

CASSIANO CREMON

**VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ATRIBUTOS DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO, CULTIVADO COM LEGUMINOSAS PARA ADUBAÇÃO VERDE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae”

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C915a  
2004

Cremon, Cassiano, 1978-

Variação temporal dos atributos de um latossolo  
vermelho, cultivado com leguminosas para adubação  
verde / Cassiano Cremon. – Viçosa : UFV, 2004.

79p. : il.

Orientador: Ivo Jucksch

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa

1. Solos - Fertilidade. 2. Solos - Propriedades plásticas.  
3. Física do solo. 4. Milho - Consórcio com leguminosa.  
5. Leguminosa - Consórcio com milho. 6. Adubação  
verde. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 20.ed. 631.422

CASSIANO CREMON

**VARIAÇÃO TEMPORAL DOS ATRIBUTOS DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO, CULTIVADO COM LEGUMINOSAS PARA ADUBAÇÃO VERDE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 13 de Fevereiro de 2004.

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Conselheiro)

---

Ramon Costa Alvarenga  
(Conselheiro)

---

Prof. Júlio César Lima Neves

---

Prof. Ivo Ribeiro da Silva

---

Prof. Ivo Jucksch  
(Orientador)

Dedico este trabalho aos meus Pais Valdir Cremon e Rosângela  
Maria Guimarães, pelo incansável Amor e Carinho.  
Aos meus Irmãos Thaís e Sérgio, por serem especiais.  
A Nilbe Carla Mapeli, meu grande amor.

Em especial ao meu Deus pela dádiva da Salvação...

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, por ser fiel em todos os momentos da minha caminhada.

A toda a minha família pelo apoio e principalmente pelo amor incondicional.

A Devanil Mapeli e Idalina Maria da Silva Mapeli pela confiança e amor em mim depositado.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Solos, pela obtenção do título de Mestre.

A FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudo, durante todo o curso.

Ao Prof. Ivo Jucksch pela sua valiosa orientação, pela amizade e confiança dispensada a minha pessoa. Tê-lo como orientador, foi mais que um privilégio para mim.

Aos conselheiros Ramon Costa Alvarenga e Prof. Elpídio Inácio F. Filho pelas valiosas observações. Em especial ao Prof. Júlio César Lima Neves pelo apoio nas análises.

Aos Professores do Departamento de Solos e demais departamentos da UFV, pelos conhecimentos adquiridos, especialmente àqueles que sempre me atenderam com atenção em seus gabinetes e corredores.

Aos colegas de curso, pela amizade e companheirismo. Em especial aos meus Irmãos em Cristo Jesus, pelas constantes orações ao meu favor, pela amizade e pelos momentos inesquecíveis que passamos juntos.

A Heslene da Silva Santos, Ana Maria Mapeli e Wantuil Lourenço Junior, pelos cuidados dispensados a mim e por serem amigos fiéis e irmãos em todos os momentos.

A Nilbe Carla Mapeli, por seu carinho e amor. Por estar comigo nos momentos difíceis e me ajudar na realização deste sonho.

E, finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## **BIOGRAFIA**

CASSIANO CREMON, filho de Valdir Cremon e Dirce Gomes, nasceu em Birigui, SP, em 10 de março de 1978.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em fevereiro de 2002, onde também fez aperfeiçoamento, como bolsista do Programa Especial de Treinamento, de março de 1998 a dezembro de 2001.

Em março de 2002 ingressou no curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Cobertura vegetal do solo.....	5
2.2. Consorciação de culturas.....	7
2.3. Erosão.....	10
2.4. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por adubos verdes.....	11
2.5. Alterações nas características físicas e químicas do solo.....	13
2.6. Aspectos importantes relacionados aos atributos físicos do solo.	16
2.6.1. Estruturação do solo.....	16
2.6.2. Densidade e porosidade do solo.....	17
2.6.3. Agregação e conservação do solo.....	18
2.7. Morfologia de agregados.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Histórico.....	20

	<b>Página</b>
3.2. Localização, clima e solo.....	21
3.3. Tratamentos e delineamento experimental.....	22
3.4. Amostragem e características avaliadas.....	23
3.4.1. Coleta e preparo das amostras.....	23
3.5. Características avaliadas.....	23
3.5.1. Atributos físicos do solo.....	23
3.5.1.1. Densidade do solo.....	23
3.5.1.2. Densidade de partículas.....	24
3.5.1.3. Porosidade Total.....	24
3.5.1.4. Macro e microporosidade do solo.....	24
3.5.1.5. Estabilidade de agregados do solo.....	24
3.5.1.6. Análise textural.....	25
3.5.1.7. Argila dispersa em água.....	25
3.5.1.8. Grau de dispersão e grau de floculação.....	25
3.5.2. Atributos químicos do solo.....	26
3.5.3. Morfologia de agregados.....	26
3.5.4. Análises Estatísticas.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1. Alteração nas características químicas do solo.....	28
4.2. Alteração nas características físicas do solo.....	40
4.3. Morfologia de agregados.....	49
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
APÊNDICE.....	70

## RESUMO

CREMON, Cassiano, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004.  
**Varição temporal dos atributos de um Latossolo Vermelho, cultivado com leguminosas para adubação verde.** Orientador: Ivo Jucksch.  
Conselheiros: Ramon Costa Alvarenga e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Os chamados adubos verdes, muitos já de ação benéfica conhecida, são utilizados com efeitos diferenciados tanto causando benefícios diretos para as plantas como para o solo. Pesquisas têm demonstrado que os adubos verdes exercem consideráveis influências nas propriedades físicas do solo quer seja pelo efeito da massa vegetal ou por meio das raízes no perfil do solo, além de melhorias nos atributos químicos pelo efeito da ciclagem de nutrientes no perfil. Tendo em vista o acima exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento dos atributos do solo mediante o cultivo consorciado de milho e diferentes espécies de leguminosas. Este projeto é parte integrante de uma linha de pesquisa iniciada e desenvolvida em parceria entre o Departamento de Solos da UFV e a Embrapa Milho e Sorgo. Iniciou-se o projeto no ano de 1995 em uma área onde se procedia o monocultivo de milho, na oportunidade, Favero (1998) implantou, no agrícola de 1995/96, o cultivo de cinco leguminosas já consagradas como espécies vegetais utilizadas como adubos verdes (Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), Feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), Crotalária (*Crotalária juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*)), avaliando o desempenho das leguminosas quanto à cobertura proporcionada ao solo e simultaneamente o comportamento das espécies de espontâneas em termos de modificações que ocorrem na

população de plantas. A área efetiva do experimento em estudo é de 730 m<sup>2</sup>, instalado no campo experimental da Embrapa Milho Sorgo, em uma encosta de um Latossolo Vermelho-típico A moderado, textura argilosa, com relevo suave ondulado. Os tratamentos estão distribuídos em parcelas de 10 x 5 m, no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistem na consorciação das cinco leguminosas com o milho, incluindo também um tratamento sem leguminosa, que serve como testemunha. A cultivar de milho Crioulo “Caiano de Sobralia” vem sendo semeada normalmente como cultura de verão, espaçada 0,9 m entre sulcos de plantio e densidade de 5 plantas por metro linear. Para o preparo do solo utilizaram-se Triton para trituração da fitomassa seca, de grade aradora e grade niveladora. As amostras de solo indeformadas, destinadas a análises de densidade e macro e microporosidade, foram coletadas em anel de aço inox com cinco cm de altura por cinco cm de diâmetro. As amostras deformadas foram coletadas com trado em diferentes pontos da parcela constituindo uma amostra composta, e as análises micromorfométricas foram realizadas em agregados do intervalo de 9,52 e 4,76 mm de diâmetro. Foram avaliados os atributos físicos, químicos, micromorfométricos do solo, este último por meio do programa QUANTPORO desenvolvido no Departamento de Solos da UFV. Os resultados obtidos demonstram que: Houve variação nas características químicas do solo, ao longo dos anos, principalmente para P e K que diminuíram em todos os tratamentos; Não se observaram diferenças significativas para os atributos físicos do solo, com ressalva para argila dispersa em água que aumentou, em todos os tratamentos, ao longo dos anos; Com relação aos resultados das análises de agregados obtidos pelo programa QUANTPORO, observa-se que para todos os tratamentos a maior concentração de agregados, por tamanho, está na ordem de 0,15 a 0,35 cm<sup>2</sup>; Para todos os tratamentos observou-se que quanto menor o agregado, menor a rugosidade do mesmo.

## ABSTRACT

CREMON, Cassiano, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February, 2004.  
**Temporal variation of the attributes of a Latosol Red, cultivated with leguminous for green manuring.** Adviser: Ivo Jucksch. Committee members: Ramon Costa Alvarenga and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The called green manures, many already of well-known beneficial action, are used with differentiated effects so much causing direct benefits for the plants as for the soil. Researches have been demonstrating that the green manures exercise considerable influence in the physical properties of the soil wants be by the effect of the vegetable mass or through the roots in the profile of the soil, besides improvements in the chemical attributes by the effect of the nutrients recycling in the profile. Having in mind the above exposed, the present work has the objective evaluate the behavior of the attributes of the soil by means of the cultivation associated of corn and different species of leguminous. This project is integrant part of a line of initiated research and developed in partnership between Soils Department of UFV and Embrapa Corn and Sorghum of Sete lagoas - MG. It initiated the project in year of 1995 in an area where proceded unique cultivation of corn, in the opportunity, Favero (1998) implanted, in the agricultural of 1995/96, the cultivation of five leguminous already consecrate as used vegetable species as manures see (*Mucuna aterrima*, *Cajanus cajan*, *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis* and *Canavalia brasiliensis*). The effective area of the experiment in study belongs to 730 m<sup>2</sup>, installed in the Embrapa's experimental field Corn and Sorghum in the municipal district of Sete Lagoas – MG, in a hillside of a Red-dark Latosol

conservative loamy texture, with wavy soft relief. The treatments are distributed in bits of 10 x 5 m, and in the experimental design was a completely randomized block design, with five treatments and four replications. The treatments consist in associated of the five leguminous with the corn, also including a treatment without leguminous, which serves as witness. It is important to consider that the leguminous *Dolichos lablab* was substituted by *Crotalaria juncea* for plants stand matters. To cultivate of corn Criola "Caiano de Sobrália" has been usually sown as summer's culture, spaced 0,9 m between planting and density furrows of 5 plants for lineal meter. For prepare it of the soil they used of heavy disk harrow and carry disk harrow for incorporation of the at issue leguminous. The samples (formless) destined for density and macro and micro-porosity analyses were collected in ring of stainless steel with about five height cm for five diameter cm. The deformed samples were collected with trado in different points of the bit constituting a composed sample, and the analyses micromorfometrics were accomplished in aggregate of the interval of 9,52 and 4,76 mm of diameter. They were evaluated the physical, chemical attributes and micromorfometrics of the soil, this last through the program QUANTPORO developed in the soils department of UFV. Of simplified form, the obtained results demonstrate that: The green manures are not being efficient in the maintenance of the chemical terms of the soil, along years, mostly for P and K; Significant differences for the physical attributes of the soil were not observed, with proviso for dispersed clay in water that increased significantly along years; With regard to the analyzed aggregate, that is observed for all the treatments the biggest concentration of aggregate, for size, it is in the order from 0.15 to 0.35 cm<sup>2</sup>; For all the treatments that how much smaller the aggregate was observed, larger Roundness, in other words, smaller for wrinkled of the aggregate.

