

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLANTAS DE COBERTURA E CALAGEM SUPERFICIAL NA FASE DE
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM REGIÃO DE
INVERNO SECO.**

EDUARDO DO VALLE LIMA

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

BOTUCATU-SP
Setembro - 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLANTAS DE COBERTURA E CALAGEM SUPERFICIAL NA FASE DE
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM REGIÃO DE
INVERNO SECO.**

EDUARDO DO VALLE LIMA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

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

BOTUCATU-SP
Setembro - 2004

BIOGRAFIA DO AUTOR

Eduardo do Valle Lima, nascido em Belém do Pará, no dia 12 de dezembro de 1970, graduou-se no ano de 1993 em Agronomia pela então Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP), hoje Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). A partir de 1994, após Concurso Público, assumiu o cargo de Engenheiro Agrônomo da FCAP.

Em 1999 iniciou curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Agricultura, na Faculdade de Ciências Agronômicas / UNESP – Campus de Botucatu (SP). No dia 11/04/2001 obteve o título de Mestre, com a menção de “Distinção e Louvor”, cujo título da Dissertação foi: “Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e à calagem superficial na implantação do sistema de semeadura direta”. Desenvolvendo a mesma linha de pesquisa, realizou o curso de Doutorado, obtendo o título de Doutor em 10/09/2004.

Deve ser ressaltado que de 1999 a 2004, durante o curso de Pós-Graduação, publicou mais de 50 trabalhos na forma de resumos simples, expandidos ou em anais de diferentes congressos ou reuniões científicas. Além disso, também publicou aproximadamente 15 artigos na íntegra, em diferentes periódicos de divulgação científica, com reconhecida política editorial.

Recentemente foi aprovado em concurso público para o cargo efetivo de Professor Assistente da UFRA, na Disciplina de Produção de Forragens, desenvolvendo suas atividades no Curso de Graduação de Zootecnia, campus de Parauapebas (PA).

A DEUS, pela benção da vida;

Aos meus pais;

Palmélia do Valle Lima

&

Emanuel Vitelli Lima;

Pelo início e formação da minha vida:

OFEREÇO

Em especial à minha esposa;

Patrícia Leitão Lima;

Continuação da minha vida:

DEDICO

“É claro que falhas sempre vamos apresentar, afinal somos humanos e passíveis de erros. No entanto, o que vale é o esforço daqueles que sempre procuram melhorar algo em si e para todos, por menores que sejam as atitudes. Assim, a busca por novas conquistas deve ser o limite no horizonte de cada um, sempre objetivando um mundo melhor”.

Eduardo do Valle Lima

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Nazaré pelas graças concedidas em todas as etapas da minha vida, fundamentalmente na caminhada para obtenção do título de Doutor;

Em especial a minha mãe, a quem devo a alegria de viver, por todo apoio durante a realização do curso que, apesar da distância, sempre com amor, carinho, orações e atitudes práticas me ajudou, vibrando a cada passo do meu caminho;

Ao meu pai, pelo início e formação da minha vida, sempre com pensamentos positivos e palavras de estímulo em todos os momentos;

A minha esposa, pela presença em todos os momentos, por toda compreensão, paciência, carinho, apoio, amor e alegria, além de sua valiosa contribuição profissional, sempre acreditando na minha capacidade;

Ao meu amigo Altir Raymundo dos Santos Carneiro, por toda a presteza, carinho e atenção em resolver como procurador os problemas na minha cidade;

A Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP), hoje Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pela liberação concedida para realização do curso;

Ao Prof. Manoel Malheiros Tourinho, Reitor Pró-Tempore da UFRA, pelo total apoio à concretização do meu afastamento e realização de um sonho, sempre me orientando, incentivando e acreditando no meu potencial;

Ao programa da CAPES/PICDT/UFRA, pela concessão de bolsa de estudo, apoio financeiro fundamental na capacitação de técnicos e professores das Instituições de Ensino de Nível Superior deste país;

A Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, UNESP, pelo excelente Curso de Pós-Graduação oferecido;

Ao Departamento Produção Vegetal, Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal da FCA/UNESP, pela oportunidade em realizar o curso de Doutorado e a conseqüente efetivação desta Tese;

A Fazenda da FCA e ao PRONEX, que possibilitaram as condições físicas e financeira para o desenvolvimento do projeto de tese;

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela orientação, apoio e dedicação, como professor e pesquisador, amigo e companheiro de todas as horas, exemplo de caráter e trabalho;

A todos os professores e funcionários da FCA, pela atenção e colaboração na condução dos trabalhos, o que possibilitou o desenvolvimento desta tese, destacando-se o Prof. Dr. João Nakagawa pelo exemplo de vida, profissional sério e competente, mas sempre humilde, educado e solidário com todos;

Aos colegas de curso, pelo convívio saudável, aprendizado compartilhado e sugestões profissionais prestadas, em especial aos amigos Juliano Corulli Corrêa, Elza Alves, Marcelo Rocha Corrêa e Rogério Peres Soratto;

A todos estagiários que de alguma forma colaboraram durante a condução deste trabalho, em especial ao Bolsista de Iniciação Científica (PIBIQ) Clayton Felipe Barella, hoje Eng. Agr. inserido no mercado de trabalho, pelo auxílio fundamental na execução das análises laboratoriais;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, participaram da realização deste trabalho de tese.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA	08
4.1 Plantas de cobertura para o sistema de plantio direto.....	08
4.2 Sistema de plantio direto e calagem superficial	12
4.3 Cultivo em safrinha	19
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
5.1 Localização da área experimental e caracterização do local	23
5.2 Delineamento experimental e tratamentos empregados	24
5.3 Espécies de cobertura vegetal.....	25
5.4 Cultivar de soja e híbrido de milho	27
5.5 Instalação e condução do experimento.....	27
5.5.1 Primeiro ano agrícola (1999/00).....	29
5.5.2 Segundo ano agrícola (2000/01).....	32
5.5.3 Terceiro ano agrícola (2001/02).....	35
5.6 Obtenção dos dados	36
5.6.1 Produção de matéria seca, teor e acúmulo de macronutrientes e relação C/N das coberturas vegetais.....	36
5.6.2 Composição química, soma de cátions e condutividade elétrica dos extratos das coberturas vegetais.....	37
5.6.3 Alterações dos atributos químicos do solo	38
5.6.4 Calcário residual	39
5.6.5 Teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar da soja e do milho	40
5.6.6 Produtividade de grãos da soja e do milho	41
5.7 Análise estatística	41

SUMÁRIO

	Página
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
6.1 Cobertura vegetal.....	42
6.1.1 Quantidade e qualidade dos resíduos vegetais.....	42
6.1.2 Reciclagem de nutrientes.....	58
6.2 Fertilidade do solo	66
6.2.1 Atributos químicos	66
6.2.2 Calcário residual	87
6.3 Teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar.....	93
6.4 Produtividade de grãos.....	108
7 CONCLUSÕES.....	114
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento. Botucatu-SP, 1999.....	24
2 Análise química e física do corretivo de acidez do solo utilizado no experimento. Botucatu-SP, 1999.	31
3 Atributos químicos do solo por tratamento, na profundidade de 0-20 cm, antes da reaplicação superficial de calcário e quantidade necessária do corretivo para elevar a $V\% = 70$. Botucatu-SP, 2001.....	34
4 Produção de matéria seca, teor de N, relação C/N, soma de cátions (\sum Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica (CE) da parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 1999-2000.....	53
5 Composição química dos extratos vegetais extraídos da parte aérea das plantas de coberturas. Botucatu-SP, 1999-2000.....	54
6 Produção de matéria seca, teores de N e relação C/N da parte aérea das coberturas vegetais, aos 56 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2000.....	54
7 Produção de matéria seca, teor de N, relação C/N, soma de cátions (\sum Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica (CE) da parte aérea das coberturas vegetais, aos 50 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2001.....	55
8 Composição química dos extratos vegetais extraídos da parte aérea das plantas de coberturas. Botucatu-SP, 2001.....	57
9 Soma de cátions (\sum Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica (CE) de extratos vegetais extraídos da parte aérea de painço, aos 50 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2001.....	58

Tabela	Página
10 Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 1999-2000.....	62
11 Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 56 dias após a emergência, em sistema de semeadura direta. Botucatu-SP, 2000.	63
12 Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 50 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2001.....	64
13 Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para acúmulo de N, K e Mg das plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2001.....	65
14 Coeficiente de correlação simples (r) entre os teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com resina trocadora de íons e por meio de extrato de cloreto de potássio, após 19 meses da calagem superficial (tratamento com calcário), no perfil do solo Botucatu-SP, 2001.....	91
15 Diagnose foliar de macronutrientes no estágio R2 da soja, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.....	102
16 Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para teor de Mg da soja no estágio R2. Botucatu-SP, 2000.....	103
17 Diagnose foliar de macronutrientes no estágio 5,0 do milho, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2001.....	104
18 Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para teor de N e Ca do milho no estágio 5,0. Botucatu-SP, 2001.....	105
19 Diagnose foliar de macronutrientes no estágio 5,0 do milho, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2002.....	106
20 Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para teor de N, K e Ca do milho no estágio 5,0. Botucatu-SP, 2002.....	107
21 Produtividade dos cultivos em safrinha durante os três anos de condução do experimento, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
<p>1 Temperaturas máximas (—) e mínimas (—), e precipitação pluvial (■) durante o primeiro período de condução do experimento. A condução das coberturas vegetais (CV) foi iniciada em 16/12/99 e a dessecação (D) em 14/02/00; a semeadura da soja (S) foi realizada em 28/02/00, com emergência (E) em 02/03/00, florescimento (F) em 24/04/00 e colheita (C) em 03/07/00. Botucatu-SP.....</p>	28
<p>2 Temperaturas máximas (—) e mínimas (—), e precipitação pluvial (■) durante o segundo período de condução do experimento. A condução das coberturas vegetais (CV) foi iniciada em 22/09/00 e a dessecação (D) em 24/11/00; a semeadura do milho (M) foi realizada em 08/01/01, com emergência (E) em 13/01/01, florescimento (F) em 14/03/01 e colheita (C) em 05/06/01. Botucatu-SP.....</p>	28
<p>3 Temperaturas máximas (—) e mínimas (—), e precipitação pluvial (■) durante o terceiro período de condução do experimento. A condução das coberturas vegetais (CV) foi iniciada em 11/10/01 e a dessecação (D) em 04/12/01; a semeadura do milho (M) foi realizada em 24/01/02, com emergência (E) em 29/01/02, florescimento (F) em 18/03/02 e colheita (C) em 13/06/02. Botucatu-SP.....</p>	29
<p>4 Quantidade de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura sobre o solo, nos tratamentos com e sem calagem, em função do tempo após a dessecação. Botucatu-SP.....</p>	56
<p>5 Valores de pH no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....</p>	78
<p>6 Teores de H + Al no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....</p>	79

Figura	Página
7 Teores de Ca no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	80
8 Teores de Mg no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	81
9 Teores de K no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	82
10 Teores de M. O. no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	83
11 Valores de V% no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	84
12 Teores de Al no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	85
13 Teores de NO_3^- no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.....	86
14 Calcário residual no perfil do solo, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após 19 meses da aplicação (médias dos tratamentos com calcário). Botucatu-SP.....	90
15 Calcário residual no perfil do solo, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após 8 meses da reaplicação (médias dos tratamentos com calcário). Botucatu-SP.....	92

1 RESUMO

Atualmente vem existindo interesse na calagem superficial, sem prévia incorporação, para implantação do sistema de plantio direto (SPD). Dessa forma, objetivou-se avaliar a quantidade, a qualidade e os efeitos de resíduos de diferentes plantas de cobertura, com e sem calagem superficial, sobre os atributos químicos no perfil do solo e as respostas do milho e da soja, no SPD em fase de implantação em região de inverno seco. O experimento foi realizado nos anos agrícolas de 1999/00, 2000/01 e 2001/02 na FCA/UNESP-Botucatu (SP), em Nitossolo Vermelho Distroférico. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos tratamentos de cobertura vegetal, sendo: 1-sorgo de Guiné vermelho, 2-sorgo de Guiné branco/preto, 3-milheto, 4-painço, 5-vegetação espontânea e 6-sem vegetação. Nas subparcelas foram admitidos dois níveis de saturação por bases: A- a original do solo e B- visando a elevação da V% a 70 (recebendo inicialmente uma aplicação superficial de calcário e posterior reaplicação). Foi utilizado um calcário dolomítico faixa D (filler). As coberturas vegetais foram dessecadas aos 53, 56 e 50 dias após a emergência, nos três anos agrícolas, seguindo-se de um cultivo de soja e dois de milho em

safrinha, respectivamente. Para as coberturas vegetais foram avaliadas a produção de matéria seca (M.S.), teor e acúmulo de macronutrientes e relação C/N, além da composição química, soma de cátions (\sum Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica dos extratos vegetais da parte aérea. Para a soja e o milho, realizou-se a diagnose foliar de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e determinou-se a produtividade de grãos. Com relação ao solo, as amostragens foram realizadas a 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 5 meses e 19 meses da calagem superficial e 8 meses após a reaplicação do corretivo. Determinou-se o pH (CaCl_2), a acidez potencial (H+Al), os teores de Ca, Mg e K trocáveis, os teores de matéria orgânica (M.O.), a saturação por bases (V%), o teor de Al^{3+} e o teor de NO_3^- no solo. Nas mesmas amostras de solo, também foi efetuada a determinação do calcário residual (Ca e Mg não trocáveis), aos 19 meses da calagem superficial e aos 8 meses da reaplicação. O milheto, na primavera-verão, apresentou elevado potencial para produção de M.S., persistência da palhada e reciclagem de nutrientes em curto período de desenvolvimento. O painço, além de possibilitar a colheita dos grãos, destacou-se como o resíduo vegetal, associado à calagem, mais eficaz na neutralização de H+Al e no acúmulo de Ca, Mg e K na camada de 0-5 e 5-10 cm. As coberturas vegetais não afetaram a produtividade de grãos das culturas, enquanto a calagem superficial proporcionou incrementos na produtividade de milho, assim como na produtividade acumulada. A aplicação superficial de calcário na implantação do sistema de plantio direto proporcionou atuação efetiva na correção da acidez do solo até 40 cm de profundidade, quando comparado ao tratamento sem calagem, após cinco meses. É possível instalar o SPD, em região de inverno seco, em solos anteriormente cultivados no sistema convencional de preparo, mediante aplicação de calcário na superfície. A presença de ânions solúveis como nitrato promove rápida lixiviação de bases no perfil do solo. O método do calcário residual, aliado aos atributos químicos do solo, pode auxiliar na identificação do momento necessário de reaplicação do calcário em SPD, embora necessite de mais pesquisas.

GROUND COVER PLANTS AND SURFACE LIMING DURING NO-TILL IMPLEMENTATION IN A DRY-WINTER REGION. Botucatu, 2004. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: EDUARDO DO VALLE LIMA

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

2 SUMMARY

Interest has been on the rise toward surface liming, without previous incorporation, during no-till system implementation. The objective was thus to evaluate the amount, quality, and effects of residues of different ground cover plants, either with or without surface liming, on the soil profile's chemical attributes, and the responses of corn and soybean, under no-till system at the implementation stage in a dry-winter region. The experiment was conducted during the 1999/00, 2000/01, and 2001/02 cropping seasons at FCA/UNESP-Botucatu (SP), on a Red Nitosol (Alfisol). The experimental design was organized as random blocks, with split-plots and four replicates. Plots consisted of ground cover plant treatments, as follows: 1-red broomcorn millet, 2- white/black broomcorn millet, 3- millet, 4- fall panicum, 5-spontaneous vegetation, and 6-no vegetation. Two base saturation levels were admitted in the subplots: A- the soil's original value, and B- a value that would raise V% to 70 (initially receiving one surface lime application and a later reapplication). Ground cover plants were desiccated at 53, 56, and 50 days after emergence, in the three cropping years, followed by a soybean short crop and two corn short crops, respectively. Ground cover plants were evaluated for dry matter production (D.M.), content and accumulation of macronutrients, and C/N ratio, in addition to chemical composition, sum of cations (\sum Ca, Mg, Mn, K, and Na), and electric conductivity of plant extracts from the aerial part. Soybean and corn were diagnosed for leaf macronutrients (N, P, K, Ca, and Mg), and their grain productivity was determined. With regard to the soil, samplings were collected at 0-5, 5-10, 10-20, and 20-40 cm depths, 5 months and 19 months after surface liming, and 8 months after reapplication of lime. Determinations included pH (CaCl_2), potential acidity (H+Al),

exchangeable Ca, Mg, and K contents, organic matter contents (O.M.), base saturation (V%), Al^{3+} content, and NO_3^- content in the soil. Residual lime determination (non-exchangeable Ca and Mg) was performed for the same soil samples 19 months after surface liming and 8 months after reapplication. Millet in the spring-summer season showed high potential for D.M. production, trash persistence, and nutrient recycling in a short development period. Fall panicum, in addition to yielding a grain harvest, was prominent as the most effective residue, in association with liming, in neutralizing H^+ and with regard to Ca, Mg, and K accumulation in the soil profile. Plant mulches did not affect the grain productivity of crops, while surface liming provided corn productivity increases, as well as accumulated productivity gains. The surface application of lime when implementing no-till system was efficient to correct soil acidity until a 40 cm depth after five months. The no-till system can be installed in a region with dry winters in soils previously cultivated under the conventional tillage system, by means of lime applied to the surface. The presence of soluble anions as nitrate promotes rapid leaching of bases with a corrective action on acidity in the soil profile. The residual lime method, in association with the soil's chemical attributes, can aid in the identification of the moment when lime reapplication is necessary in the no-till system.

Keywords: *Glycine max*, *Zea mays*, plant residue, acidity, soil fertility, organic complexes, cation mobility.

3 INTRODUÇÃO

A acidez dos solos é um dos principais problemas da agricultura nos trópicos, característica da maioria das áreas agricultáveis do Brasil, acarretando em baixa quantidade de bases trocáveis e alta saturação por Al, que dificultam as altas produtividades das culturas anuais, notadamente a soja e o milho. Essas propriedades químicas podem ser alteradas com a calagem, que é uma prática utilizada, tanto para correção de acidez do solo e eliminação da toxidez do Al, quanto para o fornecimento de Ca e Mg.

No sistema de plantio direto (SPD), a correção do solo é realizada mediante distribuição do calcário na superfície, sem incorporação, visando à manutenção dos benefícios químicos, físicos e biológicos obtidos pelo sistema, embora é sabido que se trata de um produto de baixa solubilidade em água e que, para reagir, deva entrar em máximo contato com as partículas do solo. Em áreas onde o SPD já se encontra estabelecido (4 ou 5 anos após a implantação), a calagem superficial tem permitido evidenciar a ação benéfica dos produtos de sua dissolução, atuando nas primeiras camadas abaixo da superfície do solo em diferentes condições de solo e clima.

No sistema de plantio convencional ou na fase de implantação do SPD, a correção da acidez pressupõe a incorporação do calcário ao solo com aração e gradagens, para proporcionar o máximo contato entre as partículas do corretivo com os colóides do solo. Entretanto, vem existindo grande interesse para implantação do SPD, sem incorporação prévia do calcário, não havendo a necessidade de promover o revolvimento inicial do solo, realizando-se a calagem superficial desde o estabelecimento, principalmente em áreas já cultivadas no sistema de plantio convencional e na implantação da integração agricultura-pecuária sobre pastagens degradadas. As vantagens desse procedimento estariam relacionadas à manutenção da estrutura do solo, proporcionando maior controle da erosão e economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo.

A busca de formas alternativas para que a aplicação superficial de calcário, no SPD recém instalado, tenha atuação efetiva em profundidade no perfil do solo e o entendimento dos prováveis mecanismos que levariam os produtos de sua dissolução a atuarem em subsuperfície, tornam-se de grande interesse. Nesse contexto, há a possibilidade do uso de plantas de cobertura antecedendo as culturas principais, que produzem resíduos vegetais em quantidade e qualidade capazes de melhorar alguns atributos químicos do solo, principalmente quando associadas à calagem superficial.

Recentemente, vem sendo constatado que compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular liberados pelos resíduos vegetais desempenham papel fundamental na química dos solos ácidos (ácidos orgânicos). Observa-se também que o efeito do resíduo vegetal na mobilidade dos produtos da dissolução do calcário no solo varia com a espécie de planta.

Outro aspecto importante a ser considerado na eficiência da calagem superficial é o efeito residual. Os cálculos da necessidade de calagem para o SPD são, na maioria das vezes, ainda baseados dentro das técnicas convencionais de preparo do solo, onde o poder relativo de neutralização total (PRNT), índice onde já está contida a reatividade, é levado em conta. Ressalta-se que o valor de reatividade indica a capacidade neutralizante no curto período de 3 meses, como prevê a legislação brasileira atual. É possível que a médio e a longo prazo, a capacidade neutralizante deva ser maior, condicionada por uma série de fatores ligados ao sistema de produção adotado e ao ambiente. Assim, provavelmente no SPD o calcário apresenta

reação mais lenta, que pode estar associada à não movimentação do solo, e maior poder residual, que, quanto mais longo, maior é o retorno econômico em função do maior intervalo entre uma aplicação e outra.

Para que essa avaliação do efeito residual seja efetiva, novos métodos de análise química de solos, como a determinação do calcário residual no transcorrer do tempo (corretivo remanescente que ainda não reagiu), deve ser realizado, difundindo-se essa metodologia como opção no acompanhamento da dissolução do corretivo aplicado, devendo ser testada, questionada, modificada e discutida no meio científico.

Uma outra situação de interesse a ser observada é a resposta da soja e do milho em safrinha, num SPD em fase de instalação. Neste contexto, não deve ser esquecida a relação positiva existente entre o SPD e o cultivo em safrinha, onde o primeiro possibilita a imediata semeadura, pela eliminação das operações de preparo do solo, diminuindo os riscos climáticos do período, além de proporcionar maior retenção de água, e o segundo proporciona a produção de fitomassa, em quantidade e qualidade, para a manutenção desse sistema de cultivo conservacionista.

O presente trabalho objetivou avaliar a quantidade, a qualidade e os efeitos de resíduos de diferentes plantas de cobertura, com e sem calagem superficial, sobre os atributos químicos no perfil do solo e as respostas da soja e do milho, no SPD em fase de implantação, em região de inverno seco.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Plantas de cobertura para o sistema de plantio direto

O retorno de material orgânico ao solo é prática essencial para garantir a sustentabilidade de qualquer atividade agrícola produtiva na região tropical, em especial em agroecossistemas intensivos (Primavesi et al., 2002). Entretanto, nas regiões tropicais, são poucos os trabalhos de pesquisa sobre este assunto (Pereira, 1990), onde o clima favorece a rápida decomposição dos restos culturais, devendo-se, então, atentar para a quantidade e persistência dos resíduos vegetais (Primavesi et al., 2002). Neste sentido, um fator determinante do sucesso do sistema de plantio direto (SPD) é a escolha da espécie de cobertura do solo (Argenta et al., 2001).

Portanto, é fundamental a seleção de coberturas vegetais, com a finalidade de proteção superficial do solo, formação de palhada, bem como reciclagem de nutrientes, com impacto direto na fertilidade do solo e na resposta das culturas subseqüentes ou em rotação. A cobertura vegetal contribui efetivamente para a proteção do solo, assim como a manutenção de

resíduos vegetais na superfície do solo em SPD, diminuem o impacto direto de gotas de chuvas, melhoram a estrutura do solo pela adição de matéria orgânica (M.O.), reduzem a velocidade das enxurradas, protegem o solo da radiação solar, diminuem a variação térmica do solo, reduzem a evaporação de água, favorecem o desenvolvimento de microrganismos e ajudam no controle de plantas daninhas (Possamai, 2001; Rosolem et al., 2003). Quanto à reciclagem de minerais pelas plantas de cobertura, as mesmas constituem-se em considerável reserva de nutrientes, cuja disponibilidade pode ser rápida e intensa, dependendo dentre outros fatores, do regime de chuvas, da espécie empregada e do tipo de solo (Primavesi et al., 2002; Rosolem et al., 2003).

A formação de palhada representa a essência do SPD, que se caracteriza pela produção e manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo não revolvido (Bartz, 1998; Ceretta et al., 2002). Neste sistema de cultivo os restos de plantas podem ser deixados superficialmente, sem a mobilização do solo, pois a incorporação se daria por via biológica. Isso reforça a preocupação de produzir resíduos vegetais que tenham decomposição mais lenta, o que significa manter o resíduo protegendo o solo por maior período de tempo (Ceretta et al., 2002). Com o transcorrer do tempo, o acúmulo de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento resultam em complexas modificações na fertilidade do solo (Caires, 2000). Portanto, o sucesso do plantio direto como sistema de produção agrícola está diretamente relacionado com as alterações observadas na dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais (Franchini et al., 2001a).

As coberturas vegetais podem exercer efeitos positivos e negativos sobre o desenvolvimento de plantas, sendo que, a escolha das espécies para compor um programa de rotação e sucessão de culturas deve levar em conta, entre outros fatores, o seu objetivo. Para cobertura vegetal do solo e suprimento inicial de palhada, deve-se optar por espécies de gramíneas com elevada capacidade de produção de matéria seca (M.S.), facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez na formação da cobertura, eficiente reciclagem, funcionando como fonte de nutrientes, ciclo adequado, características ecofisiológicas da espécie compatíveis ao local de cultivo e possibilidade de retorno financeiro (Argenta et al., 2001).

No caso da escolha de espécies leguminosas para cobertura vegetal, as mesmas possuem capacidade de fixar N atmosférico por meio de simbiose com bactérias

específicas e, desta forma, elevar a disponibilidade desse nutriente no solo, sendo uma característica positiva para beneficiar a cultura em sucessão (Mascarenhas et al., 2003). Contudo, espécies dessa família são pouco utilizadas como plantas de cobertura em SPD, sendo mais empregadas como adubos verdes, devido ao desenvolvimento inicial lento, maior custo na aquisição de sementes e, principalmente, em função da alta taxa de decomposição de seus resíduos, o que deixa o solo desprotegido rapidamente (Argenta et al., 2001). A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação C/N do tecido, por isso espécies não gramíneas possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com as gramíneas (Ceretta et al., 2002).

Dispõe-se de várias espécies de cobertura de solo com características adequadas para o SPD, beneficiando os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, e acarretando em satisfatória produtividade de grãos dos cultivos em sucessão (Argenta et al., 2001). Dentre elas, pode-se citar o milheto, o sorgo e o painço.

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 a 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. A produção de M.S. pode chegar entre 10 a 15 t ha⁻¹, dependendo da cultivar e do ambiente (Pereira, 1990). 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 M.S., que vem possibilitando o sucesso do SPD. No mesmo estado, Pereira (1990) chegou a obter 9,2 t ha⁻¹ de M.S. no florescimento, aos 50 dias após a emergência (DAE). A simples adição de resíduo vegetal de milheto, proporcionou o aumento de pH e a redução de Al, quando comparado ao solo sem vegetação.

O sorgo, planta anual, de porte ereto, cuja altura pode variar de 1 a 5 m, dependendo do genótipo e do ambiente de cultivo, pertencente à família das gramíneas, caracteriza-se pela grande produção de M.S. e grãos de constituição semelhante a do milho,

destaca-se nas regiões onde a disponibilidade de água é reduzida ou a distribuição das chuvas é irregular, apresentando maior resistência à seca do que o milho (Mateus, 2003).

Existem centenas de variedades de sorgo e entre elas a ocorrência de híbridos. Estes materiais basicamente são divididos em quatro grupos: sorgos graníferos, sacarinos, forrageiros e de vassoura, de acordo com a predominância das características econômicas de interesse. Desta forma, apenas cultivares selecionadas e híbridos podem ser tipificados em um dos quatro grupos, ficando grande número de variedades selvagens sem caracterização, que acabam sendo identificadas como plantas daninhas. Daí a importância em se estudar variedades ou espécies desconhecidas, que apresentem potencial para servir como cobertura vegetal do solo, como é o caso do sorgo de Guiné vermelho e do sorgo de Guiné preto, vulgarmente conhecidos como sorgo gigante, e do sorgo de Guiné branco, chamado de sorgo anão. Recentemente, segundo Mateus (2003), o sorgo de Guiné vem se destacando com alta produção de matéria seca e elevada reciclagem de nutrientes, demonstrando ser um material promissor para utilização em SPD, por proporcionar melhoria nas características físico-químicas do solo. Segundo esse mesmo autor, o sorgo de Guiné apresenta sensibilidade ao fotoperíodismo, devendo-se, por isso, atentar para a data de semeadura, pois caso a mesma seja tardia (em safrinha) reduz-se o desenvolvimento da planta, tendo como consequência menor produção de matéria seca, forragem ou grão.

O painço (*Panicum dichotomiflorum* Mix.), é uma gramínea de ciclo anual, com sistema radicular superficial e altura entre 0,60 a 1,20 m, que vem sendo cultivado em algumas regiões do estado de São Paulo com a finalidade de exploração econômica dos grãos, para utilização na alimentação animal, principalmente de pássaros (Zancanella et al., 2003). É também empregado na indústria cervejeira misturado em pequena proporção com a cevada. Ainda pouco conhecido pelos agricultores brasileiros e de reduzida expressão econômica, quando comparado às culturas tradicionais, o painço está sendo experimentado como cobertura vegetal do solo no SPD. Assim, em função do pequeno ciclo (60 a 95 dias), que varia em função da temperatura ambiente e da variedade utilizada, pode ser uma espécie interessante para o período de primavera, pois além da produção de palhada, haveria tempo suficiente para colheita dos grãos, não atrasando a época ideal de semeadura da cultura de verão. Também, por

apresentar um ciclo curto, essa cultura é considerada uma alternativa de rotação, principalmente na safrinha (Zancanella et al., 2003).

Considerando o elevado potencial de produção de M.S., além das espécies de cobertura, há as vegetações espontâneas, também chamadas de plantas invasoras, nos sistemas de produção agrícola. Assim com a elevada reciclagem de nutrientes e o alto potencial de liberação de compostos orgânicos no solo, há interesse em utilizar essas plantas para melhorar a eficiência da calagem superficial na correção da acidez de superfície e de subsuperfície em SPD (Meda et al., 2002). Em razão desta possibilidade, diversos trabalhos foram e vem sendo desenvolvidos, tanto em laboratório, quanto em condições de campo, visando avaliar a capacidade dos resíduos vegetais na mobilização da frente alcalina da calagem efetuada em superfície. No trabalho de Meda et al. (2002), a vegetação espontânea, manejada em solo ácido, apresentou potencial para mobilização da frente alcalina da calagem superficial, possibilitando a extensão dos seus efeitos para subsuperfície do solo.

