

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E  
PRODUTIVIDADE DE SOJA, MILHO E ARROZ APÓS  
CULTURAS DE INVERNO EM SEMEADURA DIRETA**

**Adolfo Valente Marcelo**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2007

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E  
PRODUTIVIDADE DE SOJA, MILHO E ARROZ APÓS  
CULTURAS DE INVERNO EM SEMEADURA DIRETA**

**Adolfo Valente Marcelo**

**Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2007

M314a Marcelo, Adolfo Valente  
Atributos químicos do solo, estado nutricional e produtividade de soja, milho e arroz após culturas de inverno em semeadura direta / Adolfo Valente Marcelo. -- Jaboticabal, 2007  
xiv, 60 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007  
Orientador: José Eduardo Corá  
Banca examinadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz, Carolina Fernandes  
Bibliografia

1. Rotação de culturas. 2. Culturas de cobertura. 3. Fertilidade do solo. 4. Plantio direto. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.45:631.584.4

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**unesp**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CÂMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



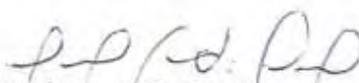
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

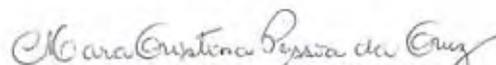
**TÍTULO:** ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E  
PRODUTIVIDADE DE SOJA, MILHO E ARROZ APÓS CULTU  
RAS DE INVERNO EM SEMEADURA DIRETA

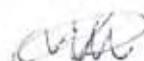
**AUTOR:** ADOLFO VALENTE MARCELO

**ORIENTADOR:** Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

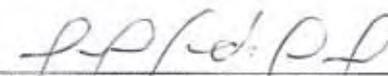
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA  
(CIÊNCIA DO SOLO) pela Comissão Examinadora:

  
Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

  
Dra. MARA CRISTINA PESSÔA DA CRUZ

  
Dra. CAROLINA FERNANDES

Data da realização: 31 de julho de 2007.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente da Comissão Examinadora  
Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**ADOLFO VALENTE MARCELO** – Nascido dia 10 de junho de 1982, no Rio de Janeiro, RJ, cursou o ensino médio no Sistema COC de Educação, em Ribeirão Preto, SP, no período de 1997 a 1999. Em março de 2000, ingressou no Curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal, SP, e em março de 2005, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/CNPq durante o período de agosto de 2002 a julho de 2004. Iniciou em agosto de 2005 o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na mesma Universidade, onde foi bolsista FAPESP. No dia 31 de julho de 2007, submeteu-se à banca para a defesa da Dissertação e obteve o título de Mestre em Agronomia.

*"A ciência pela ciência não tem valor, vale apenas como meio de ascensão da vida. Vossa ciência tem um pecado original: dirigir-se apenas à conquista do bem-estar material. A verdadeira ciência deve ter como finalidade tornar melhores os homens. Eis a nova estrada que precisa ser palmilhada. Essa é a minha ciência."*

***Pietro Ubaldi***

*"Se queremos progredir,  
não devemos repetir a história,  
mas fazer uma história nova."*

***Mahatma Gandhi***

*À minha amada família,  
José Roberto Marcelo, Regina Fátima da Cruz Valente Marcelo  
e Mariana Valente Marcelo,  
pelo AMOR, CARINHO, APOIO e INCENTIVO  
por toda a minha vida...*

***DEDICO.***

## AGRADECIMENTOS

- A **Deus** e ao **Nosso Senhor Jesus Cristo**, por tudo que aconteceu na minha vida até hoje e por toda saúde a mim proporcionada.
- Ao meu orientador **Prof. Dr. José Eduardo Corá**, pelos ensinamentos proporcionados e pelas demonstrações de confiança e amizade nesses anos de convivência.
- À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** pelo apoio financeiro ao projeto e pela concessão da bolsa de estudos.
- À **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Fernandes**, pelo auxílio e acompanhamento de meus progressos desde a graduação, pelas excelentes sugestões no presente trabalho e também pelo companheirismo demonstrado.
- À **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mara Cristina Pessoa da Cruz**, pela participação na banca de defesa da dissertação e pelas excelentes sugestões para a melhoria desse trabalho.
- Ao **Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho**, pela participação no Exame Geral de Qualificação e pelos conselhos e ensinamentos durante o curso de Mestrado.
- Aos companheiros de sempre, **Ricardo Falqueto Jorge** e **Márcio dos Reis Martins**, pela amizade e companheirismo durante a condução do experimento e o curso de Mestrado.
- Ao **Prof. Dr. José Carlos Barbosa**, pelo auxílio nas análises estatísticas.
- Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, **Célia Regina Muniz**, **Maria Inês Bueno**, **Martha dos Santos**, **Cláudia Cirilo**, **Luis Souza**, **Hoster Pereira**, **Orivaldo Rosa**, **Orivaldo Gomes**, **Dejair Silva**, **Ademir Silva** e **Anderson Silva**, pela prontidão nos momentos que precisei e pela amizade.
- Ao **Marcelo Scatolin** e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da FCAV, pelo total auxílio durante a condução e nas avaliações do experimento que resultou no presente trabalho.
- Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, os professores **William Natale** e **José Frederico Centurion**, pela atenção nos momentos que precisei.

- Aos estagiários **Thiago, Flávia** e **Júlia**, pelo auxílio prestado durante a condução do experimento.
- Aos amigos da Pós-Graduação, **Onã, Alan, Ricardo Aratani, Gilcileia, Fernanda Cinara, Fabiana, Flávia, Ivana, Thiago, Liliane, Diogo, Cristian, Jorge Wilson, Danilo, Amaury, Andréia**, entre outros, que me proporcionaram momentos muito agradáveis durante nossa convivência.
- Às funcionárias da seção de Pós-Graduação e aos funcionários da Biblioteca da FCAV, pelo atendimento e auxílio.
- A todos os meus **amigos pessoais**, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo.
- Enfim, a todos, que de alguma forma, contribuíram para esse acontecimento.

**MUITO OBRIGADO!!!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	ix
SUMMARY .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1. Descrição da área experimental .....	11
3.2. Delineamento experimental e tratamentos .....	12
3.3. Condução do experimento .....	13
3.4. Avaliações .....	18
3.4.1. Atributos químicos do solo .....	18
3.4.2. Análise foliar das culturas de verão .....	19
3.4.3. Produtividade das culturas de verão .....	21
3.5. Análises estatísticas .....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4.1. Atributos químicos do solo .....	23
4.2. Concentrações foliares dos nutrientes nas culturas de verão .....	33
4.2.1. Milho .....	33
4.2.2. Soja .....	36
4.2.3. Arroz .....	40
4.3. Produtividades das culturas de verão .....	42
5. CONCLUSÕES .....	47
6. REFERÊNCIAS .....	48
APÊNDICE .....	59

## **ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE SOJA, MILHO E ARROZ APÓS CULTURAS DE INVERNO EM SEMEADURA DIRETA**

**RESUMO** – A rotação de culturas em sistema de semeadura direta (SSD) promove vários benefícios ao sistema, pois os resíduos das culturas, ao se decomporem, podem alterar os atributos químicos do solo e, como consequência, influenciarem a cultura em sucessão. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de culturas de inverno nos atributos químicos do solo, no estado nutricional e na produtividade das culturas de soja, milho e arroz, cultivadas no verão em SSD. O experimento foi realizado no município de Jaboticabal, SP, em Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com três repetições no esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro seqüências de culturas de verão (monoculturas de milho e de soja e as rotações soja/milho e arroz/feijão/algodão) com sete culturas de inverno (milho, girassol, nabo forrageiro, milheto, guandu, sorgo e crotalária). Após o manejo das culturas de inverno e antes da semeadura das culturas de verão do ano agrícola 2006/2007, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5,0; 5-10; 10-20 e 20-30 cm. Nas amostras de solo, foram determinados: matéria orgânica (MO), pH, P (resina), K, Ca, Mg, H+Al e calculados CTC e V. Nas culturas de verão, coletaram-se amostras foliares para a determinação das concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. A produtividade das culturas de verão foi avaliada. Foram observados no solo, maiores teores de P após nabo forrageiro e crotalária e menores teores de MO após milho, girassol e guandu no inverno. O SSD apresentou gradientes de fertilidade ao longo do perfil para todos os atributos químicos avaliados. A soja da (rotação soja/milho) apresentou menores concentrações foliares de S após o milho e sorgo no inverno e a soja (monocultura) apresentou maiores concentrações foliares de N, P e S após nabo forrageiro e crotalária no inverno. No milho, menores concentrações foliares de Zn foram observadas após nabo forrageiro no inverno. O nabo forrageiro e a crotalária no inverno proporcionaram as maiores produtividades de soja. No milho, as

maiores produtividades foram observadas após nabo forrageiro, milho e guandu. Houve efeito supressor do sorgo na produtividade da cultura do arroz.

**Palavras-Chave:** rotação de culturas, culturas de cobertura, fertilidade do solo, plantio direto, análise foliar.

## SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES, NUTRITIONAL STATE AND SOYBEAN, CORN AND RICE YIELD AFTER WINTER CROPS IN NO-TILLAGE

**SUMMARY** – The crop rotation practice in no-tillage system promotes lots of benefits to the system. The crop residues can change the soil chemical attributes, consequentially influencing the performance of following crops. The objective of this work was to evaluate the effects of winter crops on the soil chemical attributes, nutritional state and yield summer crops (soybean, corn and rice) in no-tillage system. A field experiment has been carried out on a eutrophic Red Oxisol at Jaboticabal, SP, Brazil. A completely randomized block design with three replications was used, in strips. The treatments were the combination of four summer crops sequences (corn and soybean monocultures, rotation soybean/corn and rotation rice/bean/cotton) with seven winter crops (corn, sunflower, oilseed radish, millet, pigeon pea, sorghum and sunn hemp). After the winter crops management and before the summer crops sowing at the crop season 2006/2007, the soil was sampled at 0-2.5, 2.5-5.0, 5-10, 10-20 and 20-30 cm soil depths. Organic matter, pH, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, H+Al were determined, and cation capacity exchange and bases saturation values were calculated in each soil samples. The N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn uptake were determined in summer crops. Also, the summer crops yield was obtained. In the soil, the oilseed radish and sunn hemp provide the highest P contents and corn, sunflower and pigeon pea provide the lowest organic matter contents. The no-tillage system showed gradient of fertility in the soil profile. The soybean (rotation soybean/corn) showed lower S uptake after corn and sorghum. The soybean (monoculture) showed higher N, P and S uptake after oilseed radish and sunn hemp. In the corn, Zn uptake were lower after oilseed radish. The oilseed radish and sunn hemp provides the highest soybean yield. In the corn, the highest yields were observed after oilseed radish, millet and pigeon pea. The sorghum provides suppressor effect on the rice yield.

**Keywords:** crop rotation, cover crops, soil fertility, no-tillage system, plant analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do bloco experimental. Disposição das parcelas pelo cruzamento das faixas constituídas pelas seqüências de culturas de verão e as culturas de inverno .....	12
Figura 2. Culturas do inverno utilizadas. Milho, girassol, nabo forrageiro, milheto, guandu, sorgo e crotalária .....	15
Figura 3. Culturas cultivadas no verão do ano agrícola 2006/2007, milho (MV), soja (SV e SM) e arroz (AFA) .....	17
Figura 4. Coleta de amostras de solo utilizando-se pá de amostragem e trado tipo holandês .....	19
Figura 5. Cultura do milho na ocasião da amostragem foliar. Inflorescência masculina, feminina e a folha amostrada, abaixo e oposta da espiga .....	20
Figura 6. Cultura da soja na ocasião da amostragem foliar e detalhe da planta de soja florescida .....	20
Figura 7. Cultura do arroz na ocasião da amostragem foliar.....	21
Figura 8. Colheita mecanizada de soja e arroz com colhedora de parcelas .....	22
Figura 9. Teores de potássio do solo ( $K^+$ ), em $mmol_c dm^{-3}$ , ao longo do perfil do solo, em cada seqüência de culturas de verão .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo, nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.....	11
Tabela 2. Histórico dos tratamentos, pelas culturas de verão e inverno, desde a implantação do experimento .....	14
Tabela 3. Histórico das adubações de semeadura e cobertura utilizadas nas seqüências de culturas de verão durante a condução do experimento .....	16
Tabela 4. Datas de semeadura das culturas de inverno do ano agrícola 2005/2006 e número de dias entre a semeadura e o manejo/colheita das culturas de inverno e entre o manejo/colheita das culturas de inverno e a amostragem do solo.....	18
Tabela 5. Teores médios de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) do solo nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas.....	23
Tabela 6. Teores médios de fósforo do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) após culturas de inverno e nas camadas de solo amostradas.....	24
Tabela 7. Teores médios de matéria orgânica do solo ( $\text{g dm}^{-3}$ ) nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas .....	25
Tabela 8. Teores médios de matéria orgânica do solo ( $\text{g dm}^{-3}$ ) após culturas de inverno e nas camadas de solo amostradas .....	26
Tabela 9. Teores médios de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis e acidez potencial (H+Al) do solo nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas .....	28
Tabela 10. Valores médios de pH ( $\text{CaCl}_2$ ), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V) do solo nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas .....	29
Tabela 11. Teores de potássio no solo ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na interação tripla entre as seqüências de culturas de verão, as culturas de inverno e as camadas de solo amostradas.....	30

Tabela 12. Concentrações foliares dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na cultura do milho, na seqüência de culturas de verão MV, após culturas de inverno .....	33
Tabela 13. Concentrações foliares dos micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na cultura do milho, na seqüência de culturas de verão MV, após culturas de inverno .....	34
Tabela 14. Concentrações foliares dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SM, após culturas de inverno .....	36
Tabela 15. Concentrações foliares dos micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SM, após culturas de inverno.....	37
Tabela 16. Concentrações foliares dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SV, após culturas de inverno.....	37
Tabela 17. Concentrações foliares dos micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SV, após culturas de inverno .....	39
Tabela 18. Concentrações foliares dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na cultura do arroz, na seqüência de culturas de verão AFA, após culturas de inverno ....	41
Tabela 19. Concentrações foliares dos micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na cultura do arroz, na seqüência de culturas de verão AFA, após culturas de inverno ....	41
Tabela 20. Produtividades das culturas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), no verão do ano agrícola 2006/2007, após culturas de inverno .....	42
Tabela 21. Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) entre as produtividades das culturas e as concentrações foliares dos macronutrientes em cada seqüência de culturas de verão .....	43
Tabela 22. Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) entre as produtividades das culturas e as concentrações foliares dos micronutrientes em cada seqüência de culturas de verão .....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SSD) consiste em um conjunto de técnicas, que tem como princípios básicos e essenciais a ausência de preparo do solo, a cobertura vegetal permanente do solo (verde ou seca) e a rotação de culturas (EMBRAPA, 1995). Implantado no Brasil na região Sul, no início da década de 1970, esse sistema de cultivo apresentou rápido crescimento e expandiu-se para as regiões Centro-Oeste e Sudeste.

Atualmente, no território nacional, o SSD ocupa uma área de aproximadamente 25 milhões de hectares, sendo a segunda maior área plantada em SSD no mundo, estando abaixo dos Estados Unidos (FEBRAPD, 2007).

O SSD tem se destacado como uma eficiente estratégia na redução da erosão e na melhoria da sustentabilidade dos solos. Isso devido principalmente à manutenção da cobertura do solo e à rotação de culturas, que favorecem a reciclagem de nutrientes.

