. W. et al. Silicon concentration, disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 733-737, 1994.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 268 p.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long−term no−till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Amsterdão, v. 268, p. 319−328, 2005.

DOEBLEY, J. Molecular evidence for gene flow among Zea species. **BioScience**, Uberlândia, v. 40, p. 443-448, 1990.

DOU, F.; WRIGHT, A. L.; HONS, F. M. Sensitivity of labile soil organic carbon to tillage in

wheat-based cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 1445-1453, 2008.

ECHEVENGUÁ, A. Crambe surge como nova opção para produzir biodiesel. 2007. Disponível em: <www.ecoeacao.com.br>. Acesso em: 09 abril 2011.

ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. **Agronomy Journal,** Madison, v. 74, p. 481-483, 1982.

ELAWAD, S. H.; GREEN JUNIOR, V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Riso**, Milão, v. 28, n. 3, p. 235-253, 1979.

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

EMBRAPA. **Informações técnicas para o cultivo de feijão**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 32 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2006. Londrina, 2005. 220 p. (Sistemas de Produção, 9).

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja:** região central do Brasil 2009 e 2010. Londrina, 2008.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants:** principles and perspectives. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, Amsterdã, v. 69, p. 139-144, 1998.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, Amsterdã, v. 99, p. 345-399, 2008.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42 p. (Documentos, 92).

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 17, p. 2675-2682, 1998.

FARIA, R. G. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-

Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, R. P.; SALGADO, L. T.; JORGE, H. D. Tolerância de cultivares de arroz ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 21, p. 1257-126, 1986.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 29, p. 235-247, 2005.

FLORA, L. P. D.; ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C. Mobilidade de cátions e correção da acidez de um Cambissolo em função da aplicação superficial de calcário combinado com sais de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 31, p. 1591-1598, 2007.

FORESTIERI, E. F.; DE POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna preta num podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 14, p. 165-172, 1990.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do sorgo.** Jaboticabal: FUNEP, 2009. 202 p.

FRANÇA, A. F. S.; MADUREIRA, L. J. Avaliação de matéria seca, da composição mineral e da silagem do milheto forrageiro (*Pennisetum americanum*) (I.) K. SCHUM). **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária**, Lages, v. 19, p. 1-8, 1989.

FRANCHINI, J. C. et al. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, p. 2045-2058, 2003.

FRANCHINI, J. C. et al. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por métodos biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 357-360, 2001.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Particulate and non−particulate fractions of soil organic carbon under pastures in the Southern Piedmont USA. **Environmental Pollution**, Amsterdã, v. 116, p. 53−62, 2002.

FRAZÃO, L. A. et al. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 641-648, 2008.

FUENTES, M.; GONZÁLEZ-GAITANO, G.; GARCÍA-MINA, J. M. The usefulness of UV-visible and fluorescence sepectroscopies to study the chemical nature of humic substances from soils and composts. **Organic Geochemistry**, Amsterdã, v. 37, p. 1949-1959, 2006.

FUJISAKA, S. et al. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdã, v. 69, p. 17−26, 1998.

GALLO, P. B. et al. Interação calagem-adubação nitrogenada na produção de sorg sob deficiência hídrica em rotação com soja. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 2, p. 231-238, 1986.

GARCIA, R. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Londres, v. 28, p. 579-585, 2008.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 12, dez. 2010 .

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio diret**o. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207 p.

GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, p. 1043-1068, 1994.

GONÇALVES, J. R. P. et al. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarium,** Maringá, v. 33, p. 369-375, 2011.

GONÇALVES, N. P. et at. Cultura da mamona. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 28-32, 2005.

GREENLAND, D. J. Changes in the nitrogen status and physical condition of soils under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soils used for growing wheat. **Soils Fertility,** Wallingford, v. 34, p. 237-251, 1971.

GROTHGE-LIMA, M. T. Inter-relation of stem canker (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. meridionalis), nodulation (*Bradyrhizobium japonicum*) and silicon in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. 1998. Tese (Doutorado)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1998.

GUIMARÃES, G. F. P. B. Avaliação de quatro forrageiras tropicais cultivadas em dois solos da Ilha de Marajó - PA submetidos a crescentes saturações por bases. 2000. 197 f. **Tese** (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

GULDE, S. et al. Soil carbon saturation controls labile and stable carbon pool dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 605-612, 2008.

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

GUNES, A. et al. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant**

Physiology, Amsterdã, v. 164, p. 807-811, 2007.

HARGROVE, W. L.; THOMAS, G. W. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 151-153, 1981.

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

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z (Org.). **Sistema plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1998. p. 37-49.

HERNANI, L .C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelops**. Journal of Soil Science,** Londres, v. 23, p. 177-192, 1972.