4.2 Sistema de plantio direto e calagem superficial

A acidez é uma característica generalizada dos solos agricultáveis no Brasil, causando principalmente diminuição na disponibilidade de cátions nutrientes (Ca, Mg e K) e aumentando a solubilidade de cátions tóxicos (H, Al e Mn) (Franchini et al., 2001a e b). Esse fato deve-se a maior presença de Caulinita, principal componente da fração mineral em solos ácidos, que é uma argila de pequena atividade, com baixa densidade de cargas superficiais devido a pouca ocorrência de substituição isomórfica (Miyazawa et al., 2000). Assim, independente do sistema de cultivo adotado há a necessidade da adição de calcário, pois os solos tropicais cultiváveis em sua maioria são ácidos, possibilitando-se a correção desse problema.

Com a prática da calagem podem ser neutralizados H e Al, liberando cargas que serão ocupadas por Ca e Mg (Miyazawa et al., 2000). O calcário, por ser um sal pouco solúvel, necessita inicialmente ser dissolvido para que os produtos da dissolução reajam com os elementos do solo causadores da acidez (Quaggio, 2000). No sistema convencional de cultivo ou na implantação do SPD, a correção da acidez pressupõe a incorporação do calcário ao solo com

aração e gradagens, para proporcionar o máximo contato entre as partículas do corretivo aos colóides do solo (Rheinheimer et al., 2000). Embora essa prática seja tecnicamente viável para aumentar a eficiência do calcário em profundidade, a maioria dos produtores que encontram-se realizando plantio direto, em sistemas já estabelecidos, não mais desejam mobilizar o solo para incorporar o corretivo (Moreira et al., 2001), para não interferir de forma negativa nas vantagens que foram alcançadas durante os anos de adoção desse sistema de cultivo conservacionista e por economia (Caires et al., 2000b).

Estima-se que a área sob SPD no planeta represente 0,4% do total cultivado, o que, em valor numérico, significa 55 milhões de ha, estando 82% no continente americano (Mello et al., 2003). No Brasil calculou-se que a área ocupada com SPD foi de aproximadamente 13 milhões de ha no ano de 2000, o que representou quase 24% do total no mundo. O SPD pode ser dividido em duas fases, sendo a de implantação, correspondente aos primeiros 4 ou 5 anos após o início do sistema, e a de estabilidade, onde claramente são observadas alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Mello et al., 2003).

A calagem, em áreas onde o SPD encontra-se estabelecido, é realizada na superfície do solo (Caires et al., 1999). Isto tem gerado intenso questionamento no meio agrônomo, quanto à eficiência ou não dessa prática (Caires et al., 2000a), pois os materiais corretivos da acidez são pouco solúveis em água, tendo os produtos de sua reação com o solo mobilidade limitada no perfil (Caires et al., 1998). No entanto, a aplicação superficial de calcário, sem incorporação ao solo, está se consolidando como uma prática de correção da acidez de uso geral nas áreas estabilizadas em SPD, sendo que os efeitos da neutralização da acidez do solo e o aumento da concentração de cátions básicos, são detectados na superfície e em subsuperfície do solo após períodos relativamente curtos (Petrere & Anghinoni, 2001).

Nos últimos anos, vários resultados de pesquisa têm demonstrado a formação de uma frente alcalinizante, que avança neutralizando a acidez de superfície e de subsuperfície, onde foram observados aumentos de pH, Ca trocável e redução do Al tóxico (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1998; Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000; Caires et al., 2000a; Franchini et al., 2001a). Existem indicativos de que a correção da acidez em profundidade, no SPD com aplicação de calcário superficial, ocorre em menor tempo do que o esperado, considerando-se a baixa solubilidade do calcário e a sua não incorporação ao solo

(Amaral & Anghinoni, 2001). Resultados imediatos da calagem na superfície sobre a correção da acidez no perfil do solo, independente da complexidade dos mecanismos envolvidos, foram observados após 8 meses por Oliveira & Pavan (1996) e 12 meses por Caires et al. (1998), em sistemas já estabelecidos, oferecendo suporte para que essa prática seja considerada tecnicamente viável.

Diversos mecanismos e suas ações conjuntas podem estar envolvidos na correção da acidez de subsuperfície, em SPD, pela calagem superficial (Caires, 2000), sendo as diferentes hipóteses discutidas a seguir.

A dissolução do calcário, em solos ácidos, promove 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 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas mais profundas do solo (Oliveira & Pavan, 1996; Rheinheimer et al., 2000). Entretanto, Rheinheimer et al. (2000) observaram que os efeitos da calagem só ocorreram em profundidade após o pH na zona de dissolução do calcário ter atingido valores de 5,2 a 5,5, pois enquanto existia cátions ácidos a reação de neutralização da acidez ficava limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície. Assim, para que a neutralização da acidez ocorra em subsuperfície, os produtos da dissolução do calcário devem ser arrastados para camadas inferiores.

É possível que ocorra movimentação física do calcário em profundidade, atribuída a diversos fatores. O mais conhecido é o deslocamento físico de partículas do corretivo através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de preparo convencional do solo (Oliveira & Pavan, 1996; Petreire & Anghinoni, 2001). Essa hipótese, sozinha, provavelmente não justifique os expressivos efeitos da calagem superficial em profundidade observados em diversos experimentos, principalmente quando a área encontra-se recém implantada no SPD.

A pequena mobilização do solo que ocorre somente na linha de plantio em SPD, 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).

A formação de planos de fraqueza no solo permitem o deslocamento físico de finas partículas de calcário através do movimento descendente de água (Petrere & Anghinoni, 2001). Esta água, que normalmente encontra-se enriquecida com os produtos da dissolução do calcário, responsáveis pela neutralização da acidez e aumento dos cátions de reação básica, permite 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 microorganismos é efetiva, pois são responsáveis por mais de 95% da decomposição dos resíduos vegetais ocorrida no solo, sendo que os outros 5% a fauna participa com o rearranjo dos detritos e sua desintegração, havendo com isto a incorporação dos resíduos vegetais da superfície juntamente com o calcário aplicado (Holtz & Sá, 1995).

Considerando a baixa solubilidade do calcário e a grande necessidade para corrigir a acidez do solo em subsuperfície, as contribuições da movimentação física do corretivo em profundidade devem ser pequenas, porém importantes. Acredita-se que mesmo a presença de maior número de macroporos no SPD, causados por qualquer um dos processos anteriormente descritos, não seria suficiente para explicar a acentuada movimentação do calcário aplicado em superfície. Inclusive 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 os ânions, como nitratos, sulfatos e cloretos presentes, 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., 1998; Silva & Do Vale, 2000). Embora existam estudos que demonstrem a interação entre a adubação nitrogenada e a calagem na movimentação de bases no perfil do solo, pouco tem sido pesquisado sobre a participação do íon NO_3^- no processo (Crusciol et al., 2003). Em relação ao SPD grande quantidade de NO_3^- é observada no solo, seja devido ao acúmulo de M.O., 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., 1998). Silva et al. (2000) constataram que a movimentação de Ca em profundidade no perfil do solo foi mais dependente da fertilização nitrogenada do que dos resíduos vegetais utilizados. A aplicação de N-inorgânico promove lixiviação de bases, sendo um importante processo que atua na correção da acidez no perfil do solo em áreas que recebem calagem superficial (Crusciol et al., 2003).

Recentemente discute-se a atuação dos resíduos de coberturas vegetais mortas depositados sobre o solo em SPD, pelo fato de poderem desempenhar importante papel na eficiência da calagem superficial sobre a elevação do pH, movimentação de Ca + Mg trocáveis e redução da acidez potencial (H+Al), nas camadas subsuperficiais. São os compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular liberados pelos resíduos vegetais que desempenham papel fundamental na química dos solos ácidos (Franchini et al., 1999b), sendo esses ácidos orgânicos responsáveis por promoverem as maiores alterações químicas até a camada subsuperficial dos solos (Franchini et al., 2001b). Essa melhoria química em profundidade está relacionada com o mecanismo de lixiviação proposto por Miyazawa et al. (1996). Assim, de acordo com Caires et al. (1998), na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o Ca trocável do solo, formando complexos CaL^0 ou CaL^- . A alteração da carga do Ca^{2+} facilita sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o Ca dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons Al^{3+} formam complexos mais estáveis que Ca^{2+} , diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável. Reações semelhantes também ocorrem para o Mg.

Os ligantes orgânicos hidrossolúveis com grupos funcionais hidroxílicos (CO^-) e carboxílicos (COO^-) presentes nos extratos vegetais das plantas de cobertura são responsáveis pelas alterações químicas observadas no perfil do solo. Todavia, a estabilidade desses complexos orgânicos pode ser questionada, por não ter sido constatado efeito sobre a acidez em subsuperfície após 40 meses, em trabalho realizado por Caires et al. (1999). Ácidos orgânicos naturais, como cítrico e oxálico formam complexos estáveis com o Al, do tipo anel com 5 a 6 átomos, sendo mais estável quanto maior o número dessa ligação. Já o ácido fórmico, maléico, acético e succínico formam complexos de baixa estabilidade com o Al (Caires et al., 1999).

Questiona-se, contudo, a durabilidade dos ácidos orgânicos liberados na solução do solo. A reação da fração hidrossolúvel de resíduos vegetais no solo é extremamente rápida e seus efeitos sobre a química da solução são drasticamente reduzidos pelo processo de decomposição microbiana (Franchini et al., 1999a). Embora os efeitos sejam de curta duração, os restos vegetais podem melhorar a fertilidade de solos ácidos, pelo menos na fase inicial de implantação da próxima cultura em sucessão (Caires, 2000). Segundo Caires (2000), 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, conforme mecanismo proposto por Miyazawa et al. (1996). Deve-se também ressaltar que o efeito do resíduo vegetal na mobilidade dos produtos da dissolução do calcário no solo varia com a espécie de planta e com as variedades de uma mesma espécie (Meda et al., 2002).

Em função dos diferentes mecanismos anteriormente discutidos, e suas ações integradas, poderem ser os responsáveis em levar os produtos da dissolução do calcário a atuarem em profundidade. Mello et al. (2003) constataram ser possível realizar a correção da acidez do solo por meio da calagem superficial na instalação do SPD. De acordo com esses autores, a aplicação de calcário em superfície, na instalação do SPD, alterou positivamente os atributos químicos do solo (pH, H+Al, Ca²⁺ e Mg²⁺) das camadas de 0-5 e 5-10 cm, 12 meses após a calagem. Nesse contexto, vem existindo grande interesse na busca dessa forma alternativa para implantação do SPD, sem incorporação prévia do calcário, não havendo a necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem superficial desde o estabelecimento (Caires et al., 2000b; Petrere & Anghinoni, 2001; Caires et al., 2003). As vantagens desse procedimento, segundo Caires et al. (2000b) e Caires et al. (2003), estariam relacionadas à manutenção dos atributos químicos e estruturais do solo (agregação e infiltração de água), ao maior controle da erosão e à economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo.

Esse novo conceito de implantação do SPD tem aumentado o interesse na região sul do Brasil, em áreas novas nunca antes cultivadas (Caires et al., 2003). Especificamente, no Rio Grande do Sul, esse processo está ocorrendo com a utilização de áreas de campo nativo, tradicionalmente utilizadas na criação extensiva de gado de corte, para o

cultivo de grãos (Petrere & Anghinoni, 2001). Além disso, há a possibilidade de aumento de áreas sob SPD, com a calagem superficial desde a implantação, também na região de inverno seco, em solos anteriormente cultivados pelo sistema convencional de preparo (Mello et al., 2003).

Um outro aspecto de interesse a ser observado, além da reação do calcário aplicado na superfície do solo em SPD, seria as conseqüências das alterações químicas do solo sobre a nutrição mineral e produtividade das culturas em sucessão e rotação (Caires et al., 1999). No Brasil, poucos estudos têm reportado o efeito da calagem nos teores de nutrientes nas folhas e seus reflexos na produção das culturas, sendo que, em alguns casos, os resultados são ainda contraditórios (Moreira et al., 2001).

A pesquisa por muito tempo tem procurado estudar o efeito da calagem sobre a cultura da soja, sendo a sua resposta bastante conhecida na literatura científica quando se trata de cultivo convencional (Quaggio et al., 1993), existindo dúvidas com relação à aplicação de calcário na superfície do solo em SPD, onde muitas vezes a ausência de resposta é comum (Caires et al., 1998; Caires et al., 1999). Assim, faltam informações a respeito das conseqüências das alterações químicas do solo na nutrição mineral da soja, pela calagem superficial, em SPD (Caires & Fonseca, 2000).

No caso do milho, a correção da acidez do solo é muito importante ao adequado desenvolvimento (Reis Junior, 2001), sendo vários os trabalhos que demonstram aumentos consideráveis da produção com a aplicação de calcário incorporado ao solo em sistema de plantio convencional (Ernani et al., 2000; Caires et al., 2002). Quanto à viabilidade de aplicação de calcário na superfície, têm sido verificadas respostas pouco expressivas do milho, pois mesmo sem calagem, em solos ácidos manejados sob SPD, as produtividades se mantêm altas (Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000; Caires et al., 2002), sendo esse comportamento também comum para a soja (Caires et al., 2001). As explicações, para esse comportamento, têm sido relacionada a uma série de fatores inerentes a esse sistema de cultivo, como a disponibilidade suficiente de Ca e Mg trocáveis, mesmo em condições de alta acidez (Caires et al., 1998), ou a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, aumentando o pH e proporcionando a complexação orgânica, o que reduz o efeito tóxico do Al (Caires et al., 2001; Caires et al., 2002).

Uma outra dúvida relaciona-se com a possibilidade de manter a produtividade das culturas em SPD, em áreas onde a correção da acidez havia sido adequadamente realizada antes da adoção do sistema e em áreas onde este procedimento não havia sido inicialmente adotado, tendo sido aplicado o calcário apenas na superfície do solo na implantação do sistema. Caires et al. (2003), na implantação do SPD, aplicando calcário na superfície, não observaram influência dessa prática na produção média de três cultivos de soja. Todavia, esse resultado não diferenciou do tratamento com incorporação do corretivo, o que, no mínimo, sugere a necessidade de realização de novos trabalhos com o intuito de avaliar a possibilidade do estabelecimento de culturas, no SPD, sem proporcionar revolvimento do solo.

O conhecimento da dinâmica da acidez a partir da superfície do solo, no SPD, ao longo do tempo, é necessário para estabelecer ajustes na recomendação de calagem e, fundamentalmente, na frequência de reaplicação do corretivo, pois a reacidificação é um processo que ocorre naturalmente no solo e se manifesta de forma diferenciada no plantio direto (Amaral & Anghinoni, 2001). Alguns resultados de pesquisa, principalmente na região sul do Brasil, tem revelado que a reaplicação de calcário na superfície do solo nesse sistema vem mantendo a produtividade de soja e milho nos mesmos níveis em relação à sua incorporação ao solo (Petrere & Anghinoni, 2001), devendo esse fato, também, ser avaliado nas condições das regiões de inverno seco.

4.3 Cultivo em safrinha

O milho no Brasil apresenta grande dispersão geográfica, coincidindo a época tradicional de semeadura nas áreas em que a cultura é explorada comercialmente em larga escala, com o período de verão, cujas semeaduras são efetuadas nos meses de agosto a dezembro (Vilhegas et al., 2001). A soja pode ser semeada de outubro a dezembro para o cultivo de verão, sendo que na faixa de latitude do estado de São Paulo, assim como para toda a região central e sul do Brasil, a melhor época é no mês de novembro, onde os melhores resultados de produtividade são alcançados.

Devido as frustrações dos agricultores com as culturas de inverno, principalmente em relação ao trigo, cresceu o interesse no cultivo do milho safrinha, cuja semeadura é efetuada no período de janeiro a abril (Vilhegas et al., 2001). O rápido crescimento ocorreu, principalmente, pela busca de alternativas agrícolas para o período de outono-inverno, em regiões que tradicionalmente as terras ficavam em pousio após o cultivo de verão. Nesse sentido, a necessidade do uso adequado do solo na entressafra levou ao cultivo extemporâneo do milho, denominando safrinha (Possamai et al., 2001). Portanto, o uso do solo, com maior número de cultivos por ano, tem sido intensificado para aumentar a renda dos produtores, resultando em maior produtividade acumulada por área, principalmente quando se adotam tecnologias apropriadas, com melhoria do manejo do solo, ao se empregar o SPD.

A safrinha é um cultivo de sequeiro, de risco elevado devido à variabilidade na época de semeadura, que ocorre de janeiro a abril, após a cultura de verão na região centro-sul brasileira, destacando-se os estados do Paraná e de São Paulo pelo pioneirismo e importância dada a esta época de cultivo. A safrinha atingiu maior expressão econômica, atuando como nova fonte de renda aos produtores, principalmente em relação ao milho quando semeado depois da soja. Os principais fatores que ajudam a explicar os aumentos sucessivos da área de cultivo do milho safrinha são: possibilidade do uso racional dos fatores de produção (terra, máquinas, implementos, equipamentos e mão-de-obra) no período ocioso do ano; melhores preços de comercialização do cereal e menor custo operacional (Possamai et al., 2001).

A semeadura do milho safrinha, por ser efetuada em um período em que as condições climáticas são desfavoráveis ao desenvolvimento dessa cultura, é caracterizada pela utilização, entre os produtores, de tecnologia de baixo custo, tais como, segunda geração de híbridos e controle mecânico de plantas daninhas, o que resulta em menor produtividade (Vilhegas et al., 2001). Durante o período de desenvolvimento das plantas de milho em safrinha, as variações climáticas podem ocasionar alterações em diversas características agronômicas, destacando-se os componentes da produção. Assim, à medida que se retarda a semeadura do milho, a partir da época considerada preferencial para uma dada região, ocorre a diminuição da produtividade de grãos em função da variação nos elementos climáticos, tais como precipitação (Vilhegas et al., 2001).

Contudo, a prática do cultivo de milho em safrinha tem sido viável economicamente para o produtor, tornando-se importante atividade agrícola das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, devendo-se evitar semeadura em época acentuadamente tardia, o que reduz os riscos de perdas por seca ou geadas. Neste contexto, o SPD possibilita a antecipação da semeadura em safrinha, graças ao não preparo convencional do solo. Portanto, acredita-se que a safrinha de milho é um sistema de produção viável como fonte de recursos econômicos, pois embora a produtividade seja menor e os riscos de produção sejam maiores, uma vez conhecidos e quantificados esses riscos a que está sujeita e desenvolvidas tecnologias de produção próprias, a fragilidade desse cultivo será reduzida, a produtividade aumentada e melhores preços serão obtidos na entressafra (Sans, 2000).

Com o ápice do cultivo de milho em safrinha, a expectativa é de que haja uma rotação com culturas alternativas, pois os produtores estão se conscientizando de que devem diversificar a produção, enquanto que os pesquisadores estão a procura de culturas tecnicamente viáveis em safrinha e que dêem lucro.

A soja pode ser cultivada em safrinha nos meses de janeiro a março, sabendo-se que invariavelmente, haverá redução na produção de grãos, a medida que se atrasa a época de semeadura, principalmente devido aos efeitos do fotoperíodo, associado à ação de baixas temperaturas e à falta de umidade no solo. Todavia, uma das prováveis vantagens do cultivo em safrinha, além dos benefícios que essa leguminosa traria para o sistema de cultivo como um todo, seria a coincidência da maturação e colheita com períodos climáticos mais favoráveis à obtenção de sementes de soja de melhor qualidade fisiológica e sanitária (Lazarini et al., 2001).

O fotoperíodo é responsável pela duração do ciclo biológico das cultivares de soja. A cultura da soja apresenta cultivares sensíveis ao fotoperíodo e com período juvenil longo. As sensíveis vegetam continuamente em dias longos até que a duração do período de luz, diminuindo no verão, se torne menor que o valor crítico para cada cultivar, quando se inicia a fase de floração. Assim, semeaduras tardias podem provocar formação de plantas de menor estatura e menor altura de inserção da primeira vagem, reduzindo a produtividade. Os dias mais curtos, característicos nas semeaduras em safrinha, antecipam o alcance do fotoperíodo crítico levando ao florescimento precoce.

A temperatura exerce influência sobre todas as fases do ciclo vegetativo de plantas de soja. No entanto, o efeito é maior nas fases mais avançadas, pois a safrinha é implantada no final do verão (Sans, 2000), podendo as baixas temperaturas ocorrerem nos estádios de fecundação e enchimento das vagens.

A produtividade de soja está correlacionada com a precipitação acumulada em diferentes períodos do ciclo da cultura. Segundo Marcos Filho (1986), as regiões aptas à soja são as que apresentam boa distribuição de precipitações pluviais, entre 500 a 700 mm, durante todo o ciclo da cultura. Assim, como a safrinha é um sistema de cultivo de sequeiro implantado no final do verão, a precipitação é um dos elementos determinantes do seu sucesso, onde sua importância se dá pela distribuição e, principalmente, pela quantidade (Sans, 2000).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da área experimental e caracterização do local

O experimento foi conduzido durante três anos agrícolas (1999/00, 2000/01 e 2001/02), na Fazenda Experimental Lageado, pertencente a Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP, no município de Botucatu (SP). As coordenadas geográficas da área são latitude 22° 51'S, longitude 48° 23'W e altitude de 740 m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que se caracteriza pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto & Drugowich, 1994).

O solo da área experimental é classificado como Terra Roxa Estruturada Distrófica, classe textural argilosa (Carvalho et al., 1983), atualmente NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), pertencendo ao grupo de solos com horizonte B textural (argílico). Quanto a representatividade deste solo, o mesmo ocupa 1,1% da área total do estado de São Paulo, ocorrendo principalmente em três manchas: ao longo do rio Paranapanema, região de Fartura e região de Barra Bonita que inclui Botucatu (Lepsch, 1994). A composição granulométrica do

solo, avaliada na camada de 0-20 cm de profundidade, revelou 375 g kg⁻¹ de areia, 157 g kg⁻¹ de silte e 468 g kg⁻¹ de argila. Os atributos químicos na profundidade de 0-20 cm, antes da instalação do experimento, estão apresentados na Tabela 1. Para tal, foram coletadas 20 amostras simples de solo, em área de 0,5 ha, formando-se uma única amostra composta, a qual foi analisada segundo metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983).

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento. Botucatu-SP, 1999.

Prof.	pH	M.O.	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V	N.C.*
cm	(CaCl ₂)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	mmol _c dm ⁻³	-----			%	t ha ⁻¹
0-20	4,8	23	19	55	1,8	19	13	89	38	3,1

* A necessidade de calagem foi calculada para um calcário de PRNT = 91.

A área, por vários anos, foi cultivada de modo convencional, constando de arações e gradagens. Durante o ano de 1998 permaneceu sob pousio, voltando a ser cultivada no inverno de 1999 com aveia preta (*Avena strigosa*). Quando da instalação do presente trabalho, a rebrota da aveia preta e a vegetação espontânea cobriam completamente o solo de toda área experimental.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos empregados

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas de 6 x 10 m foram constituídas pelos tratamentos de cobertura vegetal, sendo: 1-sorgo de Guiné vermelho, 2-sorgo de Guiné branco, 3-milheto, 4-painço, 5-vegetação espontânea e 6-sem vegetação, em 1999/00 e 2000/01. No ano de 2001/02, a única alteração foi a de que para o tratamento 2 cultivou-se sorgo de Guiné preto.

Posteriormente ao primeiro ano de implantação das coberturas vegetais, as parcelas foram divididas ao meio por carregadores de 50 cm, no sentido do comprimento, formando-se assim duas subparcelas de 27,5 m². Nas subparcelas foram admitidos dois níveis de saturação por bases: A- a original do solo (permanecendo sem calcário até o final do

experimento) e B- visando a elevação da V% a 70 (recebendo inicialmente uma aplicação superficial de calcário e posterior reaplicação).

5.3 Espécies de cobertura vegetal

O milheto adquirido para o primeiro e segundo cultivo (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) apresentou os seguintes padrões de qualidade da semente: germinação de 78% e teor de água de 8,8%, sendo comercialmente descritas características como altura entre 1,4 a 1,8 m e produção de M.S. de 10 a 15 t ha⁻¹, para um ciclo de 50 a 80 dias até o florescimento. No terceiro cultivo, o milheto utilizado apresentava como especificação: germinação de 73% e teor de água de 11,9%, sendo identificado pela empresa produtora de sementes como *Pennisetum glaucum* R. Br. Emend. Stuntz, sem cultivar definido. No Brasil, pelo fato do interesse neste gênero ser recente e o milheto aparentemente apresentar grande variabilidade genética, parece que os germoplasmas disponíveis no mercado ainda não estão bem identificados. Alguns autores consideram o *Pennisetum americanum* e o *Pennisetum glaucum* como sendo a mesma espécie.

Os sorgos de Guiné utilizados são materiais originados do oeste do continente africano, sendo os três grupamentos de genes, pool vermelho, pool preto e pool branco, classificados como *Sorghum bicolor* Moench., raça Guiné. Os padrões médios de qualidade das sementes nos três cultivos foram: sorgo vermelho germinação de 89% e teor de água a 9,5%; sorgo preto germinação de 60% e teor de água a 13,4% e sorgo branco germinação de 50% e teor de água a 10,7%. Plantas de sorgo de Guiné vermelho e preto conduzidas até a produção podem atingir 5 m de altura, o que dá origem ao nome vulgar de sorgo gigante. O sorgo de Guiné branco, pela menor velocidade de crescimento e menor altura, também é chamado de sorgo anão. Resultados obtidos por Bairrão (1989) indicam produções de 8,7 t ha⁻¹, para o sorgo branco, e de 9,1 t ha⁻¹, para o sorgo vermelho, de M.S. avaliada durante o período de florescimento.

As variedades de painço (*Panicum dichotomiflorum* Mix.) utilizadas apresentam como época normal de plantio (safra verão) os meses de setembro a dezembro,

podendo também serem cultivadas em safrinha de janeiro até a primeira quinzena de março (Zancanella et al., 2003). A variedade chatinho, empregada no primeiro e segundo ano de instalação do experimento, apresenta como características inerentes: tipo de grão achatado, de coloração creme e diâmetro de 1 a 2 mm; altura de planta de 1,00 a 1,20 m; emborrachamento entre 40 a 45 dias; perfilhamento médio; ciclo de 70 a 80 dias e produtividade variando de 800 a 1.700 kg ha⁻¹. Já a variedade verde, utilizada no último ano, possui como características: tipo de grão ovalado, de coloração verde-escura e diâmetro de 1 a 2 mm; altura de planta de 0,60 a 0,80 m; emborrachamento entre 35 a 40 dias; perfilhamento baixo; ciclo de 60 a 70 dias e produtividade variando de 600 a 1.200 kg ha⁻¹. As sementes utilizadas apresentavam germinação de 74% e teor de água de 9,9%, para a variedade chatinho, e germinação de 70% e teor de água de 11,2%, para a variedade verde.

No primeiro ano, em relação as parcelas do tratamento vegetação espontânea, fez-se um levantamento visual das espécies presentes, por meio de três técnicos especialistas em plantas daninhas, apresentando-se em maior proporção a tiririca (*Cyperus esculentus*), o picão preto (*Bidens pilosa*), a nabiça (*Raphanus raphanistrum*), a braquiária (*Brachiaria decumbens*), a trapoeraba (*Commelina benghalenses*), o carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e a aveia preta (*Avena strigosa*), independentemente da ordem percentual de ocorrência.

No terceiro ano, fazendo-se um levantamento nas parcelas do tratamento vegetação espontânea, da mesma forma como no primeiro ano, verificou-se com maior ocorrência a guanxuma (*Sida rhombifolia*), o capim colchão (*Digitaria horizontalis*), o capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*), a nabiça (*Raphanus raphanistrum*), a poaia branca (*Richardia brasiliensis*), o capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), a braquiária (*Brachiaria decumbens*), o pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e o capim favorito (*Rynchelitrum roseum*).

5.4 Cultivar de soja e híbrido de milho

A cultivar de soja utilizada foi a IAC-19, sendo suas principais características o hábito de crescimento determinado, florescimento de 55 a 60 dias, ciclo médio

de maturação (130 a 140 dias), altura de planta de 80 a 110 cm, flor branca, hilo marrom, sementes amareladas e peso de 100 sementes aproximadamente igual a 15 g, quando semeada de outubro a dezembro. Apresenta-se resistente ao fogo selvagem e ao crestamento bacteriano, alta tolerância para pústula bacteriana, cancro da haste e oídio, média tolerância para mosaico comum e nematóide de galhas, baixa tolerância para nematóide de cisto, média para insetos desfolhadores e moderada resistência à mosca branca. A densidade populacional ótima varia de 300.000 a 400.000 plantas por hectare, sendo que o período mais favorável de semeadura está limitado entre os meses de outubro a dezembro, com rendimento provável de 2.400 a 3.000 kg ha⁻¹. É indicada para solos de média a alta fertilidade dos estados de SP e MG, apresentando certa tolerância ao Al.

Nas semeaduras do milho safrinha foram utilizados o híbrido simples Ag 9010 que, por ser um genótipo mais moderno e indicado para épocas de semeadura mais tardias, apresenta menor estatura e altura de inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo pendramento-espigamento (antecipando o enchimento de grãos e prevenindo o estresse climático), folhas de angulação mais eretas e elevado potencial produtivo, com registros de mais de 5.000 kg ha⁻¹ em semeaduras realizadas no mês de fevereiro (Argenta et al., 2001). Este híbrido é caracterizado por apresentar grãos do tipo duro e de cor alaranjada, altura média da planta de 2,00 m, densidade populacional recomendada de 55.000 a 60.000 plantas por hectare, florescimento de 54 a 63 dias e ponto de colheita de 110 a 120 dias.

5.5 Instalação e condução do experimento

Os dados de precipitação pluvial diária e as temperaturas máxima e mínima (diárias), durante os três anos de condução do trabalho, coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais - Setor de Climatologia, encontram-se nas Figuras 1, 2 e 3.