A rotação de culturas promove vários benefícios ao sistema, já que os resíduos vegetais das culturas, ao se decomporem, alteram os atributos químicos do solo e, como consequência, podem influenciar o desempenho da cultura em sucessão. Porém, a formação e a manutenção da cobertura do solo na entressafra constituem as principais dificuldades quanto ao estabelecimento do SSD nas regiões onde as condições climáticas são favoráveis à rápida decomposição dos resíduos vegetais deixados pelas culturas, havendo exposição do solo aos agentes erosivos. Com isso, há necessidade do estabelecimento de cultivos de inverno (ou safrinha), fundamentais ao adequado funcionamento do SSD.

As espécies utilizadas como plantas de cobertura do solo proporcionam efeitos residuais variados. Nesse sentido, sugerem-se plantas com maior adaptação a condições hídricas limitadas e altas temperaturas no inverno, como também com potencialidades para proporcionar um efeito positivo nas culturas em sucessão, cultivadas no verão.

No Brasil, muitas das pesquisas realizadas em SSD, cujos resultados demonstraram sua eficiência, são originárias da região Sul, onde ocorre melhor distribuição de chuvas e temperaturas amenas, condições que favoreceram o seu estabelecimento e crescimento. No entanto, o SSD necessita de estudos para ser adaptado às regiões com longos períodos secos e quentes no inverno, como é o caso das regiões Sudeste e Centro-Oeste, considerando o fato de que o sistema exige adaptações devido às mudanças ocorridas no ambiente, relativas à planta, ao solo e ao clima da região em questão.

Para essas condições, buscam-se culturas com crescimento rápido, elevada capacidade de cobertura do solo, permanência prolongada dos resíduos sobre o solo, elevado acúmulo de nutrientes na biomassa, sistema radicular agressivo e profundo, como também não apresentar efeitos fitotóxicos às culturas subseqüentes.

São relativamente recentes os estudos acerca da influência dos resíduos deixados pelas culturas de cobertura na superfície do solo no desempenho das culturas cultivadas em sucessão.

Pretendeu-se, com o presente trabalho, avaliar os efeitos de culturas de inverno nos atributos químicos do solo, no estado nutricional e na produtividade das culturas de soja, milho e arroz, cultivadas no verão, em SSD, no município de Jaboticabal, SP.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A rotação de culturas é o sistema de alternar, em um mesmo terreno, diferentes espécies em uma seqüência, de acordo com um plano definido. O estabelecimento de um esquema racional e compatível de rotação de culturas deverá visar não apenas objetivos imediatos, mas ao longo do tempo, fazer com que essa integração produza efeitos favoráveis ao sistema, tais como a melhoria das condições físicas e químicas do solo, proporcionando melhoria da sua capacidade produtiva, maior estabilidade de produção e, conseqüentemente, aumento da rentabilidade líquida na propriedade agrícola como um todo (SODRÉ FILHO et al., 2004).

Com a adoção do sistema de semeadura direta (SSD), torna-se necessária a prática da rotação de culturas utilizando-se espécies que proporcionem a cobertura do solo pelos resíduos vegetais, visando proteção contra a erosão, e também a reciclagem de nutrientes, pela mobilização dos nutrientes lixiviados para camadas inferiores do solo (CRUSCIOL et al., 2005), trazendo-os novamente às camadas superficiais.

Os resíduos vegetais das culturas em SSD constituem uma reserva de nutrientes (ROSOLEM et al., 2003) que, dependendo da espécie, ao se decomporem, provocam alterações nos atributos químicos do solo, o que pode influenciar a cultura em sucessão. Nesse sentido, a introdução de espécies distintas ao sistema de cultivo contribui para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo, melhorando sua fertilidade ao longo do tempo, havendo ainda, um melhor aproveitamento dos fertilizantes (CARVALHO et al., 2004a).

Segundo TORRES et al. (2005), fatores como a persistência, a quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos pelas plantas de cobertura estão relacionadas à eficácia do SSD, demonstrando a importância da utilização de um sistema de rotação de culturas adequado. Para a escolha das espécies de cobertura que constituirão o sistema de rotação de culturas, a adaptação dessas espécies às condições climáticas é de fundamental importância (CERETTA et al., 2002), além de outras características desejáveis, tais como: elevadas produção de matéria seca e taxa de crescimento;

facilidade de manejo; sistema radicular vigoroso e profundo (EMBRAPA, 1996), minimizando os efeitos da maior compactação do solo, geralmente observada em SSD (TORMENA & ROLOFF, 1996); não apresentar problemas de doenças e infestação de áreas; além do interesse do produtor às perspectivas de comercialização dos produtos.

É recomendado ainda, que as espécies possuam elevada relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos, principalmente nos primeiros anos sob SSD (CALEGARI, 1993), pois o alto valor dessa relação faz com que seus resíduos se decomponham mais lentamente e permaneçam por um período mais longo cobrindo a superfície do solo, agindo como planta de cobertura do solo. Conseqüentemente, ocorrerá manutenção ou incremento dos teores de matéria orgânica do solo, melhorando as condições físicas (CAMPOS et al., 1999) e a disponibilidade de nutrientes para as culturas subseqüentes (TORRES et al., 2005). Uma outra opção seria a utilização de plantas denominadas como recicladoras de nutrientes (relação C/N baixa), cujos resíduos degradam mais rapidamente.

Cultivos anuais contínuos no mesmo local com uma única cultura determinam, com o passar dos anos, quedas na produtividade. Isso devido às alterações de características do solo, como a redução dos teores de matéria orgânica e dos nutrientes, como também podem ser criadas condições ambientais propícias à multiplicação de pragas e doenças (CARDOSO, 1993).

Conforme SILVA & ROSOLEM (2001), a rotação de culturas tem se destacado pela promoção de benefícios, desde a proteção do solo contra a erosão até a reciclagem de nutrientes e mobilização de nutrientes lixiviados. Esses autores destacaram a reciclagem de nutrientes, pois esta pode afetar a produção das culturas seguintes. Portanto, a escolha das culturas de rotação assume fundamental importância, devendo-se variar as culturas quanto ao requerimento de nutrientes, o sistema radicular e o volume de solo por elas explorado.

As leguminosas caracterizam-se pela capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico e pela estreita relação carbono/nitrogênio (C/N), o que leva a uma rápida decomposição dos seus restos vegetais (AITA & GIACOMINI, 2003), disponibilizando às plantas, além do nitrogênio acumulado, outros nutrientes contidos na biomassa,

como fósforo e potássio (BORKERT et al., 2003). Portanto, as leguminosas, quando incluídas no sistema, podem acumular e disponibilizar maiores quantidades de nitrogênio para a cultura em sucessão (AITA et al., 2004).

Assim sendo, preferencialmente, as leguminosas deverão participar de um esquema de rotação de culturas, melhorando a fertilidade do solo (CARDOSO, 1993). Além disso, ALCANTRA et al. (2000) enfatizaram o sistema radicular agressivo e profundo das leguminosas, com possibilidade de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo. Porém, a redução da cobertura do solo, devido à rápida decomposição dos resíduos vegetais, pode comprometer a proteção da superfície do solo contra os agentes erosivos.

Por outro lado, os resíduos deixados na superfície do solo pelas gramíneas apresentam elevada relação C/N, permanecendo mais tempo sobre o solo, protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva, prevenindo a erosão. Entretanto, essa elevada relação C/N pode resultar, em grande parte dos casos, em imobilização microbiana de nitrogênio, diminuindo a quantidade disponível no solo às plantas (MAI et al., 2003).

O consórcio de duas ou mais espécies de famílias distintas, como gramíneas e leguminosas, também vem sendo testado (AITA et al., 2004), o que pode determinar a formação de uma cobertura de resíduos com características favoráveis não só à proteção do solo, principalmente pelo resíduo de gramíneas, mas também pelo maior aporte de nitrogênio propiciado pelas leguminosas (BORTOLINI et al., 2000). Nesse sentido, o maior desafio está em estabelecer consórcios que permitam atender à demanda em nitrogênio pelas culturas comerciais e de forma equilibrada. Segundo esses autores, a utilização de ervilhaca comum em consórcio com aveia preta diminui a necessidade de adubação nitrogenada para o cultivo do milho em sucessão.

Em vários trabalhos têm sido determinados a matéria seca, a relação C/N e o acúmulo de nutrientes nos resíduos deixados na superfície do solo pelas culturas (GIACOMINI et al., 2003), bem como a decomposição e liberação desses nutrientes (AITA & GIACOMINI, 2003) por várias rotações de culturas em SSD.

Com relação às diversas espécies vegetais utilizadas como culturas de cobertura no inverno, que podem variar dependendo da região, têm se observado bons resultados, quanto às características desejáveis, para as culturas de milho (SILVEIRA et al., 2005) e sorgo (OLIVEIRA et al., 2002; BORDIN et al., 2003) pela rusticidade, o nabo forrageiro (CRUSCIOL et al., 2005), o guandu e a crotalária (ALVARENGA et al., 1995; SILVEIRA et al., 2005) pela agressividade do sistema radicular e pela produção de biomassa.

De tal modo, as culturas do nabo forrageiro (CRUSCIOL et al., 2005) e milho (OLIVEIRA et al., 2002; SILVEIRA et al., 2005) são consideradas culturas recicladoras de nutrientes devido às grandes profundidades que seu sistema radicular pode atingir, contribuindo consideravelmente com a biomassa depositada na superfície do solo.

Vários trabalhos se destinaram à avaliação da produtividade de culturas no verão, entre elas, milho (CARVALHO et al., 2004b; COLLIER et al., 2006; SILVA et al., 2006), soja (TANAKA et al., 1992), arroz e feijão (OLIVEIRA et al., 2002; BORDIN et al., 2003). Esses autores obtiveram diferenças significativas no rendimento de grãos em razão da cultura cultivada anteriormente.

Em Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado, COLLIER et al. (2006) avaliaram o efeito da aplicação de nitrogênio na produtividade de milho semeado após cultivos de crotalária e feijão-de-porco em pré-semeadura. Esses autores observaram que, na ausência de adubação nitrogenada, o rendimento de milho cultivado nos resíduos de crotalária apresentou-se 26% superior ao rendimento do milho cultivado nos resíduos de feijão-de-porco. Esses resultados foram relacionados às diferentes quantidades de resíduos produzidos, velocidades de decomposição e liberação do nitrogênio contido na biomassa pelas culturas de cobertura.

Em experimento realizado em Latossolo Vermelho distrófico, originalmente sob vegetação de cerrado, CARVALHO et al. (2004b), ao avaliarem a produtividade de milho cultivado em sucessão a adubos verdes nos sistemas de semeadura direta e convencional, obtiveram aumento de 18,5% no rendimento de grãos de milho cultivado após crotalária semeada na primavera, quando comparado à área de pousio. Tal resposta foi obtida independentemente do sistema de cultivo utilizado.

SILVA et al. (2006), em Latossolo Vermelho de cerrado, ao avaliarem o efeito de doses de nitrogênio no milho cultivado com diferentes culturas de cobertura, verificaram que a crotalária proporcionou, na produtividade do milho cultivado sem a aplicação de nitrogênio, um efeito equivalente à aplicação de 56 e 73 kg ha<sup>-1</sup> de uréia, comparado ao milho cultivado no solo em pousio e em sucessão ao milheto, respectivamente. Esses autores observaram ainda, aumento na altura da planta e na inserção da primeira espiga no milho em sucessão à crotalária.

CARVALHO et al. (2004a), num Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, ao testar o desempenho da cultura da soja em sucessão a adubos verdes (crotalária, guandu, mucuna-preta, milheto e pousio) em dois sistemas de cultivo, não obtiveram resposta da cultura em razão do cultivo anterior. Por outro lado, TANAKA et al. (1992) em condições semelhantes de solo e clima, obtiveram maiores produtividades de soja após incorporação dos resíduos de crotalária e mucuna. Nesses casos, o aumento nos rendimentos de grãos de soja em relação à soja contínua foi de 30% para crotalária e 20% para mucuna.

Ao avaliarem a produtividade do feijoeiro em sucessão a diversas culturas de cobertura isoladas e consorciadas, OLIVEIRA et al. (2002), em Argissolo Vermelho-Amarelo, e SILVEIRA et al. (2005), em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram influência dos tipos de resíduos vegetais na produtividade do feijoeiro em sucessão. Em ambos os trabalhos, a utilização do milheto como planta de cobertura proporcionou maiores produtividades do feijoeiro em SSD. Nesses casos, os autores atribuíram os resultados à elevada produção de biomassa e elevado acúmulo de nutrientes pelo milheto.

As concentrações foliares dos nutrientes em uma cultura podem variar devido a diversos fatores tais como a planta, o clima, práticas culturais, pragas e doenças. As práticas culturais também podem ter influência nessas concentrações foliares por diversas razões. Entre elas, o efeito na disponibilidade e no processo de absorção, maior ou menor desenvolvimento do sistema radicular e adição de nutrientes ao solo (MALAVOLTA et al., 1997).

A utilização de plantas de cobertura aumenta a oferta de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais do solo (ROSOLEM et al., 2003; CALONEGO et al., 2005). Contudo, o tipo ideal de cobertura do solo é aquele cuja taxa de decomposição de seus resíduos vegetais seja compatível com a manutenção da proteção do solo aos agentes erosivos por maior período possível, aliado ao fornecimento de nutrientes em razão da demanda pela cultura subsequente (AITA et al., 2004).

Na literatura, são escassos os trabalhos cujos objetivos são de avaliar os efeitos das práticas culturais, especificamente com relação à rotação/sucessão de culturas, no estado nutricional das plantas envolvidas. Segundo BORKERT et al. (2003), a maioria dos trabalhos, que envolvem plantas de cobertura e/ou rotações, tem buscado avaliar o rendimento das coberturas, qualidade e quantidade da matéria verde e seca produzida, e em alguns casos, determinar as quantidades de N e P na biomassa e passíveis de serem absorvidos pelas culturas subsequentes.

Nesse sentido, para estudar a influência do manejo na nutrição das culturas, levam-se em consideração aspectos da fertilidade do solo (MALAVOLTA et al., 1997), pois as alterações provocadas pelo manejo, primeiramente acarretam respostas no solo. A modificação dos atributos químicos do solo faz com que as culturas que ali se desenvolvem sofram alterações na absorção de nutrientes, de acordo com as alterações que ocorreram no solo.

Segundo MUZILLI (2002), a redução da taxa de oxidação da matéria orgânica do solo faz com que o SSD se destaque como uma boa estratégia para promover a melhoria do solo, tanto em suas propriedades físicas (agregação, porosidade, aeração, infiltração de água), quanto nas químicas (aumento da CTC, liberação gradativa do nitrogênio, construção de um reservatório de fósforo lábil no solo e correção da acidez por processos organo-químicos). Em adição a isso, o papel fundamental exercido pela rotação das culturas comerciais com plantas utilizadas para formar a cobertura vegetal na superfície do solo, é permitir potencializar os efeitos das adubações químicas pela reciclagem dos nutrientes.

De acordo com LIMA (2001), as condições ambientais proporcionadas pelo acúmulo de resíduos vegetais em SSD levam a crer que a dinâmica dos nutrientes é diferenciada nesse sistema. Entretanto, BARTZ (1998) salientou que os princípios básicos são praticamente os mesmos do sistema convencional, justificando que as diferenças são relativas à velocidade e à intensidade das reações que controlam a disponibilidade da maioria dos nutrientes do solo.