HOLTZ, G. P.; SÁ, J. C. M. Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 21-36.

HUA, Q. X. et al. Enhancement of phosphorus solubility by humid substances in ferrosols. **Pedosphere**, cidade, v. 18, p. 533-538, 2008.

HUANG, S. et al. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long−term fertilization in a red soil of subtropical China. **Geoderma**, Amsterdã, v. 154, p. 364−369, 2010.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

INOMOTO, M. M et al. Avaliação em casa de vegetação do uso de sorgo, milheto e crotalária no manejo de *Meloidogyne javanica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, p. 125-129, 2008.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, Amsterdã, v. 19, p. 107-149, 1967.

JONG VAN LIER, Q. de. **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

KARIUKI, S. K. et al. Hard red winter wheat cultivar responses to a pH and aluminum

concentration gradient. **Agronomy Journal**, Amsterdã, v. 99, p. 88-98, 2007.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison**:** American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KICHEL, A. N. Pastagens. **DBO Rural**, São Paulo, v. 16, n. 207, p. 64-66, 1998.

KICHEL, A. N.; MACEDO, M. C. **Milheto:** a opção forrageira para alimentar animais na época seca. Campo Grande: Embrapa/CNPGC, 1994. 2 p.

KIEHL, E. J. **Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes**. 1960. 113 f. Tese (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1960.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia:** relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Sistema Santa Fé - tecnologia Embrapa**: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SÍLICIO NA AGRICULTURA, 2., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003. 1 CD-ROM.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; RAMOS, L. A. Available silicon in tropical soils and crop yield. In: SILICON, 3., 2005, Uberlândia. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

KORNDÖRFER, G. H. PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: GPSi; ICIAG; UFU, 2002. 23 p.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de Si em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 101-106, 1999.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, Amsterdã, v. 116, p. 353−362, 2002.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LIANG, Y. C. et al. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Londres, v. 54, p. 678-685, 2005.

LIANG, Y. C. et al. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous

soils. **Communication Soil Science Plant Analysis,** New York, v. 25, p. 2285-97, 1994.

LILIENFEIN, J. et al. Soil fertility under native Cerrado and pasture in the Brazilian savanna. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 67, p. 1195−1205, 2003.

LIMA, E. V. et al. Características agronômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja "safrinha" sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 69-80, 2009.

LOMBARDI NETO, F.; DRU GOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v. 2, 1994. 168 p.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto:** bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 1077-1082, 2009.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 175−187, 2004.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos de química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 182 p.

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

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture.** Amsterdã: Elsevier Science, 2001. p. 17-39, 2001.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MALI, M.; AERY, N. C.; Effect of silicon on growth, biochemical constituints, and mineral nutrition of cowpea. **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v. 40, n. 6, p. 1041-1052, 2009.

MARCELO, A. V. et al. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 417-428, 2009.

MARQUES, R. et al. Water-soluble nutrients in aerial plant parts ofpeanut and white oat as affected by lime andgypsum application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG,

v. 35, p. 513-522, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. London: Academic Press, 1995.

MARTIN, N. B. et al. **Sistema "CUSTAGRI":** sistema integrado de custos agropecuários. São Paulo: IEA/SAA, 1997. 75 p.

MARX, F.; ANDRADE, E. H. A.; MAIA, J. G. Chemical composition of the fruit pulp of *Caryocar villosum*. **ZeitschiftFuer Lebensmittel Untersuchung/ Food Research and Technology**, Amsterdã, v. 204, p. 442-444, 1997.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. In: RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeito na produtividade da rotação de culturas de verão e crotalária no inverno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v. 55, n. 3, p. 534-537, 1998.

MATICHENKOV, V. V.; BOCHARNIKOVA, E. A. The relationship between silicone and soil physical and chemical properties. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdã: Elsevier Science, 2001. p. 209-219.

MATSUNAGA, M. et al. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MAUAD, M. et al. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 761-765, 2003.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994.

MCKEAQUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 83-95, 1963.

MCSORLEY, R. Host suitability of potential cover crops for root-knot nematodes. **Journal of Nematology**, Bethesda, v. 31, p. 619-623, 1999. Supplement.

MEDA, A. R. et al. Alleviating soil acidity through plant organic compounds. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, p. 185-189, 2001.

MEDA, A. R. et al. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 647-654, 2002.

MEDEIROS, L. B. et al. Micronutriente na cana-de-açúcar irrigada: correção do solo com

escória siderúrgica. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 447-461, 2009.

MELLO, J. C. A. et al. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 553 – 561, 2003.

MENZIES, J. G. et al. The effects of soluble silicon on the parasitic fitness of Sphaerotheca fuliginea (Shlect. Fr.) Poll. on *Cucumis sativus* L. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 81, p. 84-88, 1991.

MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A.; BÜLL, J. C. L. Soil phosphorus forms after brachiaria. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 16., 2009, Davis. **Proceedings...** Davis: UC, 2009. Disponível em: <**Erro! A referência de hiperlink não é válida.**>. Acesso em: 15 mar. 2010.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdã: Elsevier Science, 2001. p. 257-276.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei pouco húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 209-215, 2000.

MIRANDA, L. N. et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 40, p. 563-572, 2005.

MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Identification of maize silicon influx transporters. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 50, n. 01, p. 5-12, 2009

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility os surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, p. 251-256, 2002.

MOUSSA, H. R. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Biology**, Amsterdã, v. 8, p. 293-297, 2006.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 475-483, 2006.

NOLLA, A. et al. Indicadores para a tomada de decisão de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência,** Pelotas, v. 11, p. 471-476, 2005.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NWACHUKU, D. A.; LOGANATHAN, P. The effect of liming on maize yield and soil proprierties in Southern Nigeria. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova Iorque, v. 22, p. 623-639, 1991.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdan, v. 38, p. 47-57, 1996.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 65-70, 1997.

OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz de diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 685-690, 2007.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

PALE, S.; MASON, S. C.; GALUSHA, T. D. Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 4, p. 1047-1053, 2003.

PANDOLFO, C. M.; TEDESCO, M. J. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 753-758, 1996.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PEARSON, R. W.; ABRUNA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. **Soil Science**, Baltimore, v. 93, p. 77-82, 1962.

PEREIRA, J. E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno**. 1978. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1978.

PEREIRA, J.; BURLE, M. L.; RESCK, D. V. S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 25, p. 885-895, 2001.

PITOL, C. et al. O milheto na integração agricultura pecuária. In: CASALE, H. (Ed.). **Café adensado:** plantio: um desafio e números, o que vale é a diferença. Piracicaba: Potafós, 1996. 89 p

PLUCKNETT, D. L. The use of soluble silicates in Hawaii agriculture. **University of Queensland Papers**, St. Lucia, v. 1, p. 203-223, 1972.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 675-684, 1998.

PRATES, F. B. de S. et al. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2. p. 101-112, 2011.

PULZ, A. L. et al. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade de batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1651-1659, 2008.

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

QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Agronomic efficiency of limestone with different acid- neutralizing capacity, under field condition. In: SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INTERACTIONS AT LOW Ph, 1995, Brisbane. **Proceedings…** Dordrecht: Kluwer Academics Press, 1995. p. 494-496.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II - Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 6, p. 113-118, 1982.

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 3, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres; Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. **Boletim Técnico do IAC**, Campinas, n. 106, p. 45-47, 1997.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura.** In. : RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 223-231, 1973.

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

RAIJ, B. van et al. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, p. 28-31, 1977.

SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, DF.

Anais... Brasília, DF: EMBRAPA-DEP, 1984. 641 p.

RAIJ, B. van et al. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 33-37, 1982.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e ausência de gesso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 131-136, 1988.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Methods used for diagnosis and correction of soil acidity in Brazil: overview. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Proceedings...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 205-214.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p.

RAMOS, M. G. et al. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using 15N-isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, Amsterdã, v. 91, p. 105-115, 2001.

RAMOS, L. A. et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 849-857, 2006.

REIS, T. H. P. et al. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, p. 78-80, 2008.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 24, p. 797-805, 2000.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficience in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v. 133, p. 378-382, 1982.

RODRIGUES FILHO, F. S. O. et al. Adubação verde e orgânica para o cultivo de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 88-93, 1996.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, cidade, v. 70, p. 107−119, 2003.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Leaching of nitrate and ammonium from cover crop straws as affected by rainfall. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova Iorque, v. 36, p. 819-831, 2005.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 27, p. 355-362, 2003.

ROSOLEM C. A. et al. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 30, p. 813-819, 2006.

ROSOLEM, C. A. et al. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and N fertilizer. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRMANN, R. P. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer, 1990. p. 321-325.

RUSSEL, E. W. **Soil condition and plant growth**. 10. ed. New York: Longman, 1976. 849 p.

SÁ, J. C. M. Efeito de métodos de calagem em um Lea argiloso sob longo período em plantio direto com elevada acidez. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p. 32-33, 1996. Edição especial.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. **Milheto:** alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. Dourados: EMBRAPA, 1997. (Folheto).

SALTON, J. C. Opções de safrinha para agregação de renda nos cerrados. In: LARA CABEZAS, W. A. R.; FREITAS, P. L. (Ed.). **Plantio direto na integração lavoura-pecuária.** Uberlândia: APDC, 2001. p. 189-200.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 11-21, 2008.