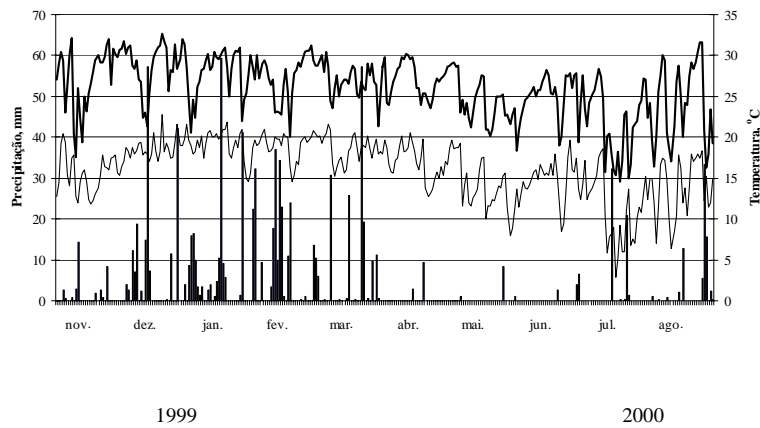


Figura 1. Temperaturas máximas (—) e mínimas (---), e precipitação pluvial (■) durante o primeiro período de condução do experimento. A condução das coberturas vegetais (CV) foi iniciada em 16/12/99 e a dessecação (D) em 14/02/00; a semeadura da soja (S) foi realizada em 28/02/00, com emergência (E) em 02/03/00, florescimento (F) em 24/04/00 e colheita (C) em 03/07/00. Botucatu-SP.

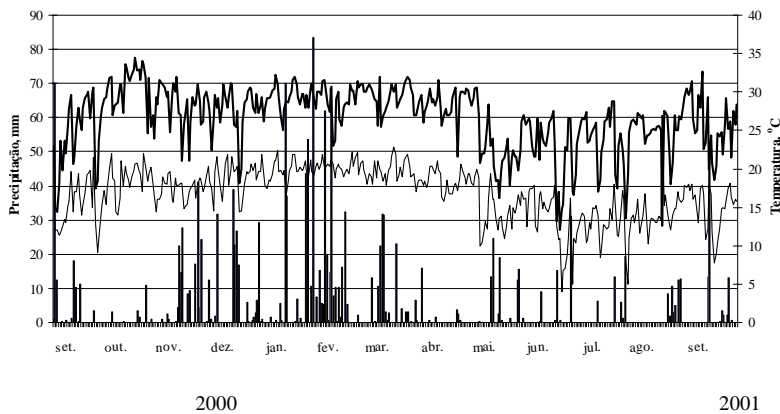
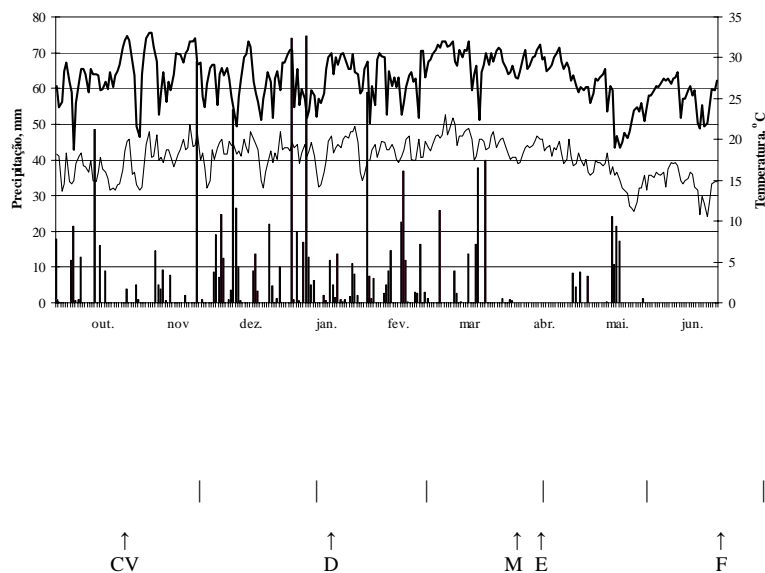


Figura 2. Temperaturas máximas (—) e mínimas (---), e precipitação pluvial (■) durante o segundo período de condução do experimento. A condução das coberturas vegetais (CV) foi iniciada em 22/09/00 e a dessecação (D) em 24/11/00; a semeadura do milho (M) foi realizada em 08/01/01, com emergência (E) em 13/01/01, florescimento (F) em 14/03/01 e colheita (C) em 05/06/01. Botucatu-SP.



2001

2002

Figura 3. Temperaturas máximas (—) e mínimas (---), e precipitação pluvial (■) durante o terceiro período de condução do experimento. A condução das coberturas vegetais (CV) foi iniciada em 11/10/01 e a dessecação (D) em 04/12/01; a semeadura do milho (M) foi realizada em 24/01/02, com emergência (E) em 29/01/02, florescimento (F) em 18/03/02 e colheita (C) em 13/06/02. Botucatu-SP.

5.5.1 Primeiro ano agrícola (1999/00)

A fitomassa que cobria a área (rebrotas de aveia preta e vegetação natural) foi dessecada com a aplicação de 1.920 g i.a. ha⁻¹ de herbicida à base de glyphosate, duas semanas antes da semeadura direta das plantas de cobertura. A semeadura foi realizada no dia 16/12/1999, utilizando-se a proporção de 20 kg ha⁻¹ de sementes para todas as plantas de cobertura. A emergência ocorreu, no geral, sete dias após a semeadura (23/12/1999), para todas as coberturas vegetais (inclusive a vegetação espontânea).

A operação de semeadura foi realizada mecanicamente sobre a palhada presente na área (aveia preta + vegetação espontânea), com o emprego de duas semeadoras-adubadoras, sendo uma com seis linhas espaçadas a 60 cm entre si (PST2 da Tatu), para os sorgos de Guiné, e outra de quinze linhas espaçadas a 20 cm (TD 300 da Semeato), para o milho e o painço.

Juntamente com a semeadura foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em todas as parcelas, correspondendo a aproximadamente 50 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (SFT). O adubo fosfatado foi misturado, em betoneira, às sementes de milho e painço, no dia da semeadura, em função de serem muito pequenas (< 2,0 mm) e não se dispôs de semeadoras com regulagem precisa, para distribuição isolada de sementes na quantidade proposta (Lima et al., 2000). Assim, o adubo serviu como via de transporte na proporção de 0,4 g de sementes para cada 1 g de adubo depositado por metro. No caso dos sorgos de Guiné, a semeadura e a adubação fosfatada ocorreram por vias de deposição isoladas, na proporção de 1,2 g de sementes e 3 g de superfosfato triplo por metro. Todas as sementes foram previamente tratadas com fungicida a base de thiabendazole, na dose de 1 g i.a. kg⁻¹ de sementes.

Aos 53 dias após a emergência (DAE) (14/02/2000), as coberturas vegetais foram dessecadas com a aplicação de herbicida a base de glyphosate, na dose de 1.920 g i.a. ha⁻¹ e volume de aplicação de 280 L ha⁻¹, por meio de pulverizador tratorizado de barras, com bicos do tipo leque espaçados em 50 cm.

Uma semana após a dessecação das coberturas vegetais (21/02/2000), coletaram-se amostras de fitomassa da parte aérea para as determinações analíticas. Imediatamente após essas coletas, utilizou-se rolo faca, com o objetivo de acamar as plantas dessecadas, facilitando a aplicação de calcário em superfície.

A calagem foi realizada em 23/02/2000, dois dias após o manejo mecânico da fitomassa dessecada, de forma manual e a lanço, na dose de 3,1 t ha⁻¹ (Tabela 1), visando atingir V% = 70. Apesar da recomendação de V% a ser atingida para a soja no estado de São Paulo, na camada de 0-20 cm, seja 60 (Mascarenhas & Tanaka, 1997), a escolha por 70% fundamentou-se no fato de que na implantação de um sistema de rotação e sucessão deve-se atender não mais a necessidade de uma única cultura, mas sim do sistema como um todo.

O calcário utilizado foi o dolomítico, de origem sedimentar, finamente moído (filler), sendo classificado como faixa D. As análises (químicas e físicas) desse calcário empregado no experimento encontra-se na Tabela 2, segundo procedimentos descritos pelo LANARV (1988).

Tabela 2. Análise química e física do corretivo de acidez do solo utilizado no experimento. Botucatu-SP, 1999.

Atributos	Calcário faixa D (filler)
Umidade (%)	0,10
CaO (%)	33,60
MgO (%)	18,00
Retido na Peneira nº 10 (> que 2 mm)	0,00
Retido na Peneira nº 20 (até 0,84 mm)	1,64
Retido na Peneira nº 50 (> que 0,30 mm)	18,62
Poder de Neutralização (PN)	100,00
Reatividade	91,24

Antes da sementeira, as sementes de soja foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum*, por meio de inoculante turfoso. Utilizaram-se 250 g de inoculante por 50 kg de sementes. A operação de mistura entre o inoculante, as sementes e mais 300 mL de água deu-se no mesmo dia da sementeira, por meio do emprego de betoneira e secagem à sombra por alguns minutos.

A sementeira da soja foi realizada em 28/02/2000, duas semanas após a dessecação das coberturas vegetais, por meio de sementeira-adubadora de plantio direto, com cinco linhas, modelo PST2. Utilizou-se em torno de 19 sementes por metro, com espaçamento de 45 cm entrelinhas, ou seja, atingiu-se densidade de aproximadamente 400.000 sementes ha⁻¹. O início da emergência ocorreu três dias após a sementeira em 02/03/2000.

Como o cultivo se deu em safrinha, havendo a possibilidade de diminuição da atividade simbiótica, realizou-se, além da inoculação, a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N, sendo aproximadamente 1/4 dessa dose no sulco de sementeira e o restante em cobertura antes do florescimento (Mascarenhas & Tanaka, 1997). A adubação mineral de sementeira também constou de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo que num cultivo de verão seria o suficiente para uma produtividade esperada entre 2,5-2,9 t ha⁻¹ (Mascarenhas & Tanaka, 1997). Para tal, empregaram-se 150 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 8-28-16, nas formas de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, misturando-se a esta mais 44 kg de KCl. A adubação mineral de cobertura foi realizada em 28/03/2000 aplicando-se 38 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a 85 kg ha⁻¹ de uréia, sobre a superfície do solo úmido, ao longo e perto das fileiras de soja.

No florescimento pleno das plantas de soja, aos 53 DAE (24/04/2000), correspondente ao estágio R2 na escala de Fehr et al. (1971), foram realizadas amostragens de folhas para diagnose. No dia 03/07/2000, aos 123 DAE, as plantas de soja foram colhidas. Após essa colheita, 5 meses depois da calagem superficial, a primeira amostragem estratificada no perfil do solo foi realizada (21/07/2000).

5.5.2 Segundo ano agrícola (2000/01)

A vegetação natural emergida após o cultivo da soja foi dessecada com glyphosate (1.920 g i.a. ha⁻¹), sendo posteriormente retirada essa fitomassa das parcelas do tratamento sem cobertura vegetal, permanecendo, neste caso específico, somente a palhada remanescente da cultura principal. No tratamento sem cobertura vegetal, para os três anos de realização do experimento, foram retiradas a parte aérea da vegetação invasora por meio de capina manual, sempre antes da implantação das coberturas vegetais e antes da semeadura das culturas principais.

Em 22/09/2000, novamente efetuou-se a semeadura das plantas de cobertura. A proporção de sementes e o tratamento com fungicida, as espécies utilizadas e a operação de semeadura direta, foram às mesmas do primeiro ano. O diferencial deveu-se ao fato de que, na segunda semeadura das plantas de cobertura, somente utilizou-se a semeadora-adubadora TD 300, com o espaçamento de 20 cm para todas as espécies, mantendo-se a mistura de sementes de milho e painço com 50 kg ha⁻¹ de SFT, e sendo a deposição no solo das sementes de sorgo de Guiné e do adubo fosfatado por meio de compartimentos individuais.

A emergência das coberturas vegetais se deu em torno dos sete dias após a semeadura (29/09/2000). No entanto, não houve boa formação do estande inicial para todas as coberturas. Provavelmente, o principal motivo foi à ocorrência de intenso ataque de pássaros (pombas), impossibilitando o estabelecimento do painço e prejudicando as demais plantas de cobertura. A alta densidade populacional de pássaros, no período em questão, foi um problema generalizado observado em toda a região da Fazenda Experimental Lageado. Também não deve ser descartada a hipótese de baixo vigor das sementes empregadas. Para a vegetação espontânea, em função da época de instalação das coberturas ainda apresentar chuvas escassas e baixas temperaturas (Figura 2), praticamente não houve formação de fitomassa. Assim, somente a fitomassa do sorgo de Guiné vermelho, sorgo de Guiné branco e milho puderam ser consideradas neste ano. A dessecção (glyphosate 1.920 g i.a. ha⁻¹) ocorreu aos 56 DAE (24/11/2000), sendo realizadas amostragens para análise. Dessa forma, para não haver a perda dos tratamentos já aplicados no primeiro ano agrícola (cobertura vegetal e calagem superficial) decidiu-se pela semeadura de milho safrinha em 08/01/2001.

A semeadura do milho safrinha foi efetuada por meio de semeadora-adubadora de plantio direto (PST2), com cinco linhas, espaçadas em 45 cm entre si (milho adensado) e regulagem para deposição de 2,6 sementes por metro, perfazendo uma densidade aproximada de 58.000 sementes ha⁻¹. O menor espaçamento foi utilizado para se obter melhor distribuição espacial das plantas, aumentando a produtividade biológica e, conseqüentemente, a agronômica (Argenta et al., 2001). A adubação de semeadura foi para uma produtividade esperada entre 6-8 t ha⁻¹, sendo de 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O (Raij et al., 1997), por meio da mistura de 215 kg de NPK 8-28-16, 10 kg de KCl e 29 kg de uréia, totalizando 254 kg ha⁻¹.

A emergência ocorreu cinco dias após a semeadura (13/01/2001), enquanto a adubação mineral de cobertura foi efetuada em 20/02/2001 (38 DAE), com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (Raij et al., 1997), por meio de 300 kg ha⁻¹ de NPK 20-05-20, quando 6 a 8 folhas encontravam-se totalmente formadas.

No estágio 5,0 do milho, ou seja, emergência do estilo-estigmas à polinização (Fornasieri Filho, 1992), aos 60 DAE (14/03/2001), realizou-se amostragem para diagnose foliar. A colheita foi efetuada aos 144 DAE, em 05/06/2001, sendo posteriormente passado o rolo faca para acamar os restos culturais. No dia 03/08/2001 houve necessidade de nova aplicação de glyphosate (1.920 g i.a. ha⁻¹), devido ao substancial aumento da população de plantas invasoras na área experimental.

Aos 19/09/2001, aproximadamente 19 meses após a calagem superficial, foi realizada a segunda amostragem estratificada no perfil do solo. Nessa mesma data, também realizou-se a segunda amostragem de solo na camada de 0-20 cm, visando o cálculo da necessidade de calagem para reaplicação superficial do corretivo.

Em função dos resultados apresentados na Tabela 3, no dia 02/10/2001 efetuou-se a reaplicação de calcário, estando as doses apresentadas na mesma tabela, de acordo com os atributos químicos do solo por tratamento, visando elevar a V% = 70. O calcário dolomítico utilizado apresentava atributos similares aos daquele empregado na primeira aplicação (Tabela 2), sendo o PRNT = 89%. Quanto aos outros tratamentos (V% original do solo), permaneceram sem correção.

Tabela 3. Atributos químicos do solo por tratamento, na profundidade de 0-20 cm, antes da reaplicação superficial de calcário e quantidade necessária do corretivo para elevar a V% = 70. Botucatu-SP, 2001.

Trat.	pH (CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	H+Al -----	K mmol _c dm ⁻³	Ca -----	Mg -----	CTC	V %	N.C.* t ha ⁻¹
1 A	5,0	23	58	3,7	30	15	107	46	2,9
1 B	5,0	24	64	3,3	25	13	106	40	-
2 A	5,0	22	57	3,8	32	17	110	48	2,7
2 B	4,8	21	75	3,6	21	10	110	32	-
3 A	5,2	22	51	3,8	43	17	114	56	1,8
3 B	4,8	23	67	3,8	25	14	109	39	-
4 A	5,0	23	61	3,8	43	15	123	52	2,5
4 B	4,7	23	59	3,7	38	12	113	48	-
5 A	5,0	23	59	3,8	27	14	104	43	3,1
5 B	4,5	22	79	3,7	23	9	115	31	-
6 A	5,3	22	54	3,8	33	15	106	49	2,5
6 B	4,9	21	60	3,8	26	13	103	42	-

1- Sorgo de Guiné Vermelho; 2- Sorgo de Guiné Branco; 3- Milheto; 4- Painço; 5- Vegetação Espontânea e 6- Sem Vegetação. A- Com Calcário e B- Sem Calcário.

* A necessidade de calagem foi calculada para um calcário de PRNT = 89.

5.5.3 Terceiro ano agrícola (2001/02)

No dia 11/10/2001 implantaram-se pelo terceiro ano consecutivo as coberturas vegetais, sendo que o sorgo branco utilizado nos dois primeiros anos de condução do trabalho, pelo baixo potencial apresentado como planta de cobertura, foi substituído pelo sorgo de Guiné preto. Dessa vez, foi utilizado uma semeadora-adubadora Semeato modelo Personale Drill, com 13 linhas espaçadas em 17 cm, para todas as plantas de cobertura. Neste cultivo, com o milheto e o painço, empregou-se a proporção de 0,5 g de sementes para cada metro, resultando 30 kg ha⁻¹, em função do menor poder germinativo e maior teor de água em comparação ao primeiro e segundo cultivo. Não houve necessidade da mistura das sementes com adubo fosfatado, em razão de a semeadora possuir tecnologia apropriada para trabalhar de forma precisa com sementes pequenas. Para os sorgos de Guiné a proporção de 30 kg ha⁻¹ também foi

adotada, regulando-se a semeadora para a deposição de 1,5 g de sementes por metro. Todas as sementes foram tratadas com fungicida a base de thiabendazole.

A emergência das plantas de cobertura ocorreu em quatro dias (15/10/2001). Com 50 DAE (04/12/2001), as coberturas vegetais foram dessecadas pela aplicação de glyphosate (1.920 g i.a. ha⁻¹). Nesse terceiro cultivo, momento antes da aplicação do herbicida, foi possível realizar a colheita de grãos do painço, em amostragens para determinar a produtividade, além das coletas de amostras da parte aérea das coberturas vegetais, para posterior análise. O restante da M.S. que ficou na área não foi acamado com rolo faca, sendo novas amostras retiradas nos dias 18/12/2001, 01/01, 15/01 e 29/01/2002.

Imediatamente após a dessecação das coberturas vegetais realizou-se a semeadura de arroz em SPD (05/12/2001), responsável pelo acamamento da fitomassa, com uma adubação de 540 kg de NPK 4-14-8, para cultivo dessa cultura no período de verão. Entretanto, pelos mesmos motivos descritos anteriormente, em relação ao segundo cultivo das plantas de cobertura, houve má formação inicial do estande, não permitindo a condução dessa cultura. Assim, optou-se pela realização de um segundo cultivo de milho em safrinha. A semeadura ocorreu no dia 24/01/2002, por meio da semeadora-adubadora Personale Drill 13. O número de linhas, o espaçamento entre linhas, a quantidade de sementes depositadas por metro e a densidade de semeadura foram às mesmas do primeiro cultivo de milho safrinha.

A adubação foi realizada, objetivando uma produtividade esperada por volta de 3-4 t ha⁻¹, empregando-se na semeadura 15, 50 e 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente (Raij et al., 1997), por meio de 375 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 4-14-8.

Aos cinco dias após a semeadura ocorreu a emergência das plântulas (29/01/2002). Em 05/03/2002, 35 DAE, quando 6 a 8 folhas estavam totalmente desdobradas, foi efetuada a adubação de cobertura com 30 kg ha⁻¹ de N (Raij et al., 1997), por meio da aplicação de 66,7 kg ha⁻¹ de uréia. No estágio 5,0 do milho (Fornasieri Filho, 1992), aos 48 DAE, foram realizadas amostragens para diagnose foliar. A colheita foi efetuada aos 135 DAE (13/06/2002) e a coleta final de amostras estratificadas no perfil do solo, em 19/06/2002, aproximadamente 8 meses após a reaplicação do calcário em superfície.

5.6 Obtenção dos dados

5.6.1 Produção de matéria seca, teor e acúmulo de macronutrientes e relação C/N das coberturas vegetais

O caminhamento de amostragem, dentro das unidades experimentais, foi realizado na diagonal, sendo aleatória a escolha dos locais de coleta, excluindo-se 1 m de cada extremidade como bordadura. Assim, nos três cultivos realizados, após a dessecação das fitomassas, com as plantas de cobertura em pé, para cada repetição de cada tratamento (amostras compostas), realizaram-se três amostragens de 1 m seqüenciado (amostras simples). Neste caso, coletou-se a parte aérea das coberturas vegetais, cortando-se as plantas na região do colo. Para a vegetação espontânea, a fitomassa foi amostrada por três quadros de madeira, com 0,25 m² de área interna (amostras simples). Essa coleta constou da retirada de toda palha contida na área interna do quadro. Nos dois tipos de amostragens as coletas foram realizadas de forma manual, com o auxílio de tesoura de poda.

Os materiais coletados nas amostragens foram acondicionados em sacos de papel, postos para secar em estufa, a 60°C com circulação forçada de ar, até atingirem peso constante. Para tal, necessitou-se de aproximadamente 120 horas. Após a pesagem da M.S., para estimar a produção, realizou-se a transformação dos dados em t ha⁻¹. Em seguida, os materiais foram moídos em moinho tipo Willey, para determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997). Portanto, com a multiplicação da M.S. produzida pelo teor de nutriente, a quantidade acumulada de macronutrientes das coberturas vegetais foi calculada.

Das amostras de fitomassa, secas e moídas, retiraram-se porções de 25 mg, para determinação química do C orgânico, pelo método da oxidação por dicromato (K₂Cr₂O₇) em meio ácido (H₂SO₄ conc.), com titulação do Cr⁺⁶ em excesso por FeSO₄, conforme método

descrito por Tedesco et al. (1985). A partir dos resultados obtidos em % de C, pôde-se estabelecer, e assim apresentar, as relações C/N das coberturas vegetais.

Após o manejo das fitomassas no terceiro cultivo e sua estimativa de produção de M.S., foram determinadas a persistência à decomposição dos resíduos vegetais, por meio da M.S. avaliada no transcorrer do tempo, em mais quatro coletas realizadas de 14 em 14 dias (18/12/2001, 01/01, 15/01 e 29/01/2002). Para essas coletas posteriores, o processo de amostragem foi idêntico ao descrito na primeira coleta, tanto para as plantas de cobertura, como para a vegetação espontânea. Os dados foram submetidos à regressão polinomial, ajustando-se as equações, para expressar adequadamente o comportamento dos resultados, sendo escolhidas as significativas com melhor ajuste.

5.6.2 Composição química, soma de cátions e condutividade elétrica dos extratos das coberturas vegetais

As amostras avaliadas, de fitomassa seca e moída, foram as mesmas coletadas da parte aérea das coberturas vegetais no momento da dessecação, para o primeiro e terceiro cultivo, seguindo o método descrito por Miyazawa et al. (2000) e Franchini et al. (2001a e b). Neste sentido, para extração dos compostos hidrossolúveis (ácidos orgânicos de baixo peso molecular), transferiu-se 1 g dos resíduos para frascos de 100 mL e adicionaram-se 50 mL de água destilada, agitando-se por 4 horas a 200 rpm, com posterior filtragem.

De posse dos extratos vegetais, os teores de Ca, Mg e Mn foram determinados por absorção atômica e os de K e Na por fotometria de chamas. Os resultados foram expressos em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$, de forma individual para cada elemento e na forma de soma de cátions (\sum Ca, Mg, Mn, K e Na). Foi também analisada, no extrato vegetal, a condutividade elétrica (CE) da solução por condutivimetria, em $\mu\text{S cm}^{-1}$. Como esse método determina a concentração total dos íons dissolvidos na solução, realizaram-se testes de correlação simples (r) com a soma dos cátions determinada. Tanto a soma de cátions, como a CE, correspondem a quantidade de H^+ e Al^{3+} que podem ser neutralizados pelo resíduo vegetal.

No terceiro cultivo, foi possível estimar a produtividade do painço, por encontrar-se na fase final de enchimento de grãos. A amostragem ocorreu momento antes da dessecação, sendo colhidas duas linhas de 3 m por parcela, e as produtividades foram ajustadas para 13 % de água. Assim, decidiu-se por determinar os valores de soma de cátions e CE, com posterior análise do coeficiente de correlação simples (r) entre esses dois métodos, em amostras de grãos do painço e da fitomassa da parte aérea dessa planta, sem e com a presença dos grãos. Esse procedimento identifica a contribuição efetiva ou não dos grãos na liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis, caso seja realizada a colheita de grãos da planta de cobertura.

5.6.3 Alterações dos atributos químicos do solo

As três amostragens estratificadas no perfil do solo: após 5 e 19 meses da aplicação superficial de calcário e 8 meses após a reaplicação do corretivo, foram efetuadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Na segunda amostragem, também efetuou-se coleta de 0-20 cm (Tabela 2).

Para as três épocas anteriores e em todas as profundidades, foram retiradas cinco amostras simples por camada de solo, em cada subparcela, realizando-se caminhamento de amostragem na diagonal, tomando-se por referência as entrelinhas de cultivo para pontos de coleta, com a utilização de trado do tipo sonda. As amostras compostas foram secas ao ar e peneiradas (malha de 2 mm), para determinação do pH (CaCl_2), acidez potencial (H^+Al), Al^{3+} , Ca, Mg e K trocáveis, M.O. e V%, segundo métodos descritos em Raij & Quaggio (1983).

A determinação do NO_3^- no solo foi realizada pelo método da destilação a vapor, descrito em Raij et al. (2001). Os procedimentos se basearam na extração do N inorgânico (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) por solução de KCl 1 mol L^{-1} . Nesse extrato, com a adição de MgO, há a conversão de NH_4^+ a NH_3 , que é destilada. Em seguida, no mesmo extrato, é acrescentada liga de Devarda, reduzindo NO_3^- e NO_2^- a NH_3 , a qual também é destilada e recolhida em H_3BO_3 + indicador. O NO_2^- e o NO_3^- foram determinados juntos, pois em solos tropicais (argila 1:1), geralmente o NO_2^- ocorre em quantidades muito pequenas. A quantidade de ácido sulfúrico (0,0025 mol L^{-1}) usada na titulação do borato de amônio é proporcional ao NH_4^+ retido na

solução de H_3BO_3 . As amostras de solo avaliadas foram as mesmas retiradas para análise de fertilidade. Dessa forma, procedeu-se secagem a sombra, peneiração e armazenagem das amostras em sacos plásticos sob condição ambiente do laboratório, apesar desse procedimento não ser o mais adequado para determinação do NO_3^- . Mesmo assim, segundo Raij et al. (2001), a rápida secagem ao ar é eficiente para evitar alterações nos teores de NO_3^- , especialmente se as amostras secas forem guardadas em geladeira, sendo essa última medida não tomada. De acordo com os mesmos autores a manutenção das amostras sob condição ambiente é mais prejudicial ao NH_4^+ , não garantindo boa preservação de seus teores.

5.6.4 Calcário residual

A aplicação desse método somente foi efetuada nos tratamentos onde houve calagem superficial, após 19 meses da aplicação e 8 meses da reaplicação, nas mesmas amostras estratificadas do perfil do solo utilizadas para análise dos atributos químicos.

Esse método, também empregado por Quaggio et al. (1995), num primeiro momento, determina os teores de Ca e Mg trocáveis do solo, extraídos por extrato de KCl 1 mol L^{-1} . Em tubo percolador são colocados 5 cm^3 de solo, entre papéis de filtro, sendo percolados 50 ml da solução de KCl. Com 1 mL desse extrato, acrescentaram-se 10 mL de La 0,1% e realizaram-se as leituras por espectrofotometria de absorção atômica. Os resultados indicaram, num determinado período de tempo, a quantidade já reagida do calcário aplicado.

Num segundo momento, com o mesmo solo que sofreu o processo de extração anterior, transferido para erlenmeyer, adicionou-se 15 ml de H_2O + 25 ml de HCl 0,8 mol L^{-1} . O conjunto foi fervido em chapa aquecedora por 5 minutos (200°C). Dessa forma, mediante a fervura do solo, juntamente com a ação do ácido clorídrico, o calcário residual (corretivo remanescente) foi forçado a reagir (rápida dissolução). Na seqüência do processo, após resfriamento, o material foi filtrado, sendo que em 1 mL do extrato acrescentaram-se mais 10 mL de La 0,5%. A leitura foi feita por espectrofotometria, determinando-se Ca e Mg trocáveis, referentes a valores estimados de Ca e Mg não trocáveis do corretivo que ainda iriam reagir no solo.

Apenas para os tratamentos com correção, 19 meses após a aplicação superficial de calcário, realizou-se estudo de correlação simples (r) dos teores trocáveis de Ca e Mg, extraídos por meio de extrato de KCl, com os extraídos pela resina trocadora de íons, verificando a similaridade entre os dois métodos.

5.6.5 Teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar da soja e do milho

Para a soja foram realizadas amostragens de folhas, coletando-se as terceiras folhas a partir do ápice, em 30 plantas por subparcela, visando a determinação da composição química e diagnose foliar. Nos dois cultivos de milho, a amostragem para diagnose foliar ocorreu retirando-se 30 folhas opostas e abaixo da espiga de plantas em seqüência por subparcela. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem peso constante, e posteriormente moídas. Em seguida, os teores de N, P, K, Ca e Mg foram determinados de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

5.6.6 Produtividade de grãos da soja e do milho

As produtividades de grãos foram avaliadas a partir da colheita manual e trilhagem mecânica de duas linhas centrais de 9 m em cada subparcela (já descontados 0,5 m de bordadura em cada extremidade). As produtividades por hectare foram ajustadas para 13% de umidade, sendo também calculada a produtividade acumulada durante os três anos de condução do experimento.

A estatística constou da análise de variância, sendo as médias comparadas pelo D.M.S. a 5%. Para as coberturas vegetais, durante a primeira etapa do experimento, a análise estatística dos dados seguiu o modelo de blocos ao acaso, sendo as médias comparadas pelo D.M.S. a 5%, somente para os tratamentos de 1, 2, 3, 4 e 5. Nas demais fases do experimento, foram realizadas análises de variância, seguindo o modelo de blocos ao acaso em parcela subdividida, tendo-se comparado as médias pelo D.M.S. a 5%. Todos os cálculos foram realizados por meio do programa de computador SISVAR (Ferreira, 1999).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Cobertura vegetal

6.1.1 Quantidade e qualidade dos resíduos vegetais

A precipitação pluvial ocorrida durante o primeiro cultivo das coberturas vegetais (Figura 1), foi favorável ao crescimento vegetativo, havendo restrição hídrica somente entre a semeadura e a emergência das plântulas.