A disponibilidade de N no solo é controlada pelos processos microbianos de mineralização e imobilização, os quais dependem basicamente da relação C/N e da composição bioquímica dos resíduos culturais em decomposição (AITA et al., 2004). Em SSD, os efeitos da imobilização tendem a ser mais expressivos nos primeiros anos de implantação do sistema, podendo inclusive ocorrer certa competição entre as plantas e os microorganismos (TSAI & ROSSETO, 1992). Portanto, em longo prazo, o aumento do teor de matéria orgânica do solo possibilitará uma maior mineralização dos nutrientes, que são liberados lentamente pela ação dos microorganismos (FRANCHINI et al., 2000), podendo reduzir o N aplicado via adubação (CERETTA et al., 2002; SILVEIRA et al., 2005).

Segundo BORKERT et al. (2003), cerca de 77% e 79% do P provenientes das folhas e raízes mortas, respectivamente, ficam disponíveis para o crescimento das plantas cultivadas seqüencialmente após o cultivo da cultura de cobertura. CALONEGO et al. (2005) salientaram que os resíduos das plantas de cobertura constituem uma fonte considerável de  $K^+$ , pois o nutriente é encontrado predominantemente na forma iônica  $K^+$  (MENGEL & KIRKBY, 2001), além de ser o mais abundante nos tecidos vegetais. Por meio da ação da água das chuvas, estas promovem a lixiviação do  $K^+$  dos restos vegetais (ROSOLEM et al., 2003) e proporcionam aumento dos teores do nutriente no solo (BORKERT et al., 2003).

Quanto ao cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e os micronutrientes, são poucos os relatos de concentração destes nutrientes na matéria seca das plantas em sucessão (BORKERT et al., 2003), bem como na nutrição mineral das culturas subseqüentes.

Diversos fatores modificam a velocidade de absorção de nutrientes pelas plantas, podendo aumentá-la ou diminuí-la (MALAVOLTA et al., 1997). Por um lado, os fatores edáficos, como a disponibilidade dos nutrientes, que por sua vez é influenciada pela umidade, aeração, temperatura, pH do solo e teor de matéria orgânica. Por outro lado, os fatores intrínsecos das culturas também influenciam no processo de absorção como a potencialidade genética, a intensidade transpiratória e a morfologia das raízes.

SILVA & ROSOLEM (2001), em experimento com nutrição de soja em sucessões de culturas em casa de vegetação, verificaram alterações nas concentrações foliares de N, K, Ca, Mg e S em razão dos cultivos anteriores e concluíram que o cultivo de várias espécies pode provocar algumas mudanças nas propriedades químicas do solo, e seus efeitos podem refletir diretamente na fertilidade e, conseqüentemente, na eficiência de aproveitamento de nutrientes pelas plantas subseqüentes.

Em condições de campo, num Latossolo Vermelho distrófico em SSD, ao avaliarem as taxas de exportação de nutrientes pelos grãos, e o retorno, quantificando-se esses nutrientes nos resíduos vegetais da soja, após o cultivo de milho, braquiária, feijão, mucuna-preta e pousio no inverno, GUIMARÃES et al. (2003) constataram maiores retornos de K e S ao solo, provenientes dos resíduos vegetais da soja cultivada após braquiária.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido no município de Jaboticabal, SP, em área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da UNESP. A altitude local é de 595 m, com latitude de 21°15'22" S e longitude 48°18'58" W. O clima, segundo a classificação de KÖPPEN, é do tipo Aw, com precipitação pluvial média anual de 1425 mm, concentrada no período de outubro a março, com temperatura média anual de 22 °C e umidade relativa do ar média de 70%.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, A moderado, caulínítico, hipoférrico e relevo suave ondulado – LVe (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação do experimento, a área experimental foi utilizada para a produção de soja e milho em sistema de cultivo convencional por período de aproximadamente 20 anos. Os resultados das análises químicas do solo, realizadas antes da instalação do experimento, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

Camada (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SB	CTC	V (%)
0-20	5,0	19	13	4,1	15	9	34	28,1	62,1	45
20-40	4,8	17	26	2,9	16	7	34	25,9	59,9	43
Média	4,9	18	19	3,5	15	8	34	27,0	61,0	44

Na implantação do experimento, em setembro de 2002, realizaram-se operação de subsolagem a 40 cm de profundidade e calagem para elevação da saturação por bases do solo para 70%. A incorporação do calcário com PRNT de 100%, aplicado na dose de 1,5 Mg ha<sup>-1</sup>, foi realizada por operações de aração e gradagem. Em julho de 2005, efetuou-se calagem superficial, utilizando-se calcário com PRNT de 70%, aplicado na dose de 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, sem a incorporação do corretivo.

### 3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados, no esquema em faixas, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro seqüências de culturas de verão com sete culturas de inverno, totalizando 28 parcelas por bloco experimental (Figura 1).

As seqüências de culturas de verão constituíram de: MV (milho verão), monocultura de milho (*Zea mays* L.) no verão; SV (soja verão), monocultura de soja (*Glycine max* L. Merryl) no verão; SM (rotação soja/milho), com cultivos de soja e milho no verão, intercalados ano a ano e AFA (rotação arroz/feijão/algodão), com cultivos de arroz (*Oriza sativa* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em rotação no verão.

As culturas de inverno foram: milho (*Zea mays* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária (*Crotalaria juncea* L.), semeadas em fevereiro-março (safrinha), repetindo-se a cada ano agrícola a mesma cultura de inverno na mesma parcela.

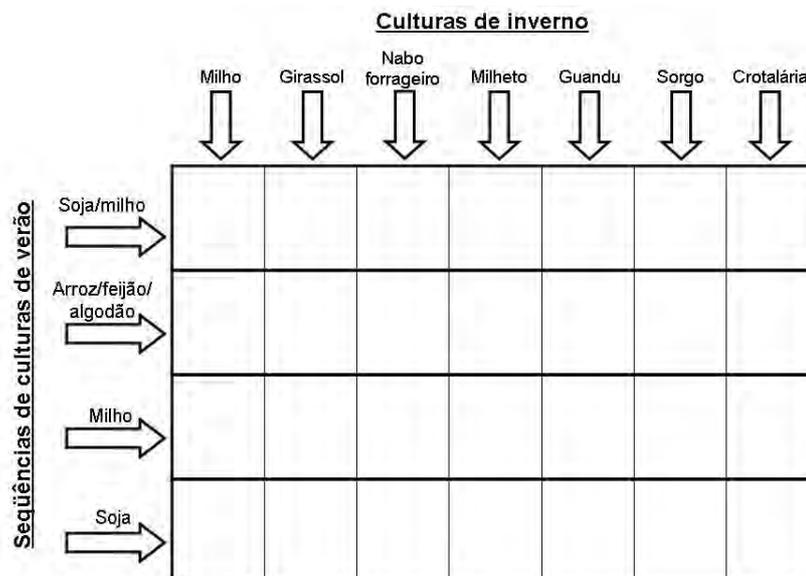


Figura 1. Esquema do bloco experimental. Disposição das parcelas pelo cruzamento das faixas constituídas pelas seqüências de culturas de verão e as culturas de inverno.

Cada parcela experimental ocupou uma área de 600 m<sup>2</sup> (40 m de comprimento por 15 m de largura). As bordaduras das parcelas corresponderam aos 10 m iniciais e finais do comprimento e aos 2,5 m das laterais, ficando a área útil de cada parcela com 200 m<sup>2</sup> (20 m x 10 m). As dimensões das parcelas, assim como das bordaduras, foram planejadas para viabilizar a mecanização de todas as operações exigidas durante a condução do experimento.

### **3.3. Condução do experimento**

O experimento foi implantado em setembro de 2002 e conduzido pelos anos agrícolas 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007 (Tabela 2). No ano agrícola 2002/2003, na seqüência de verão AFA, em razão do ciclo mais longo do arroz cultivado no verão, não foi possível implantar das culturas de inverno no período recomendado. E no ano agrícola 2004/2005, em decorrência do baixo volume de chuvas, as culturas de inverno não foram implantadas. Portanto, nesses casos, as parcelas permaneceram em pousio no período de inverno.

Os resultados apresentados no presente estudo referem-se às avaliações do ano agrícola 2006/2007, no qual a cultura de verão na seqüência SM foi soja e na AFA foi arroz (Tabela 2).

Durante a condução do experimento, antecedendo a semeadura das culturas de verão e de inverno, os restos culturais foram triturados, utilizando-se triturador de resíduos vegetais (triton), visando distribuir e uniformizar a cobertura do solo. Cerca de uma semana após essa operação, efetuou-se a dessecação química das plantas daninhas remanescentes, com a aplicação de 2,0 L ha<sup>-1</sup> de herbicida glifosato.

Em todos os anos agrícolas, o milho e o girassol cultivados no inverno foram semeados com 90 cm de espaçamento entrelinhas, visando populações finais de 55 mil e 88 mil plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As demais culturas foram semeadas com 45 cm de espaçamento entrelinhas visando populações, em plantas ha<sup>-1</sup>, de 555 mil para o nabo forrageiro, 3 milhões para o milheto, 665 mil para o guandu, 175 mil para o sorgo e 55 mil para a crotalária (Figura 2).

Tabela 2. Histórico dos tratamentos, pelas culturas de verão e inverno, desde a implantação do experimento.

Seqüências de verão <sup>(1)</sup>	Anos agrícolas									
	--- 2002/2003 ---		--- 2003/2004 ---		--- 2004/2005 ---		---- 2005/2006 ----		2006/2007	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno <sup>(2)</sup>	Verão	Inverno	Verão	
MV -		Milho		Milho		-		Milho		
		Girassol		Girassol		-		Girassol		
		Nabo		Nabo		-		Nabo		
		Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	-	Milho	Milho	Milho
		Guandu		Guandu			-	Guandu		
		Sorgo		Sorgo			-	Sorgo		
		Crotalária		Crotalária		-		Crotalária		
SV -		Milho		Milho		-		Milho		
		Girassol		Girassol		-		Girassol		
		Nabo		Nabo		-		Nabo		
		Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	-	Soja	Soja	Soja
		Guandu		Guandu			-	Guandu		
		Sorgo		Sorgo			-	Sorgo		
		Crotalária		Crotalária		-		Crotalária		
SM -		Milho		Milho		-		Milho		
		Girassol		Girassol		-		Girassol		
		Nabo		Nabo		-		Nabo		
		Soja	Milho	Milho	Soja	Soja	-	Milho	Milho	Soja
		Guandu		Guandu			-	Guandu		
		Sorgo		Sorgo			-	Sorgo		
		Crotalária		Crotalária		-		Crotalária		
AFA -		-		Milho		-		Milho		
		-		Girassol		-		Girassol		
		-		Nabo		-		Nabo		
		Arroz	Feijão	Milho	Algodão		-	Feijão	Milho	Arroz
		-		Guandu			-	Guandu		
		-		Sorgo			-	Sorgo		
			Crotalária			-		Crotalária		

<sup>(1)</sup>: MV = milho; SV = soja; SM = rotação soja/milho; AFA = rotação arroz/feijão/algodão.

<sup>(2)</sup>: Devido às condições hídricas desfavoráveis, não foi possível semear as culturas no inverno do ano agrícola 2004/2005, permanecendo as parcelas em pousio no período inverno.

A adubação de semeadura, em todos os anos agrícolas, foi a mesma para todas as culturas de inverno e constituiu de 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-20-20 + Zn 0,5%, sem a utilização da adubação de cobertura. As culturas de milho, girassol e sorgo foram conduzidas até a colheita dos grãos. As culturas do nabo forrageiro, milheto, guandu e crotalária foram manejadas com triturador de resíduos vegetais (triton) por ocasião do pleno florescimento.

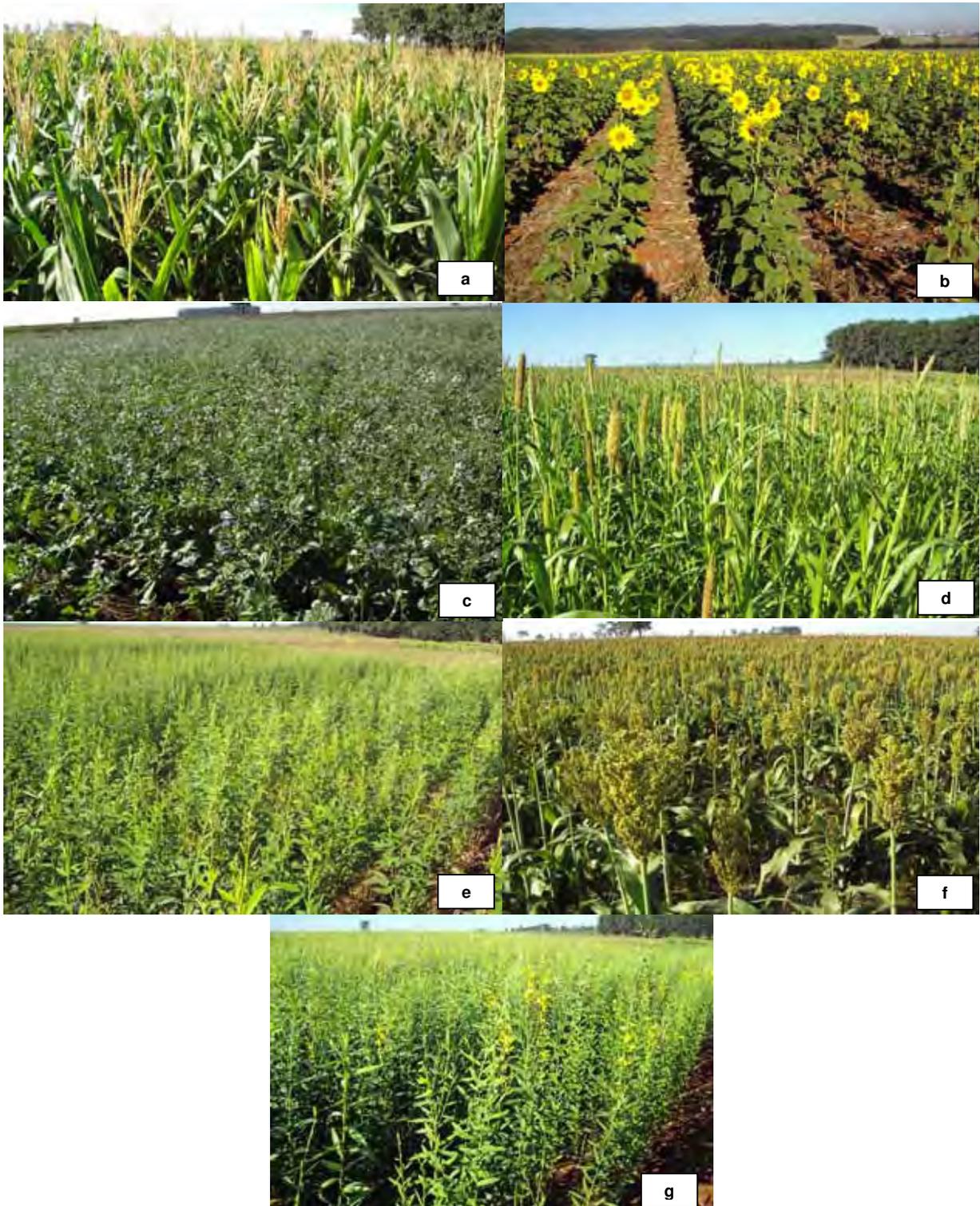


Figura 2. Culturas do inverno utilizadas. Milho (a), girassol (b), nabo forrageiro (c), milheto (d), guandu (e), sorgo (f) e crotalária (g).