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 69, p. 32-34, 2002.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rendimento de grãos de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 6, p. 907-916, 2006.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 3, p. 289-295, 1998.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, Amsterdã, v. 58, p. 151-199, 1997.

SAVANT, N. K. et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v. 22, n. 12, p. 1853-1903, 1999.

SAVY FILHO, A. Mamona. In: FAHL, J. I. et al. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. **Boletim Técnico do IAC**, Campinas, n. 200, p. 309-310, 1998.

SCALÉA, M. A. Cultura do milheto e seu uso no plantio direto no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO, 1999, Planaltina. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p. 75-82.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 427-436, 2000.

SILVA, C. A.; VALE, F. B. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 253-260, 2001.

SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. 37 p. (Boletim Citrícola, 9).

SILVEIRA, P. M. **Influência do preparo do solo e de rotação de culturas no feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e feijão, 2002. 18 p.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. Significance of phenolic compounds inplant-soil-microbial systems. **Critical Review Plant Science**, Londres, v. 10, p. 63-121, 1997.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma,** Amsterdã, v. 74, p. 65-105, 1996.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto.** Botucatu, 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 675-688, 2008a.

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

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 663-673, 2008c.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 715-725, 2008d.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 928-935, 2008e.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 81-90, 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

SORATTO, R. P. et al. Narrow row spacing and high plant population to short height castor genotypes in two cropping seasons. **Industrial Crops and Products**, Amsterdã, v. 35, p. 244-249, 2012.

SOUSA, D. M. G. de et al. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 193-198, 1989.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, E. A.; NEPTUNE, A. M. L. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 120-5, 1979.

SOUZA, E. D. de et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura−pecuária submetidos a intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1273−1282, 2008.

SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils:** carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2nd. ed. New York: John Wiley, 1999. 427 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry:** genesis, composition, reactions. 2nd. ed. New York : John Wiley, 1994. 496 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, VIÇOSA, MG, v. 15, p. 229-235, 1991.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T. et al. **Science of rice plant physiology**. Tokyo: Nobunkyo, 1995. v. 2, cap. 5, p. 420-433.

TANAKA, A.; PARK, Y. D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Londres, v. 12, p. 23-28, 1966

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 247-250, 1992.

TAYLOR, H. M. Root behavior as affected by soil structure and strength. In: CARSON, E. W. (Ed.). **The plant root and its envoronment**. Virginia: Virginia Polytechnic and State University, 1971. cap. 11, p. 271-291.

TEDESCO, J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 96-113, 2000. (Boletim, 4)

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 3rd. ed. New York: McMillan, 1984. 694 p.

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 405-413, 2004.

VERLENGIA, L.; GARGANTINI, H. Estudo sobre a eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário no solo. **Bragantia**, Campinas,v. 31, p. 119-28, 1972.

VILELA, L.; BARCELLO, A. O.; SOARES, W. V. Restabelecimento da capacidade produtiva das pastagens do cerrado: experiências da Embrapa Cerrados. In: WORKSHOP INTERNACIONAL PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA E PECUÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DAS SAVANAS SULAMERICANAS, 2001, Santo Antônio de Goiás. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2001. p. 94-124.

VORONKOV, M. G.; ZELCHAN, G. I.; LYKEVIC, A. Y. **Silicon and life**. Riga: Zinatne, 1978.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plant inoculated with phosphate solubilizing fungi. **Advances in Agronomy,** New York, v. 69, p. 99-151, 2000.

WIELEWICKI, A. P.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de início de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 17-21, 1998.

XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba, CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 247-258, 2006.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v. 8, p. 15-21, 1962.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 110-117, 2007.

ZONTA, E. et al. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.

ZUBA JUNIOR, G. R. et al. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 157-163, 160 out.-dez. 2011.

9 APÊNDICE

TABELA 22. – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Pousio e diferentes corretivos, Botucatu, SP (2012).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R$)	Total (US$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Semeadura (3x)	HM	175	1,65	288,75	168,86
Tratamento de sementes (3x)	HM	34,13	3	102,39	59,88
Adubação de Cobertura (2x)	HM	37,78	0,6	22,668	13,26
Aplicação de Agroquímico (9x)	HM	55,67	7,2	400,824	234,40
Serviço braçal (6x)	HH	34,04	6	204,24	119,44
Transporte interno (6x)	HM	64,11	6	384,66	224,95
Colheita (3x)	HM	411,21	1,5	616,815	360,71
Subtotal A	*******	*******	********	**2.020,35**	**1.181,49**
B – MATERIAIS					
B 1 - 1º ANO AGRÍCOLA					
Calcário	tonelada	29	3,8	130,20	76,14
Frete Calcário (100km)	km/t	0,2	380	76,00	44,44
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,1	184,00	107,60
Frete Silicato (500km)	km/t	0,2	2050	410,00	239,77
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	3	45,00	26,32
Sementes de arroz (IAC 202)	kg	1,5	75	112,50	65,79
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram)	L	30	1	30,00	17,54
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	2,01	42,79	25,03
Herbicida (Propanil + Thiobencarb)	L	25,59	7,68	196,53	114,93
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	2,8	69,86	40,85
Adubo (02-20-20)	tonelada	1555	0,2	311,00	181,87
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1760	0,32	563,20	329,36