A cobertura vegetal que produziu maior quantidade de massa seca (M.S.) da parte aérea foi o milheto (Tabela 4). O resultado de 10 t ha^{-1} foi próximo ao obtido por Pereira (1990), que constatou $9,2 \text{ t ha}^{-1}$ aos 50 DAE, sabendo-se que nos dois casos o manejo da fitomassa coincidiu com o florescimento pleno. No caso de milheto cortado aos 90 dias, também no verão, Primavesi et al. (2002) chegou a determinar quantidades de M.S. superiores a 18 t ha^{-1} , em dois solos diferentes.

A produção de M.S. da vegetação espontânea somente foi superada pelo milheto, sendo igual as demais coberturas (Tabela 4). Isso provavelmente se deu pela predominância de gramíneas, como braquiária, tiririca, carrapicho e, principalmente, a aveia preta que, de acordo com Holtz & Sá (1995), apresenta grande capacidade de produção de M.S.

Entre as plantas de cobertura, apenas o painço, com a segunda maior produção de M.S. (Tabela 4), apresentou possibilidade de retorno econômico imediato, pois encontrava-se na fase final de enchimento de grãos.

As produções de M.S. dos sorgos de Guiné (Tabela 4) foram bem menores que os resultados obtidos por Bairrão (1989), onde alcançou $8,7 \text{ t ha}^{-1}$ para o sorgo branco e $9,1 \text{ t ha}^{-1}$ para o sorgo vermelho, pois a avaliação se deu no período de florescimento.

Vale ressaltar que o sorgo de Guiné vermelho, quando semeado em dezembro, em condições ambientais similares as do presente trabalho, no espaçamento de 60 cm entre linhas, cultivado até o pleno florescimento, possui potencial para produção de M.S. superior a 10 t ha^{-1} (Mateus, 2003). A explicação para as baixas produções de M.S. dos sorgos de Guiné (Tabela 4), se deve, principalmente, ao manejo efetuado quando as duas coberturas encontravam-se no estágio vegetativo, faltando ainda, aproximadamente, 35 dias para o florescimento pleno (Mateus, 2003).

O sorgo de Guiné vermelho, juntamente com o branco, caracterizaram-se por apresentarem os maiores teores de N (Tabela 4). Provavelmente, pelo fato de se encontrarem no meio do estágio vegetativo no momento da dessecação, suas velocidades de absorção de N eram altas, concentrando maior quantidade desse nutriente na M.S. da parte aérea.

Para o milheto, painço e vegetação espontânea verificaram-se os menores teores de N (Tabela 4). Esse fato, principalmente em relação ao milheto, pode ser justificado pelo efeito de diluição, devido a elevada produção de M.S.

Quanto à relação C/N, o ideal para anteceder a cultura da soja deve ser maior que 25, de modo à fornecer uma cobertura morta estável para a formação de nódulos radiculares e fixação simbiótica do N_2 (Holtz & Sá, 1995). Partindo desse princípio, constatou-se que o milheto, o painço e vegetação espontânea atingiram esta expectativa, enquanto que os sorgos de Guiné vermelho e branco ficaram abaixo, com valores próximos a 25 (Tabela 4).

A vegetação espontânea adicionou ao sistema de cultivo a M.S. com maior relação C/N (Tabela 4), em função de ter sido composta na sua maioria por gramíneas, devendo-se atentar para a presença de aveia preta que, em média, pode apresentar relação C/N igual a 40 (Holtz & Sá, 1995). No entanto, a diversidade de espécies que podem compor uma vegetação espontânea, cujos desenvolvimentos encontram-se em diferentes estádios, dificultam a sua indicação como cobertura, visando decomposição mais lenta de palhada na superfície do solo em SPD.

Quanto ao milheto, no florescimento pleno, e o painço, no final da fase reprodutiva, com relações C/N superiores a 30 e as maiores produções de M.S. (Tabela 4), pressupõe importantes plantas de cobertura à instalação do SPD. Neste sentido, quanto maior o aporte inicial de palhada, com relação C/N elevada, mais lento será a decomposição dos

resíduos, havendo benefícios químicos, físicos e biológicos ao solo e às culturas subsequentes, devido a maior proteção do solo e liberação gradativa de nutrientes.

A determinação da soma de cátions de extratos vegetais (Tabela 4) é um importante método químico aplicável para avaliar a qualidade dos resíduos de plantas, podendo auxiliar na escolha das coberturas vegetais com maior potencial à formação de complexos organo-metálicos, responsáveis pela movimentação de cátions básicos no perfil do solo, aumento do pH e imobilização do Al^{3+} . Neste contexto, os sorgos de Guiné vermelho e o branco foram as coberturas vegetais com maior soma de cátions (Tabela 4). Isso constitui a elevada quantidade de H^+ e Al^{3+} que pode ser neutralizada pelos resíduos vegetais desta espécie, pois os cátions Ca, Mg, K, Na e Mn ligados nos compostos orgânicos são substituídos por H^+ ou Al^{3+} , formando compostos estáveis protonados ou complexo Al - orgânico (Miyazawa et al., 2000).

A condutividade elétrica dos extratos vegetais determina a concentração dos íons dissolvidos na solução, onde os valores podem correlacionar-se positivamente com a determinação da soma de cátions (Miyazawa et al., 2000). Assim, pela condutivimetria observou-se comportamento similar aos resultados obtidos por meio da soma de cátions (Tabela 4), sendo o coeficiente de correlação simples (r) entre soma de cátions e condutividade elétrica igual a 0,53*. Da mesma forma, Franchini et al. (1999a) constataram que as variações na condutividade elétrica foram relacionadas com os teores solúveis de bases nos resíduos vegetais.

Portanto, a capacidade de neutralização da acidez dos solos por resíduos vegetais esta relacionada aos seus teores de cátions e, conseqüentemente, com ânions orgânicos solúveis, pelo princípio da eletroneutralidade (Franchini et al., 2001b). Contudo, os dois métodos utilizados para avaliar a qualidade das coberturas vegetais, neste trabalho, não permitem identificar quais são os ácidos orgânicos envolvidos no processo. Somente a cromatografia líquida HPLC pode ser empregada na determinação de cada substância orgânica solúvel de baixo peso molecular dos extratos vegetais. Esta determinação analítica seria importante, pois o grau de neutralização do Al^{3+} é determinado pela estabilidade do complexo orgânico formado, ou seja, cada ácido orgânico apresenta uma característica responsável pela maior ou menor neutralização, por exemplo, o ácido cítrico pode formar dois anéis de 5 ou 6 átomos, sendo um dos mais fortes, enquanto que o acético, fórmico e láctico não formam complexos (Miyazawa et al., 2000; Franchini et al., 2001b). Assim, poder-se-ia classificar as plantas de cobertura, em

função dos ácidos orgânicos constituintes, em eficientes (aquelas que formam complexos estáveis, isto é, apresentam alto valor de constante de estabilidade), moderadas e ineficientes (com baixa constante, sendo os efeitos quase nulos), de acordo com a capacidade de neutralizar a acidez dos solos, mobilizar cátions básicos e imobilizar Al^{3+} (Franchini et al., 2001b).

Os extratos de material vegetal apresentaram grande variação na sua composição química (Tabela 5), a ponto de determinarem as diferenças estatísticas apresentadas na soma de cátions e na condutividade elétrica (Tabela 4). Em relação ao teor de nutriente no extrato (Tabela 5), na média geral, observou-se que a concentração dos íons diminuiu na ordem $Ca > Mg > Na > K > Mn$. Isso decorreu, provavelmente, da lavagem do K no tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura em condição de campo, graças à ação da água das chuvas (Rosolem et al., 2003), que ocorreram de forma intensa no verão de 1999-2000 (Figura 1), mesmo porque a fitomassa coletada não sofreu lavagem com água destilada para posterior secagem e análise.

A seqüência esperada, em função da mobilidade que esses elementos apresentam nas plantas (Malavolta et al., 1997), seria $K > Mg > Ca$, pois o K é altamente móvel no floema, formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (Rosolem et al., 2003). O Mg, assim como o K, apresenta mobilidade no floema, mas pode estar associado a ânions pouco solúveis em água e o Ca, com pouca mobilidade no floema, exerce papel fundamental na estruturação de membranas e paredes celulares, estando fortemente ligado a esses componentes, de baixa solubilidade em água (Meda et al., 2002).

Percebe-se, porém, uma variabilidade entre as coberturas quanto à concentração dos cátions básicos (Tabela 5). Os sorgos de Guiné branco e vermelho, que encontravam-se na fase vegetativa, ou seja, aproximadamente 35 dias para o florescimento pleno, em função da semeadura efetuada em dezembro (Mateus, 2003), apresentaram os maiores teores de Ca e K (Tabela 5).

Ao contrário, plantas em diferentes estádios como na vegetação espontânea, o milho no florescimento pleno e o painço na fase final de enchimento de grãos, sofreram substancial redução nos valores de Ca e K (Tabela 5). No estágio reprodutivo o processo de maturação dos tecidos diminui o teor de substâncias orgânicas responsáveis pelo transporte de Ca e pela neutralização da acidez (Miyazawa et al., 2000). Também quanto mais próximo o final

do ciclo de cultivo, menor será a quantidade de K presente no tecido vegetal (Rosolem et al., 2003). Assim, a capacidade de neutralização de um resíduo vegetal reduz com o avanço da idade da planta.

Após a segunda semeadura das plantas de cobertura verificaram-se sérios problemas de emergência das plântulas, principalmente inerente ao vigor das sementes utilizadas e o severo ataque de pássaros após a deposição das sementes. Independente da causa, em nenhuma parcela houve o estabelecimento inicial da cobertura de painço. Quanto à vegetação espontânea, em função da instalação das coberturas a partir de setembro, época em que as chuvas ainda eram escassas e as temperaturas baixas (Figura 2), praticamente não gerou quantidade de fitomassa para ser avaliada. Somente a M.S. dos sorgos de Guiné vermelho e branco e do milho puderam ser quantificadas, aos 56 DAE (Tabela 6), sendo que, no entanto, apresentando contribuição mínima ao sistema e sem diferenças estatísticas entre si.

A má formação de estande do segundo cultivo das plantas de cobertura impossibilitou uma avaliação estatística coerente, mesmo porque, ao se fazê-la, a maioria dos resultados não foram significativos, sendo constatados coeficientes de variação muito elevados. Desta forma, considerou-se apenas as médias de M.S., teor de N e relação C/N apresentadas na Tabela 6, inclusive não sendo realizadas as análises de condutividade elétrica e soma de cátions. Por esta razão, torna-se difícil um entendimento para esses efeitos isolados, optando-se por não discutir esses resultados.

A produção de M.S., o teor de N e a relação C/N apresentaram diferenças em função das coberturas vegetais, sendo que apenas para a M.S. também houve efeito do fator calagem superficial (Tabela 7).

No terceiro cultivo das coberturas vegetais a restrição hídrica foi maior do que no primeiro, pois além do menor volume de chuvas, houve má distribuição (Figura 3). Esta condição de precipitação pluvial deve ser responsável, pelo menos em parte, pelas quantidades de M.S. apresentadas na Tabela 6.

A vegetação espontânea foi a cobertura vegetal que apresentou a maior produção de M.S. (Tabela 7). Inclusive o valor de 4,3 t ha⁻¹, com 50 DAE, foi maior que a quantidade produzida no primeiro cultivo, aos 53 DAE (3,7 t ha⁻¹). A razão para esse melhor desempenho deve estar relacionada à constituição da maior diversidade de espécies presentes,

com estádios de desenvolvimento mais adiantados, o que, provavelmente, facilitou a superação das condições hídricas insuficientes.

Dentre as espécies que constituíram a vegetação espontânea, as não gramíneas foram as que se apresentaram em maior proporção. Isto se refletiu no maior teor de N, em termos de valor absoluto, o que propiciou uma das menores relações C/N (Tabela 7). Dessa forma, entende-se porque, já aos 42 dias após a dessecação os resíduos da vegetação espontânea praticamente não mais existiam na superfície do solo (Figura 4).

O milheto produziu a segunda maior quantidade de M.S. (Tabela 7) que, no entanto, atingiu valor muito aquém daquele verificado na Tabela 3. Esta situação pode estar relacionada com a falta de chuvas suficiente durante a condução do milheto (Figura 3), o menor ciclo de cultivo adotado (50 DAE) e, fundamentalmente, pelo fato de ter sido utilizado uma espécie diferente (*Pennisetum glaucum*), em relação ao primeiro cultivo (*Pennisetum americanum*).

Fazendo-se uma análise visual da espécie *Pennisetum glaucum*, observou-se que a mesma apresentou um crescimento menor, chegando a iniciar o florescimento com a metade da altura alcançada pelo *Pennisetum americanum* (1,4 m), praticamente no mesmo estágio de desenvolvimento. Observações a campo têm permitido verificar produções de M.S. similares entre as duas espécies de milheto, desde que seja realizada a fertilização mineral.

Como a dessecação do milheto foi realizada no início do florescimento, o teor de N foi um dos mais elevados (Tabela 7), possivelmente em função da grande velocidade de absorção desse nutriente, anterior a entrada na fase reprodutiva. Além disso, a baixa produção relativa de M.S., pelo efeito contrário da diluição, resultou num dos maiores níveis desse elemento no milheto (Tabela 7).

Apesar da relação C/N do milheto ter sido baixa como da vegetação espontânea (Tabela 7), o mesmo apresentou maior persistência de sua palhada (Figura 4), sendo que aos 56 dias após a dessecação ainda restavam aproximadamente 48,5 % de M.S. sobre o solo, independente de calagem ou não. O presente resultado foi superior aos obtidos por Pereira (1990) no Mato Grosso do Sul, onde aos 60 dias após o manejo detectou 20,7% de M.S..

Parece que o maior potencial de resistência à degradação não está somente ligado à maior relação C/N, mas, também, a digestibilidade “in vitro” da M.S., em função dos

resultados se alterarem com a idade do material vegetal, devendo reduzir ou aumentar sua persistência, também em função do tipo de solo (Primavesi et al., 2002).

O painço produziu menos da metade de M.S. (Tabela 7), do que foi obtido no primeiro cultivo (Tabela 4). Além da falta de chuvas (Figura 3), a variedade utilizada (verde) não foi a mesma, apresentando como característica inerente um menor crescimento do que a semeada na implantação do experimento (chatinho). A fitomassa do painço apresentou o menor teor de N, contribuindo para a relação C/N mais alta observada (Tabela 7).

Independente da calagem, os resultados de decomposição da palhada de painço em razão do tempo foram ajustados à função linear (Figura 4), sendo que aos 14, 28, 42 e 56 dias após a dessecação, restavam 80,5; 57,8; 48,3 e 40,9 %, respectivamente, da quantidade inicial de M.S. (Tabela 7).

Constata-se na Tabela 7 que os sorgos de Guiné apresentaram as menores produções de M.S. Mais do que a precipitação pluvial insuficiente no cultivo, o efeito do fotoperíodo contribuiu consideravelmente para a obtenção deste resultado. Como a semeadura foi adiantada (11/10/2001), em relação à do primeiro cultivo (16/12/1999), isso se refletiu num alongamento do estágio vegetativo, de 95 dias na semeadura de dezembro, para 150 dias quando efetuado em outubro, o que permitiria elevar a capacidade em produzir M.S. no pleno florescimento de 13,8 para 18,5 t ha⁻¹ (Mateus, 2003). Entretanto, a dessecação coincidiu com um estágio vegetativo bem anterior em relação ao do primeiro ano, pois ainda restavam, aproximadamente, 93 dias para o florescimento, o que se refletiu na baixa produtividade biológica apresentada na Tabela 7.

Apesar das condições hídricas e fotoperiódicas mais favoráveis do primeiro ano e pela época em que se realizou o manejo, a mudança de sorgo de Guiné branco para sorgo de Guiné preto no último cultivo, não permitiu que houvesse diferença entre as duas produções de M.S., sendo as mesmas iguais a 1,9 t ha⁻¹.

Deve-se ressaltar que o sorgo de Guiné branco naturalmente possui um crescimento inicial mais lento, alcançando menores alturas, sendo por essa característica vulgarmente conhecido como “sorgo anão”. Já o sorgo preto, juntamente com o vermelho, por chegarem à mais de 5 m de altura quando conduzidos até a produção, são também chamados de “sorgo gigante”. Portanto, a maior capacidade de crescimento e de produção de M.S. fez com

que o sorgo preto, na pior das hipóteses, na condição ambiental em que foi conduzido, empatasse com o sorgo branco.

Depois da água, do fotoperíodo e do pool utilizado, a melhor prática cultural a favor do sorgo de Guiné seria a fertilização mineral. Efeito benéfico da interação N x K₂O para essa cobertura vegetal encontra-se descrito em POTAFOS (1998), chegando a elevar a produção de 10,8 t ha⁻¹ de M.S., no florescimento e sem adubação, para até 34,1 t ha⁻¹. No caso do presente experimento, para as coberturas vegetais, só houve o aproveitamento residual das adubações das culturas principais e da adubação fosfatada utilizada como veículo de distribuição para as sementes das espécies de cobertura.

O teor de N do sorgo de Guiné vermelho, pelo próprio estágio vegetativo em que se encontrava, foi um dos mais elevados, juntamente com o milho e a vegetação espontânea, o que favoreceu a baixa relação C/N, estatisticamente igual a dessas coberturas vegetais (Tabela 7). Assim, as variações na relação C/N estão diretamente relacionadas aos teores de N, uma vez que, segundo Mateus (2003), praticamente não há efeito de épocas de semeadura sobre os teores de C.

Quanto aos resultados da decomposição da palha do sorgo vermelho no transcorrer do tempo (Figura 4), independente da função a que foram ajustados os dados para os tratamentos sem e com calcário, aos 56 dias após a dessecação restavam somente 26,2 % da quantidade inicial de fitomassa. Em função desse resultado, deve-se chamar atenção para a baixa persistência e durabilidade da palha de sorgo de Guiné vermelho, ao se comparar com palhadas oriundas de outras gramíneas em estádios fenológicos mais avançados.

A parte aérea do sorgo de Guiné preto, no momento da dessecação, foi responsável por apresentar estatisticamente o segundo maior teor de N, o que favoreceu na determinação da segunda maior relação C/N (Tabela 7). Verificou-se que a cobertura vegetal com menor adição de M.S. no sistema de cultivo, em contrapartida, foi aquela com maior persistência da palhada, mantendo um pouco mais de 1 t ha⁻¹ de M.S. 56 dias após a dessecação (Figura 4). De forma semelhante, Pereira (1990), 60 dias após o corte determinou a permanência de 1,2 t ha⁻¹ de M.S.

No terceiro ano de condução das plantas de cobertura, 50 dias após a emergência, a determinação da soma de cátions no extrato vegetal somente apresentou efeito significativo para o fator cobertura vegetal, não havendo interação com calagem superficial ou a atuação deste último fator de forma isolada (Tabela 7).

Assim como no primeiro cultivo das plantas de cobertura (Tabela 4), os sorgos de Guiné, agora juntamente com o milho (Tabela 7), destacaram-se como sendo os resíduos vegetais com maior potencial na formação de compostos estáveis protonados ou complexos Al-orgânico. Este comportamento se confirma com a determinação da condutividade elétrica da solução (Tabela 7), pois o coeficiente de correlação simples (r) entre a condutividade elétrica e a soma de cátions foi de 0,60**.

A variação química nos extratos vegetais (Tabela 8) foi determinante para as diferenças significativas de soma de cátions e condutividade elétrica apresentadas na Tabela 6. Na média geral os teores dos íons reduziram na seqüência $Ca > Na > Mg > K > Mn$, sendo similar ao ocorrido no primeiro ano de avaliação, apenas com o diferencial de $Na > Mg$. Dessa forma, as explicações para o K não ter sido o primeiro nesta ordem são as mesmas já relatadas e discutidas em relação a Tabela 5.

Ao comparar-se os valores absolutos de soma de cátions e condutividade elétrica do primeiro cultivo (Tabela 4), com os do terceiro (Tabela 7), observa-se que houve elevação para todas as coberturas vegetais. Isto provavelmente significa que a eficiência de resíduos no transporte de cátions polivalentes no perfil do solo depende da época de manejo (Franchini et al., 2001b).

No caso dos sorgos de Guiné, como os mesmos apresentam sensibilidade ao fotoperíodo e sendo a semeadura realizada em outubro no terceiro ano de cultivo, ainda restavam, aproximadamente, 93 dias para o florescimento pleno (Mateus, 2003), ou seja, a dessecação foi realizada num estágio vegetativo anterior ao executado no primeiro ano. Quanto ao milho, que no primeiro ano encontrava-se em pleno florescimento (53 DAE), foi dessecado com um pouco mais de antecedência no último cultivo (50 DAE), coincidindo com o início do florescimento. Essa pequena alteração permitiu a elevação substancial do Ca e K (Tabela 8), quando comparado aos valores da Tabela 5.

Portanto, a melhor época de manejo seria no estágio em que as plantas apresentam maior teor de ligantes orgânicos que formam complexos metálicos, favorecendo a mobilidade de cátions (Franchini et al., 2001b). Assim, para aumentar o transporte de Ca e Mg e a neutralização da acidez da camada subsuperficial, o resíduo vegetal deve ser manejado antes do florescimento, sem que, no entanto, ocorra um comprometimento dos efeitos pela redução na produção de M.S. (Miyazawa et al., 2000).

Analisando-se o SPD como um todo, considerando as rotações e sucessões de cultivos no transcorrer do tempo, não se pode descartar a possível participação dos resíduos de soja e milho na mobilização químico-orgânica da frente alcalina do calcário. Contudo, as determinações de soma de cátions e condutividade elétrica não foram realizadas pois, em geral, os resíduos de pós-colheita apresentam menor capacidade para neutralizar H^+ do que resíduos das plantas de cobertura (Miyazawa et al., 2000). Segundo Miyazawa et al. (2000), a menor capacidade de neutralização da acidez do solo dos resíduos de culturas comerciais, como soja e milho, está relacionada à redução dos teores de cátions e carbono solúvel com o avanço da idade fisiológica das plantas.

Com base no exposto anteriormente, a época de manejo de resíduos vai depender do objetivo do produtor. Além disso, a técnica de manejo, objetivando diminuir o contato dos resíduos com o solo, é fundamental para amenizar a taxa de decomposição dos ácidos orgânicos solúveis por microrganismos (Franchini et al., 2001b). Franchini et al. (2001b) observaram drástica diminuição de compostos orgânicos solúveis dos resíduos vegetais após 15 dias de incubação e conseqüente redução na mobilidade de cátions polivalentes. Por isto que, no presente trabalho, todos os manejos das plantas de cobertura foram realizados por meio de dessecação química, seguida de tombamento da palhada com a utilização de rolo-faca, que proporciona um menor fracionamento dos resíduos vegetais, quando comparado a implementos como roçadeira e triton.

O painço, por encontrar-se na fase final de enchimento de grãos, no período em que foi manejado, obteve os menores valores de soma de cátions e de condutividade elétrica (Tabela 7). Todavia, foi a única planta de cobertura que, em curto período, proporcionou possibilidade de retorno econômico imediato com a colheita dos grãos. No momento da dessecação foram produzidos em média 686 kg ha^{-1} para o tratamento sem calagem e 755 kg ha^{-1}

para o com correção, estando os grãos a 13 % de água. No período em questão, para o estado de São Paulo, a tonelada de painço comprada na propriedade girava ao redor de R\$ 600,00, chegando a ser vendido nos supermercados, em embalagens plásticas de 500 g, a R\$ 1,20.

Desta forma surgiu um questionamento a ser respondido, quanto a participação efetiva ou não dos grãos de painço na liberação de ácidos orgânicos solúveis, pois caso seja realizada a colheita possivelmente haveria alguma alteração no fornecimento dos compostos orgânicos pela parte aérea das plantas. Na Tabela 9 verifica-se que, pela soma de cátions e pela condutividade elétrica ($r = 0,82^{**}$), os compostos orgânicos hidrossolúveis extraídos dos grãos foram tão poucos, a ponto de praticamente não interferirem na quantidade fornecida pela parte aérea. Isto demonstrou a viabilidade de se poder colher os grãos de painço sem, no entanto, diminuir o fornecimento de ácido orgânico no sistema de cultivo, cujo resultado é inerente a própria época em que foi realizado o manejo.

Considerando o alto potencial de produção de M.S. da vegetação espontânea no SPD (Tabelas 4 e 7) e, conseqüentemente, a possibilidade de liberação de compostos orgânicos no solo, há interesse em utilizar essas plantas para melhorar a eficiência da calagem superficial na correção da acidez subsuperficial (Meda et al., 2002). Em vista desta possibilidade devem ser desenvolvidos experimentos específicos, objetivando avaliar a capacidade diferenciada de novas espécies que apresentem maior potencial de neutralizar a toxidez de Al e transportar Ca e Mg até a subsuperfície (Franchini et al., 2001b).

Tabela 4. Produção de matéria seca, teor de N e relação C/N da parte aérea das coberturas vegetais, e soma de cátions (\sum Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica (CE) de extratos vegetais extraídos da parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 1999-2000.

Coberturas Vegetais	M.S.	N	C/N	\sum de Cátions	CE
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹		mmol _c kg ⁻¹	μS cm ⁻¹
Sorgo de Guiné Vermelho	2,9 c	19,3 a	22,5 d	64,2 a	1909 a
Sorgo de Guiné Branco	1,9 c	19,0 ab	24,8 cd	61,1 a	1642 ab

Milheto	10,0 a	13,3 cd	33,7 b	23,4 b	1578 ab
Painço	5,6 b	15,0 bc	30,1 bc	26,8 b	1268 b
Vegetação Espontânea	3,7 bc	10,8 d	41,8 a	26,6 b	494 c
Significância	*	*	*	*	*
CV (%)	17,39	17,85	15,90	17,91	18,26

Médias seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). * significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Tabela 5. Composição química dos extratos vegetais extraídos da parte aérea das plantas de coberturas. Botucatu-SP, 1999-2000.

Extrato Vegetal	Ca	Mg	Mn	K	Na
	----- mmol _c kg ⁻¹ -----				
Sorgo de Guiné Vermelho	42,7	9,0	1,0	3,5	8,0
Sorgo de Guiné Branco	36,7	9,2	1,3	3,4	10,5
Milheto	3,0	8,8	0,8	2,9	7,9
Painço	9,1	8,4	0,6	2,0	6,7
Vegetação Espontânea	8,3	9,3	0,8	0,4	7,8
Média	20,0	8,9	0,9	2,4	8,2

Tabela 6. Produção de matéria seca, teores de N e relação C/N da parte aérea das coberturas vegetais, aos 56 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2000.

FATORES	M.S.	N	C/N
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	
Coberturas Vegetais			
Sorgo de Guiné Vermelho	0,4	17,2	25,2
Sorgo de Guiné Branco	0,8	9,9	24,6
Milheto	0,7	20,0	20,0
Calagem Superficial			
Sem Calcário	0,7	14,2 b	17,5
Com Calcário	0,6	17,2 a	29,1

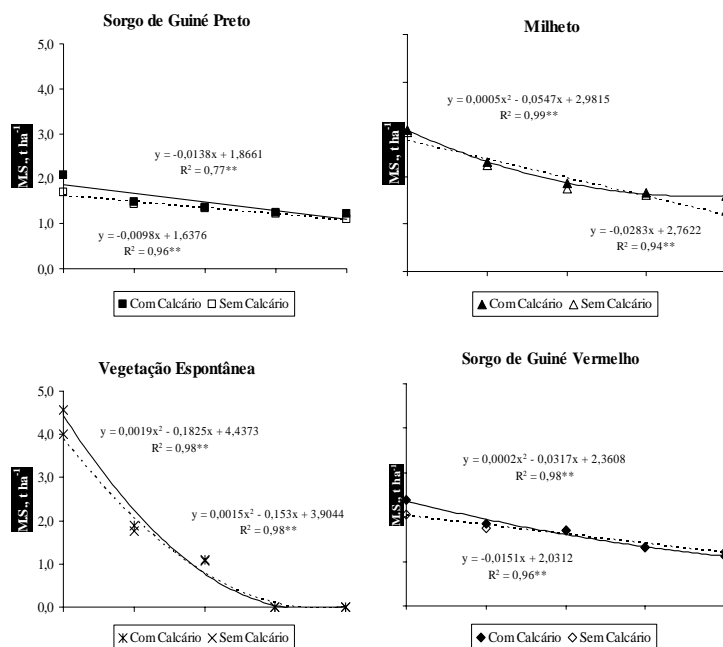
Tabela 7. Produção de matéria seca, teor de N e relação C/N da parte aérea das coberturas vegetais, e soma de cátions (Σ Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica (CE) de extratos vegetais extraídos da parte aérea das coberturas vegetais, aos 50 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2001.

FATORES	M.S.	N	C/N	Σ de Cátions	CE
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹		mmol _c kg ⁻¹	μ S cm ⁻¹
Coberturas Vegetais (C.V.)					
Sorgo de Guiné Vermelho	2,2 c	21,4 a	21,0 b	82,4 a	1922 ab
Sorgo de Guiné Preto	1,9 c	18,4 ab	24,0 ab	72,8 ab	1776 bc
Milheto	3,0 b	20,7 a	20,4 b	71,1 ab	2102 a
Painço	2,3 bc	16,9 b	27,1 a	39,5 c	1324 d
Vegetação Espontânea	4,3 a	21,6 a	21,1 b	50,8 b	1655 c

Calagem Superficial (C.S.)

Sem Calcário	2,6 b	19,3	23,3	50,4	1729
Com Calcário	2,9 a	20,4	22,2	55,2	1783
Significância					
C.V.	*	*	*	*	*
C.S.	*	ns	ns	ns	ns
C.V. x C.S.	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)					
C.V.	21,48	17,92	18,93	18,20	13,32
C.S.	14,32	10,67	12,34	25,00	8,23

Médias sem letras dentro de cada fator ou seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.



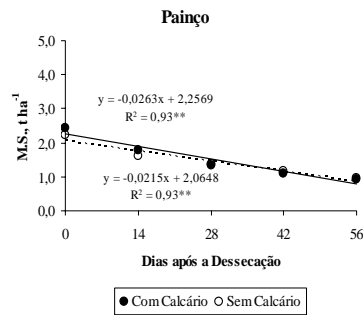


Figura 4. Quantidade de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura sobre o solo, nos tratamentos com e sem calagem, em função do tempo após a dessecação. Botucatu-SP.