Para a implantação das culturas de verão, em todos os anos agrícolas, utilizou-se o critério de aguardar uma precipitação acumulada de 50 mm de chuva para se iniciar as operações de semeadura.

As recomendações das adubações de semeadura das culturas de verão basearam-se nos resultados das análises químicas do solo provenientes das avaliações do ano agrícola anterior, visando alta produtividade esperada, conforme RAIJ et al. (1997). O histórico das adubações de semeadura e cobertura utilizadas nas seqüências de culturas de verão durante a condução do experimento encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Histórico das adubações de semeadura e cobertura utilizadas nas seqüências de culturas de verão durante a condução do experimento.

Seqüências de verão <sup>(1)</sup>	Adubações	Anos agrícolas			
		2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006
MV	Semeadura	(milho) 350 kg ha <sup>-1</sup> 8-28-16 + Zn 0,5%	(milho) 350 kg ha <sup>-1</sup> 8-28-16 + Zn 0,5%	(milho) 350 kg ha <sup>-1</sup> 8-28-16 + Zn 0,5%	(milho) 350 kg ha <sup>-1</sup> 8-20-20 + Zn 0,5%
	Cobertura	300 Kg ha <sup>-1</sup> 30-0-10	300 Kg ha <sup>-1</sup> 30-0-10	300 Kg ha <sup>-1</sup> 30-0-10	480 Kg ha <sup>-1</sup> Sulfato de amônio
SV	Semeadura	(soja) 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20	(soja) 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20	(soja) 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20	(soja) 330 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20
	Cobertura	-	-	-	-
SM	Semeadura	(soja) 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20	(milho) 350 kg ha <sup>-1</sup> 8-28-16 + Zn 0,5%	(soja) 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20	(milho) 350 kg ha <sup>-1</sup> 8-20-20 + Zn 0,5%
	Cobertura	-	300 kg ha <sup>-1</sup> 30-0-10	-	480 Kg ha <sup>-1</sup> Sulfato de amônio
AFA	Semeadura	(arroz) 300 kg ha <sup>-1</sup> 8-28-16 + Zn 0,5%	(feijão) 300 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20	(algodão) 450 kg ha <sup>-1</sup> 8-28-16 + Zn 0,5%	(feijão) 370 kg ha <sup>-1</sup> 0-20-20
	Cobertura	250 kg ha <sup>-1</sup> 30-0-10	-	250 kg ha <sup>-1</sup> Sulfato de amônio	-

<sup>(1)</sup>: MV = milho; SV = soja; SM = rotação soja/milho; AFA = rotação arroz/feijão/algodão.

Com relação às culturas de verão do ano agrícola 2006/2007 (Figura 3), a operação de semeadura de milho, soja e arroz foi realizada mecanicamente em sistema de semeadura direta no dia 21/10/2006, quando as condições de umidade do solo encontraram-se favoráveis para tal (Apêndice A).



Figura 3. Culturas cultivadas no verão do ano agrícola 2006/2007, milho (MV), soja (SV e SM) e arroz (AFA).

O híbrido de milho, AG-9010 (ciclo super precoce), foi semeado na seqüência de verão MV, no espaçamento de 90 cm entrelinhas, visando atingir uma população de aproximadamente 66 mil plantas  $ha^{-1}$ . A adubação de semeadura constituiu de 100  $kg\ ha^{-1}$  da fórmula 8-28-16 + Zn 0,5%. Para a adubação de cobertura, foram utilizados 250  $kg\ ha^{-1}$  da fórmula 20-0-20, com aplicação no momento em que a planta apresentava seis folhas completamente desdobradas, seguindo recomendações de CANTARELLA et al. (1997).

A soja, cultivar CODETEC 216 (ciclo precoce), foi semeada nas seqüências de culturas de verão SM e SV, no espaçamento de 45 cm entrelinhas, visando atingir uma população de aproximadamente 480 mil plantas  $ha^{-1}$ . As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. A adubação de semeadura constituiu de 200  $kg\ ha^{-1}$  da fórmula 0-20-20.

O arroz, cultivar IAC 202 (ciclo médio), foi semeado na seqüência de verão AFA, no espaçamento de 45 cm entrelinhas, visando atingir uma população de aproximadamente 2 milhões de plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação de semeadura constituiu de 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 + Zn 0,5 %. Para a adubação de cobertura, foram utilizados 150 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, aplicado no período de diferenciação da panícula, seguindo recomendações de CANTARELLA et al. (1997).

Durante a condução das culturas de verão e inverno, o controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado quando necessário, utilizando-se produtos e doses recomendados pelos fabricantes.

### 3.4. Avaliações

#### 3.4.1. Atributos químicos do solo

Após a colheita ou o manejo das culturas de inverno do ano agrícola 2005/2006 (Tabela 4) e antes da semeadura das culturas no verão do ano agrícola 2006/2007, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5,0; 5-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade, nos dias 6, 9 e 10/10/2006 (Apêndice A).

Tabela 4. Datas de semeadura das culturas de inverno do ano agrícola 2005/2006 e número de dias entre a semeadura e o manejo/colheita das culturas de inverno e entre o manejo/colheita das culturas de inverno e a amostragem do solo.

Culturas de inverno	Data da semeadura	Manejo/Colheita (Dias após a semeadura)	Amostragem de solo (Dias após o manejo/colheita)
Milho	04/04/2006	160	25
Girassol	04/04/2006	125	61
Nabo forrageiro	06/04/2006	60	125
Milheto <sup>(1)</sup>	19/04/2006	-	-
Guandu	06/04/2006	104	83
Sorgo	05/04/2006	159	30
Crotalária	05/04/2006	87	103

<sup>(1)</sup>: O milheto não foi manejado no ano agrícola 2005/2006 devido ao baixo crescimento.

Nas delimitações da área útil de cada parcela, foram coletadas 20 amostras simples para cada camada de solo, para compor uma amostra composta, seguindo

caminhamento de amostragem na diagonal e tomando-se como ponto de coleta as entrelinhas da cultura. Em cada ponto de amostragem, foi aberto um buraco com dimensões de 15 cm de lado por 10 cm de profundidade. A coleta das camadas de 0-2,5, 2,5-5 e 5-10 cm foi realizada com o auxílio de uma pequena pá e nas camadas de 10-20 e 20-30 cm com a utilização de um trado tipo holandês (Figura 4).



Figura 4. Coleta de amostras de solo utilizando-se pá de amostragem (a) e trado tipo holandês (b).

No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm para posteriormente serem submetidas às análises químicas para determinação de: valores de pH ( $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ ), teores de P (resina), matéria orgânica, K, Ca, Mg e  $\text{H}^+\text{Al}$ , conforme métodos descritos por RAIJ et al. (1987), foram ainda calculados os valores de capacidade de troca de cátions (CTC) e a porcentagem de saturação por bases (V).

#### **3.4.2. Análise foliar das culturas de verão**

Para avaliação do estado nutricional das culturas de verão do ano agrícola 2006/2007, efetuou-se amostragem foliar nas culturas de milho e soja, 54 dias após a semeadura, adotando-se os critérios sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997), e na cultura do arroz, 60 dias após a semeadura, adotando-se os critérios sugeridos por CANTARELLA et al. (1997).

Foram amostradas plantas delimitadas na área útil da parcela e de maneira casual. Na cultura do milho, coletou-se a folha oposta e abaixo da espiga sem a nervura central, por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (Figura 5), na cultura da soja, coletou-se a terceira folha com o pecíolo excluído, a partir da ponta do ramo, por ocasião do florescimento (Figura 6), e no arroz, coletou-se a folha bandeira, por ocasião do perfilhamento (Figura 7).

Foram coletadas 30 folhas por parcela para as culturas de milho e soja e 50 folhas por parcela para a cultura do arroz.



Figura 5. Cultura do milho na ocasião da amostragem foliar. Inflorescência masculina (a), feminina (b) e a folha amostrada (b), abaixo e oposta da espiga.



Figura 6. Cultura da soja na ocasião da amostragem foliar (a) e detalhe da planta de soja florescida (b).



Figura 7. Cultura do arroz na ocasião da amostragem foliar.

No laboratório, as amostras de folhas foram lavadas com uma solução diluída (0,1%) de detergente neutro, posteriormente com solução de HCl  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e finalmente com água destilada. Logo em seguida, as amostras foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a  $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , até atingirem peso constante. Posteriormente, as amostras foram moídas, utilizando-se o moinho martelo tipo WILEY e passadas em peneira de malha 1 mm, para serem submetidas à análise química para determinação de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Fe, Mn e Zn, seguindo procedimentos descritos por BATAGLIA et al. (1983).

### **3.4.3. Produtividade das culturas de verão**

A colheita das culturas de verão foi realizada mecanicamente, com colhedora de experimentos, aos 117 e 128 dias após a semeadura, respectivamente para as culturas da soja e do arroz (Figura 7). Foram colhidas nove linhas de plantas com 15 m de comprimento, perfazendo uma área de  $60,75 \text{ m}^2$  por parcela.

A colheita da cultura do milho foi realizada manualmente e com debulha mecanizada aos 118 dias após a semeadura, colhendo-se quatro linhas de plantas com 15 m de comprimento, perfazendo uma área de  $54 \text{ m}^2$ . O peso final dos grãos foi corrigido para 13% de umidade.



Figura 8. Colheita mecanizada de soja (a) e arroz (b) com colhedora de parcelas.

### 3.5. Análises estatísticas

Antes de submeter os dados à análise de variância, a hipótese estatística inicial de distribuição normal dos erros foi testada utilizando-se o teste de SHAPIRO-WILK, a 5% de probabilidade, visando verificar a necessidade de transformação dos dados.

A análise de variância dos dados dos atributos químicos do solo seguiu o delineamento em blocos casualizados no esquema em faixas com parcelas divididas (ZIMMERMANN, 2004), cuja divisão das parcelas constituiu das camadas de solo amostradas. Para os dados das concentrações foliares dos nutrientes e das produtividades das culturas de verão, separadamente para cada seqüência de culturas de verão, a análise de variância seguiu o delineamento em blocos casualizados, considerando as culturas de inverno como tratamentos.

Sendo o resultado da análise de variância significativo a 5 % de probabilidade, as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando-se o teste de SCOTT-KNOTT, a 5% de probabilidade.

Em cada seqüência de culturas de verão, testes de correlação de PEARSON, a 5% de probabilidade, foram realizados entre as concentrações foliares dos nutrientes avaliados e as produtividades das culturas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Atributos químicos do solo

As seqüências de culturas de verão influenciaram significativamente os teores de fósforo (P) no solo até 20 cm de profundidade (Tabela 5). Baseando-se nas culturas de verão do ano agrícola anterior, milho nas seqüências SM e MV, feijão na AFA e soja na SV, os menores teores de P no solo, observados até 20 cm de profundidade, nas seqüências SM e MV, podem ser devido a menor velocidade de decomposição dos resíduos culturais das gramíneas em relação às leguminosas, por apresentarem maior relação C/N, com influência na taxa de liberação do P da biomassa, ao ser decomposta.

Os maiores teores de P no solo da seqüência AFA em relação à SV, observados até 10 cm de profundidade, podem ser devido às maiores quantidades de fósforo adicionadas na seqüência de verão AFA, durante a condução do experimento (Tabela 3) aliada à maior exigência nutricional e exportação de P pelos grãos da soja, em relação ao feijão (MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 5. Teores médios de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) do solo nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas.

Camada (cm)	Seqüências de culturas de verão <sup>(1)</sup>				F <sup>(2)</sup>
	MV	SV	SM	AFA	
0-2,5	31 Ac	46 Ab	34 Ac	58 Aa	92,11**
2,5-5	24 Bc	29 Bb	24 Bc	42 Ba	40,57**
5-10	23 Bb	23 Cb	25 Bb	34 Ca	14,45**
10-20	17 Ca	14 Da	10 Cb	13 Da	4,54*
20-30	13 D	10 E	7 C	11 D	2,88 <sup>ns</sup>
F <sup>(2)</sup>	43,63**	180,95**	112,75**	361,80**	-

<sup>(1)</sup> MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

<sup>(2)</sup> \* e \*\* = Significativos ( $p < 0,05$ ) e ( $p < 0,01$ ), respectivamente.

Coefficiente de variação = 20%.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

Comparando-se os teores de P no solo entre as culturas de inverno em cada camada de solo amostrada (Tabela 6), verificou-se influência das culturas de inverno

nesse atributo químico nos primeiros 5 cm de profundidade. As explicações para esses resultados podem ser devido à alta exigência e acúmulo de P pela crotalária e pelo nabo forrageiro aliada à rápida degradação de seus restos culturais, fazendo com que esse nutriente seja liberado rapidamente nas camadas superficiais do solo.

Tabela 6. Teores médios de fósforo do solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) após culturas de inverno e nas camadas de solo amostradas.

Camada (cm)	Culturas de inverno							F <sup>(1)</sup>
	Milho	Girassol	Nabo	Milheto	Guandu	Sorgo	Crotalária	
0-2,5	38 Ab	41 Ab	50 Aa	38 Ab	42 Ab	41 Ab	45 Aa	5,76**
2,5-5	26 Bb	28 Bb	36 Ba	30 Bb	32 Bb	32 Bb	30 Bb	3,36**
5-10	24 B	26 B	32 C	26 C	27 B	27 C	23 C	2,16 <sup>ns</sup>
10-20	14 C	15 C	13 D	14 D	15 C	12 D	14 D	0,26 <sup>ns</sup>
20-30	10 D	10 D	10 D	10 D	11 C	9 D	11 D	0,19 <sup>ns</sup>
F <sup>(1)</sup>	63,12**	79,41**	147,28**	68,40**	74,53**	92,95**	97,10**	

<sup>(1)</sup> \*\* = Significativo ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> = Não significativo ( $p < 0,05$ ).

Coefficiente de variação = 19%.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

CRUSCIOL et al. (2005) observaram alta exigência de P pelo nabo forrageiro, elevadas concentrações na parte aérea da cultura, além da elevada produção de matéria seca no inverno. Esses autores concluíram que o nabo forrageiro apresenta rápida degradação dos restos culturais após o seu manejo e, conseqüentemente, grande parte dos nutrientes contidos na biomassa da planta retornam ao solo rapidamente (BORKERT et al., 2003). COLLIER et al. (2006), ao avaliarem o efeito da decomposição de plantas de cobertura em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na região dos cerrados, verificaram acréscimos nos teores de P na camada superficial do solo, utilizando-se leguminosas como plantas de cobertura, inclusive a crotalária.

Considerando as diferenças dos teores de P entre as camadas de solo, em todas as seqüências de verão e as culturas de inverno (Tabelas 5 e 6), observou-se comportamento de redução dos teores de P com o aumento da profundidade, resultante dos efeitos da ausência de revolvimento periódico do solo, da aplicação de fertilizantes e do acúmulo de resíduos superficialmente (MUZILLI, 1983), principalmente em relação aos teores de P, que é um elemento de reduzida mobilidade no solo (RAIJ, 1991), o que resulta em um maior acúmulo nas camadas superficiais do solo.