Subtotal B 1 SEM OS CORRETIVOS	********	*******	*******	**1.370,88**	**801,69**
B 2 - 2º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	3	45,00	26,32
Sementes de soja (CD 202)	kg	1,75	70	122,50	71,64
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram) + inoculante + micro	L	32	1	32,00	18,71
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	4	85,16	49,80
Herbicida (Bentazone)	L	20,86	5,53	115,36	67,46
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	5,6	139,72	81,71
Adubo (04-20-20)	tonelada	823,00	0,25	205,75	120,32
Subtotal B 2 SEM OS CORRETIVOS	*******	*******	*******	**745,49**	**435,96**
B 3 - 3º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	3	45,00	26,32
Sementes de milho (2B433)	Kg	220	1,15	253,00	147,95
Tratamento de sementes (Captan)	L	20	1	20,00	11,70
Fungicida (Espinosade)	L	108,00	1,17	126,36	73,89
Inseticida (Lambda-cialotrina + Thiamethoxam)	L	69,29	0,4	27,72	16,21
Herbicida (Atrazine)	L	29,64	13	385,32	225,33
Adubo (08-28-16)	tonelada	820,00	0,35	287,00	167,84
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1.690,00	0,32	540,80	316,26
Subtotal B 3	********	*******	*******	1.685,20	985,49
Subtotal B 1+2+3	********	*******	*******	3.801,57	2.223,14
Custo operacional efetivo (C.O.E)	********	*******	*******	5.821,91	3.404,63
CUSTO OPERACIONAL TOTAL (COT)	********	*******	*******	**6.088,65**	**3.560,61**
Controle	********	*******	******	5.821,91	3.404,63
Calcário	********	*******	*******	6.028,11	3.525,21
Silicato	********	*******	*******	6.415,91	3.752,00
RECEITA BRUTA SISTEMA (arroz)					
Controle	Kg	0,72	2109	1.524,10	891,29
Calcário	Kg	0,72	2751	1.988,06	1.162,61
Silicato	Kg	0,72	2793	2.018,41	1.180,36
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)					
Controle	Kg	0,70	2361	1.642,08	960,28
Calcário	Kg	0,70	3306	2.299,32	1.344,63
Silicato	Kg	0,70	3416	2.375,83	1.389,37
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)					
Controle	Kg	0,46	5810	2.667,76	1.560,09
Calcário	Kg	0,46	11075	5.085,27	2.973,84
Silicato	Kg	0,46	11133	5.111,90	2.989,42
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	********	*******	*******	8.237,58	4.817,30
Controle	********	*******	*******	5.833,94	3.411,66
Calcário	********	*******	*******	9.372,65	5.481,08
Silicato	********	*******	*******	9.506,14	5.559,15

RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	********	*******	*******	**2.148,93**	**1.256,68**
Controle	********	*******	*******	**12,02**	**7,03**
Calcário	********	*******	*******	**3.344,54**	**1.955,87**
Silicato	********	*******	*******	**3.090,23**	**1.807,15**

Valor do dólar comercial = R$1,71 (17 de fevereiro de 2012).