Tabela 8. Composição química dos extratos vegetais extraídos da parte aérea das plantas de coberturas. Botucatu-SP, 2001.

Extrato Vegetal	Ca	Mg	Mn	K	Na
Sorgo de Guiné Vermelho	58,0	8,7	1,5	3,6	10,6
Sorgo de Guiné Preto	53,4	8,7	1,4	2,9	6,4
Milheto	45,2	8,8	1,3	4,1	11,7
Painço	19,8	8,5	0,7	2,2	8,3
Vegetação Espontânea	29,8	8,8	1,6	2,6	8,0
Média	41,2	8,7	1,3	3,1	9,0

Tabela 9. Soma de cátions (Σ Ca, Mg, Mn, K e Na) e condutividade elétrica (CE) de extratos vegetais extraídos da parte aérea de painço, aos 50 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2001.

FATORES	Σ de Cátions	CE
	mmol _c kg ⁻¹	μS cm ⁻¹
Coberturas Vegetais (C.V.)		
Parte Aérea Sem Grãos	48,8 a	1842 a
Grãos	17,2 b	275 c
Parte Aérea Total	39,5 a	1324 b
Calagem Superficial (C.S.)		
Sem Calcário	34,4	1151
Com Calcário	36,0	1143
----- Significância		
C.V.	*	*
C.S.	ns	ns
C.V. x C.S.	ns	ns
----- CV (%)		
C.V.	25,78	5,27
C.S.	23,94	11,88

Médias sem letras dentro de cada fator ou seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Como a quantidade extraída de um elemento provém da multiplicação do teor de nutriente pela M.S. produzida, observou-se que as coberturas vegetais com as maiores produções de M.S. (Tabela 4), independentemente dos teores de seus macroelementos, apresentaram maiores acúmulos para todos os nutrientes avaliados, com exceção da vegetação espontânea, que não seguiu esse comportamento (Tabela 10).

O nutriente acumulado em maior quantidade, pelas plantas dos sorgos de Guiné, milho e painço, foi o K, sendo seguido por N, Ca, Mg e P (Tabela 10). Esses maiores acúmulos de K confirmam a alta reciclagem desse elemento pelas gramíneas, o que pode favorecer a rotação e sucessão com leguminosas fornecedoras de N (Raij et al., 1997). Essa seqüência de extração observada para as plantas de cobertura não foi a mesma da vegetação espontânea, devendo-se ressaltar, neste caso, o maior acúmulo de N. A justificativa para isso deve-se ao fato de que parte das espécies que compunham a fitomassa da vegetação espontânea não pertencerem a família das gramíneas.

Os sorgos de Guiné, dessecados praticamente no meio da fase vegetativa (53 DAE), caso fossem conduzidos até o florescimento, provavelmente apresentariam produções de M.S. bem maiores do que as apresentadas na Tabela 4 e, conseqüentemente, os acúmulos dos macronutrientes seriam mais elevados em relação aos constantes na Tabela 10. Mateus (2003), 95 dias após a semeadura de sorgo de Guiné realizada em dezembro, detectou um máximo potencial de acúmulo de nutrientes, atingindo, aproximadamente, 164, 15, 301, 80 e 62 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, pela maior produção de M.S. obtida no florescimento (13,8 t ha⁻¹).

O milho, seguido pelo painço, conduzidos no verão, em curto período de desenvolvimento (53 DAE), foram as coberturas vegetais que produziram as maiores quantidades de M.S. (Tabela 4) e, conseqüentemente, o maior acúmulo de macronutrientes na parte aérea (Tabela 10). Assim, diante do grande potencial de extrair e acumular os nutrientes N, P e K, pelo milho e painço (Tabela 10), estaria sendo depositado na superfície do solo o equivalente a 298 e 185 kg ha⁻¹ de uréia, 18 e 13 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 340 e 142 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, respectivamente. No entanto, não se deve esquecer de que se trata de

uma reciclagem, devendo haver tempo suficiente para todos esses nutrientes serem disponibilizados no solo, ou seja, os benefícios não são imediatos.

O maior potencial do milheto na extração de macronutrientes foi, também, verificado por Primavesi et al. (2002). Estes autores, avaliando a qualidade mineral de diversas espécies de plantas de cobertura no verão, na média de dois solos diferentes, com o milheto manejado aos 90 dias após a semeadura, detectaram produção de 18,7 t ha⁻¹ de M.S., o que acarretou num acúmulo de, aproximadamente, 287, 32, 406, 35 e 42 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, destacando-se as extrações de N, P, K e Mg em relação as demais coberturas vegetais.

As gramíneas, por seu elevado potencial de produção de M.S., podem depositar mais N no solo que as leguminosas, como no caso do milheto (Primavesi et al., 2002). Essas grandes quantidades de N acumuladas, por estarem fixadas em compostos orgânicos, ficam à disposição da ciclagem no complexo planta-palha-solo, formado pelos agroecossistemas.

Já a quantidade potencial de P a ser liberada dos tecidos orgânicos, normalmente ligados estruturalmente a moléculas protéicas e em compostos ligados ao transporte de energia, pode ficar disponível tanto para absorção do sistema radicular da cultura subsequente, quanto para imobilização em compostos minerais de difícil solubilidade.

Em relação ao K, é o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais que, porém, não possuem função estrutural (Marschner, 1995), formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (Rosolem et al. 2003).

Devido à elevada liberação de nutrientes no período inicial de decomposição; no caso do N, segundo Ceretta et al. (2002), e em relação ao K, de acordo com Rosolem et al. (2003), sugerem que, para maximizar o aproveitamento desses elementos, a implantação da cultura sucessora deva ser realizada o quanto antes após o manejo das plantas de cobertura, favorecendo um período em que a demanda nutricional não é alta, podendo, inclusive, ser suficiente para o início do seu crescimento.

Da mesma forma, como já discutido na Tabela 6, por motivos de má formação dos estandes iniciais das plantas de cobertura no segundo cultivo, optou-se por não apresentar os resultados estatísticos sobre o acúmulo de macronutrientes, considerando-se somente as médias na Tabela 11. No momento do manejo das plantas de sorgo de Guiné

vermelho, sorgo de Guiné branco e milho, coberturas estas que puderam ser conduzidas, apresentaram baixas produções de M.S., depositando no solo o equivalente a 14, 15 e 33 kg ha⁻¹ de uréia e 11, 34 e 17 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, respectivamente, expressando contribuição mínima na reciclagem de nutrientes, quando comparado aos resultados da Tabela 10.

Na Tabela 12 constata-se que houve interação entre os fatores aplicados para o acúmulo de N, K e Mg na parte aérea das coberturas vegetais. De acordo com os desdobramentos das interações (Tabela 13), verificou-se que somente ocorreu diferença entre sem e com calcário para vegetação espontânea. Também a vegetação espontânea, com a calagem superficial, foi responsável pelos maiores acúmulos de N, K e Mg, possivelmente em função da sua maior produção de M.S. (Tabela 7). Essas extrações também superaram os valores obtidos na primeira avaliação (Tabela 10), pois a quantidade de M.S. da vegetação espontânea na Tabela 6 foi maior que aquela apresentada na Tabela 4.

Quanto ao milho e painço (Tabela 13), com ou sem calagem, as quantidades acumuladas de N, K e Mg estiveram bem abaixo das obtidas no primeiro cultivo (Tabela 10), quando, também, as produções de M.S. (Tabela 4) foram mais que o dobro para o painço e mais que o triplo para o milho, sendo que as prováveis condições para as baixas produções de M.S. contidas na Tabela 6 já foram discutidas anteriormente. Contudo, nesse terceiro cultivo das plantas de cobertura, deve-se chamar a atenção para o fato da importância do milho como reciclador de K, pois foi o único com resultado semelhante a vegetação espontânea quando se aplicou calcário.

O sorgo de Guiné vermelho com uma produção de 2,9 t ha⁻¹ no primeiro cultivo (Tabela 3), reduzida para 2,2 t ha⁻¹ no terceiro (Tabela 7), nesse último, apenas se mostrou superior quanto ao acúmulo de Mg, cujos valores absolutos, com ou sem calagem (Tabela 13), foram maiores que os da Tabela 10.

Com a mudança de sorgo branco para o preto (terceiro cultivo), mesmo com o menor tempo para dessecação (50 DAE), com a semeadura tardia (alongamento do estágio vegetativo) e condição hídrica menos favorável (Figura 3), não observou-se alteração na quantidade de M.S. produzida (1,9 t ha⁻¹) (Tabelas 4 e 7). Deste modo, verificou-se que o sorgo de Guiné preto (Tabela 13), foi mais eficiente, quando aplicado calcário, no acúmulo de N e K, e, independente da correção, superou o sorgo branco na extração de Mg.

Apesar dos menores valores apresentados na Tabela 12, pela baixa produção de M.S., ainda sim deve-se chamar a atenção para o milho e o painço como as plantas de cobertura que significativamente mais acumularam P, assim como no primeiro cultivo (Tabela 10), sendo indicativo de bons extratores desse elemento pouco solúvel. Provavelmente, a não superioridade da vegetação espontânea quanto ao P (Tabela 12), mesmo com a maior produção de M.S. (Tabela 7), fundamentou-se no fato de que parte das espécies que a compunham já haviam produzido e liberado as sementes. Assim, à medida que as plantas atingem a maturidade o P vai sendo translocado para o órgão reprodutivo, onde concentra mais P do que nas outras partes do vegetal (POTAFOS, 1998).

Para o Ca, a vegetação espontânea se destacou como o tratamento mais eficiente na sua reciclagem (Tabela 12), não só pela maior produção de M.S., mas, provavelmente, em função de algumas espécies que a compunham apresentarem teores elevados desse nutriente.

Tabela 10. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 1999-2000.

Coberturas Vegetais	N	P	K	Ca	Mg
	----- kg ha ⁻¹ -----				
Sorgo de Guiné Vermelho	55,9 bc	6,8 bc	72,3 bc	15,2 bc	10,2 b
Sorgo de Guiné Branco	36,1 c	5,1 c	45,8 cd	9,7 c	6,4 b
Milho	133,3 a	18,6 a	245,0 a	41,9 a	35,1 a
Painço	84,0 ab	13,3 ab	102,1 b	17,7 bc	14,5 b
Vegetação Espontânea	39,9 bc	3,2 c	24,1 d	24,3 b	8,7 b
Significância	*	*	*	*	*
CV (%)	18,95	10,96	19,44	14,57	19,86

Médias seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). * significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Tabela 11. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 56 dias após a emergência, em sistema de semeadura direta. Botucatu-SP, 2000.

FATORES	N	P	K	Ca	Mg
	----- kg ha ⁻¹ -----				
Coberturas Vegetais (C.V.)					
Sorgo de Guiné Vermelho	6,3	0,2	7,7	2,0	1,4
Sorgo de Guiné Branco	6,7	0,5	24,2	3,6	2,3
Milheto	15,0	0,3	12,5	3,4	2,9
Calagem Superficial (C.S.)					
Sem Calcário	9,0	0,3	18,3	3,3	2,5
Com Calcário	9,7	0,3	11,2	2,7	1,9

Tabela 12. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 50 dias após a emergência, em sistema de plantio direto. Botucatu-SP, 2001.

FATORES	N	P	K	Ca	Mg
	----- kg ha ⁻¹ -----				
Coberturas Vegetais (C.V.)					
Sorgo de Guiné Vermelho	46,4	2,2 ab	55,2	6,8 bc	12,7
Sorgo de Guiné Preto	34,8	1,3 b	44,9	5,9 c	9,6
Milheto	61,6	2,7 a	78,3	9,0 b	16,8
Painço	39,4	3,1 a	45,8	6,7 bc	10,8
Vegetação Espontânea	92,3	1,2 b	83,9	16,3 a	28,9
Calagem Superficial (C.S.)					
Sem Calcário	50,5	1,9	55,4	8,6	14,6
Com Calcário	59,3	2,3	67,9	9,3	17,0

Significância					
C.V.	*	*	*	*	*
C.S.	*	ns	*	ns	*
C.V. x C.S.	*	ns	*	ns	*

CV (%)					
C.V.	23,80	20,96	31,06	25,71	31,78
C.S.	20,24	13,69	20,92	16,01	17,53

Médias sem letras dentro de cada fator ou seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Tabela 13. Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para acúmulo de N, K e Mg das plantas de cobertura. Botucatu-SP, 2001.

Cobertura Vegetal	Calagem Superficial	
	Sem Calcário	Com Calcário
	----- N (kg ha ⁻¹) -----	
Sorgo de Guiné Vermelho	42,0 cA	50,7 bcA
Sorgo de Guiné Preto	30,1 cA	39,4 cA
Milheto	60,7 bA	62,5 bA
Painço	36,2 cA	42,6 cA
Vegetação Espontânea	83,5 aB	101,1 aA
	----- K (kg ha ⁻¹) -----	
Sorgo de Guiné Vermelho	50,4 bcA	60,1 bcA
Sorgo de Guiné Preto	38,6 cA	51,2 cA
Milheto	77,0 aA	79,7 abA
Painço	44,3 bcA	47,4 cA
Vegetação Espontânea	66,6 abB	101,2 aA
	----- Mg (kg ha ⁻¹) -----	
Sorgo de Guiné Vermelho	11,5 bcA	14,0 bcA
Sorgo de Guiné Preto	8,3 cA	10,9 cA
Milheto	16,6 bA	17,1 bA
Painço	10,1 cA	11,4 bcA
Vegetação Espontânea	26,5 aB	31,4 aA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem pelo teste t (DMS) a 5%.

6.2 Fertilidade do solo

6.2.1 Atributos químicos

As alterações dos atributos químicos no perfil do solo, em três amostragens, estão apresentadas em função de cada cobertura vegetal, sem e com calcário (Figuras 5 a 13).

Considerando apenas os efeitos dos tratamentos sem e com calagem superficial, na implantação do SPD, sobre o pH, após 5 meses (Figura 5a), verificou-se que o corretivo apresentou atuação não só na camada superficial, mas em todas as profundidades. O efeito foi mais acentuado na camada de 5-10 cm, onde os valores de pH foram mais elevados, atingindo uma acidez considerada baixa ($\text{pH} = 5,5-6,0$), de acordo com os limites de interpretação da camada arável (0-20 cm) preconizado por Raij et al. (1997).

Essa eficiência imediata, da aplicação do calcário na superfície, para correção inicial da acidez, foi demonstrada aos 6 meses por Rheinheimer et al. (2000), a partir de pastagem natural, sendo que, no entanto, somente de forma significativa de 0-2,5 cm. Já Caires et al. (1998), em SPD estabilizado, 12 meses após a calagem superficial, observaram elevação do pH até 10 cm, desaparecendo de 10-20 cm e voltando a exercer efeito nas camadas mais profundas.

Aos 19 meses após a correção superficial (Figura 5b), os efeitos se apresentaram mais expressivos na superfície (0-5 cm), contribuindo para uma acidez considerada baixa, embora tenha ocorrido em menor magnitude nas camadas de 5-10 cm e 10-20 cm, sendo que não mais havia diferença na última profundidade. Isso implica dizer que, apesar de grande parte do calcário aplicado superficialmente, após 19 meses, continuar reagindo em superfície, parte substancial dos compostos da solubilização do corretivo acaba sofrendo uma

movimentação vertical atuando em profundidade. Caires et al. (1999), 18 meses após correção em SPD estabelecido, verificaram que a aplicação de calcário superficial aumentou o pH até 10 cm de profundidade.

Tendo em vista o tempo de reação de somente 8 meses do calcário reaplicado superficialmente, pode ser considerada satisfatória as modificações ocorridas no pH (Figura 5c), principalmente na superfície onde a acidez passou a ser muito baixa ($\text{pH} > 6,0$), e na camada subsequente (5-10 cm) pois, em média, a acidez tornou-se baixa ($\text{pH} = 5,6-6,0$). Na profundidade de 10-20 cm houve menor atuação da correção na elevação do pH, a ponto de não mais haver diferenças na camada mais profunda (20-40 cm). Esse resultado corrobora com os obtidos por Caires et al. (2000), quando apenas 9 meses após a reaplicação do calcário na superfície em SPD estabelecido, verificaram efeitos significativos no pH e na V% até à profundidade de 20 cm, sendo mais expressivos nas camadas superficiais de 0-5 e 5-10 cm.

De modo geral, os resultados quanto à eficiência da calagem, aplicada desde a implantação do SPD, na neutralização da acidez ativa de subsuperfície são aparentemente discordantes do trabalho de Caires et al. (2003). Esses autores na busca de alternativas para o estabelecimento de culturas no SPD, em áreas novas, sem a necessidade de revolvimento do solo, verificaram efeitos significativos da calagem na superfície somente na profundidade de 0-5 cm, após 11 meses, de 5-10 e 10-20 cm, após 23 meses, e de 20-40 cm, após 35 meses da aplicação do calcário. No entanto, as modificações expressivas do pH, em profundidade, apresentadas na Figura 5, não são dependentes única e exclusivamente da formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Isto porque, vários outros mecanismos deveriam estar envolvidos na correção da acidez de subsuperfície, como: movimentação física do calcário (canais formados por raízes mortas e formação de planos de fraqueza no solo), pequena mobilização do solo pela semeadura mecanizada, incorporação biológica (macro e mesofauna), formação de complexos orgânicos solúveis por meio do manejo de resíduos vegetais e participação de ânions como nitrato e sulfato.

O calcário superficial, 5 meses após a sua aplicação, proporcionou diminuição da acidez potencial do solo ($\text{H}+\text{Al}$), em todas as profundidades analisadas (Figura 6a). Essa modificação no comportamento da acidez potencial foi maior na camada de 5-10 cm (Figura 6a), onde apresentaram-se os valores mais baixos de $\text{H}+\text{Al}$, o que foi condizente com os

resultados de pH (Figura 5a). Mello et al. (2003), 12 meses após o calcário ter sido aplicado em superfície, na instalação do SPD, obtiveram queda dos valores de H+Al nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, superando os resultados do sistema de plantio convencional. De forma similar, só que em SPD estabelecido e aos 12 meses após a calagem, Caires et al. (2000a) observaram redução do H+Al e elevação do pH de 0-10 cm e nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, demonstrando claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez de subsuperfície.

Passados 19 meses após a aplicação superficial do calcário, constatou-se alterações no comportamento da acidez potencial (Figura 6b), em que os menores teores de H+Al foram observados na camada superficial, a exemplo do inverso ocorrido com o pH, e apenas na última profundidade não mais havia diferença em relação ao tratamento sem calagem, como para o pH.

Realizada a reaplicação superficial do corretivo, 8 meses após, verificou-se que novamente ocorreu a diminuição da acidez potencial em todo o perfil do solo (Figura 6c), sendo os teores apresentados de H+Al menores que os verificados antes da reaplicação (Figura 6b).

Houve aumento dos teores de Ca e de Mg nas quatro profundidades estudadas, após 5 meses, independente das coberturas vegetais (Figuras 7a e 8a). Os teores de Ca e Mg, oriundos da dissolução do calcário, foram determinados em maior quantidade na camada de 5-10 cm, seguindo-se o mesmo comportamento do pH (Figura 5a) e o inverso da acidez potencial (Figura 6a). Caires et al. (1998 e 2000a) demonstraram que a calagem superficial, após 12 meses, em SPD estabelecido, proporcionou aumentos significativos nos teores de Ca e Mg até 10 cm de profundidade, ou seja, ocorreu movimentação de bases no perfil do solo, só que de forma gradual e menos intensa que do presente trabalho.

Anterior a reaplicação do calcário, isto é, com 19 meses após a correção superficial (Figuras 7b e 8b), as diferenças para Ca e Mg entre os tratamentos sem e com calagem foram mantidas em profundidade, havendo, no entanto, inversão de comportamento das camadas de 0-5 e 5-10 cm. Isto significa que, no período em questão (Figura 7b e 8b), os maiores teores de Ca e Mg foram identificados na superfície (0-5 cm), ao contrário do observado nas Figuras 7a e 8a. Mello et al. (2003), também instalando SPD com calagem superficial, em

condições ambientais similares ao do presente experimento, verificaram que, após 12 meses da aplicação do corretivo, a camada de 0-5 cm encontrava-se com teores de Ca e Mg superiores ao sistema de plantio convencional e iguais na camada de 5-10 cm, indicando que os compostos liberados pela hidrólise do calcário movimentaram-se verticalmente no SPD.

Com relação ao K (Figura 9a), constatou-se que, após 5 meses da calagem, houve elevação na concentração desse elemento em todas as profundidades, sendo maior na camada superficial de 0-5 cm. Cabe ressaltar que esta primeira amostragem de solo foi efetuada logo após a colheita da soja. Como a maior parte do K presente no tecido das plantas se encontra na forma iônica, sem participar da formação de compostos orgânicos estáveis, este elemento pode ser extraído pela água das chuvas ou pela própria umidade do solo, sem a necessidade de mineralização dos resíduos, o que justifica a maior concentração de K disponível na camada superficial do solo em SPD (Bartz, 1998). Além disso, a calagem, juntamente com a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, reduzem as perdas de K por lixiviação no SPD, pois a retenção do K na camada superficial ocorre quando as cargas negativas das argilas e da M.O. estão livres (Quaggio et al., 1993; Miyazawa et al., 2000).

Com base no exposto anteriormente, uma das condições indispensáveis para a lixiviação de cátions no solo é a presença de ânions solúveis, tais como o nitrato e o sulfato (Miyazawa et al., 2000). Tal efeito, também pode estar associado à ligantes orgânicos hidrossolúveis liberados dos resíduos vegetais em início de decomposição, que formariam complexos $[ML^{\circ}$ ou ML^{-} ($M = Ca$ ou Mg)] com cátions divalentes (Miyazawa et al., 1996). Neste caso, o Ca e o Mg tem sua carga líquida alterada, reduzindo a energia de ligação com o complexo de troca, o que favorece sua lixiviação e a manutenção do K na camada superficial do solo (Franchini et al., 2001a).

Na segunda amostragem de solo verificou-se que, praticamente, não houve diferenças, em todas as camadas analisadas, para os teores de K sem ou com calagem (Figura 9b). O que se pôde observar foram os teores médios de K ($1,6-3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), somente na superfície, baixos ($0,8-1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, e muito baixos ($0,0-0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), na última profundidade, de acordo com os limites de interpretação apresentados por Rajj et al. (1997).

Com a reaplicação de calcário (Figura 9c), os valores de K elevaram-se de forma substancial, chegando a teores considerados altos ($3,1-6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm.

Os teores de M.O. foram aumentados em todas as profundidades estudadas, com a aplicação de calcário na superfície, somente na amostragem realizada 5 meses após a correção (Figura 10a). Esta elevação, provavelmente deveu-se ao maior crescimento do sistema radicular da soja, em função dos valores ótimos de pH (Figura 5a), menores teores de H+Al (Figura 6a) e maior disponibilidade de Ca e Mg (Figuras 7a e 8a), principalmente na camada de 5-10 cm, região esta onde se encontra grande parte do volume radicular dessa espécie.

Na segunda amostragem, após o primeiro cultivo de milho, já não mais se observaram diferenças substanciais entre os tratamentos sem e com calagem (Figura 10b). Mesmo a reaplicação do corretivo (Figura 10c) não proporcionou efeito na elevação dessa variável. Portanto, ficou evidente que na maior parte da condução do presente experimento, o aporte médio de M.O., para o tratamento sem correção e aquele que recebeu calagem, foi praticamente o mesmo.

Em relação a tudo o que foi discutido sobre as modificações nos atributos químicos do solo, em função da calagem superficial, deve-se chamar a atenção para o fato de que, mesmo sem a aplicação de calcário, foi ocorrendo elevação gradual nos valores de pH (Figura 5), Ca (Figura 7), Mg (Figura 8) e K (Figura 9), com redução de H+Al (Figura 6), em todo perfil do solo, durante o transcorrer do tempo, ou seja, nas três amostragens. Além disso, esta situação, independente dos valores absolutos atingidos, seguiram um padrão de comportamento bem próximo daquele apresentado quando se fez a correção do solo. Presume-se que isto seja, pelo menos em parte, devido aos efeitos benéficos da melhor agregação de solo em SPD, resultando em boa capacidade de infiltração de água, e principalmente ao constante aporte de M.O. observado na Figura 10.

A deposição contínua de resíduos orgânicos ao solo diminuem a atividade do Al e seus possíveis efeitos tóxicos, mediante a elevação da CTC, com disponibilidade suficiente de Ca e Mg, e reações de complexação com ácidos orgânicos (Ernani et al., 2000). Portanto, para a correção da acidez e neutralização de H+Al, alternativamente podem ser

aplicados resíduos vegetais no solo, que apresentam um efeito semelhante ao da calagem (Franchini et al., 1999a).

Quanto aos efeitos causados pelas diferentes coberturas vegetais no aumento da eficiência da calagem superficial, na correção da acidez subsuperficial, verificou-se que, nas duas primeiras amostragens, mesmo sem vegetação, houve aumento do pH (Figura 5a e b), elevação dos teores de Ca (Figura 7a e b), Mg (Figura 8a e b) e K (Figura 9a e b), com diminuição dos teores de H+Al (Figura 6a e b) em profundidade. Essa atuação eficiente do calcário aplicado na superfície do solo sem cobertura vegetal, na melhoria das condições químicas de subsuperfície, ocorre desde que haja a presença de ânions solúveis tais como nitrato e sulfato, como relatado por Miyazawa et al. (2000).

Os maiores teores de soma de cátions e de condutividade elétrica dos extratos das coberturas de sorgo de Guiné e milho (Tabelas 4 e 7), que conferem um melhor efeito alcalino a esses materiais vegetais devido ao maior teor de ânions orgânicos necessários à manutenção da eletroneutralidade na planta, deveriam pressupor uma contribuição diferenciada desses resíduos na mobilização dos produtos oriundos da dissolução do calcário, pois como se constatou (Figura 5a e b; Figura 6a e b; Figura 7a e b e Figura 8a e b), praticamente não ocorreram diferenças entre as plantas de cobertura.

Contudo, somente por meio da soma total de cátions solúveis, juntamente com a determinação da condutividade elétrica, não permitem saber, especificamente, quais são os compostos orgânicos envolvidos no processo e os seus respectivos teores, o que pode implicar na determinação de reações de complexação e mobilidade de cátions básicos, mais ou menos eficientes. Por exemplo, em estudo realizado por Miyazawa et al. (2000), com o objetivo de neutralizar a acidez potencial de solo ácido por meio de extratos vegetais, constatou-se que o efeito do milho foi quase nulo quando comparado a treze diferentes espécies, além de possuir baixa capacidade no transporte de Ca (Franchini et al., 2001b). Portanto, de modo geral, as gramíneas proporcionam menor aumento de pH e neutralização do Al no solo do que as leguminosas, sendo tal efeito não apenas relacionado com o teor total de cátions no extrato vegetal, mas também com a sua composição orgânica (Franchini et al., 1999a).

A vegetação espontânea não proporcionou diferença na fertilidade do solo, quando aplicado calagem superficial em comparação com as plantas de cobertura e o solo sem

vegetação, na primeira e segunda amostragem (Figura 5a e b; Figura 6a e b; Figura 7a e b e Figura 8a e b), apesar da sua composição apresentar elevado percentual de ocorrência de aveia preta, nabiça e trapoeraba. Franchini et al. (1999b) observaram aumento de Ca e Mg até na profundidade de 40 cm pela adição de extrato de aveia preta e nabo forrageiro, estando essas plantas entre as mais eficientes na neutralização da acidez. A trapoeraba destaca-se por possuir um dos extratos vegetais, associado com a calagem, mais eficiente no aumento de pH e com alta capacidade de reduzir o Al até 20 cm (Meda et al., 2002). No entanto, a quantidade de M.S. produzida por estas espécies do total da vegetação espontânea apresentado na Tabela 3 (3,7 t ha⁻¹), pode ter comprometido os seus efeitos potenciais.

Embora, neste trabalho, a quantidade de resíduos introduzida a cada ano tenha sido bastante inferior a utilizada em estudos de incubação ou colunas de solo em ambiente controlado, os efeitos possivelmente seriam cumulativos ao longo dos anos de cultivo à campo, como já constatado por Franchini et al. (1999a). Neste sentido, percebeu-se que no último ano de condução do presente estudo, começou haver diferenciação entre as coberturas vegetais, associadas com calagem superficial, em todas as profundidades, para o pH (Figura 5c), H+Al (Figura 6c), Ca (Figura 7c), Mg (Figura 8c) e K (Figura 9c). Este poderia ser o motivo pelo qual o aumento da mobilidade de Ca e Mg, em condições de campo, somente tenha sido observado em SPD estabelecidos, em que os resíduos vegetais por vários anos são depositados e mantidos na superfície do solo, permitindo que os compostos orgânicos hidrossolúveis liberados mobilizem esses elementos no solo antes da oxidação microbiana (Franchini et al., 1999a), manifestando as diferenças entre as espécies de cobertura.

Merece destaque a elevação do pH, a eficiente neutralização do H+Al e o aumento de Ca e Mg até na profundidade de 10 cm pela atuação dos resíduos de sorgo de Guiné vermelho e de painço, em conjunto com a reaplicação de calcário superficial (Figuras 5c, 6c, 7c e 8c). Além disso, o painço também se mostrou eficaz no acúmulo de K nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 9c).

Após os três anos de condução do experimento, pelos baixos valores de soma de cátions e condutividade elétrica apresentados pelo painço (Tabelas 4 e 7), não era esperado alterações químicas do perfil do solo tão positivas pela adição desse resíduo em associação com a calagem superficial. Assim, provavelmente, o composto orgânico

hidrossolúvel liberado em maior quantidade pelo painço deve apresentar capacidade de formar complexos estáveis, apesar do teor total de cátions não indicar isto.

Deve-se salientar que a reação da fração hidrossolúvel dos resíduos vegetais no solo é extremamente rápida e o processo de decomposição microbiana diminui drasticamente seus efeitos (Franchini et al., 1999a). Ocorre acentuada diminuição de compostos orgânicos solúveis dos resíduos vegetais após 15 dias de incubação e conseqüentemente na mobilidade de cátions polivalente (Franchini et al., 2001b). Embora os efeitos sejam de curta duração, os resíduos vegetais podem melhorar a fertilidade de solos ácidos, pelo menos na fase inicial de desenvolvimento da próxima cultura em sucessão. Assim, na fase inicial de decomposição predominam os compostos orgânicos de baixo peso molecular solubilizados pela água disponível (Franchini et al., 1999b), e com o avanço nos estádios de decomposição ocorrem alterações dessas formas orgânicas, havendo redução da fração hidrossolúvel e aumento na formação de substâncias com maior peso molecular (ácidos húmicos e fúlvicos) (Franchini et al., 1999a). Liu & Hue (1996) demonstraram que fulvatos de Ca derivados de resíduos vegetais, considerando a estabilidade do complexo orgânico formado, apresentam elevada mobilidade em solos ácidos.