No presente estudo, os teores de P encontraram-se nas classes consideradas como média e alta (15-40 e 40-80 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente) até 10 cm e baixas (7-15 mg dm<sup>-3</sup>) de 10 a 30 cm de profundidade, segundo RAIJ et al. (1997).

Com relação aos teores de matéria orgânica (MO) do solo de acordo com as seqüências de culturas de verão (Tabela 7), a explicação para os resultados observados até 10 cm de profundidade, cujos menores teores de MO foram observados nas seqüências em que se cultivou milho no verão anterior (SM e MV), pode estar ligada à menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais dessa cultura, quando comparada à soja e ao feijão, devido à maior relação C/N dos resíduos, fazendo com que a MO seja incorporada ao solo mais lentamente.

Tabela 7. Teores médios de matéria orgânica do solo (g dm<sup>-3</sup>) nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas.

Camada (cm)	Seqüências de culturas de verão <sup>(1)</sup>				F <sup>(2)</sup>
	MV	SV	SM	AFA	
0-2,5	27 Ab	30 Aa	30 Aa	31 Aa	17,38**
2,5-5	24 Bc	26 Bb	24 Bc	28 Ba	21,12**
5-10	22 Cb	24 Ca	21 Cb	24 Ca	11,37**
10-20	19 Da	20 Da	19 Da	17 Db	6,76**
20-30	17 Ea	16 Ea	17 Ea	15 Eb	5,93**
F <sup>(2)</sup>	88,95**	155,38**	152,62**	266,11**	-

<sup>(1)</sup> MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

<sup>(2)</sup> \*\* = Significativo (p<0,01).

Coefficiente de variação = 9%.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

O fato da seqüência de verão SM não ter apresentado menores teores de MO na camada 0-2,5 cm pode ser devido à utilização da cultura da soja em rotação no verão por essa seqüência, que, provavelmente, fez com que os estoques de N do solo fossem superiores às da seqüência MV, estreitando a relação C/N, aumentando a taxa de decomposição dos resíduos e de formação de MO, incrementando os teores no solo.

As culturas de inverno influenciaram os teores de MO do solo, independentemente da camada amostrada (Tabela 8). Os menores teores de MO do solo observados após o cultivo da cultura do milho no inverno, provavelmente, podem estar associados à menor velocidade de decomposição de seus resíduos culturais,

devido à elevada relação C/N, deste modo, incorporando a matéria orgânica ao solo em menor velocidade, quando comparada às demais culturas de inverno.

Tabela 8. Teores médios de matéria orgânica do solo ( $\text{g dm}^{-3}$ ) após culturas de inverno e nas camadas de solo amostradas.

Camada (cm)	Culturas de inverno							F <sup>(2)</sup>	CV (%)
	Milho	Girassol	Nabo	Milheto	Guandu	Sorgo	Crotalária		
0-2,5	30	28	33	32	29	31	34	-	-
2,5-5	24	24	28	27	25	27	28	-	-
5-10	22	23	23	22	22	23	23	-	-
10-20	17	18	19	19	19	20	20	-	-
20-30	15	16	16	17	17	16	16	-	-
Média <sup>(1)</sup>	19b	20b	21a	21a	20b	21a	21a	7,29**	8

<sup>(1)</sup> Camada 0-30 cm de profundidade (Média ponderada).

<sup>(2)</sup> \*\* = Significativo ( $p < 0,01$ ).

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

Outro ponto a ser levado em consideração é o fato das operações de trituração dos restos culturais das culturas que foram manejadas terem sido realizadas em período anterior à colheita do milho. Portanto, as culturas que foram manejadas tiveram maior tempo disponível para a decomposição dos restos culturais até a ocasião da amostragem do solo, em comparação com as culturas de inverno que foram colhidas (Tabela 4), tempo esse, necessário para incrementar os teores de matéria orgânica do solo.

Os menores teores de MO do solo observados nas parcelas com girassol e guandu no inverno (Tabela 8) podem ser devido à menor cobertura do solo, proporcionada por essas culturas. Pois, entre as culturas de inverno utilizadas, essas apresentam baixa capacidade de cobrir o solo, conforme constatado por CORÁ (2006). A baixa cobertura proporcionada pelo guandu é atribuída ao baixo crescimento no inverno (AMABILE et al., 2000), pelo adiantamento do florescimento devido ao menor fotoperíodo, e no caso do girassol, à estrutura dos seus resíduos (SODRÉ FILHO et al., 2004), fatores esses desfavoráveis à proteção do solo. Além disso, os resíduos vegetais dessas culturas possuem menor relação C/N nas folhas, acelerando a sua decomposição, expondo o solo às oscilações climáticas, elevando a amplitude térmica, o que favorece a oxidação da MO do solo.

É provável que o fato das culturas de inverno não terem sido implantadas no inverno do ano agrícola 2004/2005 pode ter influenciado o resultado observado, reduzindo o efeito cumulativo das culturas de inverno no decorrer do experimento.

Embora se tenha observado redução dos teores de MO com o aumento da profundidade do solo (Tabelas 7 e 8), a influência dos sistemas radiculares das culturas de inverno pôde ser notada, uma vez que suas alterações foram observadas independentemente da camada analisada (Tabela 8).

Em SSD, ao se eliminarem as culturas, seja pela colheita ou manejo, os sistemas radiculares das culturas permanecem no solo para decomposição, o que contribui para elevar os teores de MO em maiores profundidades, principalmente para as espécies com sistema radicular pivotante e com elevada relação C/N, como as leguminosas. Contudo, no caso do milho e do sorgo, mesmo pertencendo à família das gramíneas e, portanto, possuindo sistema radicular fasciculado e normalmente mais superficial, por serem mais resistentes a períodos de estiagem, provavelmente, suas raízes explorem um maior volume de solo, quando comparadas àquelas das demais gramíneas (CORÁ, 2006), tratando-se de cultivos no inverno. Entretanto, tais observações necessitam de estudos mais aprofundados.

As culturas de inverno não influenciaram os teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis, a acidez potencial (H+Al), os valores de pH, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V) do solo. Entretanto, as alterações desses atributos químicos foram observadas considerando-se a interação entre as seqüências de culturas de verão e as camadas de solo amostradas (Tabelas 9 e 10).

Comparando-se os de teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , H+Al, valores de pH e a saturação por bases (V) do solo entre as seqüências de culturas de verão (Tabelas 9 e 10), não foi possível determinar as causas das interações desses atributos químicos entre as seqüências de verão e as camadas de solo amostradas, pois o comportamento observado foi conflitante, diferenciado em cada camada de solo.

Os maiores valores de CTC do solo (Tabela 10), geralmente observados na seqüência AFA podem ser relacionados aos maiores teores de MO do solo, também observados nessa seqüência de verão (Tabela 7).

Tabela 9. Teores médios de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis e acidez potencial (H+Al) do solo nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas.

Camada (cm)	Seqüências de culturas de verão <sup>(1)</sup>				F <sup>(3)</sup>
	MV	SV	SM	AFA	
	----- $\text{Ca}^{2+}$ (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(2)</sup> -----				
0-2,5	7,3 Ac (53)	6,9 Ac (48)	8,4 Aa (71)	7,9 Ab (62)	20,14**
2,5-5	6,1 Bb (37)	6,6 Bb (44)	6,6 Bb (44)	7,2 Ba (52)	8,39**
5-10	5,6 Cb (31)	5,7 Cb (32)	5,4 Cb (29)	6,4 Ca (41)	9,60**
10-20	4,8 Da (32)	4,3 Db (18)	4,2 Db (18)	4,2 Eb (18)	3,87*
20-30	4,8 Da (23)	4,3 Db (18)	4,1 Db (17)	4,5 Da (20)	3,85*
F <sup>(3)</sup>	82,58**	111,95**	234,40**	197,18**	
	Coeficiente de variação = 9%				
	----- $\text{Mg}^{2+}$ (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----				
0-2,5	28 Ac	20 Ad	42 Aa	35 Ab	51,60**
2,5-5	18 Bb	20 Ab	24 Ba	27 Ba	9,70**
5-10	12 Cc	17 Bb	17 Cb	22 Ca	9,05**
10-20	10 D	9 C	10 D	12 D	0,85 <sup>ns</sup>
20-30	11 D	10 C	10 D	14 D	1,91 <sup>ns</sup>
F <sup>(3)</sup>	61,21**	33,12**	195,64**	101,74**	
	Coeficiente de variação = 24%				
	----- H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----				
0-2,5	17 Da	13 Eb	15 Eb	17 Ca	4,65*
2,5-5	18 D	18 D	20 D	19 B	0,80 <sup>ns</sup>
5-10	23 Ca	23 Ca	25 Ca	20 Bb	4,49*
10-20	35 Aa	32 Ab	35 Ab	37 Aa	5,21**
20-30	29 Bb	27 Bb	30 Bb	35 Aa	12,79**
F <sup>(3)</sup>	112,92**	111,24**	121,96**	188,43**	
	Coeficiente de variação = 13%				

<sup>(1)</sup> MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

<sup>(2)</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x}$ . Os valores entre parênteses referem-se às médias originais.

<sup>(3)</sup> \*\* e \* = Significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente; <sup>ns</sup> = Não significativo (p<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

Segundo ALMEIDA et al. (2005), o comportamento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nos solos é bem variável e parece depender de fatores ambientais, tais como tipo de solo, seqüência de culturas, clima e diferenças na mobilidade de cada elemento no solo. No entanto, no presente estudo, seus teores no solo foram considerados altos, considerando-se as classes de teores sugeridas por RAIJ et al. (1997), provavelmente, por efeito da calagem na superfície e sem incorporação, realizada em 2005, elevando as suas quantidades, principalmente nas camadas superficiais do solo.

Tabela 10. Valores médios de pH (CaCl<sub>2</sub>), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V) do solo nas seqüências de culturas de verão e nas camadas de solo amostradas.

Camada (cm)	Seqüências de culturas de verão <sup>(1)</sup>				F <sup>(2)</sup>
	MV	SV	SM	AFA	
	----- pH (CaCl <sub>2</sub> ) -----				
0-2,5	6,1 Ac	6,3 Ab	6,5 Aa	6,3 Ab	8,65**
2,5-5	5,8 Bb	6,2 Aa	5,9 Bb	6,1 Ba	7,00**
5-10	5,5 Cb	5,7 Ba	5,4 Cb	5,8 Ca	6,82**
10-20	4,9 D	5,0 C	4,9 D	4,8 D	0,81 <sup>ns</sup>
20-30	5,1 D	5,1 C	5,0 D	4,9 D	1,81 <sup>ns</sup>
F <sup>(2)</sup>	107,36**	163,01**	203,45**	211,08**	
	Coeficiente de variação = 4%				
	----- CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----				
0-2,5	105,1 Ac	86,2 Ad	135,0 Aa	122,2 Ab	76,99**
2,5-5	79,2 Bc	86,1 Ab	92,1 Bb	103,9 Ba	18,78**
5-10	70,8 Cb	76,6 Bb	76,0 Cb	89,2 Ca	10,41**
10-20	71,9 Ca	63,4 Ca	65,9 Da	70,2 Da	2,64 <sup>ns</sup>
20-30	65,7 Db	57,7 Dc	60,0 Ec	72,9 Da	7,82**
F <sup>(2)</sup>	236,69**	124,67**	63,62**	44,52**	-
	Coeficiente de variação = 11%				
	----- V (%) -----				
0-2,5	83 Aa	85 Aa	89 Aa	86 Aa	2,15 <sup>ns</sup>
2,5-5	77 Ba	79 Ba	78 Ba	81 Ba	1,34 <sup>ns</sup>
5-10	67 Cb	70 Cb	66 Cb	77 Ca	9,12**
10-20	51 Ea	49 Ea	48 Da	46 Ea	1,71 <sup>ns</sup>
20-30	55 Da	53 Da	49 Da	51 Da	2,50 <sup>ns</sup>
F <sup>(2)</sup>	134,80**	175,59**	223,91**	241,32**	-
	Coeficiente de variação = 8%				

<sup>(1)</sup> MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

<sup>(2)</sup> \*\* e \* = Significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente; <sup>ns</sup> = Não significativo (p<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

Foram verificadas reduções de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, pH, CTC e V e aumentos de H+Al com o aumento da profundidade do solo (Tabelas 9 e 10). Para todos os atributos químicos do solo analisados no presente estudo, as alterações observadas entre as camadas do solo são características do SSD, decorrentes da ausência de revolvimento periódico do solo, da aplicação de fertilizantes e do acúmulo de resíduos vegetais depositados na superfície do solo pelas culturas (MUZILLI, 1983).

A análise de variância revelou efeito significativo da interação tripla (seqüências de culturas de verão x culturas de inverno x camadas de solo) nos teores de potássio (K) do solo (Tabela 11), indicando efeito diferenciado de um fator, para cada

combinação dos demais. Pelo desdobramento da interação tripla, considerando-se as culturas de inverno, observaram-se diferenças significativas dos teores de K do solo, nas camadas 0-2,5, 2,5-5 e 5-10 cm de profundidade, somente na seqüência de culturas de verão AFA.

Tabela 11. Teores de potássio no solo ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na interação tripla entre as seqüências de culturas de verão, as culturas de inverno e as camadas de solo amostradas.