TABELA 23 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Adubo Verde, Botucatu, SP (2012).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R$)	Total (US$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Semeadura (6x)	HM	175	3,3	577,5	337,72
Tratamento de sementes (3x)	HM	34,13	3	102,39	59,88
Adubação de Cobertura (5x)	HM	37,78	1,5	56,67	33,14
Aplicação de Agroquímico (12x)	HM	55,67	9,6	534,432	312,53
Serviço braçal (9x)	HH	34,04	9	306,36	179,16
Transporte interno (9x)	HM	64,11	9	576,99	337,42
Colheita (3x)	HM	411,21	1,5	616,815	360,71
Subtotal A	********	********	********	**2.771,16**	**1.620,56**
B - MATERIAIS					
B 1 - 1º ANO AGRÍCOLA					
Calcário	tonelada	29	3,8	130,20	76,14
Frete Calcário (100km)	km/t	0,2	380	76,00	44,44
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,1	184,00	107,60
Frete Silicato (500km)	km/t	0,2	2050	410,00	239,77
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de arroz (IAC 202)	kg	1,5	75	112,50	65,79
Sementes de crotalaria (IAC-KR1)	kg	6	25	150,00	87,72
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram)	L	30	1	30,00	17,54
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	2,01	42,79	25,03
Herbicida (Propanil + Thiobencarb)	L	25,59	7,68	196,53	114,93
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	2,8	69,86	40,85
Adubo (02-20-20)	tonelada	1555	0,2	311,00	181,87
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1760	0,4	704,00	411,70
Subtotal B 1 SEM OS CORRETIVOS	********	******	******	**1.706,68**	**998,06**
B 2 - 2º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de soja (CD 202)	kg	1,75	70	122,50	71,64
Sementes de milheto (ADR 500)	kg	5	30	150,00	87,72
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram) + inoculante + micro	L	32	1	32,00	18,71
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	4	85,16	49,80
Herbicida (Bentazone)	L	20,86	5,53	115,36	67,46
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	5,6	139,72	81,71
Adubo (04-20-20)	tonelada	823,00	0,25	205,75	120,32
Adubo cobertura (ureia)	tonelada	1.700,00	0,08	136,00	79,53
Subtotal B 2 SEM OS CORRETIVOS	******	******	******	**1.076,49**	**629,52**
B 3 - 3º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de milho (2B433)	kg	220	1,15	253,00	147,95

Sementes de tremoço	kg	5,5	20	110,00	64,33
Tratamento de sementes (Captan)	L	20	1	20,00	11,70
Fungicida (Espinosade)	L	108,00	1,17	126,36	73,89
Inseticida (Lambda-cialotrina + Thiamethoxam)	L	69,29	0,4	27,72	16,21
Herbicida (Atrazine)	L	29,64	13	385,32	225,33
Adubo (08-28-16)	tonelada	820,00	0,35	287,00	167,84
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1.690,00	0,4	676,00	395,32
Subtotal B 3	******	******	******	1.975,40	1.155,20
Subtotal B 1+2+3	******	******	******	4.758,57	2.782,79
Custo operacional efetivo (C.O.E)	******	******	******	7.529,72	4.403,35
CUSTO OPERACIONAL TOTAL (COT)	******	******	******	**7.796,46**	**4.559,33**
Controle	******	******	******	7.529,72	4.403,35
Calcário	******	******	******	7.735,92	4.523,93
Silicato	******	******	******	8.123,72	4.750,72
RECEITA BRUTA SISTEMA (arroz)					
Controle	kg	0,72	1956	1.413,54	826,63
Calcário	kg	0,72	3929	2.839,36	1.660,44
Silicato	kg	0,72	4065	2.937,64	1.717,92
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)					
Controle	kg	0,70	2552	1.774,92	1.037,96
Calcário	kg	0,70	3201	2.226,30	1.301,93
Silicato	kg	0,70	3211	2.233,25	1.305,99
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)					
Controle	kg	0,46	8677	3.984,19	2.329,94
Calcário	kg	0,46	13425	6.164,31	3.604,86
Silicato	kg	0,46	14580	6.694,65	3.915,00
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	******	******	******	10.089,38	5.900,22
Controle	******	******	******	7.172,64	4.194,53
Calcário	******	******	******	11.229,97	6.567,23
Silicato	******	******	******	11.865,54	6.938,91
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	******	******	******	**2.292,93**	**1.340,89**
Controle	******	******	******	**(357,08)**	**(208,82)**
Calcário	******	******	******	**3.494,04**	**2.043,30**
Silicato	******	******	******	**3.741,82**	**2.188,20**

Valor do dólar comercial = R$1,71 (17 de fevereiro de 2012).