Os resultados obtidos neste trabalho, com relação à redução da acidez de superfície e de subsuperfície, permitem sugerir que há possibilidade de realizar a correção da acidez do solo por meio da calagem superficial na fase de instalação do SPD, em solos anteriormente cultivados por meio sistema convencional de preparo. Diversos mecanismos, e suas ações conjuntas, podem ser responsáveis em levar os produtos da dissolução do calcário a atuarem em profundidade, como: o deslocamento de finas partículas de calcário através da porosidade continua no perfil do solo, a presença de canalículos formados por raízes mortas e galerias da macro e mesofauna, a formação de pares de Ca^{2+} e Mg^{2+} com NO_3^- e SO_4^{2-} de fertilizantes ou liberados pela mineralização da M.O. ou, ainda, por ligantes orgânicos produzidos na decomposição dos resíduos vegetais (Petrere & Anghinoni, 2001).

Para o milho, a calagem deve ser realizada sempre quando a V%, na camada de 0-20 cm estiver inferior a 60 (Raij et al., 1997). Desta forma, o efeito da aplicação de calcário, 5 meses após, proporcionou elevação satisfatória nos valores de V% na profundidade de 5-10 cm (Figura 11a), para o cultivo de milho em sucessão. Após esse primeiro cultivo de milho, ou seja, 19 meses da calagem superficial, constatou-se V% acima de 60 somente na camada de 0-5 cm

(Figura 11b), denotando um efeito residual principalmente na região onde o corretivo foi aplicado.

A atuação pronunciada do calcário de 5-10 cm após o cultivo da soja (Figura 11a), é sustentada pelos maiores teores de Ca (Figura 7a) e Mg (Figura 8a), nessa profundidade. Esse resultado pode ser explicado, em parte, pela movimentação física do calcário, em função da mobilização do solo até 10 cm, ocasionada pela semeadura mecanizada (Rheinheimer et al., 2000). Todavia, a hipótese mais provável a ser considerada seria a participação do ânion nitrato, fornecido pela adubação mineral e pela fixação biológica. Quanto ao N-mineral, parte foi depositado no sulco de semeadura até no máximo a 10 cm. Já a nodulação das raízes possivelmente ocorreu em maior parte nos primeiros 15 cm do solo, região essa onde se encontra a quase totalidade do volume radicular da soja.

Os valores de V% apresentados na camada superficial (0-5 cm), após 19 meses da calagem (Figura 11b), permitem verificar a não necessidade de reaplicação de calcário em superfície, de acordo com o método sugerido por Caires et al. (2000a) para SPD já estabilizados, onde somente indica-se a calagem para solos com pH (CaCl_2) inferior a 5,6, fato este não ocorrido (Figura 5b), ou quando a V% for menor que 65. Nesta situação, caso necessário, o cálculo da dose a ser aplicada deve seguir o método da elevação da V% a 65 na camada de 0-20 cm.

Contudo, a reaplicação foi efetuada, sendo a mesma realizada de forma diferenciada à cada tratamento (Tabela 3), visando a elevação da V% para 70, em amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm. Uma das justificativas deve-se ao fato de que, num sistema de cultivo onde há rotação e sucessão de culturas, a calagem, assim como outras diferentes práticas culturais, deve visar o sistema como um todo e não mais objetivar atender uma única cultura. Assim, depois de 8 meses da reaplicação (Figura 11c), após o segundo cultivo de milho, verificou-se a manutenção de valores de V% superiores ao tratamento sem correção e acima dos apresentados na segunda amostragem de solo, para todas as profundidades analisadas.

Para o teor de Al verificou-se comportamento similar no perfil do solo, após o cultivo da soja, para os tratamentos sem e com calcário (Figura 12a). Deve-se chamar a atenção para os efeitos contrários proporcionados pelos tratamentos vegetação espontânea e sem vegetação em relação às coberturas de sorgo, milho e painço, para cada profundidade. Este

efeito, só que de forma inversa, foi também constatado para o NO_3^- (Figura 13a), provavelmente, em função das altas concentrações de NO_3^- no solo, verificadas neste período (5 meses após calagem), interferindo na atividade do Al^{3+} . O NO_3^- é um dos importantes fatores que está associado à lixiviação de cátions, podendo o mesmo, como íon acompanhante, diminuir a toxidez de Al^{3+} (POTAFOS, 1998; Silva et al., 2000).

Na amostragem de solo anterior a reaplicação (Figura 12b), independente da correção ou não do solo, nota-se uma sensível elevação nos teores de Al^{3+} , principalmente na última camada (20-40 cm), que, contudo, não ultrapassou $11 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Esse valor, mesmo com o pH girando em torno de 4,0-4,5 (Figura 5b), possivelmente não seria restritivo ao crescimento radicular, com reflexos na absorção, na translocação de nutrientes e na absorção de água (Ernani et al., 2000). Num experimento onde foi avaliado o crescimento radicular da soja em função da calagem superficial, Caires et al. (2001) verificaram que os teores de Al trocável de $0-11 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ não causaram alterações no crescimento radicular, com precipitação pluvial bem distribuída.

Após a reaplicação de calcário os teores de Al^{3+} foram reduzidos à valores próximos de zero (Figura 12c). Em função desta diminuição não se deve esperar maior crescimento radicular pois, para Caires et al. (2001), a redução do Al trocável de 11 até $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ não proporcionou maior enraizamento de plantas. Assim, não ocorrendo limitação química e hídrica, as plantas concentrarão suas raízes nas camadas onde o crescimento é mais fácil, não prejudicando o processo de absorção (Marschner, 1995).

Fazendo-se uma análise geral para o Al^{3+} (Figura 12), verificou-se que em todas as amostragens os teores encontrados foram baixos. Isto provavelmente deveu-se à características intrínsecas do NITOSSOLO VERMELHO Distroférico (EMBRAPA, 1999). Portanto, os valores de pH (Figura 5) e Al trocável (Figura 12) permitem revelar que no SPD recém instalado, mesmo não realizando incorporação inicial do calcário, ocorre uma frente de neutralização da acidez a partir da superfície do solo, sendo o comportamento dos teores destes atributos decorrente do efeito acumulado entre a primeira correção e a reaplicação efetuada, assim como verificado por Amaral & Anghinoni (2001).

De modo geral, independentemente da cobertura vegetal ou da calagem superficial, verificou-se na Figura 13 que, com os anos de desenvolvimento do presente estudo,

os teores de NO_3^- vão sofrendo uma redução substancial e progressiva. Em função disso, não foi possível manter uma mesma escala numérica para representar o eixo do x nos três anos de avaliação.

No primeiro ano os teores de NO_3^- ficaram entre 50-250 ppm (Figura 13a). Esses altos valores podem ser justificados pelo cultivo de soja anterior a amostragem de solo. A simbiose soja-*Bradyrhizobium japonicum*, em função da inoculação artificial das sementes semeadas em solo já corrigido por meio de calagem, como foi o caso deste trabalho, pode proporcionar uma fixação de 100-160 kg ha^{-1} de N (Mascarenhas et al., 2003). Além disso, há também a contribuição dos restos culturais dessa leguminosa, incluindo-se a parte aérea e as raízes que se degradam no solo. Nesse contexto, a palhada de soja cuja quantidade de N encontrada em seus tecidos é em torno de 26 g kg^{-1} , possui potencial para promover aumento de mais de 299 % nos teores originais de NO_3^- no solo (Holtz & Sá, 1995).

Também deve ser lembrado que, como o cultivo se deu em safrinha, havendo a possibilidade de diminuição da atividade simbiótica, realizou-se, além da inoculação, a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N, sendo aproximadamente 1/4 dessa dose no sulco de semeadura e o restante antes do florescimento, conforme recomendação de Mascarenhas & Tanaka (1997). Por tanto, a eficiência do calcário aplicado na superfície, com os produtos de sua dissolução atuando em profundidade (Figuras 7a e 8a), num curto período (5 meses), dentre a ação conjunta de diversos mecanismos envolvidos, deveu-se fundamentalmente a formação de pares iônicos de Ca^{2+} e Mg^{2+} com o NO_3^- oriundo da fixação simbióticas do N-atmosférico, de fertilizantes minerais empregados na semeadura e em cobertura e liberado pela mineralização da M.O. dos resíduos vegetais. Esses resultados corroboram aos apresentados por Crusciol et al. (2003), onde a calagem superficial na implantação do SPD incrementou os teores de Ca e Mg no perfil do solo com o aumento das doses do corretivo, em função da ação da adubação nitrogenada.

Na presença de calagem superficial, em relação à não aplicação, a intensidade da nitrificação praticamente não foi aumentada (Figura 13). De forma contrária, maior disponibilidade de NO_3^- tem sido obtida nos solos onde se procedeu a incorporação do corretivo, em função do aumento na atividade de bactérias autotróficas nitrificadoras (Silva & Do Vale, 2000). Em sistemas de cultivo convencional, os maiores teores de N-nítrico na camada de 0-20 cm são observados em condições de pH próximo da neutralidade, reduzindo teor de Al^{3+}

e elevando teor de Ca^{2+} no solo. Deve-se também ressaltar que, no presente trabalho, o suprimento mineral de N se deu na forma de uréia. Portanto, no caso específico da uréia, mesmo em solos ácidos não corrigidos, a taxa de nitrificação pode ser alta, pela elevação do pH em consequência da hidrólise desse fertilizante (Silva & Do vale, 2000).

A partir do primeiro cultivo de milho houve redução acentuada nos teores de NO_3^- (Figura 13b), sendo que mesmo com a reaplicação de calcário e com as adubações nitrogenadas de semeadura e em cobertura, ao final do segundo cultivo de milho os valores de NO_3^- foram ainda menores (Figura 13c). Essa sucessão de cultivo, milho após milho, apenas intercalada pelas coberturas vegetais, que na maioria foram formadas por gramíneas, possibilitou a adição de quantidades elevadas de resíduos vegetais com alta relação C/N, fazendo com que os microrganismos quimiorganotróficos que atuam na decomposição da M.O. se multiplicassem gradativamente, produzindo CO_2 em grande quantidade e, como consequência, praticamente fazendo desaparecer o NO_3^- do solo (Argenta et al., 2001). Holtz & Sá (1995), avaliando a decomposição dos resíduos de milho nos primeiros 30-45 dias após a colheita, verificaram a insignificante elevação dos teores originais de NO_3^- no solo em 8,8 %, enquanto a soja chegou a promover aumento da ordem de 299,3 %.

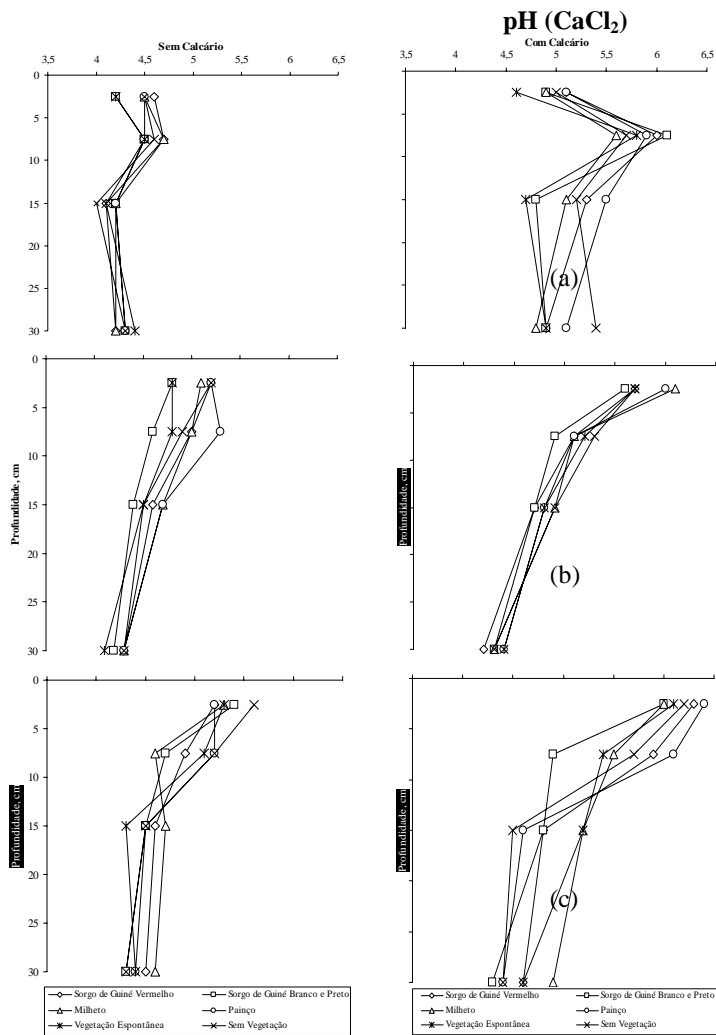
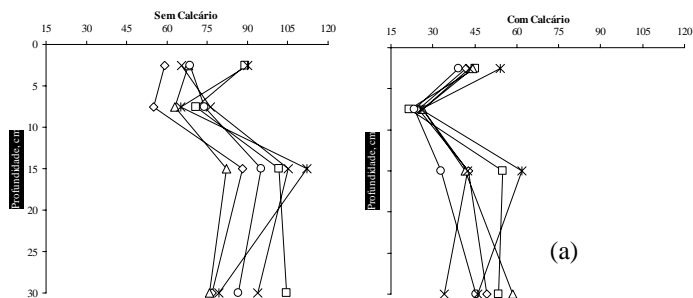


Figura 5. Valores de pH no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.



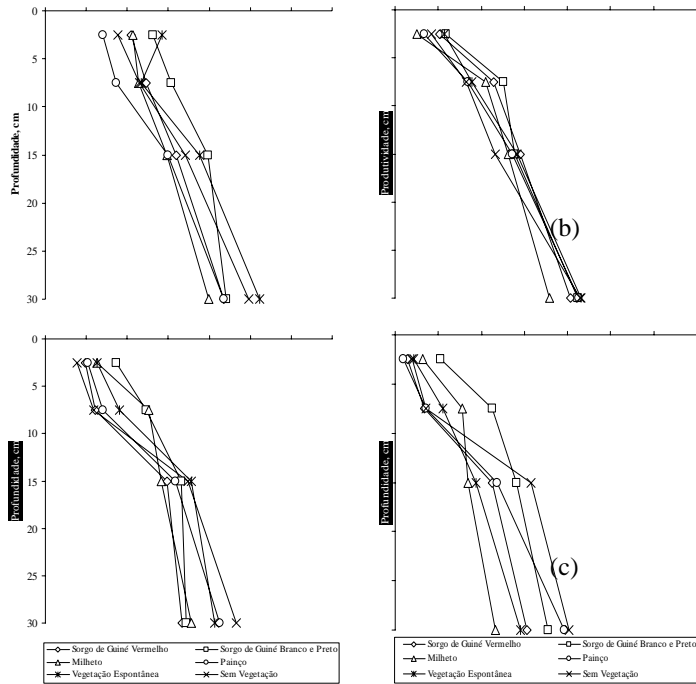
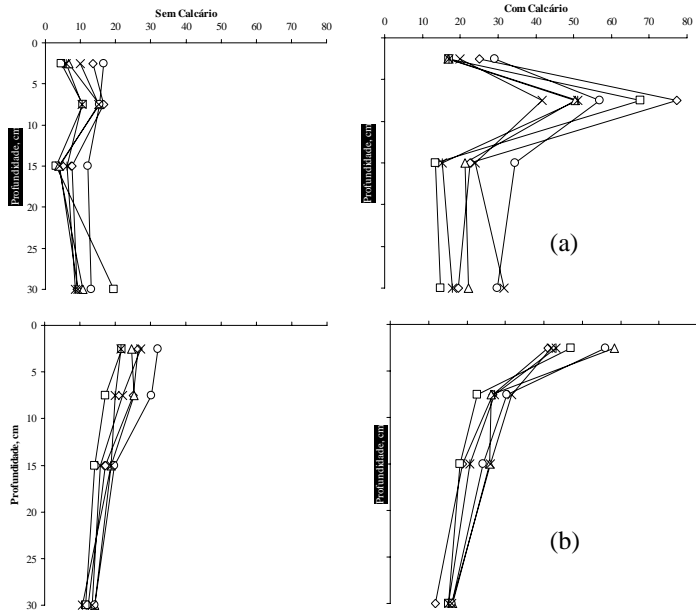


Figura 6. Teores de H + Al no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.



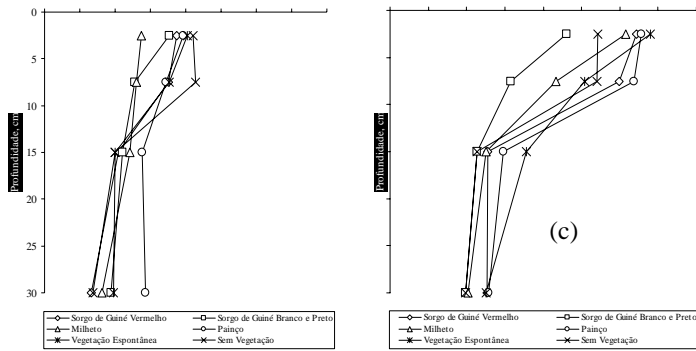


Figura 7. Teores de Ca no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.

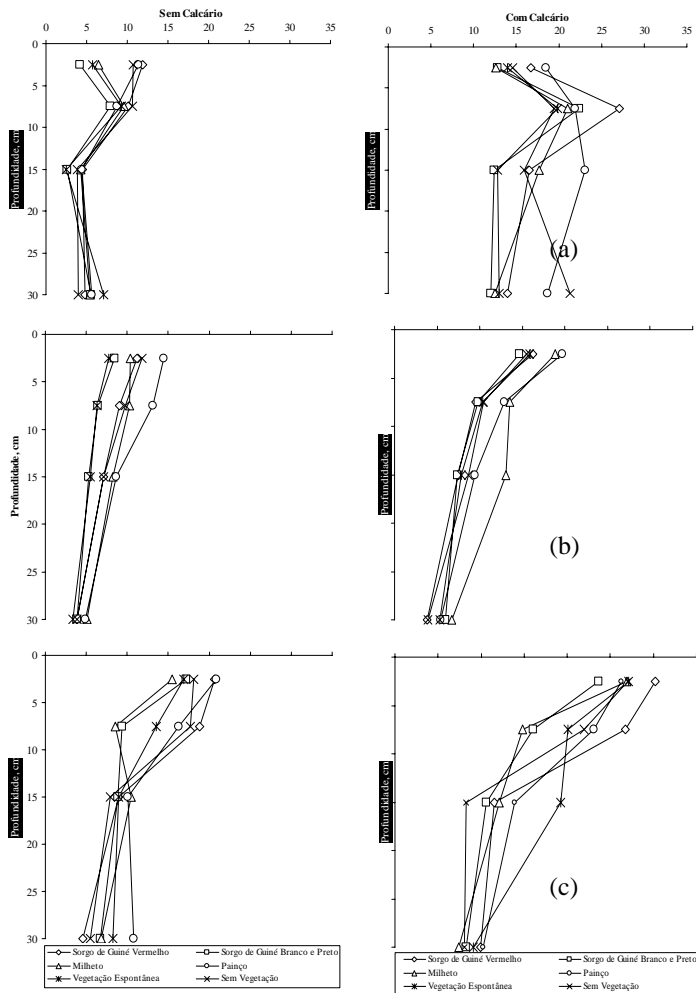


Figura 8. Teores de Mg no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.

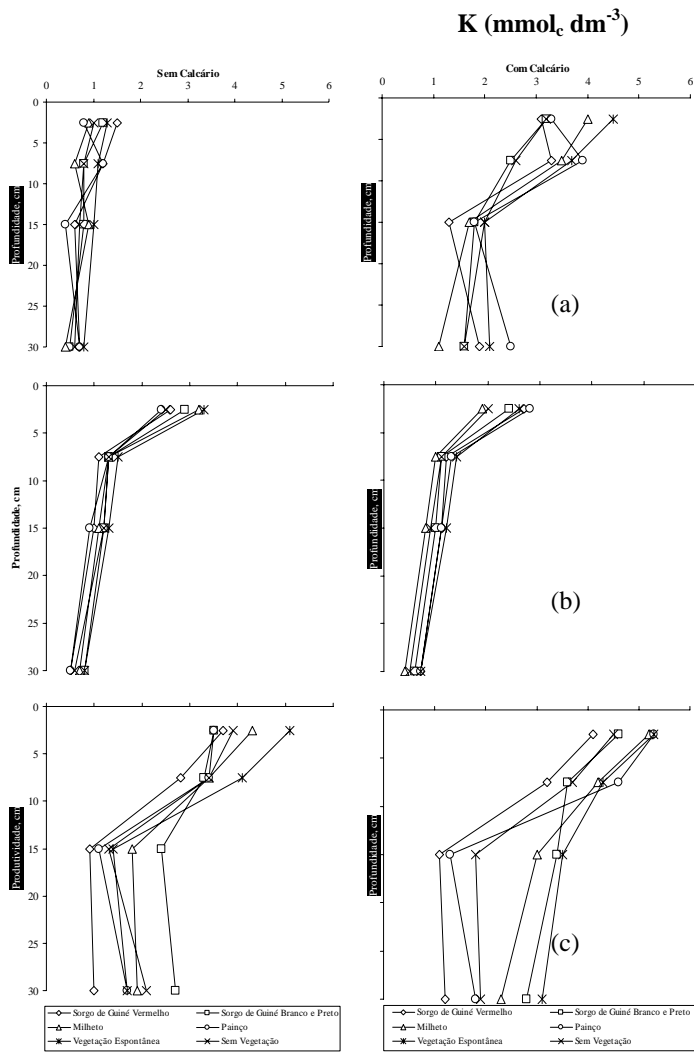
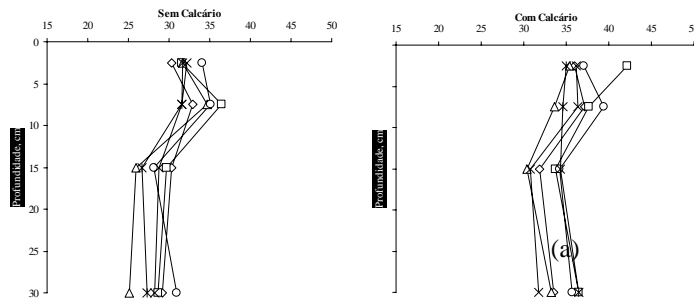


Figura 9. Teores de K no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.



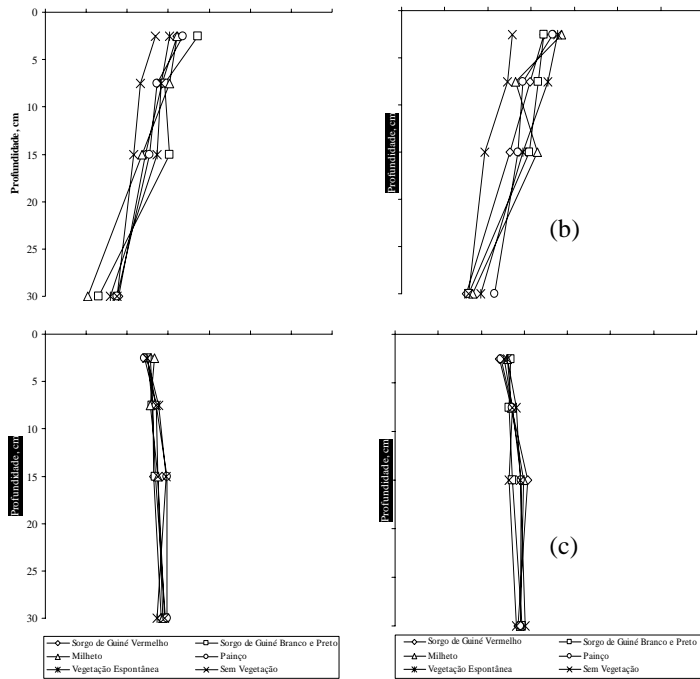
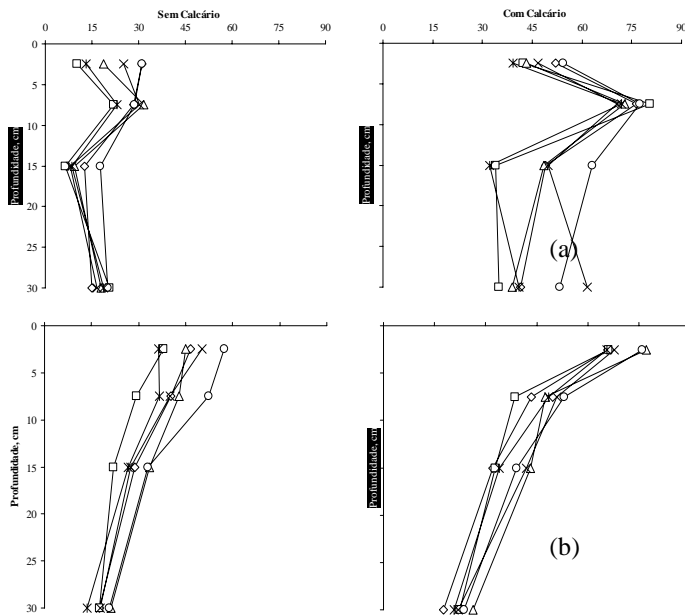


Figura 10. Teores de M. O. no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.



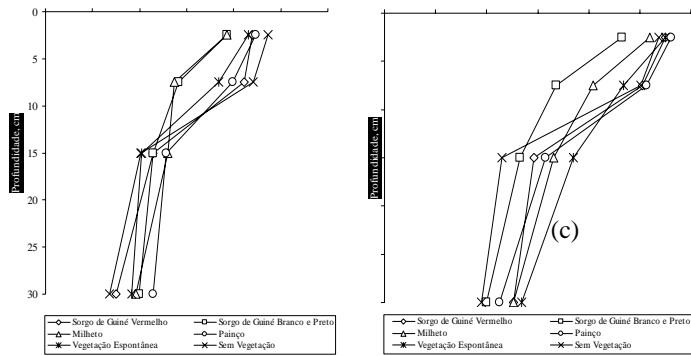


Figura 11. Valores de V% no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.

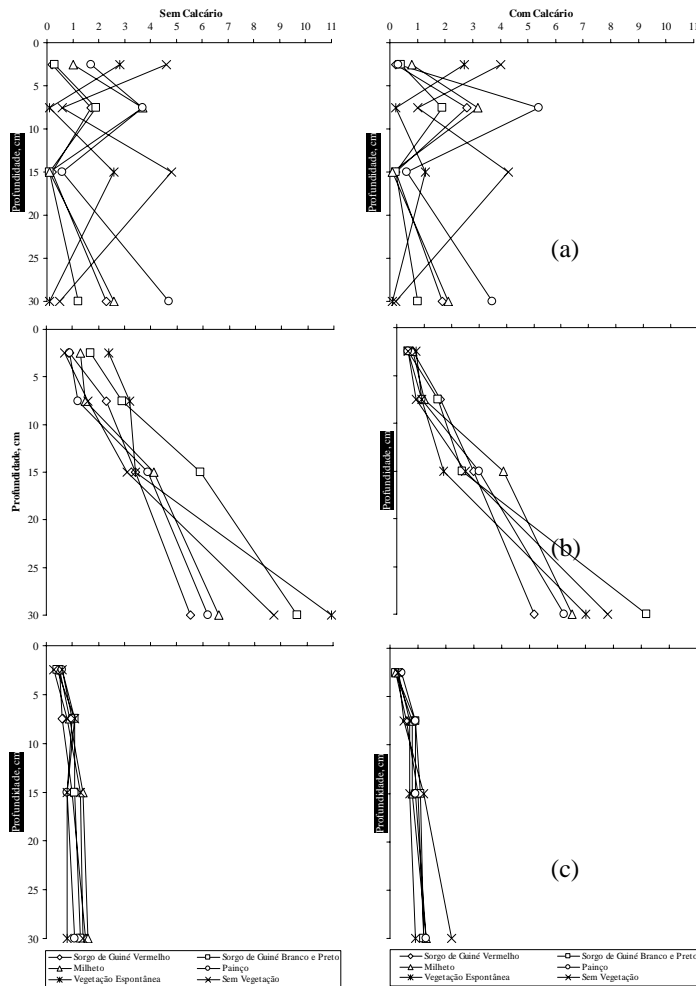


Figura 12. Teores de Al no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.

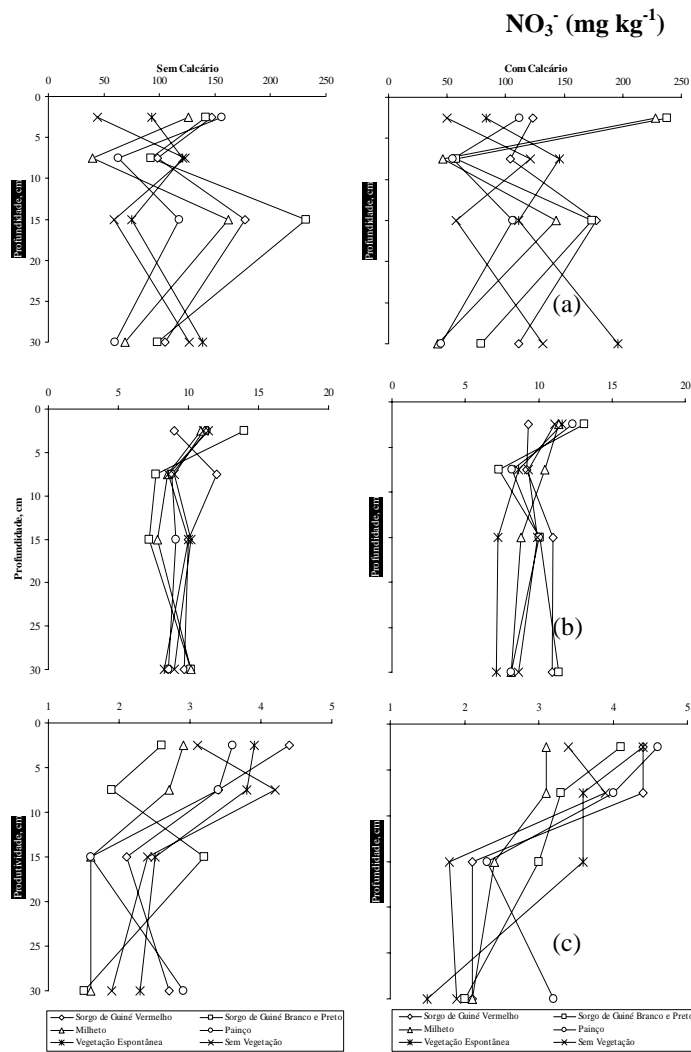


Figura 13. Teores de NO₃⁻ no perfil do solo, em função da cobertura vegetal após 5 meses (a) e 19 meses (b) da calagem superficial e 8 meses (c) após a reaplicação do corretivo. Botucatu-SP.