## 1. INTRODUÇÃO

A conscientização da importância de se cultivar plantas com intuito de melhorar os rendimentos das culturas comerciais vem sendo crescente por parte dos técnicos e agricultores brasileiros. Os chamados adubos verdes, muitos já de ação benéfica conhecida, são utilizados com efeitos diferenciados tanto causando benefícios diretos para as plantas como para o solo.

Embora os conhecimentos a cerca dos adubos verdes tenham tido um avanço considerado a partir das últimas décadas, segundo Kiehl (1959), os mesmos foram usados para fertilização do solo na dinastia de Chou (1.134-247 a.C.), na China. Não só os chineses relataram o uso dessa tecnologia, mas também os gregos e os romanos empregaram largamente as leguminosas, como o tremoço, a fava e outros. Muitos anos antes de Cristo já havia relatos sobre os adubos verdes, como encontrados nas citações de Teofrastus, Catão, Columela, Varrão, Plínio, Paládio e Virgílio, os quais citam o uso das leguminosas na adubação verde. Com o avanço da ciência, tornou-se possível confirmar e demonstrar de forma científica o que era conhecido popularmente a mais de dois milênios. Algumas pesquisas foram revolucionárias para comprovação da eficiência dos adubos verdes para as plantas e para o solo, dentre elas pode-se citar a de Hellriegel e Wilfarth que comprovaram nas nodosidades das raízes das leguminosas, a presença de bactérias capazes de fixar o nitrogênio e, a descoberta de Lavoisier que demonstrou a existência do nitrogênio no ar atmosférico (Kiehl, 1959 e 1960).

A agricultura de subsistência é a responsável por grande parte da produção agrícola mundial, neste sistema baseando-se as produções mistas em pequenas propriedades. O objetivo primordial desta técnica é obter boa eficiência no uso da terra, empregando os recursos disponíveis da melhor forma possível sem, no entanto, causar degradação do solo. No Brasil, desde o início do século, tem-se referência sobre a adubação verde; DUTRA (1919) em seu trabalho intitulado "*Adubação Verde: sua produção e modo de emprego*" relata o efeito benéfico dos adubos verdes e recomenda a sua utilização. A partir de então, a prática de utilização vem crescendo com potenciais comprovados. Os resultados obtidos ao longo dos anos, em boa parte do Brasil, demonstram que os adubos verdes fazendo parte de sistemas produtivos conduzidos, preferencialmente, em rotação com outros cultivos, são altamente viáveis tanto economicamente quanto ecologicamente.

O conservadorismo por parte de práticas que retardam os processos de degradação do solo pelo escoamento superficial da água, perda de nutrientes por lixiviação e destruição das propriedades físico-químicas do solo, faz de sistemas que mantêm e acumulam fitomassa e reciclam nutrientes, uma alternativa de grande importância na organização de um sistema de cultivo sustentável.

A adubação verde, dentre muitas outras definições, pode ser entendida como uma forma de adubar o solo se utilizando de uma espécie vegetal que no seu pleno desenvolvimento vegetativo será cortada e sua massa deixada sobre a superfície ou incorporada ao solo. Nesse aspecto, algumas pesquisas têm se direcionado ao uso de plantas que promovam o enriquecimento do solo, porém é importante que se conheça plantas que sejam capazes de favorecer a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente quando consorciadas, pois assim proporcionaria o melhor uso do solo.

Com o objetivo de fixar o nitrogênio atmosférico por meio de bactérias do gênero *Rhizobium*, as leguminosas vem sendo consideradas as espécies preferidas para adubação verde (Costa, 1993). Segundo o mesmo autor, a adubação verde desempenha, entre outras, as seguintes funções:

- Proteger o solo das chuvas de alta intensidade;
- Manter elevada a taxa de infiltração de água no solo;

- Promover grande e contínuo aporte de fitomassa;
- Aumentar a capacidade de retenção de água do solo;
- Promover mobilização e ciclagem mais eficiente de nutrientes;
- Promover o aporte de nitrogênio, pela fixação biológica, com o uso de leguminosas;
- Reduzir a população de plantas invasoras;
- Criar condições ambientais favoráveis ao incremento da vida biológica do solo.

De acordo com Sorrenson & Montoya (1989), em uma estimativa de área de 300.000 hectares no ano de 1984, com sistema de plantio direto associado ao uso de rotação de cultura comercial e utilização de adubos verdes de inverno, os benefícios adicionais foram de aproximadamente U\$ 52 milhões/ano, principalmente, na economia de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, economia de herbicidas e diminuição das perdas de solo. Segundo os mesmos autores, o uso de coberturas e a redução das queimadas estão propiciando um ambiente mais favorável à atividade biológica e ao aumento da matéria orgânica do solo, o que está de acordo com Bayer (1996), conseqüentemente, essas melhorias traduzem-se em maior aumento da disponibilidade de fósforo (Rheinheimer, 2000), redução do efeito tóxico do alumínio e estabilização da estrutura do solo (Silva e Mielniczuk, 1997).

Pesquisas têm demonstrado que os adubos verdes exercem consideráveis influencias nas propriedades físicas do solo quer seja pelo efeito da massa vegetal ou por meio das raízes no perfil do solo, neste sentido, os resíduos tendem a melhorar a estruturação do solo propiciando aumento na estabilidade dos agregados estáveis em água (ação cimentante da matéria orgânica), aumento da porosidade do solo, da capacidade de retenção de água, melhoria conseqüente da infiltração da água no solo, menores perdas por evaporação e diminuição da densidade do solo por efeito da matéria orgânica. As eventuais alterações nos teores de matéria orgânica também afetam as propriedades físicas do solo, principalmente o diâmetro médio geométrico de partículas e a proporção dos macroagregados (Tisdall & Oades, 1980; Soane, 1990; Santos, 1993).

As variações na umidade do solo são dinâmicas, e ocorrem em curto e longo período de tempo, principalmente no que se refere à camada superficial

do solo. Estas alterações são normalmente ligadas ao manejo do solo e de culturas, tipo de culturas e condições ambientais. A presença de material vegetal torna-se de fundamental importância na manutenção da umidade do solo que terá influência direta na produtividade da cultura. Considerando o acima exposto e a relevância da cultura do milho em âmbito nacional, tornam-se de fundamental importância estudos relacionados aos adubos verdes e seus benefícios aos atributos do solo.

A hipótese aventada neste trabalho, é de que os diferentes adubos verdes juntamente com a palhada do milho e a presença de plantas espontâneas, afetam os atributos físicos, químicos e micromorfométricos do solo.

Este trabalho tem como objetivo, avaliar o comportamento, ao longo dos anos, dos atributos de um Latossolo Vermelho típico, mediante o cultivo consorciado de milho com diferentes espécies de leguminosas para adubação verde.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cobertura vegetal do solo

A proteção do solo por meio de materiais vegetais quer seja na fase vegetativa do seu desenvolvimento, quer seja como resíduos, vem sendo demonstrada como a prática mais eficiente para proteção e conservação do solo, sendo considerada por Amado et al. (1987) como a mais importante no controle da erosão. Essa prática de manutenção dos resíduos vegetais tem dentre seus vários objetivos o de aumentar os níveis de matéria orgânica no solo correlacionando-se assim com incremento nos valores de CTC, aumento da agregação de partículas, melhoria na aeração, infiltração e retenção de água no solo. Por meio dos adubos verdes ocorre a ciclagem de nutrientes do solo pelas plantas, nesse aspecto, Sousa et al. (1997) mostraram que a matéria orgânica pode aumentar a eficiência de uso do P, pois para produzir  $3,0 \text{ t.ha}^{-1}$  de soja em um Latossolo muito argiloso foram necessários teores de P extraível (Mehlich 1) de 3 e 6  $\text{mg/dm}^3$ , quando os teores médios de matéria orgânica eram de  $37,3 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $28,4 \text{ g.kg}^{-1}$ , respectivamente. O maior teor de matéria orgânica no solo resultou do cultivo de pastagem por nove anos, após uma seqüência de cultivos anuais e antes de voltar às culturas anuais.

Rocha et al. (2000) observaram que houve um incremento de 7 % no teor de matéria orgânica do solo na profundidade de 0 a 20 cm em uma área com sete anos de adoção do plantio direto em relação a dois anos no mesmo sistema, em uma propriedade agrícola em Planaltina, DF. Em trincheiras, estes

autores observaram, nessas mesmas condições, um aumento de 25 % na matéria orgânica da camada de 0 a 5 cm. As produtividades das culturas nessa propriedade foram em média 2,94 t.ha<sup>-1</sup> de grãos de soja e 9,06 t.ha<sup>-1</sup> de grãos de milho. Com esses resultados os autores concluíram que o aumento de matéria orgânica na camada de 0 a 20 cm no solo sob sistema de plantio direto é lento, porém o incremento de palhada é alto devido às altas produtividades. Entretanto, pequenos aumentos ocasionam grandes benefícios ao solo tais como: redução no processo erosivo, melhoria no armazenamento de água, maior taxa de infiltração de água e aumento na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Nas últimas décadas, tem se tentado ao máximo reverter o processo de degradação do solo e de implementar a recuperação da capacidade produtiva do mesmo, nesse sentido, o aumento no uso de práticas que melhorem, simultaneamente, os atributos físicos e químicos do solo são cada vez mais adotadas. As plantas de cobertura agem na ciclagem de nutrientes do solo, tanto daqueles aplicados por meio dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, como também daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica e do próprio material de origem. As plantas da família das leguminosas vem sendo estudadas na maior parte dos trabalhos realizados até o momento, principalmente no Sul do Brasil. A principal cultura de verão implantada em sucessão a estas espécies tem sido o milho, em função da sua importância econômica, dos efeitos benéficos da sua inclusão em esquemas de rotação de culturas e, principalmente, da alta demanda em nitrogênio pela cultura. Quando se usa leguminosas observa-se que a demanda externa de fertilizantes nitrogenados às culturas comerciais é reduzida, em função da simbiose com *Rhizobium*, que fixam o N<sub>2</sub> atmosférico.

Bianchi et al. (1997), destacaram a *Crotalaria juncea*, mucuna preta e feijão-de-porco no acúmulo de fitomassa, carbono e nitrogênio. As diferenças nestes três parâmetros, quando comparados ao tratamento com pousio invernal (vegetação espontânea), evidenciam a importância da implantação das espécies de verão após a colheita do milho.