TABELA 24 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Integração Lavoura-Pecuária, Botucatu, SP (2012).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R$)	Total (US$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Semeadura (6x)	HM	175	3,3	577,5	337,72
Tratamento de sementes (3x)	HM	34,13	3	102,39	59,88
Adubação de Cobertura (5x)	HM	37,78	1,5	56,67	33,14
Aplicação de Agroquímico (12x)	HM	55,67	9,6	534,432	312,53
Serviço braçal (9x)	HH	34,04	9	306,36	179,16
Transporte interno (9x)	HM	64,11	9	576,99	337,42
Colheita (3x)	HM	411,21	1,5	616,815	360,71
Subtotal A	*******	*******	*******	**2.771,16**	**1.620,56**
B - MATERIAIS					
B 1 - 1º ANO AGRÍCOLA					
Calcário	tonelada	29	3,8	130,20	76,14
Frete Calcário (100km)	km/t	0,2	380	76,00	44,44
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,1	184,00	107,60
Frete Silicato (500km)	km/t	0,2	2050	410,00	239,77
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de arroz (IAC 202)	kg	1,5	75	112,50	65,79
Sementes de *Brachiaria ruziziensis*	kg	5	10	50,00	29,24
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram)	L	30	1	30,00	17,54
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	2,01	42,79	25,03
Herbicida (Propanil + Thiobencarb)	L	25,59	7,68	196,53	114,93
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	2,8	69,86	40,85
Adubo (02-20-20)	tonelada	1555	0,2	311,00	181,87
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1760	0,4	704,00	411,70
Subtotal B 1 SEM OS CORRETIVOS	*******	*****	*****	**1.606,68**	**939,58**
B 2 - 2º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de soja (CD 202)	kg	1,75	70	122,50	71,64
Sementes de *Brachiaria ruziziensis*	kg	5	10	50,00	29,24
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram) + inoculante + micro	L	32	1	32,00	18,71
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	4	85,16	49,80
Herbicida (Bentazone)	L	20,86	5,53	115,36	67,46
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	5,6	139,72	81,71
Adubo (04-20-20)	tonelada	823,00	0,25	205,75	120,32
Adubo cobertura (ureia)	tonelada	1.700,00	0,08	136,00	79,53
Subtotal B 2 SEM OS CORRETIVOS	*****	*****	*****	**976,49**	**571,04**
B 3 - 3º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de milho (2B433)	kg	220	1,15	253,00	147,95

Sementes de *Brachiaria ruziziensi*s	kg	5,5	10	55,00	32,16
Tratamento de sementes (Captan)	L	20	1	20,00	11,70
Fungicida (Espinosade)	L	108,00	1,17	126,36	73,89
Inseticida (Lambda-cialotrina + Thiamethoxam)	L	69,29	0,4	27,72	16,21
Herbicida (Atrazine)	L	29,64	13	385,32	225,33
Adubo (08-28-16)	tonelada	820,00	0,35	287,00	167,84
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1.690,00	0,4	676,00	395,32
Subtotal B 3	*****	*****	*****	1.920,40	1.123,04
Subtotal B 1+2+3	*****	*****	*****	4.503,57	2.633,66
Custo operacional efetivo (C.O.E)	*****	*****	*****	7.274,72	4.254,22
CUSTO OPERACIONAL TOTAL (COT)	*****	*****	*****	**7.541,46**	**4.410,21**
Controle	*****	*****	*****	7.274,72	4.254,22
Calcário	*****	*****	*****	7.480,92	4.374,81
Silicato	*****	*****	*****	7.868,72	4.601,59
RECEITA BRUTA SISTEMA (arroz)					
Controle	kg	0,72	1915	1.383,91	809,30
Calcário	kg	0,72	3241	2.342,16	1.369,69
Silicato	kg	0,72	3472	2.509,10	1.467,31
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)					
Controle	kg	0,70	2758	1.918,19	1.121,75
Calcário	kg	0,70	3314	2.304,89	1.347,89
Silicato	kg	0,70	3393	2.359,83	1.380,02
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)					
Controle	kg	0,46	7966	3.657,72	2.139,02
Calcário	kg	0,46	14879	6.831,94	3.995,29
Silicato	kg	0,46	15557	7.143,26	4.177,34
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	10.150,33	5.935,87
Controle	*****	*****	*****	6.959,82	4.070,07
Calcário	*****	*****	*****	11.478,99	6.712,86
Silicato	*****	*****	*****	12.012,19	7.024,67
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	**2.608,88**	**1.525,66**
Controle	*****	*****	*****	**(314,91)**	**(184,16)**
Calcário	*****	*****	*****	**3.998,07**	**2.338,05**
Silicato	*****	*****	*****	**4.143,46**	**2.423,08**

Valor do dólar comercial = R$1,71 (17 de fevereiro de 2012).