Seqüências de verão <sup>(1)</sup>	Culturas de inverno						
	Milho	Girassol	Nabo	Milheto	Guandu	Sorgo	Crotalária
	----- 0-2,5 cm -----						
MV	5,9 (a)	6,1 (a)	5,6 (a)	5,6 (a)B	5,8 (a)	5,6 (a)	6,1 (a)B
SV	5,2 (a)	6,1 (a)	5,6 (a)	4,4 (a)B	4,2 (a)	4,9 (a)	5,9 (a)B
SM	5,2 (a)	5,7 (a)	6,1 (a)	4,8 (a)B	5,7 (a)	5,7 (a)	5,5 (a)B
AFA	5,6 (a)c	6,1 (a)c	7,0 (a)c	8,9 (a)Ab	6,5 (a)c	7,3 (a)c	14,4 (a)Aa
	----- 2,5-5 cm -----						
MV	4,3 (b)	4,7 (b)	4,4 (b)	5,0 (a)	4,7 (a)	5,1 (a)	5,5 (a)
SV	3,7 (b)	5,4 (a)	4,6 (a)	3,9 (a)	3,6 (a)	4,1 (a)	4,6 (b)
SM	3,9 (b)	4,7 (a)	4,6 (b)	3,6 (b)	4,2 (b)	5,3 (a)	5,1 (a)
AFA	5,4 (a)b	5,0 (a)b	6,0 (a)b	6,0 (b)b	5,0 (b)b	5,6 (b)b	7,4 (b)a
	----- 5-10 cm -----						
MV	3,6 (c)	3,7 (c)	4,4 (b)	4,5 (a)	4,7 (a)	4,4 (a)	4,8 (a)
SV	3,9 (b)	5,5 (a)	5,1 (a)	3,7 (a)	3,5 (a)	4,0 (a)	4,4 (b)
SM	3,2 (c)	3,5 (b)	3,8 (c)	2,7 (b)	3,9 (b)	4,9 (a)	4,3 (a)
AFA	4,4 (a)b	4,9 (a)b	6,2 (a)a	5,3 (b)b	4,7 (b)b	5,4 (b)b	6,5 (b)a
	----- 10-20 cm -----						
MV	2,7 (c)	3,0 (c)	3,3 (c)	3,8 (b)	3,9 (b)	3,8 (b)	3,2 (b)
SV	2,9 (c)	4,4 (b)	3,7 (b)	2,8 (b)	2,9 (b)	2,8 (b)	3,3 (c)
SM	2,6 (c)	3,9 (b)	3,4 (c)	3,7 (b)	3,6 (b)	3,6 (b)	3,5 (b)
AFA	2,9 (b)	2,5 (b)	3,0 (b)	3,2 (c)	3,4 (c)	3,4 (c)	3,5 (c)
	----- 20-30 cm -----						
MV	1,7 (d)	1,8 (d)	2,3 (c)	2,8 (b)	3,0 (b)	2,6 (b)	2,6 (b)
SV	2,1 (c)	3,3 (b)	2,8 (b)	2,4 (b)	2,3 (b)	2,4 (b)	2,7 (c)
SM	2,2 (c)	2,5 (c)	2,7 (c)	2,7 (b)	2,7 (b)	2,6 (b)	2,8 (b)
AFA	2,9 (b)	3,3 (b)	3,6 (b)	3,2 (c)	3,3 (c)	3,7 (c)	3,8 (c)

<sup>(1)</sup> MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

Coefficiente de variação = 17%.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas (seqüências de culturas de verão), minúscula nas linhas (culturas de inverno) e minúscula entre parênteses (camadas de solo para cada combinação de seqüências de culturas de verão e culturas de inverno), não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

Da mesma maneira como discutido para os teores de fósforo do solo, uma provável explicação para os maiores teores de K no solo, observados nas camadas superficiais do solo e nas parcelas em que se utilizaram crotalária, milheto e nabo

forageiro no inverno, pode ser devido à alta exigência e ao acúmulo do nutriente na biomassa dessas culturas. Segundo ROSOLEM et al. (2003), os resíduos vegetais das culturas constituem uma reserva de nutrientes e o enriquecimento das camadas superficiais do solo com K ocorre por meio da lixiviação do elemento dos restos culturais, pois esse nutriente pode ser facilmente lavado dos tecidos vegetais, tanto pela água da chuva como pela própria umidade do solo, já que maior parte do K encontra-se na forma iônica, não fazendo parte da constituição de compostos orgânicos estáveis (MENGEL & KIRKBY, 2001). A liberação de K, proveniente dos resíduos vegetais das plantas de cobertura, também foi observada em outras pesquisas, com a utilização de resíduos de crotalária (CALONEGO et al., 2005) e milho (ROSOLEM et al., 2003) em casa de vegetação com chuva simulada, e com resíduos de nabo forrageiro (CRUSCIOL et al., 2005), em condições de campo, na região Sul do Brasil.

Entre as seqüências de culturas de verão, a seqüência AFA foi a única seqüência que demonstrou diferenças entre as culturas de inverno nos teores de K do solo. É interessante salientar que, no presente estudo, essa seqüência de verão é a que possui a maior diversidade de espécies cultivadas no verão, quando comparada às demais seqüências, o que pode ter influenciado o resultado observado.

Ainda na Tabela 11, comparando-se os teores de K no solo na camada 0-2,5 cm de profundidade, entre as seqüências de culturas de verão, foram observados maiores teores de K na seqüência AFA nas parcelas cultivadas com milho e crotalária no inverno. Provavelmente, a explicação para esse fato pode estar baseada nos cultivos de verão do ano agrícola anterior (2005/2006), quando se cultivou a cultura do feijão, a qual possui maior exigência do nutriente em relação às demais culturas: milho e soja (MALAVOLTA et al., 1997). Entretanto, segundo esses autores, apesar das grandes quantidades do elemento requeridas para o desenvolvimento da planta de feijão, somente 24% do K é extraído via grãos, ficando todo o restante retido nas folhas, caules e raízes, que ao serem decompostos, liberam o elemento na solução do solo, justificando as grandes quantidades do K no solo.

Considerando as diferenças dos teores de K do solo entre as camadas avaliadas, para cada combinação de cultura de inverno e seqüência de cultura de verão

(Tabela 11), bem como observado para os teores de P e MO do solo, observou-se acúmulo dos teores na superfície do solo e redução gradativa com o aumento da profundidade em todas as combinações (Figura 9), porém em menor magnitude, provavelmente, devido à maior mobilidade do elemento no solo (RAIJ et al., 1991).

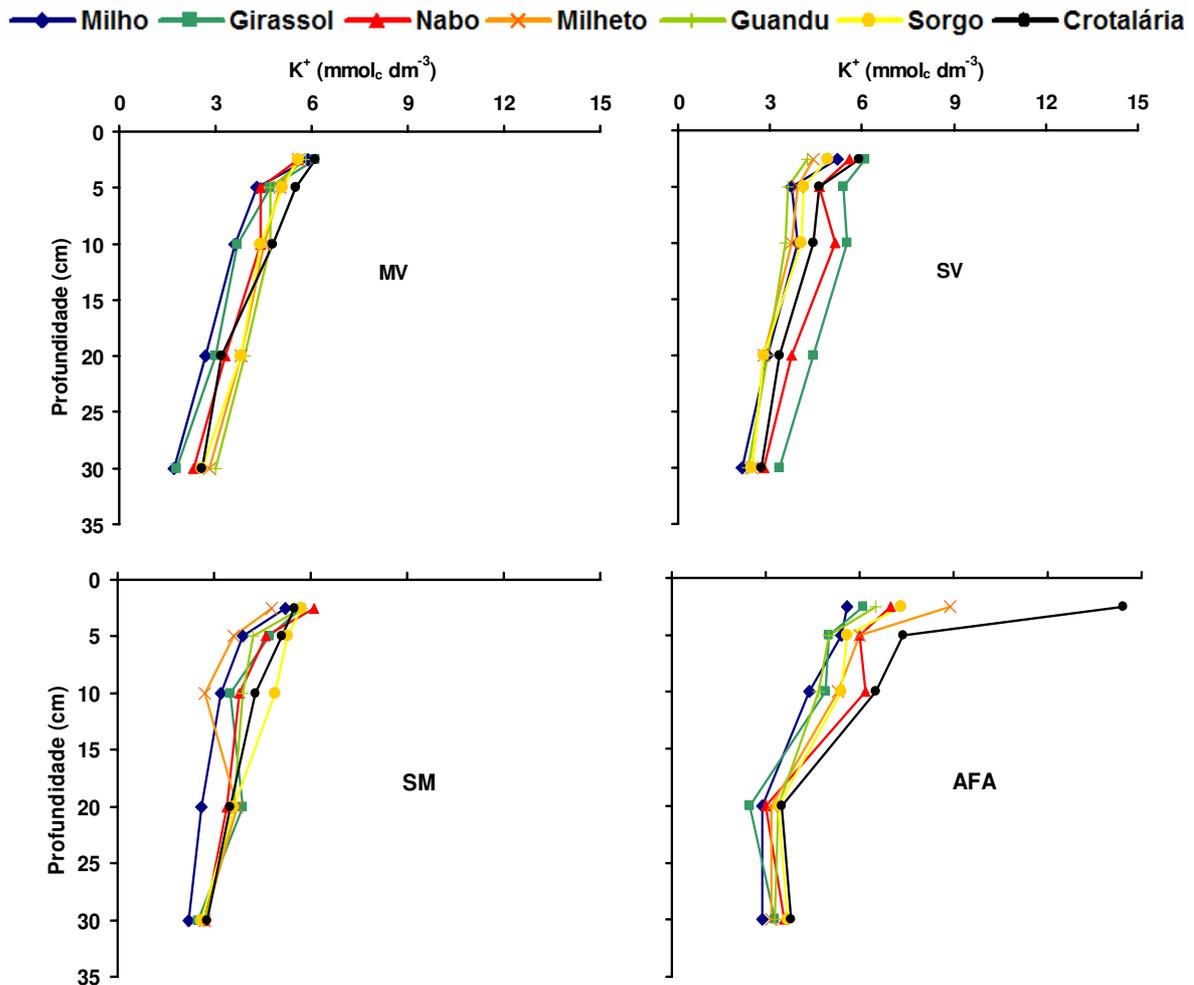


Figura 9. Teores de potássio do solo ( $K^+$ ), em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , ao longo do perfil do solo, em cada seqüência de culturas de verão. MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

O maior acúmulo de K no solo foi observado nas parcelas com cultivos de crotalária e milheto no inverno e na seqüência de verão AFA. As razões para o fato observado já foram discutidas. Em SSD, geralmente, o comportamento do K tem sido

variável, mas, na maioria das vezes, ocorre maior concentração nas camadas mais superficiais do solo (MUZILLI, 1983; ALMEIDA et al., 2005).

No presente estudo, de acordo com os limites sugeridos por RAIJ et al. (1997), até 20 cm de profundidade, os teores de K do solo estiveram, na maior parte dos casos, nas classes de teores altos e muito altos (3,1-6,0 e > 6,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente) e abaixo de 20 cm, na classe média (1,6-3,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

## 4.2. Concentrações foliares dos nutrientes nas culturas de verão

### 4.2.1. Milho

Na cultura do milho, na seqüência de verão MV, as culturas de inverno influenciaram as concentrações foliares de K e Mg (Tabela 12). Embora o K e o Mg sejam macronutrientes, portanto exigidos pelas plantas em maiores quantidades, tais diferenças parecem não ter provocado efeitos na planta, pois as diferenças observadas, apesar de estatisticamente significativas, devido à elevada acurácia dos dados, na prática, são consideradas pequenas.

Tabela 12. Concentrações foliares dos macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) na cultura do milho, na seqüência de culturas de verão MV, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho	39,2	2,8	19,7b	3,8	1,9a	2,6
Girassol	39,2	2,7	20,0b	4,1	2,0a	2,6
Nabo forrageiro	38,6	2,7	19,2b	4,0	1,9a	2,5
Milheto	36,8	2,7	20,1b	3,3	1,8b	2,6
Guandu	37,7	2,8	21,3a	4,0	1,8b	2,7
Sorgo	38,2	2,8	21,0a	2,9	1,7b	2,6
Crotalária	38,3	2,8	20,2b	4,2	1,9a	2,7
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	27-33	2,5-3,5	17-23	2,5-4,0	2,5-4,0	1,5-2,0
F <sup>(2)</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	2,25 <sup>ns</sup>	3,58*	2,28 <sup>ns</sup>	3,81*	2,08 <sup>ns</sup>
CV(%)	3	2	2	15	5	2

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> \* = significativo (p<0,05); <sup>ns</sup> = não significativo (p<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

Considerando-se os valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997), em todos os tratamentos, as concentrações foliares de K mostraram-se adequadas ao desenvolvimento do milho. Por outro lado, as concentrações foliares de Mg apresentaram-se um pouco abaixo da referida faixa. No entanto, não foram observados sintomas de deficiência.

Maiores concentrações de B foram observadas nas folhas de milho no tratamento com cultivo de milho no inverno (Tabela 13). Pela mesma razão anteriormente comentada, embora essa diferença seja estatisticamente significativa, parece não ter havido efeito na planta.

Tabela 13. Concentrações foliares dos micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na cultura do milho, na seqüência de culturas de verão MV, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Milho	8a	11	128	49	21a
Girassol	7b	14	121	52	19a
Nabo forrageiro	6b	9	115	46	16b
Milheto	6b	12	115	51	18a
Guandu	6b	12	118	49	20a
Sorgo	6b	11	107	45	19a
Crotalária	6b	12	116	52	20a
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	15-20	6-20	50-250	50-150	20
F <sup>(2)</sup>	3,76*	1,81 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	7,00**
CV(%)	10	14	10	10	5

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> \*\* e \* = significativos ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ), respectivamente; <sup>ns</sup> = não significativo ( $p < 0,05$ ).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

As concentrações foliares de B no milho, em todos os tratamentos, encontraram-se abaixo da faixa de suficiência sugerida por MALAVOLTA et al. (1997), com as concentrações de B na folha variando entre 15 e 20  $\text{mg kg}^{-1}$ . Contudo, no presente estudo, não foram observados sintomas de deficiência desse nutriente na cultura do milho. Por outro lado, de acordo com LOPES (1998), essa faixa de suficiência de B no milho é mais ampla, com concentrações de B variando de 5 a 25  $\text{mg kg}^{-1}$ . Levando-se em consideração os valores sugeridos por LOPES (1998), as concentrações foliares de B, observadas no milho no presente estudo, se mostram adequadas.

Segundo LEITE et al. (2003), geralmente, a importância do B provém da sua participação em alguns processos fisiológicos na planta, sendo as mais bem definidas, as participações na síntese de parede celular e na integridade da membrana.

O nutriente tendo a mobilidade reduzida na planta (MALAVOLTA et al., 1997), os sintomas de deficiências, que geralmente se expressam nas folhas novas e gemas apicais (EPSTEIN & BLOOM, 2006), para o caso do B, são incomuns em gramíneas (MENGEL & KIRKBY, 2001). GUPTA (2001) afirmou que as culturas apresentam respostas variadas às concentrações de micronutrientes e a cultura do milho é pouco responsiva à deficiência de B.

Essas baixas concentrações foliares de B no milho podem ser devido à menor disponibilização do elemento no solo, já que a mineralização da MO do solo, que constitui uma importante fonte de B às plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2006) é menor nesses tratamentos, devido ao cultivo de milho no verão (MV), com a freqüente presença de resíduos vegetais de elevada relação C/N. Outros aspectos a serem considerados são os altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, principalmente nas camadas superficiais (Tabela 9), e também pelo fato do solo ser argiloso, fatores esses que interferem negativamente na disponibilidade de B no solo às plantas (RAIJ, 1991).

As culturas de inverno não influenciaram os valores de pH do solo, fator que mais influencia a disponibilidade de Zn às plantas. Portanto, as menores concentrações foliares de Zn no milho, observadas após cultivo de nabo forrageiro (Tabela 13), possivelmente, podem ter relação com os maiores teores de P nas camadas superficiais do solo, proporcionados pelo cultivo do nabo forrageiro no inverno (Tabela 6), em parte, devido à indução de deficiência de Zn, provocada pelo elevado suprimento de P no solo, a conhecida interação P-Zn (MALAVOLTA et al., 1997; MENGEL & KIRKBY, 2001). Essa redução da concentração foliar de Zn com o aumento do teor de P no solo se deve à insolubilização do Zn pelo P na superfície das raízes, acarretando diminuição na absorção do micronutriente e também pela insolubilização do Zn no xilema, reduzindo o seu transporte para a parte aérea (MALAVOLTA et al., 1997). Contudo, no presente estudo, não foram constatados sintomas de deficiência de Zn nas plantas de milho.

Com exceção das concentrações foliares de Mg e B no milho, em todos os tratamentos, as concentrações foliares dos nutrientes foram consideradas adequadas para o desenvolvimento da cultura do milho, considerando os valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

#### 4.2.2. Soja

Na seqüência de verão SM, foram observadas menores concentrações foliares de enxofre (S) na soja, quando se cultivaram milho e sorgo no inverno (Tabela 14). As concentrações foliares dos micronutrientes na soja não foram influenciadas pelas culturas de inverno (Tabela 15).