6.2.2 Calcário residual

Na Figura 14, somente para o tratamento com calcário na superfície, estão representados do lado esquerdo os teores de Ca e Mg trocáveis do solo, extraídos por extrato de KCl, em comparação com os teores não trocáveis desses elementos à direita, ou seja, neste último caso está sendo considerado o corretivo remanescente que ainda não reagiu. Constatou-se que o material corretivo, 19 meses após a sua aplicação na superfície do solo, independente da cobertura vegetal, continuou reagindo (Figura 14), sendo possível, por meio da determinação das frações não trocáveis de Ca e Mg, extraídas mediante fervura do solo com solução de ácido clorídrico 0,8 mol L⁻¹ (Quaggio et al., 1995), avaliar o efeito residual do calcário ao longo do

tempo de cultivo das culturas (Quaggio, 2000). Esse método permite constatar que a eficiência de frações granulométricas mais grosseiras são maiores do que as previstas na legislação brasileira, onde somente considera-se um curto período de três meses para avaliar a taxa de reatividade do corretivo, podendo haver capacidade neutralizante durante um longo transcorrer de tempo, com resposta às culturas em sucessão e rotação no SPD.

Como foi utilizado um calcário mais reativo (faixa D), ou seja, finamente moído (filler) (Tabela 2), 19 meses após a aplicação (Figura 14) os valores das frações não trocáveis de Ca, Mg e Ca+Mg já encontravam-se em proporções inferiores, em todas as profundidades, comparando-se com os teores trocáveis, além de que parte do Ca e Mg também foi extraída e exportada nas produções de soja e milho. Isso demonstrou que a dissolução do calcário ocorreu de forma rápida, atuando na correção da acidez do solo na amostragem efetuada 5 meses após a calagem superficial, em todas as profundidades. Contudo, quanto maior a reatividade do calcário, menores são os efeitos residuais. Portanto, aos 19 meses após a correção, não só em função dos atributos químicos do solo apresentados na Tabela 3, mas também pelos teores de Ca e Mg não trocáveis (calcário residual) menores que os valores disponíveis (Figura 14), verificou-se a necessidade de reaplicação superficial de calcário.

Quaggio et al. (1995) desenvolveram, entre 1987 a 1991, um experimento no campo no qual se analisava a eficiência agrônômica de calcários dolomíticos, onde o corretivo tradicional, que possui granulometria mais grosseira, com cerca de 25% de suas partículas maiores que a peneira de 0,30 mm, apresentou sempre maiores valores de Ca+Mg não trocáveis no solo, sendo que, de 6 para 20 meses após aplicação, a diferença ficou ainda maior em comparação com um calcário filler. Mello et al. (2003), no primeiro ano de instalação do SPD com calcário na superfície, verificaram os benefícios da aplicação de dose mais elevada do corretivo com maior granulometria. Para esses autores, a maior parte da fração granulométrica mais fina (menor que 0,30 mm) reage no solo em três meses, enquanto que o resíduo com maior dimensão (2,0-0,30 mm) continuará agindo mais lentamente.

Mediante o que já foi discutido, considerando-se apenas os aspectos técnicos e os econômicos a longo prazo, pode-se inferir que a utilização do calcário tradicional, com menor grau de moagem (moído em moinho de martelo), seria a melhor escolha para o sistema de rotação e sucessão de culturas em plantio direto. Essa especulação fundamenta-se no

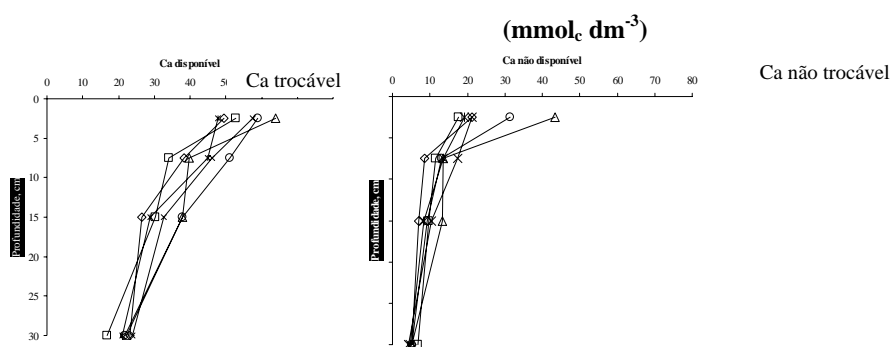
fato de que o PRNT, índice onde já está contido a reatividade do corretivo, é levado em consideração para o cálculo da necessidade de calagem, isto é, maior quantidade de calcário grosso será adicionado em relação ao fino, visando, em ambos os casos, elevar a V% para o mesmo valor em três meses. Após este período inicial o efeito residual prolongado do calcário grosso se sobressairá, beneficiando o sistema de cultivo como um todo. Portanto, caso tivesse sido empregado um corretivo de granulometria mais grosseira, provavelmente a decisão de se reaplicar calcário seria tomada além dos 19 meses, quando essa necessidade foi verificada no presente trabalho.

Contudo, essa certeza de que o Ca+Mg não trocáveis, determinados por meio do método proposto por Quaggio et al. (1995), realmente representa a fração residual de calcário que ainda irá reagir futuramente no solo, deve ser melhor verificada por estudos específicos. A fundamentação básica desse método, após a extração com KCl do Ca e Mg disponíveis no solo, é a ação conjunta da elevação de acidez, temperatura e umidade, aumentando a reatividade do corretivo, visando acelerar sua dissolução, para então ser realizada as leituras de Ca e Mg correspondentes a teores não trocáveis do solo. No entanto, há um consenso na literatura internacional que frações do corretivo com granulometria superior a 2,0 mm praticamente apresentam eficiência nula no solo. Assim, fica o questionamento a respeito de qual a garantia de que as altas temperaturas ao ferver o solo, juntamente com a atuação de um ácido forte como o HCl, não irão promover a dissolução dessas partículas mais grosseiras de calcário. Outro questionamento seria o tempo que esse calcário residual, determinado pelo teor de Ca+Mg não trocáveis, continuaria reagindo, pois quanto maior a sua atuação efetiva num período mais longo, maiores serão os retornos econômicos apenas com uma calagem.

Como o comportamento em profundidade dos teores trocáveis de Ca e Mg, extraídos por meio de extrato de KCl (Figura 14), conforme o método para determinação do calcário residual (Quaggio et al., 1995), apresentou similaridade com os valores de Ca e Mg extraídos com resina trocadora de íons (Figuras 7b e 8b), para o tratamento com correção, 19 meses após aplicação, decidiu-se realizar estudo de correlação simples (r) entre esses dois métodos. Observou-se que em todas as profundidades, para os teores de Ca, Mg e a somatória Ca+Mg, as correlações foram positivas, acima de 0,50 e significativo a 1% (Tabela 14). Esse resultado está de acordo com os apresentados por Cantarella et al. (2001), pois segundo esses

autores a solução de KCl é também eficaz para extrair Ca e Mg trocáveis, principalmente em solos do estado de São Paulo, onde esses teores obtidos com esse tipo de extrator são similares aos determinados em resina de troca iônica. A única atenção que deve ser chamada é o fato do extrato com KCl ter favorecido uma maior retirada de Ca e Mg, superando os valores obtidos com a resina.

Ao final do experimento, depois de 8 meses da reaplicação do calcário na superfície, após o segundo cultivo de milho, verificou-se, quanto ao Ca e ao Mg não trocáveis (Figura 15), em termos comparativos com a análise realizada anteriormente (Figura 14), que ainda existia grande parte do calcário reaplicado nas duas primeiras camadas do solo (0-5 e 5-10 cm), suficiente para atuar na correção da acidez necessária à próxima cultura em sucessão. Esse calcário residual em superfície continuará reagindo (Quaggio, 2000), sendo que, futuramente, parte substancial dos compostos da solubilização do corretivo acabarão sofrendo uma movimentação vertical, atuando em profundidade, pela ação conjunta dos mecanismos envolvidos na explicação da correção da acidez de superfície e subsuperfície em SPD.



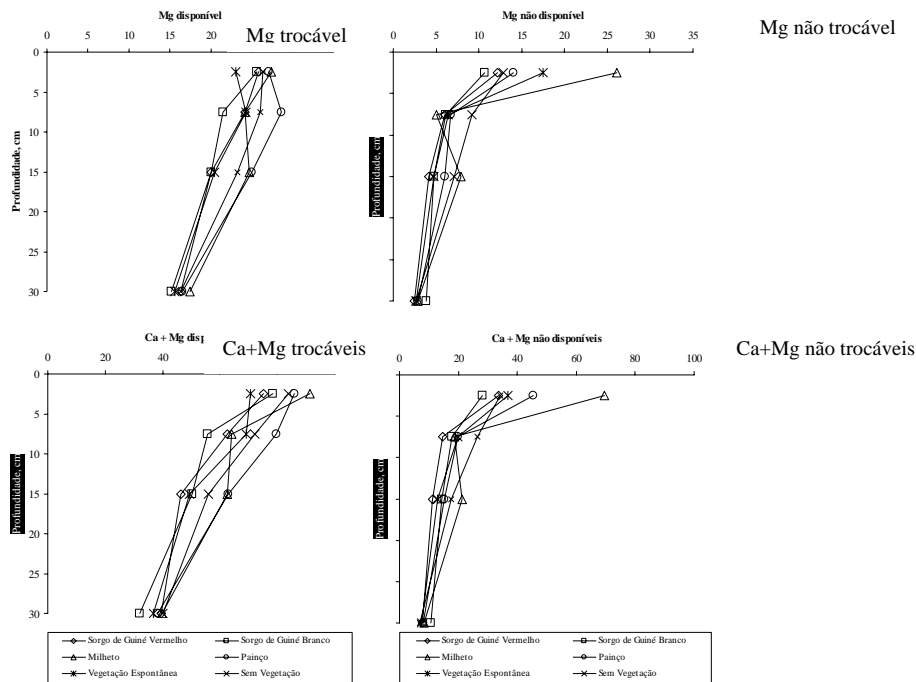


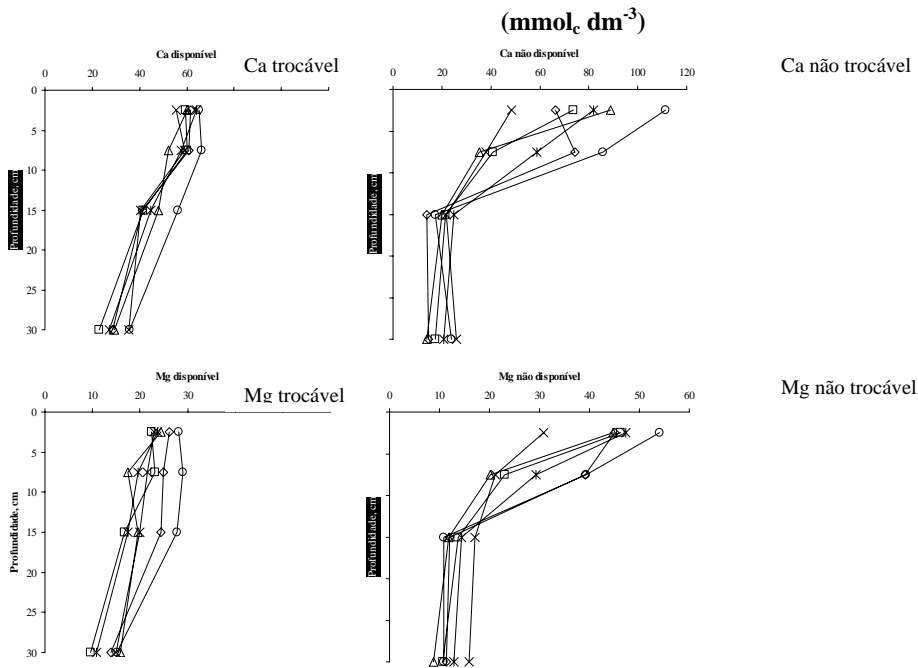
Figura 14. Calcário residual no perfil do solo, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após 19 meses da aplicação (médias dos tratamentos com calcário). Botucatu-SP.

Tabela 14. Coeficiente de correlação simples (r) entre os teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com resina trocadora de íons e por meio de extrato de cloreto de potássio, após 19 meses da calagem superficial (tratamento com calcário), no perfil do solo. Botucatu-SP, 2001.

Resina Trocadora de Íons	Extrato de Cloreto de Potássio		
	Ca	Mg	Ca + Mg
	----- 0 – 5 cm -----		
Ca	0,67**		
Mg		0,53**	
Ca + Mg			0,68**
	----- 5 – 10 cm -----		
Ca	0,79**		
Mg		0,62**	
Ca + Mg			0,83**
	----- 10 – 20 cm -----		
Ca	0,74**		

Mg	0,71**	
Ca + Mg		0,78**
----- 20 – 40 cm -----		
Ca	0,70**	
Mg	0,50**	
Ca + Mg		0,68**

** indica significância a 1% pelo teste t.



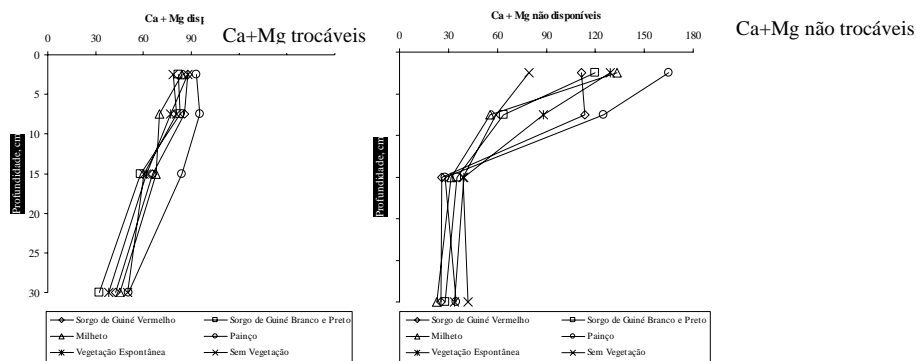


Figura 15. Calcário residual no perfil do solo, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após 8 meses da reaplicação (médias dos tratamentos com calcário). Botucatu-SP.

6.3 Teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar

Os teores de N, P, K e Ca nas folhas de soja não foram influenciados pelos fatores estudados, sendo que somente para o Mg houve interação entre a cobertura vegetal e a calagem superficial (Tabela 15). Da mesma forma, Caires et al. (2003), avaliando a nutrição mineral de soja, considerando a aplicação da calagem na superfície desde o primeiro ano de instalação do SPD, também observaram que os teores de nutrientes nas folhas foram pouco influenciados pela correção, com o diferencial de que todos macronutrientes mantiveram-se em níveis considerados normais para o desenvolvimento da cultura.

A composição média dos teores de nutrientes apresentaram-se na seguinte ordem decrescente no tecido foliar da soja: $N > K > Ca > Mg > P$ (Tabela 15), o que está de acordo com os resultados de Caires et al. (2003), para extração de nutrientes pela parte aérea de soja, a não ser pela inversão $P > Mg$. No presente trabalho, os teores médios de N, P, K e Mg (Tabela 15) não mantiveram níveis considerados suficientes para a soja, independentemente dos tratamentos aplicados, encontrando-se abaixo das faixas adequadas de 45-55; 2,6-5,0; 17-25 e 3,0-10 $g\ kg^{-1}$ (Malavolta et al., 1997), respectivamente. Somente o Ca apresentou teores dentro da faixa ótima de 4-20 $g\ kg^{-1}$. Dessa forma, fica o questionamento se os teores nutricionais em safrinha seriam os mesmos esperados para os cultivos de verão.

Essa falta de resposta na aplicação dos diferentes tratamentos, assim como os baixos teores apresentados pela maioria dos macronutrientes, deve-se provavelmente a baixa disponibilidade hídrica (221 mm) ocorrida durante o cultivo dessa leguminosa (Figura 1),

quando o ideal seria um volume total de chuvas entre 500 a 700 mm (Marcos Filho, 1986). Os danos causados na soja, em decorrência de períodos de forte estiagem durante o seu ciclo, devem estar relacionados com aspectos nutricionais, pela importância da umidade do solo nos processos de transporte e absorção de nutrientes (Caires et al., 2001). Portanto, a restrição de água durante o cultivo da soja safrinha (Figura 1), independente dos tratamentos, pôde ser considerada a mais importante hipótese na redução da eficiência de utilização dos nutrientes minerais pela planta. A seca prolongada pode, também, induzir à deficiências minerais em função da diminuição na mineralização da M.O. do solo pelos microrganismos.

Agravando a situação de déficit hídrico, quando inicia-se a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo, paralelamente começa o processo de decomposição, sendo que nos primeiros anos o produto da mineralização será reutilizado para a manutenção da biomassa microbiana (Bartz, 1998), ou seja, os efeitos da imobilização tendem a serem mais expressivos na fase inicial de implantação do SPD (Caires, 2000). É também importante considerar que a semeadura da soja foi realizada 5 dias após a aplicação do calcário na superfície, sendo o tempo de reação do corretivo teoricamente muito pequeno para que houvesse alterações nutricionais na soja.

A não alteração dos teores de N em função da calagem (Tabela 15), independente do período de seca durante o ciclo da soja, foi também constatado por Caires et al. (2003), no primeiro cultivo dessa cultura sob SPD, aproximadamente 4 meses da aplicação total de calcário na superfície ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$), visando a elevação da $V\% = 70$, onde não houve diferença para o tratamento sem correção. De forma similar, só que em experimento de longa duração sob SPD, com a aplicação de diferentes doses de calcário na superfície do solo em 1993, Caires et al. (1998), Caires et al. (1999) e Caires & Fonseca (2000) não verificaram alterações significativas dos teores de N nas folhas de soja cultivada nas safras de 1993/94, 1995/96 e 1996/97, ainda que a calagem possa exercer efeitos benéficos sobre o processo biológico de fixação de N_2 , associado principalmente à maior disponibilidade de Mo e a redução da acidez do solo. Com o transcorrer do experimento supracitado, Caires et al. (2001), na safra agrícola de 1998/99, começaram a observar pequena redução no teor de N nas folhas de soja com a calagem, por efeito de diluição do nutriente nos tecidos da planta, considerando a maior produção de M.S.

Com relação à não resposta dos teores de N pela ação das coberturas vegetais, é possível que os processos de mineralização, imobilização e remineralização, em gramíneas com elevada adição de M.S. na forma de resíduos com alta relação C/N (Tabela 4), provoquem aumentos na população microbiana com elevada demanda de N, podendo causar as deficiências observadas nas plantas de soja (Tabela 15).

Em solos ácidos a calagem normalmente aumenta a disponibilidade de P adsorvido nos óxidos de Fe e Al, com a elevação do pH (Caires et al., 2001). Nesse sentido, Caires et al. (2003), no primeiro ano agrícola de instalação do SPD com correção superficial, notaram que houve acentuada diminuição no teor de P, a partir da superfície do solo, ocorrência comum em SPD, considerando a ausência de revolvimento. Esse comportamento proporcionou teores foliares de P iguais entre os tratamentos sem calcário e aquele com calagem na superfície, assim como verificado no atual trabalho (Tabela 15).

A elevada deposição inicial de resíduos vegetais na instalação do SPD (Tabela 4), juntamente com a quantidade de água inferior ao adequado (Figura 1), respondem por menor mineralização e maior imobilização de P, diminuindo a sua disponibilidade em profundidade e conseqüentemente provocando deficiências como podem ser observadas pelos valores da Tabela 15. Contudo, deve ser ressaltado que, em SPD com mais de 15 anos, com o cultivo de soja na época ideal, observou-se aumentos significativos na absorção de P por essa cultura, com a calagem na superfície, tanto por Caires & Fonseca (2000), como por Caires et al. (2001). Nestes casos, maiores teores foliares de P, com a calagem, provavelmente foram acompanhados de aumentos na disponibilidade do nutriente no solo.

A não alteração dos teores foliares de K na soja pela aplicação de calcário (Tabela 15), foi também observado por Caires et al. (2003), no primeiro ano de instalação do SPD, e por Caires et al. (1998), em sistema já estabelecido, sendo que somente neste último caso, no cultivo em que a precipitação pluvial foi satisfatória, os teores de K encontravam-se na faixa adequada. Assim, mesmo que a soja apresente elevado potencial em absorver quantidades significativas de K, a umidade se faz necessária à movimentação desse elemento por difusão até as raízes das plantas para que ocorra absorção.

É com certa freqüência que se verifica o aparecimento de sintomas de deficiência de K na soja em SPD, principalmente na fase de instalação (Bartz, 1998). Isto

certamente deve ocorrer devido à ausência de efeito da calagem superficial sobre os teores desse nutriente no solo (Caires & Fonseca, 2000). No entanto, deve ser lembrado que a amostragem para diagnose foliar da soja foi realizada após dois meses da dessecação do primeiro cultivo das plantas de cobertura, quando o K da fitomassa já havia retornado para o solo, onde durante todo esse período a calagem deveria estar atuando na redução das perdas de K por lixiviação.

Mesmo que a redução do teor foliar de K com a calagem não tenha sido significativa (Tabela 15), deve-se ter cuidado para que esse resultado não leve à interpretação errada de que a correção pode ter provocado perdas de K no solo ou a diminuição de sua disponibilidade, dado o aumento dos teores de Ca e Mg (Caires et al., 2001). Sabe-se que o aumento das cargas negativas dependentes de pH ocasionado pela calagem e a alteração das cargas de cátions divalentes pela formação de complexos $[ML^{\circ}$ ou ML^{-} ($M = Ca$ ou Mg)] com ligantes orgânicos hidrossolúveis liberados pelos resíduos vegetais, o K^{+} ocuparia as cargas livres, aumentando, assim, o teor de K disponível à absorção (Caires et al., 1998).

A não diferença entre o teor de Ca nas folhas de soja, com calagem superficial em relação ao tratamento sem correção (Tabela 15), também foi observado por Caires et al. (2003) em condições semelhantes de instalação do SPD. Em SPD já estabelecido, em dois cultivos de soja, Caires et al. (1998) verificaram, também, que os teores de Ca nas folhas não foram influenciados pelo calcário na superfície. No entanto, num terceiro e quarto cultivos, Caires et al. (1999) e Caires et al. (2001) constataram que os teores de Ca na soja foram aumentados de forma quadrática e linear, respectivamente, com a elevação da dose de calagem.

A ausência de efeito da calagem sobre a absorção de Ca pode estar vinculada aos elevados teores de Ca trocável que o solo continha ($> 7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), mesmo antes da instalação do experimento (Tabela 1), em condições de alta acidez, como já constatado por Caires & Fonseca (2000). Entretanto, como já discutido, as condições hídricas adversas (Figura 1), e o fato de ser o primeiro ano de instalação do SPD, provavelmente foram as principais dificuldades à obtenção de resposta diferenciada entre os tratamentos empregados.

Analisando o desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial em relação ao teor de Mg da soja (Tabela 16), verificou-se que somente dentro do tratamento com calcário na superfície houve diferença de comportamento proporcionado pelas coberturas. Neste sentido, o teor de Mg das folhas de soja, com a vegetação espontânea,

apresentou o menor valor, sendo que, com o milheto utilizado como planta de cobertura, houve elevação significativa. Deve ser lembrado que o milheto foi a espécie vegetal de maior capacidade na reciclagem de Mg (Tabela 10).

Caires et al. (2003) constataram que o Mg das folhas de soja não foi influenciado pela aplicação superficial de calcário dolomítico no ano de implantação do experimento, sendo que da mesma forma como no presente trabalho (Tabela 15), independente das condições pluviais, os teores estavam abaixo da faixa adequada nos tratamentos sem e com calcário. Num SPD na fase de estabilização, Caires et al. (1998) verificaram que o teor foliar de Mg, somente no segundo cultivo de soja, foi influenciado pela aplicação de calcário. Dando continuidade a esse experimento, Caires et al. (1999), num terceiro cultivo de soja, observaram aumento dos teores de Mg pela calagem em superfície, pois 40 meses após a correção houve movimentação lenta e gradual do Mg trocável, proveniente do calcário, no perfil do solo.

Com o maior tempo de sua aplicação na superfície, a dissolução do calcário vai proporcionando aumentando na absorção de Mg pela soja em função da elevação do Mg trocável disponibilizado em profundidade, pelo uso de calcário dolomítico (Caires & Fonseca, 2000; Caires et al., 2001). Todavia, caso ocorra intensa lixiviação do Mg, independente do mecanismo envolvido, a soja passa a ser influenciada negativamente em decorrência da maior exigência desse nutriente nas camadas superficiais do solo, pelo fato de sua menor habilidade de aproveitamento do mesmo em subsuperfície, isto quando comparado ao milho (Caires et al., 1999).

Dentre as várias funções, o Mg se destaca como átomo central da molécula de clorofila, ligado a quatro átomos de N, estando diretamente envolvido com a fotossíntese. Assim, as deficiências de Mg e N (Tabela 15), significaram que as plantas não utilizaram eficientemente a luz do sol como fonte de energia, para levar a efeito funções essenciais como a absorção de nutrientes e a produção de M.S., necessárias ao desenvolvimento satisfatório da cultura de soja.

No estágio 5,0 do milho, ou seja, emergência do estilo-estigmas à polinização (Fornasieri Filho, 1992), a variável teor de N para o primeiro cultivo apresentou interação significativa entre os fatores estudados, descartando-se, portanto, a discussão dos efeitos isolados de cobertura vegetal e calagem superficial (Tabela 17).

Pelo desdobramento da interação (Tabela 18), observou-se que apenas nos tratamentos vegetação espontânea e sem vegetação, os teores de N apresentaram elevação significativa com a aplicação de calcário. Neste contexto, o maior teor de N foi obtido no tratamento sem vegetação e com calagem ($26,7 \text{ g kg}^{-1}$). Este resultado justifica-se pelo fato de, provavelmente, no tratamento mantido sem planta de cobertura desde a instalação do experimento, não ter ocorrido imobilização do N, mesmo porque, aparentemente não houve problema de disponibilidade de N na forma de nitrato (Figura 13a). Contudo, este maior valor de N nas folhas está um pouco abaixo da faixa considerada adequada (Malavolta et al., 1997), para a cultura do milho ($27,5\text{-}32,5 \text{ g kg}^{-1}$).

A utilização de leguminosa como a soja, num sistema de rotação e sucessão de cultivos, se constitui em prática importante para contribuir com o suprimento parcial de N à cultura de milho. Entretanto, para que a disponibilização substancial e imediata de NO_3^- , observada após o cultivo da soja (Figura 13a), seja melhor aproveitada, é importante que a época de semeadura do milho não se distancie tanto do final de cultivo dessa leguminosa. Talvez, por isso, os teores foliares de N das plantas de milho, independente do tratamento, mesmo com as adubações minerais de semeadura e cobertura, encontraram-se todos abaixo da faixa adequada. Deve-se considerar que este segundo ano agrícola de condução do experimento foi o de menor déficit hídrico (Figura 2), ou seja, a lixiviação do NO_3^- oriundo da soja, possivelmente reduziu os teores de N observados no primeiro cultivo de milho em safrinha.

A diagnose foliar para P permitiu constatar que no milho somente houve efeito significativo para calagem superficial (Tabela 17). Com a aplicação do corretivo, independentemente da cobertura vegetal, o teor de P alcançado chegou a $2,5 \text{ g kg}^{-1}$, que é o limite inferior da faixa considerada adequada para o milho ($2,5\text{-}3,5 \text{ g kg}^{-1}$) (Malavolta et al., 1997). Esse resultado corrobora com as indicações de que maiores teores de P em folhas de milho são encontrados no SPD (Moreira et al., 2001). Provavelmente o aumento significativo na absorção desse nutriente pela cultura do milho, com a calagem na superfície, foi acompanhado da elevação na disponibilidade do elemento no solo.

A aplicação de calcário não interferiu no teor de K na folha de milho, apesar de o K trocável no solo ter apresentado alterações substanciais nas quatro profundidades (Figura 9a), enquanto que as coberturas vegetais influíram significativamente (Tabela 17). O tratamento

sem vegetação e com painço, estatisticamente, proporcionaram os maiores teores foliares de K no milho, cujos valores foram os únicos a ficarem dentro da faixa adequada de 17,5-22,5 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997).

O teor de Ca no milho foi influenciado pela interação entre os fatores estudados (Tabela 17). Com o desdobramento (Tabela 18), verificou-se que somente no tratamento sem vegetação houve elevação significativa do teor de Ca, quando aplicou-se o corretivo. Ao contrário, com ou sem calagem, a planta de cobertura que proporcionou o menor teor de Ca no milho foi o painço (3,4 g kg⁻¹). No entanto, todos os resultados do desdobramento foram constituídos por teores considerados adequados, que se encontra na faixa de 2,5-4,0 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997).

O teor foliar de Mg no milho só apresentou diferenças estatísticas dentro de cobertura vegetal (Tabela 17). Constata-se que mesmo o maior teor de Mg (1,8 g kg⁻¹) proporcionado pelo sorgo de Guiné vermelho, não atingiu a faixa ideal de 2,5-4,0 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997).

Os teores de Mg na folha do milho não foram influenciados pela aplicação de calcário (Tabela 17), apesar do efeito benéfico da calagem no aumento dos teores trocáveis desse nutriente no perfil do solo (Figura 8a). Caires et al. (1999) observaram que o caminamento de Mg, 18 meses após a calagem superficial, foi quase proporcional à elevação deste ocasionada pela correção, sendo que após 40 meses houve aumentos dos teores até a profundidade de 40 cm. Mesmo a planta de milho possuindo maior habilidade, do que a soja, para aproveitamento do Mg em subsuperfície, não houve efeito da calagem sobre o teor de Mg nas folhas (Tabela 17), corroborando com as constatações de Caires et al. (1999), num SPD sob longo tempo de cultivo, com diferentes doses de corretivo. Em contrapartida, segundo Caires & Fonseca (2000), poderia ser esperado comportamento similar ao calcário incorporado, onde a correção normalmente aumenta a absorção de Mg, devido a elevação do Mg trocável no solo, com o uso de calcário dolomítico.