Pesquisando na depressão central do Rio Grande do Sul, Ceretta et al. (1994), avaliaram durante quatro anos o potencial do guandú anão, feijão-de-

porco e *Crotalaria spectabilis* em fornecer N ao milho nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. Observaram que houve significativa resposta do milho à adubação verde. O incremento médio no rendimento de grãos das três espécies e dos dois sistemas de preparo do solo, em relação ao tratamento com vegetação espontânea foi de 1500 kg.ha<sup>-1</sup> de grãos. Em sucessão ao feijão-de-porco, e em ambos os sistemas de cultivo, o rendimento de grãos de milho foi equivalente àquele obtido com a aplicação de 130 kg.ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia no tratamento sob vegetação espontânea.

As leguminosas de primavera/verão geralmente produzem maiores quantidades de fitomassa e, conseqüentemente, acumulam maiores quantidades de N, quando comparadas com as leguminosas de outono/inverno. Por outro lado, apresentam a desvantagem de competirem por área com as culturas comerciais, constituindo-se na principal limitação para sua utilização. Para Aita (1997), deve-se incrementar, no Rio Grande do Sul, a utilização de plantas de cobertura durante o período de outono/inverno, porque, nesse período, boa parte das áreas cultivadas no verão com culturas de interesse comercial permanecem descobertas e, portanto, sujeitas à ação dos agentes erosivos e à proliferação de plantas invasoras.

Entre as diversas características desejáveis para seleção das plantas de cobertura do solo destacam-se a produção de fitomassa e a quantidade de N acumulado, seja pela fixação de N<sub>2</sub> atmosférico e, ou, pela ciclagem de N no sistema. Essas características, juntamente com a relação C/N, permitem conhecer a capacidade de cada espécie para manter boa cobertura vegetal sobre o solo e acumular N na palhada.

## **2.2. Consorciação de culturas**

Em se manejar as plantas destinadas à cobertura, os resíduos devem proteger o solo contra os agentes erosivos por um período de tempo prolongado além de fornecer nutrientes de acordo com a demanda das culturas comerciais em sucessão. Acredita-se que, para esses objetivos serem alcançados, a associação entre leguminosa e não leguminosas seja a melhor estratégia. Heinrichs (1996) ressalta que por meio dessa estratégia, busca-se

controlar a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes da palhada por meio do equilíbrio na relação C/N da mistura de espécies.

Andrews e Kassam, 1976; Crookston e Hill, 1979; Willey, 1979; Fleck et al., 1984; ressaltam que cultivar de forma múltipla é considerar que duas ou mais culturas cresçam no mesmo solo e no mesmo ano, portanto a consorciação é a forma mais intensiva de cultivo múltiplo sendo o crescimento das culturas não só na mesma área, mas também de forma simultânea. Acredita-se que uma comunidade vegetal que envolva o maior número possível de espécies distintas, fará o melhor uso dos recursos disponíveis em relação ao sistema de monocultivo. Se houver diferenças nos períodos de maior exigência das culturas, os recursos disponíveis não serão utilizados ao mesmo tempo, possibilitando assim o seu maior aproveitamento.

No processo de consorciação, a água e os nutrientes do solo podem ser mais eficientemente utilizados devido à exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com um padrão distinto (Trenbath, 1974). Para Osman & Osman (1982), as principais vantagens atribuídas ao consórcio de espécies é o maior rendimento de massa seca, em relação ao cultivo isolado de cada espécie.

Postage (1982) ressaltam que quando o consórcio for entre gramíneas e leguminosas, as primeiras irão exaurir o solo em N, estimulando desta forma a fixação biológica de  $N_2$  pelo rizóbium em simbiose com a leguminosa. Da Ros (1993) concluiu que a presença de gramíneas na mistura contribui para a manutenção dos resíduos culturais sobre o solo por maior período de tempo, em função da baixa taxa de decomposição de seus resíduos culturais.

Heinrichs (1996), estudou o consórcio de aveia preta e ervilhaca comum, misturadas em diferentes proporções, em um solo arenoso da Depressão Central do Rio Grande do Sul. A opção por essas espécies se deu em razão de serem a gramínea e a leguminosa mais utilizadas como plantas de cobertura de outono/inverno na região. Quando as espécies foram cultivadas isoladamente, as quantidades de sementes utilizadas foram de  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para ambas as culturas. Observou-se que a produção de matéria seca total com a inclusão da aveia na mistura foi, significativamente, superior àquela alcançada pela ervilhaca como cultura pura. Com o aumento na proporção de aveia, a produção de fitomassa da ervilhaca diminuiu, chegando a apenas  $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

na menor proporção de ervilhaca testada (25%). A equivalência na produção de fitomassa entre as duas espécies foi obtida com apenas 10% de aveia, mostrando a grande capacidade de competição desta espécie quando consorciada. Com relação ao nitrogênio observou-se que, com a inclusão da aveia, diminuiu a contribuição da ervilhaca na quantidade total de N acumulado pela mistura. O maior acúmulo de N foi obtido com o cultivo consorciado das duas espécies, até uma proporção máxima de 25% da aveia na mistura. Esses resultados confirmam uma das vantagens da inclusão de leguminosas em cultivos consorciados que é a de aumentar o aporte de N ao solo.

Giacomini et al. (2000) cultivando aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro, em cultura pura e consorciada entre si, verificaram que tanto a produção de matéria seca, como a quantidade de C adicionada nos tratamentos contendo consórcio de espécies não diferiram da aveia como cultura pura e que a inclusão da ervilhaca aumentou o aporte de N ao solo, confirmando os resultados de Heinrichs (1996). Além disso, o cultivo consorciado das espécies proporcionou uma fitomassa com relação C/N intermediária àquela obtida pelas culturas puras. Estes resultados conduziram os autores à conclusão de que, consorciando-se as plantas de cobertura, é possível reunir as vantagens de cada espécie, obtendo-se uma fitomassa quantitativa e qualitativamente superior àquela obtida pelo cultivo isolado de cada espécie.

Um dos esquemas de uso da mucuna, com cultivo intercalar a cultura do milho, foi apresentado por Castilhos et al. (1985) em Chapecó-SC e Dorneles (1990) em Santa Maria-RS. Neste sistema, o milho é semeado em setembro/outubro e a mucuna na entrelinha do milho, na fase de grãos leitosos. Após a colheita do milho, a mucuna se desenvolve até a ocorrência das primeiras geadas que provoca a interrupção de seu ciclo vegetativo. Observa-se que a presença da mucuna resultou num aumento médio de aproximadamente  $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de grãos de milho, em relação ao tratamento com cultivo convencional sem mucuna e sem adubação nitrogenada e que este aumento foi equivalente àquele provocado pela aplicação de  $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de N no tratamento com cultivo convencional, sem mucuna.

Chaves et al. (1997) citaram que o cultivo de leguminosas de verão na entrelinha do cafeeiro, com objetivo de cobertura do solo e adubação verde é

uma alternativa de manejo para o cultivo de cafeeiro em solos degradados, ou em substituição ao uso de fertilizantes.

Ainda são raros no Brasil os trabalhos publicados a cerca do consórcio entre espécies, a maioria dos trabalhos envolvendo o uso de plantas de cobertura do solo refere-se ao emprego destas como culturas isoladas. As dúvidas com relação a essa prática se intensificam na escolha das espécies que melhor se adaptem ao cultivo consorciado e principalmente qual a proporção ideal entre elas na mistura de maneira a propiciar uma boa produção de matéria seca, a persistência dos resíduos culturais sobre a superfície do solo e uma boa sincronização entre liberação de nutrientes destes resíduos com a demanda em nutrientes pelas culturas comerciais.

### **2.3. Erosão**

Mielniczuk (1994) relata que em regiões tropicais, onde predomina o clima quente e úmido, o manejo adequado das culturas é de suma importância. As taxas de decomposição dos restos culturais são elevadas, o que ocasiona acelerada degradação do solo em sistemas de exploração agrícola que não realizam práticas conservacionistas. Entretanto, as condições de diversificação de espécies e as taxas de crescimento elevadas desenvolvem um sistema agrícola produtivo, que conserva e melhora o solo.

Um dos processos que mais resultam em erodibilidade do solo é a compactação que para Silva et al. (2000), é um processo de densificação na qual há um aumento da resistência do solo, redução da porosidade, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Os sistemas de manejo, principalmente aqueles que se dedicam à manutenção da cobertura do solo exercem grande influência no controle da erosão (Seganfredo et al., 1997).

O plantio de espécies vegetais com sistemas radiculares agressivos e que proporcionem boa cobertura do solo, são alternativas para melhoria nas taxas de infiltração da água. Outra estratégia para amenizar os efeitos da compactação pode ser o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso, que deixem canais que propiciem condições ao desenvolvimento de raízes da cultura subsequente (Wang et al., 1986). Em um Latossolo Vermelho

distroférico, Castro *et al.* (1986) relataram que a cobertura vegetal protege o solo da erosão na ordem de 80% em diferentes sistemas de manejo.

Eltz *et al.* (1977) afirmaram que a soja em cultivo mínimo apresentou perda de solos seis vezes menor que em cultivo convencional.

#### **2.4. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por adubos verdes**

No processo de decomposição dos resíduos vegetais mantidos em superfície alguns fatores exercem maior influência, tais como as quantidades de carbono e nitrogênio existentes em cada espécie, sendo que o fluxo de liberação de N no sistema solo-planta é dependente da relação C/N dos resíduos. A mineralização predomina quando a relação C/N se torna ideal. É o caso da presença dos resíduos de soja, feijão, tremoço, nabo forrageiro e ervilhaca, que possuem relação C/N ao redor de 15/1 a 20/1.

O quanto de resíduo vegetal que uma espécie produz, define a eventual potencialidade de proteção ao solo contra a erosão e a ciclagem de nutrientes no solo, quando usada como adubo verde. Resck *et al.* (1996) constataram maior evolução de CO<sub>2</sub> ao longo do ano em Latossolo sob Cerrado com preparo convencional em relação ao plantio direto, ambos estabelecidos no mesmo experimento. No preparo convencional a incorporação de resíduos vegetais acelera a sua mineralização, além de evitar possíveis perdas por volatilização do nitrogênio do resíduo, conforme verificado em solo sob Cerrado por Costa *et al.* (1990). Em sistema de plantio direto, Sidiras & Pavan (1985) constataram aumento considerável nos teores de carbono orgânico e nitrogênio (N) total, principalmente nas camadas superficiais do solo, quando da utilização de resíduo vegetal. Fries *et al.* (2000) em um estudo realizado em um Argissolo Vermelho-amarelo distrófico arênico, determinaram a contribuição de talos e folhas na produção total de matéria seca e no acúmulo de N, P e K em cinco leguminosas de verão. Observou que existe grande variabilidade de produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes entre as leguminosas destacando-se com os maiores valores o feijão-de-porco e a crotalária juncea. Mesmo tendo vegetado apenas 80 dias, até serem manejadas, estas duas espécies produziram 6.300 e 4.100 kg.ha<sup>-1</sup> de matéria seca, respectivamente. A

produção de matéria seca média das leguminosas foi 51 % maior do que aquela da vegetação espontânea do tratamento em pousio, evidenciando a importância da implantação das plantas de cobertura de solo em sucessão ao feijão, tanto do ponto de vista de proteção do solo e controle de plantas invasoras como da ciclagem de nutrientes, retenção de carbono no solo e adição de N ao sistema.