TABELA 25 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Safrinha, Botucatu, SP (2012).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R$)	Total (US$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Semeadura (6x)	HM	175	3,3	577,5	337,72
Tratamento de sementes (3x)	HM	34,13	3	102,39	59,88
Adubação de Cobertura (5x)	HM	37,78	1,5	56,67	33,14
Aplicação de Agroquímico (12x)	HM	55,67	9,6	534,432	312,53
Serviço braçal (12x)	HH	34,04	12	408,48	238,88
Transporte interno (12x)	HM	64,11	12	769,32	449,89
Colheita (6x)	HM	411,21	3	1233,63	721,42
Subtotal A	*******	*****	****	**3.682,42**	**2.153,46**
B - MATERIAIS					
B 1 - 1º ANO AGRÍCOLA					
Calcário	tonelada	29	3,8	130,20	76,14
Frete Calcário (100km)	km/t	0,2	380	76,00	44,44
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,1	184,00	107,60
Frete Silicato (500km)	km/t	0,2	2050	410,00	239,77
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de arroz (IAC 202)	kg	1,5	75	112,50	65,79
Sementes de mamona (IAC 2028)	kg	8	20	160,00	93,57
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram)	L	30	1	30,00	17,54
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	2,01	42,79	25,03
Herbicida (Propanil + Thiobencarb)	L	25,59	7,68	196,53	114,93
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	2,8	69,86	40,85
Adubo (02-20-20)	tonelada	1555	0,2	311,00	181,87
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1760	0,4	704,00	411,70
Subtotal B 1 SEM OS CORRETIVOS	*****	*****	****	**1.716,68**	**1.003,91**
B 2 - 2º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de soja (CD 202)	kg	1,75	70	122,50	71,64
Sementes de sorgo (AG-1040)	kg	7,5	10	75,00	43,86
Tratamento de sementes (Vitavax + Thiram) + inoculante + micro	L	32	1	32,00	18,71
Fungicida (Epoxiconazole + Pyraclostrobin)	L	21,29	4	85,16	49,80
Herbicida (Bentazone)	L	20,86	5,53	115,36	67,46
Inseticida (Deltametrina)	L	24,95	5,6	139,72	81,71
Adubo (04-20-20)	tonelada	823,00	0,25	205,75	120,32
Adubo cobertura (ureia)	tonelada	1.700,00	0,08	136,00	79,53
Subtotal B 2 SEM OS CORRETIVOS	*****	*****	****	**1.001,49**	**585,66**
B 3 - 3º ANO AGRÍCOLA					
Herbicida Dessecante (Glifosato)	L	15	6	90,00	52,63
Sementes de milho (2B433)	kg	220	1,15	253,00	147,95

Sementes de crambe (FMS Brilhante)	kg	10	15	150,00	87,72
Tratamento de sementes (Captan)	L	20	1	20,00	11,70
Fungicida (Espinosade)	L	108,00	1,17	126,36	73,89
Inseticida (Lambda-cialotrina + Thiamethoxam)	L	69,29	0,4	27,72	16,21
Herbicida (Atrazine)	L	29,64	13	385,32	225,33
Adubo (08-28-16)	tonelada	820,00	0,35	287,00	167,84
Adubo cobertura (uréia)	tonelada	1.690,00	0,4	676,00	395,32
Subtotal B 3	*****	*****	****	2.015,40	1.178,59
Subtotal B 1+2+3	*****	*****	****	4.733,57	2.768,17
Custo operacional efetivo (C.O.E)	*****	*****	****	8.415,99	4.921,63
CUSTO OPERACIONAL TOTAL (COT)	*****	*****	****	**8.682,72**	**5.077,61**
Controle	*****	*****	****	8.415,99	4.921,63
Calcário	*****	*****	****	8.622,19	5.042,22
Silicato	*****	*****	****	9.009,99	5.269,00
RECEITA BRUTA SISTEMA (arroz)					
Controle	kg	0,72	2095	1.513,99	885,37
Calcário	kg	0,72	3060	2.211,36	1.293,19
Silicato	kg	0,72	3620	2.616,05	1.529,86
RECEITA BRUTA SISTEMA (mamona)					
Controle	kg	1,25	1794	2.242,80	1.311,58
Calcário	kg	1,25	2096	2.620,35	1.532,37
Silicato	kg	1,25	2040	2.550,34	1.491,43
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)					
Controle	kg	0,70	2641	1.836,82	1.074,16
Calcário	kg	0,70	3162	2.199,17	1.286,06
Silicato	kg	0,70	3275	2.277,76	1.332,02
RECEITA BRUTA SISTEMA (sorgo)					
Controle	kg	0,32	2538	819,77	479,40
Calcário	kg	0,32	3801	1.227,72	717,97
Silicato	kg	0,32	3761	1.214,80	710,41
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)					
Controle	kg	0,46	7923	3.637,98	2.127,47
Calcário	kg	0,46	13605	6.246,96	3.653,19
Silicato	kg	0,46	13468	6.184,06	3.616,41
RECEITA BRUTA SISTEMA (crambe)					
Controle	kg	0,67	700	470,52	275,16
Calcário	kg	0,67	1274	856,34	500,78
Silicato	kg	0,67	1428	959,85	561,32
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	13.895,55	8.126,05
Controle	*****	*****	*****	10.521,87	6.153,14
Calcário	*****	*****	****	15.361,91	8.983,57
Silicato	*****	*****	****	15.802,87	9.241,44
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	*****	*****	****	**5.212,83**	**3.048,44**

Controle	*****	*****	****	**2.105,88**	**1.231,51**
Calcário	*****	*****	****	**6.739,72**	**3.941,36**
Silicato	*****	*****	****	**6.792,88**	**3.972,45**

Valor do dólar comercial = R$1,71 (17 de fevereiro de 2012).