Tabela 14. Concentrações foliares dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SM, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho	52,5	3,1	20,6	7,7	3,8	3,0b
Girassol	54,9	3,2	19,2	7,9	3,8	3,3a
Nabo forrageiro	55,7	3,2	20,8	7,8	3,7	3,3a
Milheto	55,1	3,2	19,5	7,8	3,8	3,3a
Guandu	53,4	3,1	20,7	8,4	3,9	3,4a
Sorgo	50,8	3,0	21,7	8,0	3,7	3,0b
Crotalária	53,9	3,1	21,4	7,7	3,7	3,4a
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	45-55	2,6-5,0	17-25	2,0-4,0	3-10	2,5
F <sup>(2)</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	8,72 <sup>**</sup>
CV (%)	4	7	7	4	4	2

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> \*\* = Significativo ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> = Não significativo ( $p < 0,05$ ).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

Segundo VITTI et al. (2006), a maior parte do S do solo está na forma orgânica, e a disponibilização desse nutriente às plantas se dá pela mineralização da MO do solo, realizada por microorganismos. Assim sendo, além das menores taxas de decomposição dos resíduos vegetais das gramíneas, com liberação mais lenta do S da biomassa, as menores quantidades de N dos resíduos de milho e sorgo fazem com que a mineralização da MO do solo seja menor, acarretando numa menor disponibilização de S às plantas.

Tabela 15. Concentrações foliares dos micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SM, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Milho	30	4	104	75	30
Girassol	31	4	107	76	32
Nabo forrageiro	32	4	113	77	30
Milheto	34	4	107	81	33
Guandu	32	3	114	94	36
Sorgo	31	4	105	83	36
Crotalária	31	4	101	87	35
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	21-55	10-30	51-350	21-100	21-50
F <sup>(2)</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	2,98 <sup>ns</sup>
CV (%)	6	19	5	11	8

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> ns = não significativo (p<0,05).

Outro aspecto a ser considerado é o fato de que nessas culturas houve exportação do nutriente pela colheita dos grãos de milho e sorgo (MALAVOLTA et al., 1980; 1997), o que também pode ter influenciado nas menores concentrações foliares de S na soja, quando se cultivaram milho e sorgo no inverno.

Na seqüência de verão SV, as maiores concentrações foliares de N, P e S na soja após o cultivo de crotalária e nabo forrageiro no inverno (Tabela 16), provavelmente podem estar relacionadas à decomposição mais rápida dos resíduos vegetais dessas culturas.

Tabela 16. Concentrações foliares dos macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SV, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho	51,4b	2,9b	20,5	7,2	3,8	2,9b
Girassol	50,7b	2,8b	19,6	7,8	3,9	2,9b
Nabo forrageiro	54,9a	3,2a	21,6	7,4	3,9	3,1a
Milheto	52,7b	2,7b	19,8	7,5	4,0	3,0b
Guandu	52,2b	2,8b	19,6	7,6	4,0	3,0b
Sorgo	50,2b	3,0a	21,0	7,5	3,9	3,0b
Crotalária	54,9a	3,1a	20,1	7,3	3,7	3,2a
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	45-55	2,6-5,0	17-25	2,0-4,0	3-10	2,5
F <sup>(2)</sup>	3,68*	5,12**	1,14 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	3,70*
CV(%)	3	5	6	6	5	3

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> \*\* e \* = Significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente; ns = Não significativo (p<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

O nabo forrageiro é uma cultura com elevado potencial de nutrientes na biomassa e rápida decomposição dos resíduos vegetais (DERPSCH et al., 1985; GIACOMINI et al., 2003; CRUSCIOL et al., 2005). Culturas com tal característica, como é também o caso da crotalária, em decorrência da baixa relação C/N, proporcionam rápida mineralização e disponibilização de N (HEINZMANN, 1985, AITA et al., 2004) e S (SCIVITTARO et al., 2002), influenciando a absorção dos nutrientes pela cultura subsequente, o que foi constatado no presente estudo.

É importante ressaltar que, devido à capacidade de fixarem N atmosférico, geralmente, as leguminosas podem promover maior concentração de N na parte aérea das plantas em sucessão (BAYER & MIELNICZUK, 1997; GALLO et al., 1981; 1983), inclusive na soja (SILVA & ROSOLEM, 2001). Como já comentado anteriormente, o aumento do estoque de N no solo proporciona maior mineralização da MO do solo, liberando S orgânico (VITTI et al., 2006) podendo acarretar numa maior absorção pela planta. No presente estudo, as concentrações foliares de N e S na soja foram influenciadas pela crotalária, cultivada no inverno. O mesmo não foi observado para a soja cultivada após o guandu. Neste caso, provavelmente, em decorrência de seu baixo crescimento no inverno, devido ao menor fotoperíodo (AMABILE et al., 2000).

Nas parcelas em que se cultivaram nabo forrageiro e crotalária no inverno, foram observados maiores teores de P no solo nas camadas superficiais (Tabela 6), o que pode ter contribuído para as maiores concentrações foliares desse nutriente na planta.

A maior absorção de Zn pela soja após o cultivo de crotalária, na seqüência de verão SV (Tabela 17), pode estar relacionada à maior liberação de Zn acumulado pela crotalária aliada à rápida decomposição em relação às demais culturas de inverno e também aos maiores teores de MO do solo após o cultivo da crotalária (Tabela 8).

Segundo DECHEN & NACHTIGALL (2006), no solo, o Zn é encontrado em maiores teores nas camadas superficiais, devido à deposição dos resíduos das plantas na superfície do solo, onde, pela decomposição, liberam o nutriente, que pode formar complexos com a MO do solo, que pela mineralização, torna-se disponível às plantas.

Tabela 17. Concentrações foliares dos micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>) na cultura da soja, na seqüência de culturas de verão SV, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Milho	30	4	93	65	29b
Girassol	31	4	94	69	26b
Nabo forrageiro	33	7	94	72	30b
Milheto	32	5	100	76	29b
Guandu	32	3	103	74	28b
Sorgo	32	7	97	73	33a
Crotalária	32	4	101	78	34a
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	21-55	10-30	51-350	21-100	21-50
F <sup>(2)</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	3,02 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	3,24*
CV(%)	10	37	4	12	9

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> \* = Significativo; <sup>ns</sup> = Não significativo (p<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

Em adição a isso, provavelmente, o cultivo anterior de crotalária pode ter proporcionado condições favoráveis a uma associação simbiótica entre alguns fungos do solo (micorrizas arbusculares) e as raízes das plantas de soja, aumentando a capacidade das raízes das plantas na absorção dos nutrientes, tais como P e Zn (JAMAL et al., 2002; BERBARA et al., 2006). A crotalária apresenta elevado grau de dependência micorrízica, elevando a população dos fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo (MIRANDA et al., 2001). É importante salientar que tal associação não ocorre com plantas da família das brassicáceas (EPSTEIN & BLOOM, 2006), a qual pertence o nabo forrageiro, justificando o fato de não ter sido observado maiores concentrações foliares de Zn após o cultivo de nabo forrageiro no inverno.

Nesse mesmo sentido, o cultivo anterior de sorgo, da mesma forma como comentado com relação à crotalária, pode ter contribuído para as maiores concentrações foliares de P e Zn na soja (Tabelas 16 e 17), já que a associação micorrízica na cultura do sorgo pode ocorrer e já foi estudada em várias pesquisas (MIRANDA et al., 1989; RAJU et al., 1990; BRESSAN et al., 2001).

Salienta-se que o comportamento da cultura da soja quanto às concentrações foliares dos nutrientes, apresentou-se de maneira diferenciada, dependendo da seqüência de verão. Na seqüência SV, pôde-se verificar os efeitos das culturas de inverno nas concentrações foliares de N, S, P e Zn, enquanto que na seqüência SM,

somente os efeitos nas concentrações de S, sendo esse de maneiras diferentes. Acredita-se que a maior demanda por N pelos microorganismos envolvidos na decomposição dos resíduos do milho, deixados pelo cultivo no verão anterior, na seqüência SM, tenha sido o fator responsável pelo comportamento diferenciado da cultura da soja entre essas seqüências, quanto às concentrações foliares, principalmente quanto ao S.

Com exceção das concentrações foliares de Cu, após todas as culturas de inverno nas seqüências de verão SM e SV (Tabelas 14, 15, 16 e 17), as concentrações foliares dos nutrientes foram consideradas adequadas para o desenvolvimento da cultura, de acordo os valores sugeridos por MALAVOLTA et al. (1997).

As concentrações foliares de Cu observadas na planta e que estão abaixo da faixa considerada ideal (Tabelas 15 e 17), podem ser devido ao fato de que o Cu é o nutriente que apresenta a maior discordância quanto às faixas de concentrações adequadas, estabelecidas para a cultura da soja, segundo observação de VITTI & TREVISAN (2000). Esses autores mencionam ainda que os valores encontrados nas lavouras com elevadas produtividades são menores do que aqueles encontrados nas pesquisas, cuja média é de aproximadamente  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ .

De acordo com DECHEN & NACHTIGAL (2006), as concentrações de Cu nas plantas variam de 2 a  $75 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo que as concentrações consideradas como adequadas para um crescimento normal das plantas encontram-se entre 5 e  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para o caso da soja, segundo EMBRAPA (2005), discordando de MALAVOLTA et al. (1997), o intervalo de suficiência do nutriente nas folhas é de  $6\text{-}14 \text{ mg kg}^{-1}$ . Entretanto, de todos os micronutrientes, a deficiência de Cu é a mais difícil de ser diagnosticada, devido à interferência de outros elementos, como: P, Fe, Mo, Zn e S (DECHEN & NACHTIGAL, 2006).

#### **4.2.3. Arroz**

As concentrações foliares dos nutrientes no arroz (Tabelas 18 e 19), em todos os tratamentos, foram consideradas adequadas para o desenvolvimento da cultura, de

acordo com os valores sugeridos por CANTARELLA et al. (1997). Observou-se que apenas as concentrações foliares de Cu no arroz apresentaram diferenças significativas após as culturas de inverno (Tabela 19), porém, pelas mesmas razões comentadas com relação às variações dos teores dos nutrientes na cultura do milho, tais diferenças parecem não ter provocado efeitos na planta. Entretanto, ressalta-se que as maiores concentrações foliares de Cu no arroz foram observadas após os cultivos das leguminosas guandu e crotalária.

Tabela 18. Concentrações foliares dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na cultura do arroz, na seqüência de culturas de verão AFA, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho	38,7	1,9	22,1	2,7	2,6	3,2
Girassol	39,4	1,9	21,6	2,7	2,8	3,3
Nabo forrageiro	39,3	2,0	22,5	2,7	2,6	3,4
Milheto	40,4	2,0	21,4	2,7	2,6	3,4
Guandu	40,6	1,9	22,3	2,8	2,7	3,1
Sorgo	40,0	2,0	22,8	2,6	2,7	3,1
Crotalária	39,7	2,0	22,4	2,8	2,7	3,2
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	27-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10,0	1,5-5,0	1,4-3,0
F <sup>(2)</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>
CV (%)	3	5	6	9	5	7

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por CANTARELLA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> ns = Não significativo ( $p < 0,05$ ).

Tabela 19. Concentrações foliares dos micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na cultura do arroz, na seqüência de culturas de verão AFA, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Milho	7	9b	99	297	25
Girassol	6	9b	112	277	26
Nabo forrageiro	7	9b	95	326	27
Milheto	7	8b	104	269	27
Guandu	7	13a	116	307	33
Sorgo	7	10b	93	279	26
Crotalária	7	12a	95	330	29
Faixa de suficiência <sup>(1)</sup>	4-25	3-25	70-200	70-400	10-50
F <sup>(2)</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	3,10*	1,04 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>
CV (%)	11	17	15	32	16

<sup>(1)</sup> Valores sugeridos por CANTARELLA et al. (1997).

<sup>(2)</sup> \* = Significativo ( $p < 0,05$ ); ns = Não significativo ( $p < 0,05$ ).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT ( $p < 0,05$ ).

Sabe-se que nas leguminosas, no processo de fixação biológica de N, o Cu tem fundamental importância (MALAVOLTA et al., 1997). Segundo esses autores, o Cu promove maior retenção de Fe nos nódulos, com conseqüente redução no transporte de Fe para a parte aérea da planta. Com isso, aumenta-se a produção de leghemoglobina, essencial no processo de fixação biológica de N.

Nesse sentido, pode ter havido um acúmulo de Cu na rizosfera, devido à decomposição do sistema radicular dessas leguminosas, que fez com que a absorção desse nutriente pelo arroz fosse maior nas parcelas onde se cultivaram guandu e crotalária no inverno.

### 4.3. Produtividades das culturas de verão

As produtividades das culturas de verão foram influenciadas pelas culturas de inverno em todas as seqüências de verão (Tabela 20).

Tabela 20. Produtividades das culturas (kg ha<sup>-1</sup>), no verão do ano agrícola 2006/2007, após culturas de inverno.

Culturas de inverno	Seqüências de culturas de verão <sup>(1)</sup>			
	MV (milho)	SV (soja)	SM (soja)	AFA (arroz)
Milho	6649 b	2754 b	2943 b	3682 a
Girassol	6594 b	2613 b	3009 b	4077 a
Nabo forrageiro	7060 a	2949 a	3281 a	4238 a
Milheto	7420 a	2678 b	3181 a	4364 a
Guandu	7018 a	2643 b	2757 b	3548 a
Sorgo	6797 b	2790 b	2914 b	2423 b
Crotalária	6790 b	3206 a	3214 a	4726 a
F <sup>(2)</sup>	3,10*	3,38*	4,09*	4,77*
CV (%)	4	7	5	15

<sup>(1)</sup> MV = Milho; SV = Soja; SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão.

<sup>(2)</sup> \* = Significativo (p<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05).

As maiores produtividades de milho, na seqüência de verão MV, foram observadas nas parcelas após cultivos de nabo forrageiro, milheto e guandu no inverno (Tabela 20).

Embora o nabo forrageiro não seja uma leguminosa, essa cultura também apresenta maior taxa de decomposição dos resíduos culturais em relação às gramíneas. Contudo, pode se assemelhar às gramíneas quanto à habilidade em absorver os nutrientes do solo, inclusive o N mineral (GIACOMINI et al., 2004) e P (CRUSCIOL et al., 2005), produzindo grande quantidade de fitomassa, porém com liberação mais rápida (DERPSCH et al., 1985).

Provavelmente, esse fato pode ter influenciado as maiores produtividades de milho observadas no presente estudo, pois foi observada correlação significativa entre as produtividades do milho e as concentrações foliares de P (Tabela 21).

Tabela 21. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as produtividades das culturas e as concentrações foliares dos macronutrientes em cada seqüência de culturas de verão.

Seqüências de verão <sup>(1)</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S
MV	0,37 <sup>ns</sup>	0,48*	-0,11 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>
SV	0,56**	0,23 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,43*
SM	0,45*	0,50*	0,05 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
AFA	-0,22 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>

<sup>(1)</sup> SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão; MV = Milho; SV = Soja.  
 \*\* e \* = Significativos (p<0,01) e (p<0,05), respectivamente; <sup>ns</sup> = Não significativo (p<0,05).

SUZUKI & ALVES (2004), num Latossolo Vermelho de cerrado, ao avaliarem a produtividade de milho por influência do preparo do solo e plantas de cobertura, entre elas, milheto, guandu, mucuna-preta, crotalária e vegetação espontânea, verificaram que quando utilizado o milheto como planta de cobertura, o SSD proporcionou melhor resposta na produtividade de grãos, comparando-se ao sistema convencional.

Maiores produtividades de milho após o milheto e o guandu também foram observadas em anos anteriores de condução do experimento, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 (CORÁ, 2006).