A importância da inclusão de espécies de leguminosas nos esquemas de rotação, foi relatado por Muzilli (1983), com o objetivo de diminuir a intensidade de deficiências de nitrogênio nas culturas de milho e trigo em sistema de plantio direto no Paraná.

Bianchi et al. (1997), afirmaram que os adubos verdes originários de regiões tropicais, com solos altamente intemperizados, apresentam a capacidade de produzir quantidades expressivas de fitomassa mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade natural. Em função desta característica, são também denominadas de plantas recuperadoras. A sua rusticidade, aliada à capacidade de fixar quantidades elevadas de  $N_2$  atmosférico, tornam as espécies de verão uma alternativa interessante para a recuperação de áreas degradadas e para o uso em solos arenosos, naturalmente pobres em matéria orgânica.

Giacomini et al. (2000) estudando a decomposição e liberação de N, P e K de resíduos culturais de aveia, nabo e ervilhaca, em cultura pura e consorciados, observaram que a decomposição dos resíduos culturais e a liberação de nutrientes dos mesmos apresentam uma dinâmica semelhante, com duas fases distintas. A primeira, com taxas mais elevadas, nos primeiros 29 dias e a segunda, mais lenta, a partir desta data. A rápida taxa inicial de diminuição de matéria seca confirma resultados de Da Ros (1993) e é atribuída à remoção da fração solúvel em água pela chuva, além da facilidade de decomposição microbiana desta fração, mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo.

As leguminosas de outono/inverno, devido à capacidade de acumular N na matéria seca e a baixa relação C/N, são de grande importância para suplementação de N às culturas posteriores. Isso pode trazer economia de fertilizantes nitrogenados (Gonçalves et al., 2000), por outro lado às leguminosas tem seu processo de decomposição muito mais acelerado se

comparado, por exemplo, às gramíneas (Schomberg et al., 1994; Amado et al., 2000), isso faz com que a cobertura proporcionada pelas leguminosas não seja eficiente.

## **2.5. Alterações nas características físicas e químicas do solo**

Os resíduos vegetais no solo tendem a provocar importantes alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, quer seja pelo efeito da fitomassa das plantas ou por meio da distribuição das raízes no perfil. Com relação aos benefícios na química do solo, a ciclagem de nutrientes exerce influência preponderante na melhoria dessas condições no solo, além do benefício da adubação nitrogenada, por parte das leguminosas. Dentre as modificações físicas, algumas são verificadas com a incorporação dos resíduos vegetais, tais como: melhoria da estruturação do solo, aumento conseqüente na estabilidade dos agregados (devido à ação cimentante da matéria orgânica, efeito dos polissacarídeos e hifas dos fungos), melhoria na infiltração e retenção de água no solo, aumento na porosidade/aeração do solo, menores perdas de água por evaporação devido ao efeito da cobertura morta além da melhoria nos índices de densidade do solo por efeito da matéria orgânica.

Calegari (1995), com experimentos no Sudoeste do Paraná, demonstra depois de nove anos de diferentes manejos de solo e cultivos, que a distribuição de alguns nutrientes no perfil sofreram alterações e que dentre esses manejos, estão aqueles que se utilizam de plantas de cobertura do solo. Relata também, que o acúmulo de resíduos incluindo resíduos dos cultivos de verão (soja), aumentou os níveis de alguns nutrientes e de carbono orgânico do solo.

Para Pavan (1999), os efeitos dos resíduos de adubos verdes, na mobilização do calcário distribuído em superfície no solo, sob sistema de plantio direto é notório. A aplicação do calcário na superfície do solo sem resíduos vegetais aumentou o pH apenas na camada de 0 a 10 cm de profundidade, por conseguinte, na presença de aveia, o efeito da calagem estendeu-se até os 60 cm de profundidade. A exemplo da aveia, o nabo,

centeio, milho, tremoço, ervilhaca, mucuna e crotalaria também foram eficientes na mobilidade do calcário para as camadas subsuperficiais. A mobilidade lenta do calcário no solo sem resíduo vegetal pode ser atribuída à baixa solubilidade do calcário e a falta de um ânion estável como produto de reação do calcário. O autor ressalta ainda, que esses resultados sugerem que o movimento vertical do calcário pode ser obtido por meio da seleção de adubos verdes apropriados.

Favero (1998), pesquisando o efeito no solo de cinco leguminosas com e sem a consorciação com espontâneas, observou que os valores de soma de bases foram maiores em todos os tratamentos um ano após o plantio das leguminosas, indicando que houve aumento dos cátions trocáveis no solo devido à ciclagem promovida pelos tratamentos. Os valores de H + Al foram menores, em consonância com o aumento de cátions trocáveis. As percentagens de argila dispersa em água diminuíram em contrapartida, o número de cargas negativas aumentaram, o que segundo o autor pode ser devido ao aumento de cátions trocáveis, principalmente os divalentes. Isso é de suma importância para o solo, uma vez que a argila dispersa em água pode provocar adensamento das camadas subsuperficiais.

Além da neutralização do H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> em solos ácidos por meio da aplicação de calcário dolomítico (CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>) e/ou calcítico (CaCO<sub>3</sub>), que são produtos de baixo custo, fácil aplicação, uma alternativa que pode ser utilizada é a aplicação de resíduos orgânicos no solo, na forma de esterco de animais, compostos e resíduos vegetais, que apresentam um efeito semelhante ao da calagem (Hoyt & Turner, 1975; Hue & Amien, 1989; Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999b; Cassiolato et al., 1999).

Os resíduos de adubos verdes em geral (aveia preta, nabo forrageiro, tremoço, leucena, mucuna cinza e crotalaria) apresentam altas quantidades de cátions no tecido. No entanto, a capacidade da neutralização de H<sup>+</sup> pelo resíduo vegetal, reduz com avanço da idade da planta. Além da toxidez de Al<sup>3+</sup>, a manutenção de resíduo vegetal na superfície dos solos ácidos reduz também a toxidez de Mn. Andrade et al (1999), observaram em Latossolo Vermelho distroférrico sem resíduos vegetais que o teor de Mn solúvel (73,2 mg.kg<sup>-1</sup>) era muito maior do que em solo coberto com resíduos (5,1 mg.kg<sup>-1</sup>).

Miyazawa et al. (2000 ab), afirmaram que os resíduos vegetais apresentam capacidade diferenciada quanto à neutralização da toxidez por  $Al^{3+}$ , em virtude de suas diferenças quanto aos teores de cátions e carbono orgânico solúvel, que normalmente, são maiores em resíduos de adubos verdes, tais como: aveia preta, nabo forrageiro, tremoços, leucena, mucunas e crotalárias.

Franchini et al. (1999) incubaram resíduos de nabo, soja e trigo finamente moídos com amostras de três solos ácidos e avaliaram as alterações químicas ocorridas. Constataram que o  $Ca^{2+}$  na solução dos solos tratados com resíduo de nabo aumentou em valores de pH inferiores a 6,0, evidenciando a formação de complexos orgânicos com  $Ca^{2+}$ . Também observaram que o processo de decomposição microbiana tende a desfazer rapidamente esses complexos orgânicos.

Com a manutenção dos resíduos na superfície do solo, a elevação nos teores de matéria orgânica acontecerá concomitantemente ao aumento do estoque de N, com isso, beneficiando a estrutura física do solo em termos de densidade. As plantas, por meio da ação do seu sistema radicular e dos fungos e micorrizas potencializam interações na formação de agregados estáveis, principalmente pela aproximação das partículas, exsudações bem distribuídas na matriz do solo e união física de agregados menores em maiores. Dependendo da magnitude do fluxo de matéria e energia propiciado pelo subsistema vegetal, haverá maior ou menor atividade biológica, liberação de compostos orgânicos secundários, agregação do solo e aparecimento de outras propriedades emergentes do sistema solo (Balesdent e Balabane, 1996; Miller e Jastrow, 1992).

Dentre os papéis desempenhados pelos microrganismos do solo, pode-se citar que estes afetam as propriedades físicas do solo, por exemplo, pela produção de compostos que aumentam a estabilidade dos agregados, contribuindo para a manutenção de macroporos contínuos (Siqueira et al., 1994; Assad, 1997; Hungria et al., 1999a).

## **2.6. Aspectos importantes relacionados aos atributos físicos do solo**

Manejar o solo de forma eficiente é se utilizar de técnicas que intensifiquem, de forma racional, o uso do solo, sem promover qualquer tipo de degradação no mesmo.

### **2.6.1. Estruturação do solo**

Baver et al. (1940) classificam os espaços vazios formados na estrutura do solo de microporos (poros encontrados dentro dos agregados) e macroporos (poros entre agregados). Baver et al. (1973) afirmaram que a estrutura do solo é o arranjo ou ordenação das partículas primárias (areia, silte, argila) e secundárias (microagregados) em certos modelos ou padrões estruturais, incluindo, necessariamente, o espaço poroso acompanhante. Russel et al. (1963), ainda que teoricamente, dão algumas características desejáveis para os solos, relativo à estrutura, como por exemplo, que os poros devam ser estáveis para durar vários anos e que deve haver microporos para que haja retenção de maior quantidade possível de água, mas que sejam facilmente penetráveis pelas raízes.

Com relação ao papel da matéria orgânica, Hillel (1982) relata que a mesma atua na agregação do solo como agente cimentante e ressalta que a matéria orgânica deve ser repostada continuamente para que se mantenha a estabilidade dos agregados ao longo do tempo. Russel et al. (1968) acrescentaram que a água pode ter papel fundamental na agregação das partículas: para teores de água relativamente baixos, a ligação entre partículas de minerais de argila seria devida a interações entre cargas negativas das superfícies das partículas, com moléculas de água.

Carpeneo & Mielniczuk (1990) relatam que a adoção de sistemas de manejo que mantêm resíduos vegetais na superfície, favorecem o contínuo aporte de carbono orgânico, o que é fundamental para a manutenção de uma estrutura do solo de boa qualidade.

### 2.6.2. Densidade e porosidade do solo

De acordo com Silva & Mielniczuk (1997), a presença de camadas compactadas em subsuperfície reflete uma degradação estrutural, com o aumento da densidade, redução da porosidade total e tamanho médio dos agregados a taxa final de infiltração de água no solo é prejudicada. Skidmore et al. (1975) mostraram que o cultivo afeta a densidade do solo ao observarem que o solo, sob pastagem, teve sua densidade passando de  $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$  para  $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$  quando cultivado com trigo, sorgo, cevada e milho.