Os teores foliares de N, K e Ca no segundo cultivo de milho em safrinha foram influenciados pela interação entre os fatores estudados (Tabela 19). Para o P ocorreu atuação significativa e independente de cobertura vegetal e calagem superficial, enquanto que para o Mg somente houve diferença estatística proporcionada pelas coberturas (Tabela 19).

Considerando as condições hídricas neste segundo cultivo de milho (Figura 3), inferiores às verificadas no primeiro cultivo (Figura 2), pôde-se perceber que a limitação de água diminuiu os teores médios de N, P, K e Ca (Tabela 19), em comparação aos apresentados na Tabela 17. Uma outra explicação para os menores teores apresentados na Tabela 19, seria o sucessivo cultivo de gramíneas: milho (2001) seguido de planta de cobertura (2001), o que disponibilizou menores teores de macronutrientes para o segundo cultivo de milho (2002).

Em relação à faixa de teores considerada adequada para o milho (Malavolta et al., 1997), a média geral das variáveis N, P, K e Ca da Tabela 19 estiveram bem mais baixo do que as da Tabela 17. Quanto ao Mg, apesar dos teores foliares serem mais altos na Tabela 19, tanto no primeiro (Tabela 17), como no segundo cultivo de milho, os valores estiveram abaixo do ideal para um desenvolvimento satisfatório da cultura.

Analisando os desdobramentos das interações (Tabela 20), verificou-se que apenas na cobertura vegetal de painço ocorreu influência positiva da calagem superficial sobre o teor de N do milho. Deve-se, também, chamar a atenção para os teores proporcionados pelo sorgo de Guiné preto, pelo fato de serem os menores valores, tanto sem como com calcário entre as coberturas vegetais. Para nenhum tratamento foi atingido a faixa de teor considerada adequada. Possivelmente, a adubação nitrogenada de semeadura e em cobertura não foi suficiente para eliminar essa deficiência de N que, geralmente, ocorre no milho, especialmente quando em sucessão à cultivos sucessivos de gramíneas. Esta situação fica mais evidente ao visualizar-se a Figura 13, onde, com o transcorrer da condução do presente estudo, os teores de NO_3^- vão sofrendo uma diminuição substancial e progressiva.

A calagem inicial em ação conjunta com a reaplicação aumentaram os teores foliares de P no milho (Tabela 19), assim como também observado na Tabela 17. Em contrapartida, no último cultivo de milho começou haver efeito do fator cobertura vegetal, independentemente da atuação da calagem superficial, em que o painço foi responsável pelo maior teor de P na folha (Tabela 19). Provavelmente, com o passar dos anos de constante deposição dos resíduos das plantas de cobertura, a formação de compostos orgânicos estáveis comecem ajudar a retardar as reações de fixação de P, repondo-o de forma gradual e constante, dependendo principalmente da composição orgânica dos materiais vegetais envolvidos no

processo. Contudo, esse maior valor, assim como aquele alcançado pela correção, não atingiram o mínimo da faixa de teores adequados.

A calagem, seguida de reaplicação superficial, somente exerceu influência sobre o teor de K nas folhas do milho quando a cobertura vegetal foi a de sorgo de Guiné preto (Tabela 20), após dois anos sucessivos de sorgo de Guiné branco. Ressalta-se que esse valor de 22,6 g kg⁻¹ foi o único que chegou a atingir a faixa considerada ideal.

Para o Ca (Tabela 20), no terceiro ano do SPD, o calcário na superfície sobre resíduo vegetal de painço proporcionou a elevação significativa do teor foliar no milho. Neste caso, o valor obtido para o Ca, apesar de não ser o maior, saiu de uma situação abaixo da faixa adequada (2,0 g kg⁻¹), quando não houve correção, para atingir um teor considerado ótimo (2,6 g kg⁻¹), após a reaplicação da calagem. Este resultado é sustentado pelos elevados teores de Ca trocável no perfil do solo, proporcionados pela ação conjunta da calagem superficial com o painço, determinado ao final do último cultivo de milho (Figura 7c).

O fato do milheto ter possibilitado o maior teor foliar de Mg (Tabela 19), pode ser justificado por meio da Figura 8b, pois, anteriormente ao último cultivo de milho, principalmente no tratamento com calcário, essa cobertura vegetal tinha proporcionado os teores trocáveis mais altos desse elemento em profundidade. De forma similar ao primeiro cultivo de milho (Tabela 17), o teor de Mg não foi influenciado pela calagem superficial (Tabela 19), apesar da elevação na disponibilidade desse elemento, mesmo com a reaplicação do corretivo (Figura 8c).

No terceiro ano de condução do experimento em SPD, o aumento dos teores de N, P e Ca nas folhas de milho pelo painço e calagem (Tabela 19) foi ocasionado pela elevação do pH, neutralização do H⁺Al e maior disponibilidade dos teores de Ca trocável do solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Figuras 5c, 6c e 7c).

Tabela 15. Diagnose foliar de macronutrientes no estágio R2 da soja, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.

FATORES	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Cobertura Vegetal (C.V.)					
Sorgo de Guiné Vermelho	27,5	1,1	13,9	9,0	2,8
Sorgo de Guiné Branco	28,8	1,2	16,2	8,4	2,7
Milheto	29,8	1,2	13,7	8,8	3,0
Painço	28,7	1,2	16,1	8,8	2,6
Vegetação Espontânea	29,3	1,1	16,0	8,0	2,5
Sem Vegetação	29,4	1,1	15,0	8,4	2,6
Calagem Superficial (C.S.)					
Sem Calcário	29,5	1,1	15,6	8,6	2,7
Com Calcário	28,4	1,2	14,8	8,6	2,7

Significância					
C.V.	ns	ns	ns	ns	ns
C.S.	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. x C.S.	ns	ns	ns	ns	*

CV (%)					
C.V.	7,83	13,89	16,51	21,99	19,51
C.S.	7,76	11,78	11,97	10,62	9,68

Médias sem letras dentro de cada fator não diferem pelo teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Tabela 16. Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para teor de Mg em folhas de soja no estádio R2. Botucatu-SP, 2000.

Cobertura Vegetal	Calagem Superficial	
	Sem Calcário	Com Calcário
	----- Mg (g kg ⁻¹) -----	
Sorgo de Guiné Vermelho	2,8 aA	2,8 abA
Sorgo de Guiné Branco	2,8 aA	2,5 abA
Milheto	2,9 aA	3,1 aA
Painço	2,5 aA	2,8 abA
Vegetação Espontânea	2,7 aA	2,4 bA
Sem Vegetação	2,7 aA	2,6 abA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem pelo teste t (DMS) a 5%.

Tabela 17. Diagnose foliar de macronutrientes no estágio 5,0 do milho, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2001.

FATORES	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Cobertura Vegetal (C.V.)					
Sorgo de Guiné Vermelho	25,7	2,6	17,2 bc	4,2	1,8 a
Sorgo de Guiné Branco	24,4	2,3	16,6 c	4,1	1,5 ab
Milheto	24,6	2,4	16,6 c	4,3	1,7 ab
Painço	23,0	2,4	18,0 ab	3,4	1,4 b
Vegetação Espontânea	24,2	2,4	17,1 bc	3,8	1,4 b
Sem Vegetação	25,8	2,3	18,4 a	3,9	1,6 ab
Calagem Superficial (C.S.)					
Sem Calcário	24,2	2,3 b	17,1	3,9	1,6
Com Calcário	25,1	2,5 a	17,5	4,0	1,6

Significância					
C.V.	*	ns	*	*	*
C.S.	*	*	ns	ns	ns
C.V. x C.S.	*	ns	ns	*	ns

CV (%)					
C.V.	8,37	13,60	6,08	14,52	22,01
C.S.	4,10	9,25	5,88	6,27	12,45

Médias sem letras dentro de cada fator ou seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Tabela 18. Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para teor de N e Ca em folhas de milho no estágio 5,0. Botucatu-SP, 2001.

Cobertura Vegetal	Calagem Superficial	
	Sem Calcário	Com Calcário
	----- N (g kg ⁻¹) -----	
Sorgo de Guiné Vermelho	25,6 aA	25,8 aA
Sorgo de Guiné Branco	24,3 abA	24,5 abA
Milheto	24,0 abA	25,3 abA
Painço	22,7 bA	23,3 bA
Vegetação Espontânea	23,4 abB	25,0 abA
Sem Vegetação	24,9 abB	26,7 aA
	----- Ca (g kg ⁻¹) -----	
Sorgo de Guiné Vermelho	4,1 aA	4,3 aA
Sorgo de Guiné Branco	4,0 aA	4,1 aA
Milheto	4,2 aA	4,4 aA
Painço	3,4 bA	3,4 bA
Vegetação Espontânea	3,8 abA	3,8 abA
Sem Vegetação	3,7 abB	4,1 aA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem pelo teste t (DMS) a 5%.

Tabela 19. Diagnóse foliar de macronutrientes no estágio 5,0 do milho, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2002.

FATORES	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Cobertura Vegetal (C.V.)					
Sorgo de Guiné Vermelho	22,8	2,2 ab	18,9	3,1	1,9 abc
Sorgo de Guiné Preto	21,1	2,2 ab	19,5	3,0	1,6 c
Milheto	23,2	2,1 ab	15,1	3,8	2,4 a
Painço	22,6	2,3 a	10,6	2,3	1,6 c
Vegetação Espontânea	23,2	2,0 bc	15,0	3,3	1,8 bc
Sem Vegetação	23,4	1,8 c	16,5	3,6	2,3 ab
Calagem Superficial (C.S.)					
Sem Calcário	22,3	2,0 b	15,3	3,0	1,8
Com Calcário	23,1	2,2 a	16,6	3,3	2,0

Significância					
C.V.	*	*	*	*	*
C.S.	*	*	ns	*	ns
C.V. x C.S.	*	ns	*	*	ns

CV (%)					
C.V.	6,33	9,72	11,39	16,98	23,95
C.S.	4,08	8,48	22,72	11,41	16,45

Médias sem letras dentro de cada fator ou seguidas por letras iguais na vertical não diferem pelo teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

Tabela 20. Desdobramento da interação cobertura vegetal x calagem superficial para teor de N, K e Ca em folhas de milho no estágio 5,0. Botucatu-SP, 2002.

Cobertura Vegetal	Calagem Superficial	
	Sem Calcário	Com Calcário
----- N (g kg ⁻¹) -----		
Sorgo de Guiné Vermelho	22,5 abcA	23,2 aA
Sorgo de Guiné Preto	20,8 cA	21,4 bA
Milheto	23,4 aA	23,0 abA
Painço	21,5 bcB	23,7 aA
Vegetação Espontânea	22,8 abA	23,6 aA
Sem Vegetação	22,7 abA	24,1 aA
----- K (g kg ⁻¹) -----		
Sorgo de Guiné Vermelho	18,6 aA	19,2 abA
Sorgo de Guiné Preto	16,4 aB	22,6 aA
Milheto	15,0 aA	15,2 bA
Painço	10,5 bA	10,7 cA
Vegetação Espontânea	14,6 abA	15,5 bA
Sem Vegetação	16,7 aA	16,3 bA
----- Ca (g kg ⁻¹) -----		
Sorgo de Guiné Vermelho	3,1 abA	3,1 bcdA
Sorgo de Guiné Preto	3,0 abA	3,0 cdA

Milheto	3,7 aA	3,9 aA
Painço	2,0 bB	2,6 dA
Vegetação Espontânea	3,0 abA	3,5 abcA
Sem Vegetação	3,5 abA	3,7 abA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem pelo teste t (DMS) a 5%.

6.4 Produtividade de grãos

Não houve interação entre cobertura vegetal e calagem superficial para a produtividade de soja e nem o efeito isolado desses fatores (Tabela 21). Caires et al. (2003), também obtiveram a mesma constatação em SPD recém instalado, isto é, a produtividade de grãos de soja foi pouco influenciada pelo corretivo nos três primeiros anos, sendo que o tratamento sem calcário não diferenciou em comparação à calagem superficial para os três cultivos de soja e nem na média da produção acumulada.

Resultados deste tipo, com ausência de resposta das culturas à calagem superficial, têm sido observados com certa frequência e já são bastante conhecidos, quando se trata de SPD estabilizados (Caires et al., 1999). Caires et al. (1998, 1999 e 2000), na seqüência de um longo experimento de calagem na superfície em SPD com mais de 15 anos, verificaram que em quatro cultivos de soja houve ausência de resposta ao calcário, em termos de produtividade de grãos. Somente no quinto cultivo a calagem aumentou significativamente a produtividade de grãos de soja, com resposta linear ao aumento de doses (Caires et al., 2001).

A razão pela qual os tratamentos sem calagem muitas vezes apresentam elevada produção e as culturas dificilmente respondem à calagem no SPD, pode estar relacionada com o fato dos teores de Ca, Mg e K estarem em disponibilidade suficiente no perfil do solo para manter uma relação adequada com o Al^{3+} (Caires et al., 1998). Quanto a essa primeira hipótese, a mesma se confirma no presente trabalho, pois a ausência de resposta da cultura de soja à aplicação de calcário na superfície (Tabela 21) deveu-se, provavelmente, a disponibilidade suficiente no solo de Ca ($19 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($13 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e K ($1,8 \text{ mmol}_c$

dm^{-3}), apesar da baixa V% (36), verificadas antes mesmo da instalação do experimento (Tabela 1). Por sua vez, Caires et al. (1999) acreditam também que possa ocorrer menor efeito tóxico do Al, decorrente da formação de complexos orgânicos oriundos de resíduos vegetais (Miyazawa et al., 1996), tendo em vista o teor médio de M.O. (23 g dm^{-3}) já observado na Tabela 1.

A produtividade média no experimento foi de apenas $753,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 21). Deve-se considerar que ocorreu déficit hídrico severo durante o ciclo da soja, concentrado principalmente durante a fase reprodutiva da cultura (Figura 1). Assim, com precipitação de somente 221 mm de chuva, praticamente toda concentrada no mês de março, sabendo-se da importância da umidade do solo nos processos de transporte e de absorção de nutrientes, foi verificado os baixos teores de N, P, K e Mg das folhas de soja no florescimento (Tabela 15), com conseqüente redução da produtividade de grãos (Tabela 21). Essa quantidade de precipitação foi a mais baixa ocorrida nos dez últimos anos, caracterizando uma forte estiagem, pois é sabido que o volume total de chuvas indicado para a soja fica entre 500 a 700 mm (Marcos Filho, 1986). Portanto, para se obter elevada produtividade de soja em condições de alta acidez do solo no SPD, se faz necessário relacionar à adequada absorção de água e de nutrientes pela cultura, em decorrência de maior umidade disponível no solo (Caires & Fonseca, 2000).

A calagem superficial influenciou estatisticamente a produtividade de milho nos dois anos de cultivo (Tabela 21), aumentando-a significativamente, assim como constatado por Reis Junior (2001). Ao contrário, Moreira et al. (2001) não observaram modificações na produtividade de grãos de milho pela correção em superfície, corroborando com os resultados obtidos por Caires et al. (1998), com a mesma cultura.

Para o primeiro cultivo de milho (Tabela 21), apesar do estande médio final ter sido de apenas $44.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, as produtividades sem e com calcário superficial foram de 7.576 e 8.276 kg ha^{-1} , respectivamente. Essa alta produtividade, considerando-se que o cultivo foi em safrinha, deve-se, provavelmente, ao fato da cultura antecessora na rotação ter sido uma leguminosa fixadora de N-atmosférico, acompanhado de uma boa disponibilidade hídrica durante o ciclo do milho (Figura 2).

Para se obter altas produtividades de grãos, é necessário, dentre outros fatores, uma adequada disponibilidade de nutrientes às plantas, principalmente o N por ser o nutriente exigido em maior quantidade pelo milho, sendo o que mais freqüentemente limita a

produtividade dessa cultura. Entretanto, apesar do N oriundo da fixação biológica e da fertilização mineral, a diagnose foliar do milho ainda assim apresentou teores de N um pouco abaixo da faixa considerada adequada (Tabela 17).

Quanto à condição de precipitação pluvial favorável (Figura 2), fundamentalmente no estágio 5,0 do milho, deve ter influenciado positivamente a produtividade, em razão desse estágio estar associado a uma intensa atividade fotossintética necessária para suprir a formação do sabugo, palha, pedúnculo e grãos em formação (Fornasieri Filho, 1992). A maior umidade disponível no solo proporciona adequada absorção de nutrientes pelas plantas, assim como, sua falta, na presença de altas concentrações de Al^{3+} ($> 8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), acentua a toxidez desse elemento para o milho (Caires & Fonseca, 2000; Caires et al., 2001).

A produtividade superior a 7.000 kg ha^{-1} , na ausência de calagem (Tabela 21), pode estar relacionada à disponibilidade suficiente de Ca e Mg (Caires et al., 1998), conforme constatou-se nas Figuras 7a e 8a, devido à provável alteração da CTC decorrente dos médios teores de M.O., cujos valores foram acima de 25 g dm^{-3} em todo perfil (Figura 10a). Neste caso manteve-se uma relação adequada com o Al, reduzindo sua atividade em profundidade.

Anterior ao primeiro cultivo de milho, baixos teores de Al^{3+} ($< 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foram constatados em todas as camadas, inclusive no tratamento sem calagem (Figura 12a), o que não limita o crescimento radicular e a produtividade de milho (Caires et al., 2002). É possível que essa redução do Al^{3+} , no tratamento sem correção, tenha ocorrido naturalmente pela presença de resíduos vegetais mantidos na superfície (Caires et al., 2003). Recentes trabalhos têm demonstrado redução do Al trocável por materiais vegetais, associado com o aumento do pH e complexação orgânica (Franchini et al., 1999a), ou com ácidos fúlvicos da M.O. estável (Caires et al., 2002).

Outro fato interessante diz respeito aos altos valores de saturação por bases (acima de 60 %), observados na camada de 5-10 cm em função da aplicação de calcário superficial (Figura 11a), anterior ao primeiro cultivo de milho. Este resultado é similar aos encontrados por Reis Junior (2001) onde, à medida que se aumentou a V% desejada até 62,8 % na profundidade de 0-10 cm, houve elevação significativa de produtividade de milho a 7.464 kg ha^{-1} . Segundo Moreira et al. (2001), a razão pela qual as culturas de soja e milho não

responderiam à calagem pode estar ligada ao fato da V% inicial (por volta de 50% na camada de 0-20 cm) já ser suficiente. Portanto, o desequilíbrio nutricional na planta entre Ca, Mg e K (Tabela 17), com a aplicação superficial de calcário dolomítico em solo ácido com teores suficientes desses cátions trocáveis e disponibilidade de água, não causou prejuízos à produção de grãos de milho.

O segundo cultivo de milho, mesmo com a média de estande final de aproximadamente 57.000 plantas ha⁻¹, superior ao do primeiro, proporcionou produtividades menores, alcançando-se valor máximo significativo de 4.530 kg ha⁻¹ com a aplicação superficial de calcário, mais a reaplicação (Tabela 21).

Ficou notório que a menor disponibilidade hídrica neste segundo cultivo de milho, principalmente após o florescimento (Figura 3), em relação à condição pluvial anterior (Figura 2), proporcionou menores teores foliares de N, P, K e Ca (Tabela 19), o que também se refletiu em queda de produtividade. Os danos causados a cultura, em decorrência de períodos de seca durante o seu ciclo, podem, até certo ponto, estarem relacionados com aspectos nutricionais, pela importância da umidade nos processos de transporte e absorção de nutrientes (Caires et al., 2001). Todavia, as produtividades de grãos obtidas foram coerentes com a classe de produtividade esperada, por volta de 3 a 4 t ha⁻¹, de acordo com a fertilidade inicial (Tabela 3), sob a qual se definiu a adubação recomendada para o milho safrinha no estado de São Paulo (Raij et al., 1997).

As precipitações não foram suficientes ao desenvolvimento pleno da cultura (Figura 3), pois, conforme Fornasieri Filho (1992), o consumo médio de água pelas plantas de milho, em solos sem deficiência hídrica, encontra-se na faixa de 573 mm, sendo a precipitação total durante o ciclo da cultura de somente 496 mm.

Agravando o problema hídrico, a última cultura de milho foi precedida por dois cultivos sucessivos de gramíneas, quando o ideal seria a intercalação com leguminosas que, além de protegerem o solo, representariam uma técnica eficiente no fornecimento de N e aumento da produtividade do milho em SPD, como já constatado na sucessão feijão-milho por Possamai et al (2001). É possível que, pela alta relação C/N do primeiro resíduo cultural de milho (> 30) e da fitomassa das plantas de cobertura quando de seus manejos (Tabelas 4, 6 e 7),

decorreram alta imobilização de N no solo e redução da disponibilidade de N para o milho cultivado em sucessão.

Embora, na maioria das vezes, a produtividade de grãos de milho safrinha seja menor e as dificuldades de condução da cultura sejam maiores, o risco de mercado é menor pelos melhores preços alcançados na colheita de entressafra. Ainda assim, a safrinha é considerada um cultivo de risco elevado, devido a variabilidade de épocas de semeadura e a irregularidade das condições climáticas a cada ano. Vilhegas et al. (2001), testando a produtividade de híbridos de milho em safrinha, observaram que o atraso na época de semeadura, em função principalmente da precipitação pluvial, provocou variação na produção de grãos, que se ajustou a um modelo cúbico, pelas condições hídricas registradas no período do experimento.

A produtividade acumulada de grãos do experimento (Tabela 21), em três cultivos, com ou sem vegetação, foi influenciada positivamente pela calagem na superfície. Esse resultado se assemelha aos obtidos por Oliveira & Pavan (1996), que demonstraram a viabilidade dessa prática sobre a produção acumulada de grãos em sistema de rotação, onde na média de quatro cultivos de soja, foram observados acréscimos de 32 a 42 % com a aplicação superficial de calcário dolomítico.

Apesar de não ter existido efeito significativo das coberturas vegetais sobre a produtividade de grãos das culturas principais em seqüência, e nem da produtividade acumulada durante os três anos (Tabela 21), as mesmas podem exercer efeitos positivos e negativos, ou mesmo mostrarem-se indiferentes, sobre o desenvolvimento das plantas de soja e milho. Como exemplo positivo, Possamai et al. (2001) observaram que a maior produtividade de milho safrinha foi obtida no SPD, devendo-se à cobertura vegetal inerente a este sistema de produção, pela diminuição das perdas de água e pela menor variação térmica do solo que, por sua vez, amenizaram as deficiências hídricas do período. Segundo os mesmos autores, a outra grande vantagem do SPD, na diminuição dos riscos climáticos da safrinha, é a possibilidade do estabelecimento mais rápido das culturas nesse sistema, devido a não perda de tempo com revolvimento do solo para preparo do leito de semeadura.

Tabela 21. Produtividade dos cultivos em safrinha durante os três anos de condução do experimento, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP.

FATORES	Produtividade			
	Soja 2000	Milho 2001	Milho 2002	Acumulada
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Coberturas Vegetais (C.V.)				
Sorgo Vermelho	705	8.568	4.184	13.457
Sorgo Branco e Preto	789	7.740	4.210	12.740
Milheto	819	7.095	4.340	12.253
Painço	739	7.804	3.905	12.448
Vegetação Espontânea	660	7.906	3.865	12.431
Sem Vegetação	809	8.445	4.293	13.548
Calagem Superficial (C.S.)				
Sem Calcário	761	7.576 b	3.736 b	12.074 b
Com Calcário	746	8.276 a	4.530 a	13.552 a
	Significância			
C.V.	ns	ns	ns	ns
C.S.	ns	*	*	*
C.V. x C.S.	ns	ns	ns	ns
	CV (%)			
C.V.	32,88	19,56	20,20	15,79

C.S.	14,84	13,52	20,76	10,94
------	-------	-------	-------	-------

Médias sem letras dentro de cada fator ou seguidas por letras iguais na vertical não diferem entre teste t (DMS). ns - não significativo e * - significativo a 5% pelo teste de comparação de médias.

7. CONCLUSÕES

O milheto entre as coberturas vegetais do solo estudadas, no período de primavera-verão, apresentou elevado potencial para produção de matéria seca, persistência da palhada e reciclagem de macronutrientes em curto período de desenvolvimento.

O painço, além de possibilitar a colheita dos grãos antes do manejo, destacou-se como o resíduo vegetal, associado à calagem superficial, mais eficaz na

neutralização de $H+Al$ e no acúmulo de Ca, Mg e K na camada de 0-5 e 5-10 cm, após três anos de cultivo.

As coberturas vegetais do solo não afetaram a produtividade de grãos das culturas, enquanto a calagem superficial proporcionou incrementos na produtividade de milho, assim como na produtividade acumulada.

A aplicação superficial de calcário na implantação do sistema de plantio direto proporcionou atuação efetiva na correção da acidez do solo até 40 cm de profundidade, quando comparado ao tratamento sem calagem, após cinco meses.

É possível instalar o sistema de plantio direto, em regiões de inverno seco, em solos anteriormente cultivados no sistema convencional de preparo, mediante aplicação de calcário dolomítico faixa D (filler) na superfície.

A presença de ânions solúveis como nitrato promove rápida lixiviação de bases no perfil do solo em áreas com calagem superficial.

O método do calcário residual (determinação das frações trocáveis e não trocáveis de Ca e Mg no perfil do solo), aliado aos atributos químicos apresentados na análise de fertilidade do solo, pode auxiliar na identificação do momento necessário de reaplicação do calcário em sistema de plantio direto, embora necessite de mais pesquisas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

BAIRRÃO, J. F. M. Estudo do comportamento de espécies vegetais no verão para as condições edafoclimáticas do oeste do Paraná. In: RESULTADOS DE PESQUISA VERÃO 1987/88, 3, 1989, Cascavel. **Resumos...** Cascavel: Organização das Cooperativas do Estado do Paraná, 1989. p. 219-220.

BARTZ, H. R. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: FRIES, M. R. (Coord.). **Plantio direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1998. p. 52-81.

CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD-ROM.

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

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000a.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; FELDHAUS, I. C. Resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO

SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Resumos Expandidos...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000b. 1 CD-ROM.

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 Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

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 Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-27, 1999.

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

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

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

CANTARELLA, H. et al. Determinação de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis em extrato de cloreto de potássio. In: RAIJ, B.van. et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 213-224.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici". **Bol. Cient. Fac. Ciênc. Agron. UNESP (Botucatu)**, n. 1, p. 1-95, 1983.

CERETTA, C.A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

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: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ERNANI, P. R. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 537-544, 2000.

FEHR, W. R. et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, p. 929-931, 1971.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: sistema de análise de variância: versão 4.2. Lavras: UFLA/DEX, 1999.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Avaliação do potencial de utilização do material vegetal para mobilização de cátions no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Minicurso...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001b. 11 p (Apostila).

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999a.

FRANCHINI, J. C. et al. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2267-2276, 1999 b.

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, 2001a.

HOLTZ, G. P.; SÁ, J. C. M. Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 14-30.

LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais.** Brasília, 1988. 104p.

LAZARINI, E. et al. Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja semeadas em diferentes densidades no período de primavera e de outono após a colheita e o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 68-75, 2001.

LEPSCH, I. F. Solos do estado de São Paulo. In: LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (Coord.). **Manual técnico de manejo e conservação do solo e da água.** Campinas: CATI, 1994. v. 2, 168 p.

LIMA, E. V. et al. Produção de matéria seca, teores e acúmulo de macronutrientes em plantas de sorgo, milho e painço na implantação do sistema de plantio direto. In: CONGRESSO

NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos Expandidos...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo/EMBRAPA, 2000. 1CD-ROM.

LIU, J.; HUE, N. V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biol.Fertil.Soils**, v. 21, p. 264-270, 1996.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARCOS FILHO, J. **Produção de sementes de soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 86 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. **Bol.Téc.Inst.Agron**, Campinas, n. 100, p. 202-203, 1997.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B. **A cultura da soja gera nitrogênio assimilável para a produção de milho, arroz, trigo, sorgo e cana-de-açúcar**. Campinas: Stoller, 2003. (Foheto).

MATEUS, G. P. **Utilização agropecuária do sorgo de guiné e efeitos na cultura da soja e atributos químicos do solo**. 2003. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

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, v. 26, p. 647-654, 2002.

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

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, n. 92, p. 1-8, 2000. Encarte.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Abstracts...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / EMBRAPA, CPAC, 1996. p. 8.

MOREIRA, S.G. et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 71-81, 2001.

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

PEREIRA, J.A.R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) no cerrado**. 1990. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

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, v. 25, p. 885-895, 2001.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C.. Sistema de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 60, p. 79-82, 2001.

POTAFOS. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba, 1998. 177 p.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, n. 1, p. 89-102, 2002.

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, Brisbane, 1995. *Proceedings...* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p. 494-496.

QUAGGIO, J.A. et al. Resposta da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. **Bol.Téc.Inst.Agron.**, Campinas, n. 100, 1997. 285 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, A. J. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.

Bol.Téc.Inst.Agron., Campinas, n. 81, 1983. 31 p.

REIS JUNIOR, R. A. Calagem superficial na cultura do milho em sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. **Resultados de pesquisa com algodão, milho e soja-safra 2000/2001**. Dourados, 2001. p. 13-16. (Documentos, 42).

RHEINHEIMER, D. S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. **Milheto**: alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. Dourados: EMBRAPA, 1997. (Folheto).

SANS, L. M. A. Riscos climáticos no Brasil central: o milho em perspectiva. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., Uberlândia. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo/EMBRAPA, 2000. 1CD-ROM.

SILVA, C. A.; DO VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Movimentação de Ca no solo em função da adubação nitrogenada e de resíduos vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.,

REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Resumos Expandidos...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1CD-ROM.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análise de solo, planta e outros materiais. **Bol.Téc.UFRGS**, Rio Grande do Sul, n. 5, 1985. 188 p.

VILHEGAS, A. C. G. et al. Efeito de épocas de semeadura e estabilidade de híbridos de milho em plantios de safrinha no nordeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 60, p. 45-51, 2001.

ZANCANELLA, E. F.; BONATTI, J. L.; MARTUCCI, L. M. V. Cultura do painço: informações práticas. Campinas: CATI, 2003. (Foheto).