Na seqüência de verão SM, as maiores produtividades de soja foram observadas após cultivos de nabo forrageiro, milheto e crotalária (Tabela 20). Apesar de não terem sido constatadas diferenças significativas nas concentrações foliares de N e P nas folhas de soja, de acordo com as culturas de inverno, nessa seqüência de verão observaram-se correlações significativas entre as concentrações foliares desses

nutrientes com a produtividade da cultura (Tabela 21), o que pode ter contribuído para o resultado observado.

A observação dos maiores teores de P no solo após as culturas de nabo forrageiro e crotalária no inverno (Tabela 6) podem indicar influência direta dos teores de P na produtividade de soja. Entretanto, deve-se salientar o nível crítico do elemento no solo, que é de  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  (RAIJ et al., 1997). No presente estudo, em todos os tratamentos, os teores de P no solo estiveram acima do referido valor, principalmente nos primeiros 10 cm de profundidade.

CORÁ (2006), em avaliações anteriores do presente experimento, no ano agrícola 2004/2005, também observou maiores produtividades de soja após o cultivo de nabo forrageiro e crotalária e relacionou o resultado observado aos maiores teores de P do solo, observados nas parcelas onde se cultivaram essas culturas no inverno.

TANAKA et al. (1992), em condições de solo e clima semelhantes às do presente estudo, observaram incrementos na produtividade de soja após incorporação dos resíduos de crotalária ao solo. Esses autores atribuíram o resultado observado aos fatores biológicos do solo, como a provável redução da população de nematóides fitopatogênicos, devido ao cultivo anterior de crotalária, conseqüentemente, fator favorável à cultura da soja em sucessão.

O fato das maiores produtividades de soja terem sido observadas onde se cultivaram milheto no inverno na seqüência de verão SM pode estar relacionado ao efeito da maior diversidade de espécies envolvidas no sistema de rotação/sucessão de culturas, já que tal comportamento da soja se deu somente na seqüência SM, com maior diversidade de espécies no verão (rotação soja/milho), em comparação à SV (monocultura de soja).

Na seqüência SV, as maiores produtividades de soja após cultivo de nabo forrageiro e crotalária no inverno (Tabela 20), provavelmente, podem estar relacionadas à maior absorção de N, P e S nesses tratamentos (Tabela 16), principalmente N e S, cujas correlações entre as concentrações foliares e a produtividade de soja foram significativas (Tabela 21).

MARTINS (2005), ao avaliar as concentrações foliares da soja no terceiro ano agrícola do presente experimento, verificou correlações significativas entre a produtividade da cultura e as concentrações foliares de N, P e Zn. Ressalta-se que, no presente estudo, na seqüência SV, também se observou correlação significativa entre a produtividade de soja e o teor foliar de Zn (Tabela 22).

Tabela 22. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as produtividades das culturas e as concentrações foliares dos micronutrientes em cada seqüência de culturas de verão.

Seqüências de verão <sup>(1)</sup>	B	Cu	Fe	Mn	Zn
MV	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>
SV	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,42*
SM	0,38 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>
AFA	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>

<sup>(1)</sup> SM = Rotação soja/milho; AFA = Rotação arroz/feijão/algodão; MV = Milho; SV = Soja.

\* = Significativo (p<0,05); <sup>ns</sup> = Não significativo (p<0,05).

A produtividade do arroz, na seqüência AFA, foi influenciada negativamente pelo cultivo de sorgo no inverno, apresentando o menor rendimento de grãos (Tabela 20).

Apesar da diferenciação das médias ter destacado somente o rendimento de arroz após o cultivo de sorgo das demais culturas de inverno, chama-se atenção para as elevadas produtividades nas parcelas onde se cultivaram crotalária, nabo forrageiro e milheto, seguindo comportamento semelhante ao observado para a cultura da soja, nas seqüências SM e SV, cujas razões podem ser semelhantes.

Não foram observadas correlações significativas entre as concentrações foliares dos nutrientes e a produtividade da cultura do arroz (Tabelas 21 e 22).

Da mesma forma como discutido para a cultura da soja com relação aos teores de P do solo e, pela mesma razão, os teores de K do solo, influenciados pelas culturas de inverno nessa seqüência de verão, também estiveram acima do nível crítico do elemento no solo, que é de 1,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de acordo com RAIJ et al. (1997), pouco influenciando as produtividades de arroz de acordo com a cultura de inverno.

BORDIN et al. (2003), trabalhando com sucessões de culturas na mesma região do presente trabalho, obtiveram maiores produtividades de arroz semeado nos resíduos de crotalária e menores produtividades nos resíduos de sorgo. Esses autores atribuíram o resultado ao fornecimento de N pelas leguminosas.

É importante ressaltar que, tanto no ano agrícola avaliado no presente estudo como também nos anos agrícolas anteriores (CORÁ, 2006), as produtividades de soja e milho no verão sempre foram menores nas parcelas em que houve colheita das culturas de inverno (milho, girassol e sorgo), indicando haver influência da exportação de nutrientes pelos grãos, acarretando em menor disponibilidade para a cultura em sucessão.

Também não se podem descartar os efeitos alelopáticos negativos proporcionados pelos resíduos da cultura do sorgo nas culturas em sucessão. TREZZI & VIDAL (2004), CORREIA et al. (2005) e OLIBONE et al. (2006) relacionaram esse efeito aos compostos alelopáticos liberados pela decomposição da palha do sorgo, como tanino e alguns ácidos graxos, interferindo negativamente na germinação e no crescimento da cultura semeada posteriormente.

Embora a cultura do sorgo apresente muitas das características desejáveis para sua utilização na safrinha, como tolerar condições desfavoráveis de umidade, produzir boa quantidade de matéria seca com relação C/N relativamente alta e proporcionar boa cobertura do solo, os seus resíduos podem interferir negativamente no desenvolvimento das espécies subseqüentes. NUNES et al. (2003) alertaram para a importância dessas considerações ao se planejar o esquema de rotação de culturas.

## 5. CONCLUSÕES

As culturas de inverno utilizadas no presente estudo apresentam efeitos residuais diferenciados, sendo que maiores teores de fósforo no solo foram observados após as culturas do nabo forrageiro e crotalária e menores teores de matéria orgânica do solo foram observados após milho, girassol e guandu cultivados no inverno. As alterações observadas ocorreram principalmente nas camadas superficiais do solo, com redução gradativa de seus efeitos com o aumento da profundidade.

A cultura da soja da seqüência de verão soja/milho apresentou menores concentrações foliares de enxofre após o cultivo de milho e sorgo no inverno, no entanto, sem a observação de sintomas de deficiência. A soja cultivada em monocultura no verão apresentou maiores concentrações foliares de nitrogênio, fósforo e enxofre após as culturas de nabo forrageiro e crotalária no inverno. Na cultura do milho, menores concentrações foliares de zinco foram observadas após cultivo de nabo forrageiro no inverno.

O cultivo de nabo forrageiro e crotalária no inverno proporcionaram as maiores produtividades de soja. No milho, as maiores produtividades foram observadas após nabo forrageiro, milheto e guandu, cultivados no inverno. Houve efeito supressor do sorgo na produtividade da cultura do arroz.

## 6. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.601-612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I – Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.739-749, 2004.

ALCANTRA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.437-445, 2005.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. C.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.47-54, 2000.

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 sustentabilidade agropecuária**. Santa Maria: Universidade Estadual de Santa Maria, 1998. p.52-81.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.235-239, 1997.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.53-88.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.417-428, 2003.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.897-903, 2000.

BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J. O.; VASCONCELLOS, C. A.; PURCINO, A. A. C. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção de sorgo

e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p.315-323, 2001.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J. T. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.99-108, 2005.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.383-391, 1999.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p.43-72 (Boletim Técnico, 100).

CARDOSO, A. N. Manejo e conservação do solo na cultura da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.71-104.

CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1141-1148, 2004a.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.47-53, 2004b.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S., VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.163-171, 2002.

COLLIER, L. S.; CASTRO, D. V.; DIAS NETO, J. J.; BRITO, D. R.; RIBEIRO, P. A. A. Manejo da adubação nitrogenada para milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1100-1105 , 2006.

CORÁ, J. E. **Sistema de semeadura direta na região do município de Jaboticabal, SP: efeitos em atributos do solo e produtividade de culturas**. 2006. 87f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

CORREIA, N. M.; CENTURION, M. A. P. C.; ALVES, P. L. C. A. Influência de extratos aquosos de sorgo sobre a germinação e desenvolvimento de plântulas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.498-503, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.327-354.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja**: Região Central do Brasil - 2006. Londrina: CNPSo/EMBRAPA, 2005. 220p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Soja**: recomendações técnicas para o Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados: CPDA/EMBRAPA, 1996. 157p. (Circular técnica, n.3).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema plantio direto**: razões para adoção, requisitos necessários e resultados esperados. Informações técnicas. Dourados: CPAO/EMBRAPA, 1995.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Área de plantio direto. Disponível em <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 8 jul. 2007.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.459-467, 2000.

GALLO, P. B.; SAWAZAKI, E.; HIROCE, R.; MASCARENHAS, H. A. A. Produção de milho afetada pelo nitrogênio mineral e cultivos anteriores com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.149-152, 1983.

GALLO, P. B.; LAVORENTI, A.; SAWAZAKI, E.; HIROCE, R.; MASCARENHAS, H. A. A. Efeito de cultivos de soja na produção e no teor de nitrogênio das folhas e dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.64-67, 1981.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; MARQUES, M.G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.751-762, 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GUIMARÃES, G. L.; BUZETTI, S.; SILVA, E. C.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Culturas de inverno e pousio na sucessão da cultura da soja em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, 339-344, 2003.

GUPTA, U. C. Micronutrientes e elementos tóxicos em plantas e animais. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.13-42.

HEINZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.9, p.1021-1030, 1985.

JAMAL, A. AYUB, N. USMAN, M.; KHAN, A. G. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance zinc and nickel uptake from contaminated soil by soybean and lentil. **International Journal of Phytoremediation**, Amherst, v.4, n.3, p.205-221, 2002.

LEITE, U. T.; AQUINO, B. F.; ROCHA, R. N. C.; SILVA, J. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.2, p.115-125, 2003.

LIMA, E. V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja a cobertura vegetal e a calagem superficial em sistema de semeadura direta**. 2001. 125f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. 177p.

MAI, M. E. M.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; SILVEIRA, M. F.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P. S. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.125-131, 2003.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

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

MARTINS, M. R. **Estado nutricional e produtividade da soja cultivada em diferentes esquemas de rotação de culturas em sistema de semeadura direta**. 2005. 99f. (Trabalho de graduação Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MIRANDA, J. C. C.; HARRIS, P. J.; WILD, A. Effects of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. **New Phytologist**, Ames, v.112, n.3, p.405-410, 1989.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. VILELA, L. VARGAS, M. A.; CARVALHO, A. M. **Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.1-3. (Comunicado Técnico, 42).

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica do solo no sistema plantio direto: a experiência do Estado do Paraná. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. 3° Simpósio sobre rotação soja/milho mostra a importância para o aumento da matéria orgânica do solo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.99, p.5, 2002.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.95-102, 1983.

NUNES, J. C. S. ARAÚJO, E. F. SOUZA, C. M., BERTIN, L. A.; FERREIRA, F. A. Efeito da palhada de sorgo localizada na superfície do solo em características de plantas de soja e milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n.1, p.115-126, 2003.

OLIBONE, D.; CALONEGO, J. C. PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.24, n.2, p.255-261, 2006.

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

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: CERES/POTAFOS, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, C.O. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAJU, P. S.; CLARK, R. B.; ELLIS, J. R.; DUNCAN, R. R.; MARANVILLE, J. W. Benefit and cost analysis and phosphorus efficiency of VA mycorrhizal fungi colonizations with sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes grown at varied phosphorus levels. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.124, n.2, p.199-204, 1990.

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

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do enxofre ( $^{35}\text{S}$ ) proveniente da mucuna-preta em um sistema solo-planta. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v.20, n.1, p.25-32, 2002.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.10, p.1269-1275, 2001.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.739-746, 2006.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.377-381, 2005.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.327-334, 2004.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Produtividade do milho (*Zea mays* L.) influenciada pelo preparo do solo e por plantas de cobertura em um Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.26, n.1, p.61-65, 2004.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; DIAS, O. S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E. A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.11, p.1477-1483, 1992.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.609-618, 2005.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II – efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.1-10, 2004.

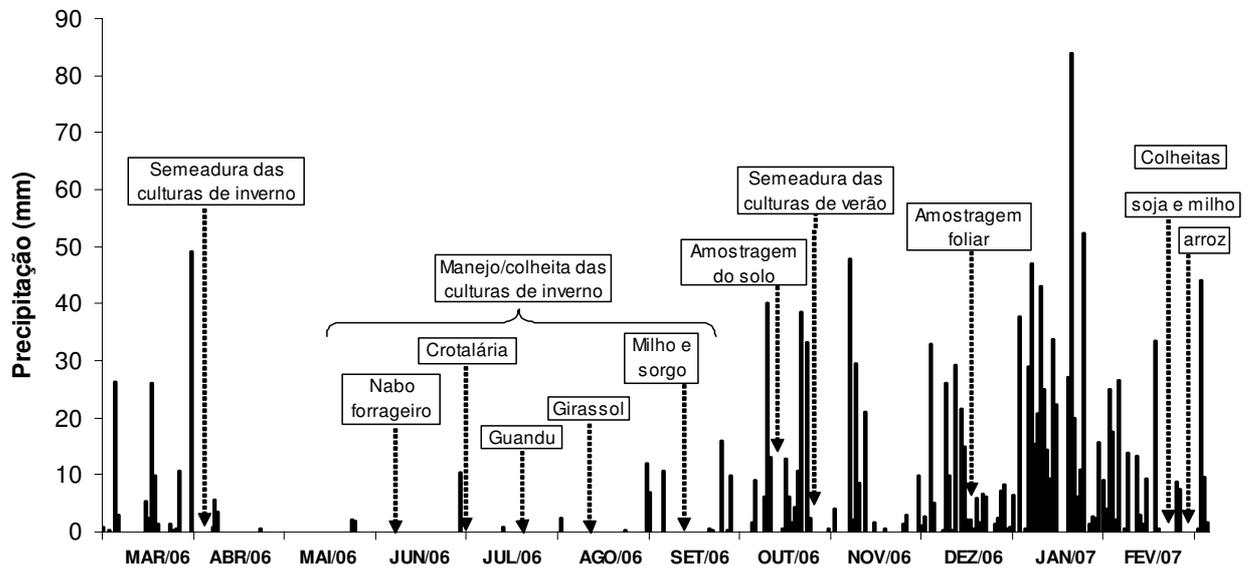
TSAI, S. M., ROSSETO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.231-242.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, 2000. p.16. (Encarte Técnico, 90).

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.299-326.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. p.402.

## APÊNDICE



Apêndice A. Valores diários de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), obtidos na estação experimental da FCAV/UNESP\*, durante o período de março de 2006 a fevereiro de 2007 e as principais operações durante a condução do experimento.

\*Os elementos meteorológicos, utilizados neste trabalho, foram extraídos de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas. As observações feitas na Estação Agroclimatológica do Câmpus de Jaboticabal são cotadas, digitadas em formato padronizado, realizada a consistência e controle de qualidade. Em seguida são obtidas as médias diárias, mensais e anuais, que são repassadas aos usuários.