Albuquerque et al. (1995) verificaram que não houve diferenças de densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade entre o sistema plantio direto e preparo convencional. Anjos et al. (1994) estudando sistemas de cultivos em quatro solos de Santa Catarina, constataram um aumento de densidade do solo nos sistema de manejo plantio direto, preparo reduzido e preparo convencional em relação à mata nativa, com exceção do solo Podzólico, porém entre o sistema plantio direto e preparo convencional, não verificaram diferenças de densidade do solo, para os quatro solos estudados.

A caracterização do sistema poroso é muito importante nas investigações sobre armazenamento e movimento de gases e água, no estudo de desenvolvimento de raízes de plantas, nos problemas concernentes com a infiltração e retenção de calor e nas investigações da resistência dos solos Vomocil (1965). Para Dalla Rosa (1981), a redução na taxa de infiltração de água no solo é a propriedade que melhor reflete o grau de degradação do sistema poroso do solo. Lal (1976) em um estudo de cinco anos em um Alfisol na Nigéria, demonstrou que houve um aumento na capacidade de armazenamento de água quando se usava o plantio direto, comparado com o convencional. O autor chama a atenção para o fato de que, quando ocorria um período de seca, as plantas sob plantio direto não sofriam o estresse por falta de água. Van Doren et al. (1973) verificaram a influência da cobertura morta e cultivo na produtividade do milho e concluíram que altas produções foram associadas com tratamentos de altas porcentagens de cobertura morta e com aração mais gradagem. Os autores assumem que a maior contribuição do cultivo e da cobertura morta neste solo, é na conservação da água da chuva.

### **2.6.3. Agregação e conservação do solo**

Ao comparar o efeito de diferentes sistemas de cultivo na estabilidade de agregados em água, Corrêa (2002) em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, concluiu que o sistema de preparo do solo por grade aradora e niveladora e o monocultivo da soja causam maior fracionamento dos agregados do solo, sendo esse efeito menos marcante no plantio direto sobre palhada de milho. Kemper et al. (1965) mostraram que não só a estabilidade dos agregados é importante, como a sua distribuição por tamanho, pois isto vai determinar sua susceptibilidade ao movimento pela água e vento (erosão) bem como na determinação das dimensões do espaço poroso nos solos cultivados. Qualquer determinação de estabilidade de agregados é, então, em última análise, a determinação da estrutura do solo. Abrão et al. (1978) e Sidoway (1963) constataram que o plantio direto pode proporcionar maior estabilidade de agregados quando comparado com o plantio convencional. Seus trabalhos indicaram que a estabilidade de agregados do solo foi maior quando o resíduo da cultura foi deixado sobre o solo, do que quando incorporado, queimado ou removido. Além disso, Campos et al. (1995) constataram que no sistema de plantio direto o diâmetro médio geométrico dos agregados foi cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional.

Vieira (1981) levanta dúvidas não quanto à preservação do solo, mas sim quando se trata da preservação da água. Parece que a maior importância está relacionada com a taxa de infiltração. A quantidade de resíduos vegetais à superfície tem que ser suficiente para exercer um efeito acentuado seja aumentando a capacidade de infiltração do solo, ou apenas como dissipador de energia e armazenador temporário de água.

## **2.7. Morfologia de agregados**

O desenvolvimento de tecnologias de obtenção, processamento e quantificação de imagens baseadas no uso de microcomputadores e de seus periféricos, segundo Viana (2001), permite que as etapas lentas do processo de análise de imagens em geral, como por exemplo as de agregados do solo,

sejam efetuados de forma rápida e automática. Conway e Jenkins (1983) relatam que essas tecnologias de obtenção e análise de imagens por microcomputadores, apresentam a vantagem adicional do baixo custo e da compatibilidade com os recursos da maioria dos usuários, além da facilidade de uso.

Já consagrado em estudos de sedimentologia, a forma e o arredondamento dos grãos de areia e dos seixos têm sido usados para decifrar histórias de depósitos sedimentares (Suguio, 1973). Para este mesmo autor, uma descrição da forma geométrica de partículas envolve normalmente vários conceitos relacionados. De um lado têm-se os fatores de forma, que dependem dos comprimentos dos eixos principais perpendiculares entre si, e, de outro, a angularidade ou arredondamento das partículas. A forma ou as relações de comprimento dos eixos controla parcialmente o comportamento dos seixos durante o transporte e a deposição, enquanto o arredondamento, ou angularidade, reflete a distância e o rigor do transporte. É importante neste sentido, que se tenha um processo simples e objetivo que permita expressar numericamente a forma e tamanho dos grãos, não somente para fins descritivos, mas também para execução de estudos quantitativos de vários fatores envolvidos na evolução, até a forma final da partícula ou do fragmento.

A forma e distribuição dos poros em diferentes sistemas de preparo de solo, por meio de imagens em preto e branco, tem sido estudado por diferentes autores, tais como Schaefer et al. (2001) e Barros et al. (2000), estes últimos, analisaram a transformação e reversibilidade da estrutura de solo por morfologia quantitativa, utilizando-se de análise de imagens obtidas por câmera de vídeo acoplada a microscópio.

O presente trabalho apresenta resultados de calibração feitos com o programa QUANTPORO, desenvolvido no DPS/UFV, usado como ferramenta de análise de imagens de agregados.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. HISTÓRICO**

Este projeto é parte integrante de uma linha de pesquisa iniciada e desenvolvida em parceria entre o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e a Embrapa Milho e Sorgo. Iniciou-se o projeto no ano de 1995 em uma área onde se realizava o monocultivo de milho. Na oportunidade, Favero (1998) implantou, no agrícola de 1995/96, o cultivo de cinco leguminosas já consagradas como espécies vegetais utilizadas como adubos verdes (mucuna-preta, guandu, lablab, feijão-de-porco e feijão-bravo-do-ceará), além do tratamento testemunha que, na oportunidade, era caracterizado por pousio com presença somente de espontâneas; o solo manteve-se assim cultivado por um período de dois anos. Para implantação deste experimento, o solo foi submetido ao preparo com grade aradora e niveladora.

Dando continuidade ao projeto, Nolla (1999), trabalhou na mesma área experimental, mantendo as mesmas parcelas e leguminosas como adubos verdes. Os resíduos vegetais foram incorporados ao solo, a princípio triturados utilizando o implemento “triton”, conseqüentemente, feito uma aração (arado de disco) e uma gradagem pesada. Este ensaio foi instalado em dezembro de 1997, e consistiu no cultivo do milho consorciado com adubação verde intercalar como fonte exclusiva de nutrientes para o milho, com ou sem o controle de espontâneas, utilizando-se o mesmo delineamento experimental e disposição dos tratamentos iniciais. As parcelas anteriormente deixadas em pousio passaram a constituir o tratamento “Milho sem Adubo Verde”. Foram

plantadas cinco fileiras espaçadas de 1,0 m. Foi semeada a variedade crioula “Caiano de Sobrália” com uma densidade de 40 mil plantas por hectare. Após a emergência do milho, foram feitos desbastes para que se mantivesse quatro plantas por metro linear. Após 40 dias do plantio do milho, foram semeadas, nas entrelinhas, as espécies de adubos verdes, inoculadas com rizóbio específico. Após a maturidade fisiológica, as plantas de milho eram quebradas e permaneciam no campo até a época de florescimento dos adubos verdes. Nesta ocasião, as espigas eram colhidas e as leguminosas manejadas. Este manejo consistia em cortar as leguminosas deixando-as em cobertura sobre o solo até a época do próximo plantio, quando a fitomassa seca era triturada. O preparo do solo foi feito com arado de discos e o terreno sulcado para iniciar novo ciclo de cultivos. Foi avaliada a fertilidade do solo, a imobilização de nutrientes e a fitomassa seca dos adubos verdes no florescimento e a produção de milho com correção de umidade para 13%. No ano de 2000, o lab-lab foi substituído pela crotalária juncea (*Crotalaria juncea*).

Vale salientar que até o ano de 2003, não se realizou adubação química na área experimental e nem foi realizada a prática da calagem.

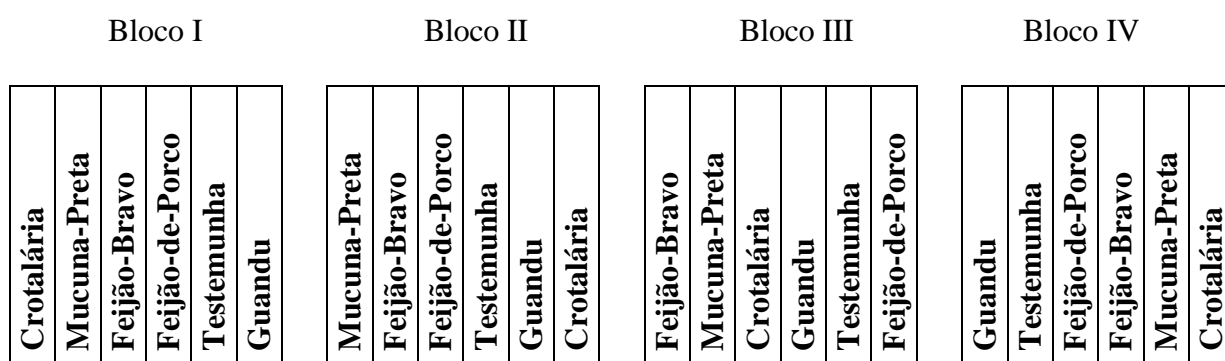
### **3.2. LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO**

O Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Embrapa), está localizado no km 65 da Rodovia MG 424, que liga Belo Horizonte a Sete Lagoas, distando 12 km desta. As coordenadas geográficas são 19°28' latitude sul e longitude 44°15'08" W GrW. A altitude, em sua estação meteorológica, é de 732 m. Ocupa uma área de 1.932,80 ha, que tem como solos predominantes os Latossolos Vermelho típico e Vermelho-Amarelo, ocorrendo ainda, em menor escala, Cambissolos, Aluviais e Hidromórficos. O clima da região, segundo Koopen, é do tipo AW (clima de savana com inverno seco). Fonte: (*Embrapa – CNPMS*).

A área efetiva do experimento em estudo é de 730 m<sup>2</sup>, instalado no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo no município de Sete Lagoas – MG, em uma encosta de um Latossolo Vermelho-típico A moderado textura argilosa, fase cerrado sucaducifólio, com relevo suave ondulado.

### 3.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos estão distribuídos em parcelas de 10 x 5 m, e no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições (Figura 1). O experimento constitui-se de seis tratamentos que consistem na consorciação do milho com cinco leguminosas: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), Crotalária (*Crotalária juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*), além da presença das espontâneas. Inclui-se também um tratamento sem leguminosa, que serve como testemunha. A cultivar de milho crioula “Caiano de Sobralia” vem sendo cultivada normalmente como cultura de verão, espaçada 0,9 m entre sulcos de plantio e densidade de 5 plantas por metro linear. Para o preparo do solo utilizaram-se grade aradora e grade niveladora para incorporação das leguminosas em questão e da palhada do milho.



Tamanho das parcelas: 10 x 5 m.

FIGURA 1. Croqui do experimento - distribuição dos tratamentos no campo.

Os resultados das análises químicas das amostras de solo, que serão apresentados, são de cinco épocas distintas: **0** = antes da implantação do experimento (uma amostragem em toda a área do experimento no ano de 1995); **6** meses = primeiro corte das leguminosas (no ano agrícola de 95/96); **18** meses = no corte das leguminosas no ciclo 96/97; **36** meses = amostragem realizada no ano agrícola de 97/98 e **96** meses = oito anos após implantação do experimento (amostragem realizada em 04/03, após a colheita do milho) no ano agrícola de 2002/2003.

### **3.4. AMOSTRAGEM E CARACTERÍSTICAS AVALIADAS**

#### **3.4.1. Coleta e preparo das amostras**

Foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 40 x 40 cm, em cada parcela experimental e no momento da coleta das amostras para estabilidades de agregados, foram separados, mediante peneiramento, os agregados no intervalo de 9,52 e 4,76 mm de diâmetro, sendo que os agregados que ficaram na peneira de 4,76 mm foram acondicionados em frascos de plástico liso e posteriormente levados para análise. Estas amostras de solo foram utilizadas para caracterização física e para o estudo da forma e da área dos agregados nas diferentes classes.

Foram coletadas amostras de solos em duas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. As amostras (indeformadas) destinadas a análises de densidade e macro e microporosidade foram coletadas em anel de aço inox com aproximadamente cinco centímetros de altura por cinco centímetros de diâmetro. As amostras deformadas foram coletadas com trado, na profundidade de 0 a 20 cm, em diferentes pontos da parcela constituindo uma amostra composta. A coleta se realizou em abril de 2003, após a colheita do milho.

As amostras foram secas ao ar antes de serem submetidas a qualquer tratamento ou análise. As de estruturas deformadas foram destorroadas e passadas em peneira de dois mm de malha, constituindo-se a terra fina seca ao ar (T.F.S.A.).

### **3.5. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS**

#### **3.5.1. Atributos físicos do solo**

##### **3.5.1.1. Densidade do solo**

Utilizou-se metodologia descrita por Embrapa (1997), que consiste no uso de anéis volumétricos de volume conhecido. A densidade do solo foi então

obtida pela razão entre a massa da amostra seca a 105 a 110° C e o volume do cilindro.

### **3.5.1.2. Densidade de partículas**

Para densidade de partículas, adotou-se o método do balão volumétrico (Embrapa, 1997), utilizando-se das mesmas amostras coletadas para o estudo da densidade do solo.

### **3.5.1.3. Porosidade total**

O volume total dos poros (Pt), foi calculado usando os valores da densidade do solo (Ds) e densidade de partícula (Dp), por meio da equação proposta por Vomocil (1965).

$$Pt = 100. (Dp - Ds).Dp^{-1}$$

### **3.5.1.4. Macro e microporosidade do solo**

O método utilizado foi descrito por Grohmann (1960), usando “unidades de sucção”. As determinações foram realizadas em amostras com estrutura indeformada, empregando 60 cm de altura de água para medir a porosidade capilar (microporosidade) e a não capilar (macroporosidade). A percentagem de água retida nas amostras, após equilíbrio, corresponde a microporosidade do solo, e a macroporosidade foi dada pela diferença entre a porosidade total e a capilar.

### **3.5.1.5. Estabilidade de agregados do solo**

Adotou-se a técnica descrita por Kemper & Chepil (1965), que separa os agregados em função de seus diâmetros, usando um jogo de peneiras de diversas malhas. As amostras sofreram um pré-tratamento que consiste no umedecimento lento por meio de atomização das mesmas com água destilada, procedendo-se à análise propriamente dita 2 horas após o pré-tratamento.

O método de agitação é uma proposição de Yoder (1936), em que o jogo de peneiras é adaptado a um dispositivo mecânico que apresenta um movimento de oscilação vertical (cerca de trinta por minuto), dentro de um recipiente com água deionizada. Os agregados foram separados nas seguintes

amplitudes de diâmetro: menor que 0,105 mm; 0,105 a 0,250 mm; 0,250 a 0,50 mm; 0,50 a 1,00 mm; 1,00 a 2,00 mm e maior que 2,00 mm. Para a expressão dos resultados e comparação entre os tratamentos, utilizou-se o índice “diâmetro médio ponderado” (Baver et al., 1973).

#### **3.5.1.6. Análise textural**

Na análise textural, a dispersão mecânica utilizada foi à agitação lenta por 16 h, a 50 rpm, discriminada como M2, o método tradicional (M1) consta de agitação rápida, feita em coqueteleiras durante 15 minutos. Utilizou-se de 10 g de terra fina seca ao ar. A dispersão química foi por meio do NaOH 0,1 mol/L e 150 mL de água deionizada, segundo metodologia proposta pela Embrapa (1997), adaptada por Ruiz (2003).

#### **3.5.1.7. Argila dispersa em água**

Na determinação da argila dispersa em água, adotou-se a metodologia descrita por Jucksch (1987). Utilizou-se de 30 g de terra fina seca ao ar mais 100 mL de água deionizada, os quais foram acondicionados em frascos de 200 mL e agitados durante três horas em um agitador horizontal de 200 oscilações por minuto. Em seguida, o material foi transferido para uma proveta de 500 mL. Completou-se o volume da proveta com água deionizada e depois de calculado o tempo necessário para a sedimentação do silte nos 5 cm superiores da proveta, por meio da Lei de Stokes, determinou-se a argila dispersa em água (ADA) por meio do método da pipeta, de acordo com o método proposto pela EMBRAPA (1997).

#### **3.5.1.8. Grau de dispersão e grau de floculação**

Para efeito de cálculos do grau de dispersão e grau de floculação do solo, foram utilizadas as equações que se seguem:

$$\text{Grau de dispersão} = (\text{Argila Dispersa em Água (ADA)} / \text{Argila Total}) \cdot 100$$

$$\text{Grau de floculação} = (\text{Argila Total} - \text{ADA} / \text{Argila Total}) \cdot 100$$

### **3.5.2. Atributos químicos do solo**

Foram feitas análises químicas de rotina com o objetivo de caracterizar o solo e auxiliar na discussão dos resultados. O pH em água seguiu a proporção solo-líquido de 1:2,5; Os teores de  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  foram extraídos com KCl 1 mol/L; P e K extraídos com Mehlich-1 e a matéria orgânica determinada pelo processo de Walkley-Black (EMBRAPA, 1997).

### **3.5.3. Morfologia de agregados**

As análises de morfologia de agregados foram procedidas com aqueles agregados que permaneceram no intervalo de 4,76 a 9,52 mm de diâmetro e na camada de 0 a 10 cm de profundidade. O estudo dos agregados foi realizado após a obtenção de imagens dos agregados com o uso de um *scanner* (HP 6100C, com capacidade de resolução ótica de 1.200 dpi) e o posterior processamento destas imagens pelo programa de computador QUANTPORO. Uma amostra de 100 agregados de cada parcela foi espalhada sobre o *scanner*, os mesmos foram separados mediante utilização de um tabuleiro com furos desencontrados. O programa QUANTPORO tem a capacidade para processar e analisar diferentes imagens e de medir ou avaliar características morfológicas de objetos em geral. Para o estudo em questão, optou-se por uma resolução de 300 dpi para análise dos agregados. Na preparação das imagens para posterior análise, utilizou-se do sistema de cores RGB, onde as cores são formadas a partir da combinação dos comprimentos de onda vermelho, verde e azul. Segundo Viana (2001), estas cores são combinadas para produzir a imagem colorida, e a informação contida em cada pixel é composta pelos valores relativos destas. Depois de obtida a imagem RGB, a mesma foi submetida a uma filtragem através do filtro de mediana que opera substituindo os valores de cada pixel pelo valor da mediana dos pixels da vizinhança. Seu efeito principal consiste na redução de pixels isolados, grande parte destes ruídos ou artefatos, que ocasionam distorções principalmente nas medidas de perímetro. Todas as imagens ainda foram convertidas em sua forma binária, ou seja, constituída apenas pelas cores preto e branco por meio do comando threshold do programa.

A obtenção das imagens pode ser feita com o uso do Adobe Photoshop ou ACDsee, e, após o processamento pelo QUANTPORO, as medidas estão disponíveis em unidades do Sistema Internacional. As características analisadas de cada agregado são: Área, perímetro, comprimento do maior e do menor eixo, grau de arredondamento (aspecto), grau de rugosidade, as quais estão explicitadas a seguir:

- Área: é medida com o número de pixels no polígono;
- Perímetro: o comprimento da projeção do limite exterior do agregado;
- Aspecto: fornece o resultado entre 0 e 1, e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento. É calculado a partir da fórmula:  $(4 \times \pi \times \text{área})/\text{perímetro}^2$ ;
- Rugosidade: expressa as estrias do agregado, sendo que, quanto mais liso mais próximo de 1;
- Comprimento do maior eixo: o comprimento de uma linha que pode ser traçada através do agregado;
- Comprimento do menor eixo: o comprimento de uma linha que pode ser traçada perpendicularmente ao maior eixo que corte o agregado;

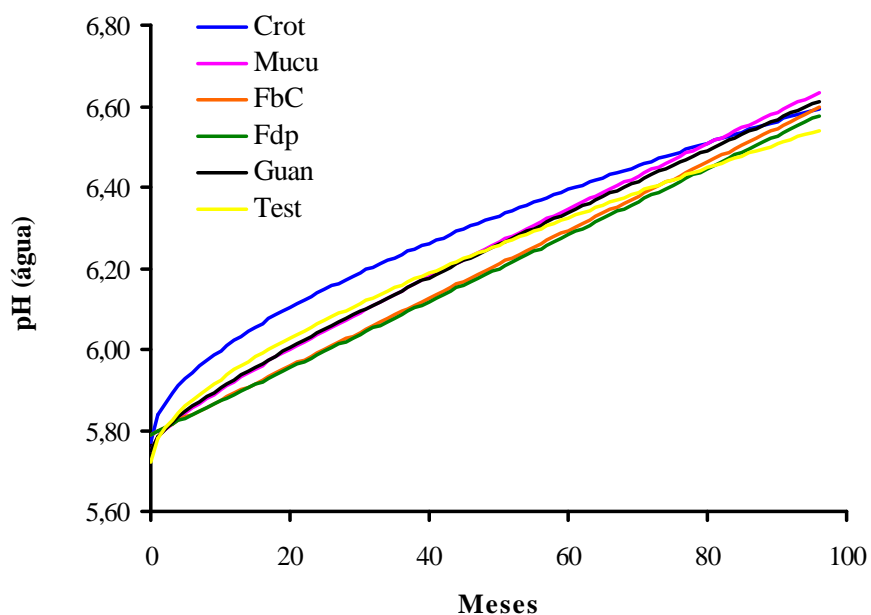
#### **3.5.4. Análises estatísticas**

Os resultados obtidos para as características físicas, químicas do solo e a morfologia dos agregados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e para análises de evolução dos dados ao longo dos anos, utilizou-se de análise de regressão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Alterações nas características químicas do solo

O pH em água apresentou-se estável nos primeiros meses do experimento, para todos os tratamentos, mostrando a relativa homogeneidade do solo na área experimental, e que nestes primeiros momentos, não houve influência dos tratamentos nesta característica (FIGURA 1) . Porém após oito anos de implantação do experimento, observou-se que o pH em água aumentou, para todos os tratamentos, inclusive para testemunha. Neste particular, observou-se que os adubos verdes juntamente com a palhada do milho e as espontâneas são os causadores da elevação do pH em água. A palhada do milho, os restos culturais das leguminosas e as espontâneas vem sendo deixados sobre a superfície do solo a cada ano, inclusive na testemunha (que não é consorciada com nenhum adubo verde). No caso da testemunha, a influência maior é por parte das espontâneas e da palhada do milho, que são numerosas nas parcelas. Esse aumento de pH em função da permanência de resíduos vegetais sobre o solo, é verificado por diversos autores, dentre os quais pode-se citar (Hoyt & Turner, 1975; Hue & Amien, 1989; Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999b; Cassiolato et al., 1999), que afirmam que além da técnica de neutralização do  $H^+$  e  $Al^{3+}$  em solos ácidos por meio da aplicação de calcário, outra forma pode ser a aplicação de resíduos orgânicos no solo, na forma de esterco de animais, compostos e resíduos vegetais.



Crotalária	$\hat{y} = 5,77 + 0,06618^* \sqrt{x} + 0,001844^{**} x$	$R^2 = 0,897$
Mucuna	$\hat{y} = 5,75 + 0,02720^* \sqrt{x} + 0,001844^{**} x$	$R^2 = 0,952$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 5,79 + 0,0084^{**} x$	$R^2 = 0,967$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 5,79 + 0,0082^{**} x$	$R^2 = 0,956$
Guandu	$\hat{y} = 5,75 + 0,03017^0 \sqrt{x} + 0,005903^{**} x$	$R^2 = 0,956$
Testemunha	$\hat{y} = 5,72 + 0,05615^* \sqrt{x} + 0,002824^{**} x$	$R^2 = 0,982$

FIGURA 1. Variação do pH do solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

A matéria orgânica é amplamente conhecida como uma das mais importantes fontes de acidificação do solo, principalmente porque contém grupos carboxílicos com terminais ácidos que ao se dissociarem liberam hidrogênio na solução do solo (Pavan, 1997). Porém atualmente muito se tem questionado quanto a este comportamento da matéria orgânica, pois inúmeros trabalhos têm demonstrado que, as técnicas de manejo de resíduos de cultura, plantas espontâneas, compostos, esterco e outros materiais orgânicos, plantio direto, consorciação de culturas e outros, são técnicas identificadas como efetivas para o manejo sustentável dos solos ácidos e/ou degradados. Segundo Pavan (1997), o aspecto mais importante é que essas técnicas de manejo aumentam a produção e diminuem as perdas de ânions orgânicos solúveis, responsáveis pela adsorção de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  da solução do solo. Segundo o mesmo autor, aumentar a produção de ânions orgânicos com  $pK_a$  superior ao pH do solo, significa maior adsorção de  $H^+$  da solução do solo e conseqüente

aumento de pH. Miyazawa et al. (1993) e Meda et al. (1999) observaram o comportamento de diversos resíduos vegetais na neutralização da acidez do solo, além da toxidez de  $Al^{3+}$ , e a manutenção de resíduo vegetal na superfície dos solos reduzindo também a toxidez de Mn (Andrade et al., 1999). Muitos autores afirmam que os resíduos vegetais apresentam capacidade diferenciada quanto à neutralização da toxidez por  $Al^{3+}$ , em virtude de suas diferenças quanto aos teores de cátions e carbono orgânico solúvel que, normalmente, são maiores em resíduos de adubos verdes, tais como: aveia preta, nabo forrageiro, tremoços, mucunas e crotalárias. Para as condições do experimento, as diferentes leguminosas, a palhada do milho + espontâneas, influenciaram essa elevação do pH, contribuindo para manutenção dos cátions no sistema, tais como,  $Ca^{2+}$  cuja variação ao longo dos anos não se mostrou significativa e  $Mg^{2+}$ , que ao longo dos anos aumentou em todos os tratamentos. Esses resultados corroboram com Franchini et al. (1999), que ao incubarem resíduos de nabo, soja e trigo finamente moídos em amostras de três solos ácidos e avaliando as alterações químicas ocorridas, constataram que o  $Ca^{2+}$  na solução dos solos tratados com resíduos de nabo, aumentou em valores de pH inferiores a 6,0.

Com relação aos valores de soma de bases (QUADRO 1), observa-se que nos primeiros anos de implantação do experimento os valores aumentaram para todos os tratamentos, evidenciando o efeito da ciclagem de nutrientes. Após oito anos de consorciação, embora não havendo diferença significativa pelo teste de F entre os demais tratamentos, observa-se que a testemunha apresenta um menor valor de soma de bases em comparação com os demais tratamentos. Para as condições do experimento, talvez seja necessário um período maior de tempo para se verificar diferenças mais acentuadas entre os tratamentos consorciados e a testemunha. Os maiores valores de soma de bases nos tratamentos consorciados em comparação com a testemunha, ao longo dos oito anos de experimento, evidenciam que houve aumento dos cátions trocáveis no solo devido à ciclagem promovida pelas leguminosas. No entanto, constata-se que este aumento ocorreu, exclusivamente, para o magnésio em relação à primeira amostragem, não sendo observado para cálcio e potássio. Uma das justificativas para explicar esse comportamento, é a condição de exportação nutricional por parte da colheita do milho.

QUADRO 1. Resultados das análises químicas de amostras de solo dos diferentes tratamentos, ao longo dos anos, no experimento em estudo, Sete Lagoas, MG.

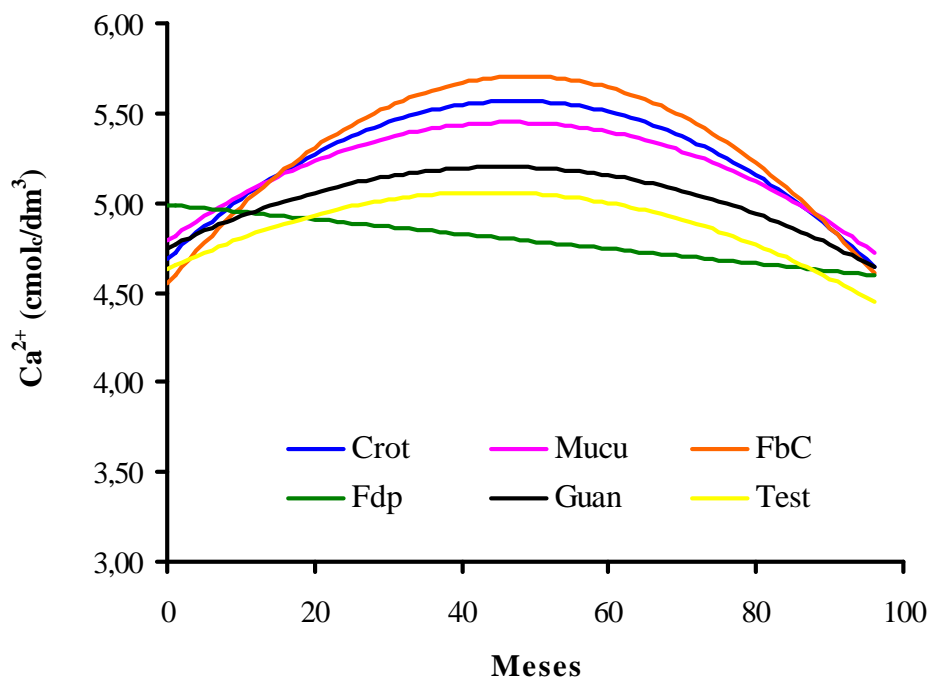
Características	Meses	Crotalária	Mucuna	Feijão-b-c	Feijão-d-p	Guandú	Teste,
<b>pH</b> (água)	0	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70
	6	6,12	5,97	5,92	5,94	5,97	5,92
	18	6,02	5,98	5,93	5,96	5,95	6,04
	36	6,16	6,06	6,12	6,07	6,08	6,10
	96	6,62	6,66	6,58	6,58	6,63	6,56
<b>Al<sup>3+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,01	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02
	18	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03
	36	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
	96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>H+Al</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42
	6	3,66	4,45	3,90	5,59	4,45	4,64
	18	3,55	3,59	3,69	3,66	3,81	3,65
	36	4,38	4,72	4,24	4,76	4,78	4,69
	96	3,85	3,05	2,88	4,95	3,48	3,80
<b>Ca<sup>2+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01
	6	4,33	4,44	4,20	4,95	4,44	4,29
	18	5,51	5,65	5,33	4,84	5,20	4,82
	36	5,47	5,25	5,74	4,97	5,18	5,21
	96	4,65	4,71	4,59	4,57	4,64	4,42
<b>Mg<sup>2+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	I	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	II	0,70	0,63	0,64	0,60	0,63	0,58
	III	1,07	1,06	1,03	0,62	0,98	0,64
	IV	0,68	0,64	0,80	0,63	0,61	0,68
	V	0,88	0,81	0,83	0,84	0,78	0,80
<b>K<sup>+</sup></b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	I	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
	II	0,11	0,13	0,14	0,15	0,13	0,12
	III	0,12	0,10	0,11	0,14	0,14	0,16
	IV	0,09	0,10	0,12	0,08	0,08	0,10
	V	0,09	0,06	0,09	0,10	0,09	0,08
<b>P</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	I	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
	II	10,63	10,84	10,75	11,75	10,84	10,22
	III	11,38	11,88	11,38	11,25	12,25	10,50
	IV	12,42	9,28	9,14	8,87	6,67	8,15
	V	5,38	3,90	4,18	4,68	4,45	4,00
<b>SB</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
	6	5,14	5,20	4,98	5,69	5,20	4,99
	18	6,70	6,81	6,46	5,59	6,31	5,61
	36	6,24	5,99	6,66	5,68	5,87	5,99
	96	5,62	5,58	5,51	5,51	5,51	5,30
<b>CTC</b> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0	9,32	9,32	9,32	9,32	9,32	9,32
	6	8,80	9,64	8,87	11,28	9,64	9,63
	18	10,25	10,39	10,15	9,25	10,12	9,26
	36	10,62	10,71	10,90	10,44	10,65	10,68
	96	9,47	8,63	8,39	10,46	8,99	9,10
<b>M,O</b> , (mg/g)	0	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
	6	32,30	32,45	32,95	32,55	32,45	32,00
	18	32,05	32,35	32,30	32,35	31,30	31,70
	36	33,15	33,70	34,31	33,74	33,07	31,89
	96	29,30	29,20	29,00	29,00	28,90	28,40

0 = antes da implantação do experimento (uma amostragem em toda a área do experimento); 6 meses = no primeiro corte das leguminosas no ciclo 95/96; 18 meses = no segundo corte das leguminosas no ciclo 96/97; 36 meses = amostragem realizada no ano agrícola 97/98; 96 meses = amostragem realizada em 04/03, no ano agrícola de 2002/2003.

De acordo com Malavolta (1980), as quantidades dos macronutrientes catiônicos, K, Ca e Mg extraídos e exportados pela cultura do milho, numa produtividade estimada de 6,4 t.ha<sup>-1</sup>, são: 30; 0,4; 10 kg.ha<sup>-1</sup> nos grãos; 12; 0,7; 0,9 kg.ha<sup>-1</sup> na palha + sabugo; 215; 34,9; 37,1 kg.ha<sup>-1</sup> no colmo + folhas, para K, Ca e Mg respectivamente. O potássio é o nutriente mais exigido dos três, pela cultura do milho. Os grãos, juntamente com a palha + sabugo, são responsáveis pela exportação de uma quantidade significativa de K e de Ca.

Os maiores valores de soma de bases foram encontrados para o tratamento consorciado com crotalária, justamente este tratamento apresentou maiores teores de magnésio ao longo dos anos. Isto está de acordo com os comentários feitos por Alvarenga (1993), que ressaltou que a crotalária imobiliza maiores quantidades de magnésio se comparada aos demais adubos verdes, fato este devido ao seu sistema radicular que tem como característica altas densidades no perfil, explorando maior volume de solo. O mesmo autor resalta ainda que a crotalária juncea apresenta relação C/N mais larga e por isso irá liberar os nutrientes imobilizados mais lentamente. Segundo Campo et al. (1981), a crotalária juncea é muito lenhosa, por conter altos teores de lignina e celulose na sua estrutura, o que lhe confere uma decomposição mais lenta no solo.

O tratamento que apresentou maiores quantidades acumuladas de cálcio, ao longo dos meses, foi à consorciação de milho com feijão-bravo-do-Ceará, sendo que a testemunha foi a que menos acumulou cálcio no solo, no final dos oito anos de estudo, embora essas diferenças não foram significativas entre os tratamentos pelo teste F, em nenhuma época amostrada. (FIGURA 2). Observou-se que o tratamento consorciado com feijão-de-porco apresentou uma tendência linear de queda nos teores de Ca<sup>2+</sup> no solo, evidenciando a maior exportação por parte dessa leguminosa em relação às demais, pra esse nutriente.



Crotalaria	$\hat{y} = 4,69 + 0,0370 x - 0,00039^{**} x^2$	$R^2 = 0,519$
Mucuna	$\hat{y} = 4,79 + 0,0281 x - 0,00030^{**} x^2$	$R^2 = 0,393$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 4,55 + 0,0476 x - 0,00049^{**} x^2$	$R^2 = 0,580$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 4,99 - 0,0041^0 x$	$R^2 = 0,808$
Guandu	$\hat{y} = 4,75 + 0,0198 x - 0,000218^* x^2$	$R^2 = 0,409$
Testemunha	$\hat{y} = 4,63 + 0,0196 x - 0,000224^* x^2$	$R^2 = 0,365$

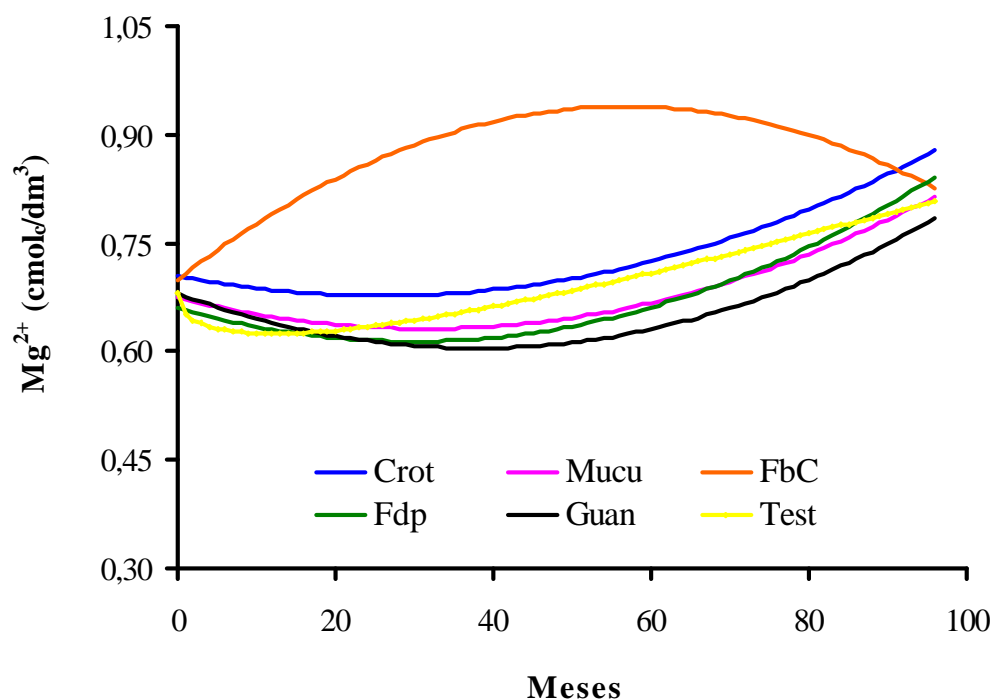
FIGURA 2. Variação do  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

De acordo com a FIGURA 3, observa-se que o tratamento consorciado com feijão-bravo-do-Ceará foi o único que apresentou uma tendência de elevação exponencial nos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, ao longo do tempo. Constatou-se através de análise de regressão dos dados que os demais tratamentos proporcionaram diminuição dos teores de magnésio no solo, nos primeiros meses, e depois elevaram ao longo do tempo. Esse comportamento talvez esteja ligado ao fato de que o material vegetal depositado no solo, começa a ser decomposto e eventualmente ocorre à liberação das bases no solo.

Com relação ao potássio, observa-se na FIGURA 4 que os teores no solo foram diminuindo ao longo dos anos de consórcio, sendo que para a testemunha, essa tendência também é verificada. Essa diminuição na

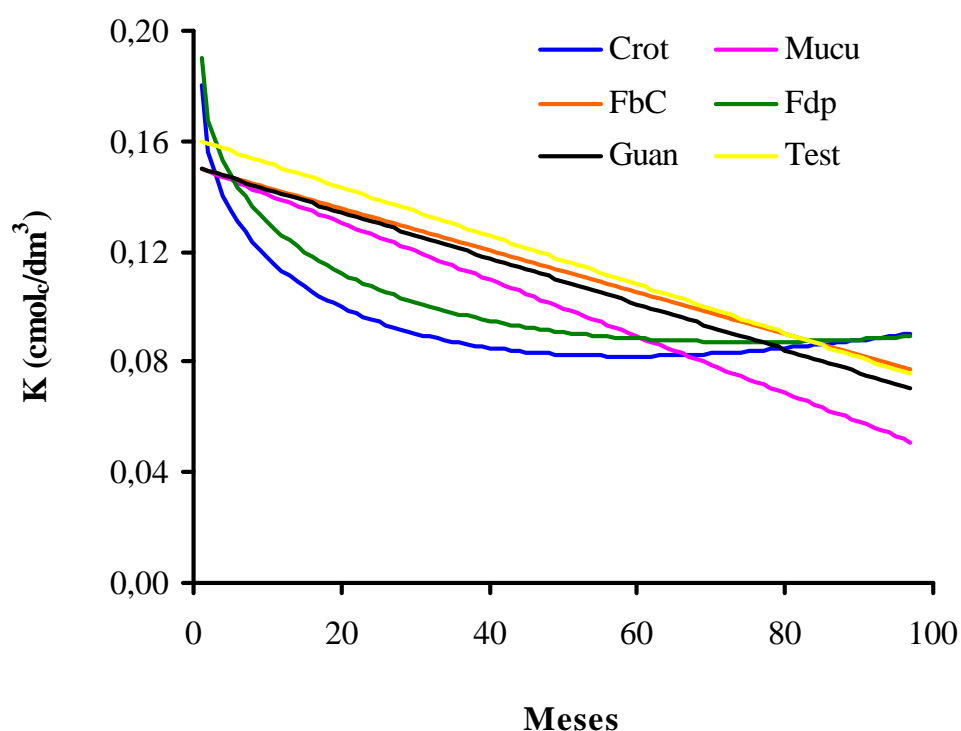
quantidade do nutriente disponível no solo, pode ser atribuída ao sistema de exploração anual do milho, onde a única fonte exaurível do solo, em termos nutricionais, seria a produção de grãos + palha + sabugo, além da lixiviação do potássio no perfil do solo. Quanto a isso, Quaggio et al (1982), cita que a lixiviação de cátions, particularmente do potássio, é influenciada pela capacidade de troca catiônica, que por sua vez, está relacionada com o pH do solo e com teores de cálcio e magnésio. Com relação à influência da calagem sobre a lixiviação e K em solos tropicais, é comum encontrar citações segundo as quais os solos ácidos, corrigidos com calcário retêm mais K do que os não corrigidos. A redução das perdas de potássio pela calagem está associada ao aumento da retenção de bases provocadas pela liberação de cargas negativas dependentes de pH.

Verificou-se que houve uma queda nos primeiros meses e depois uma tendência de estabilização dos teores de potássio no solo, por parte da crotalária e do feijão-de-porco, fenômeno este atribuído à ciclagem de nutrientes no solo. Este fato corrobora com o encontrado por Giacomini et al. (2000), estudando a decomposição e liberação de N, P e K de resíduos culturais de aveia, nabo e ervilhaca, em cultura pura e consorciados e que foi observado que a decomposição dos resíduos culturais e a liberação de nutrientes dos mesmos apresentam uma dinâmica semelhante, com duas fases distintas. A primeira, com taxas mais elevadas, nos primeiros 29 dias e a segunda, mais lenta, a partir deste tempo. A rápida taxa inicial de diminuição de matéria seca é atribuída à remoção da fração solúvel em água pela chuva além da facilidade de decomposição microbiana desta fração, mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo. Esse efeito de ciclagem, como comentado anteriormente, deve ser atribuído a palhada do milho, das plantas espontâneas e das leguminosas incorporadas ao solo.



<b>Meses</b>		
Crotalária	$\hat{y} = 0,70 - 0,00213^{**} x + 0,00004^0 x^2$	$R^2 = 0,997$
Mucuna	$\hat{y} = 0,68 - 0,00277^{**} x + 0,000044^0 x^2$	$R^2 = 0,919$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 0,70 + 0,00841^* x - 0,000074^{**} x^2$	$R^2 = 0,283$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 0,66 - 0,00310^{**} x - 0,000052^* x^2$	$R^2 = 0,895$
Guandu	$\hat{y} = 0,68 - 0,0040^* x + 0,000053^* x^2$	$R^2 = 0,929$
Testemunha	$\hat{y} = 0,68 - 0,032 \sqrt{x} + 0,00461 x$	$R^2 = 0,858$

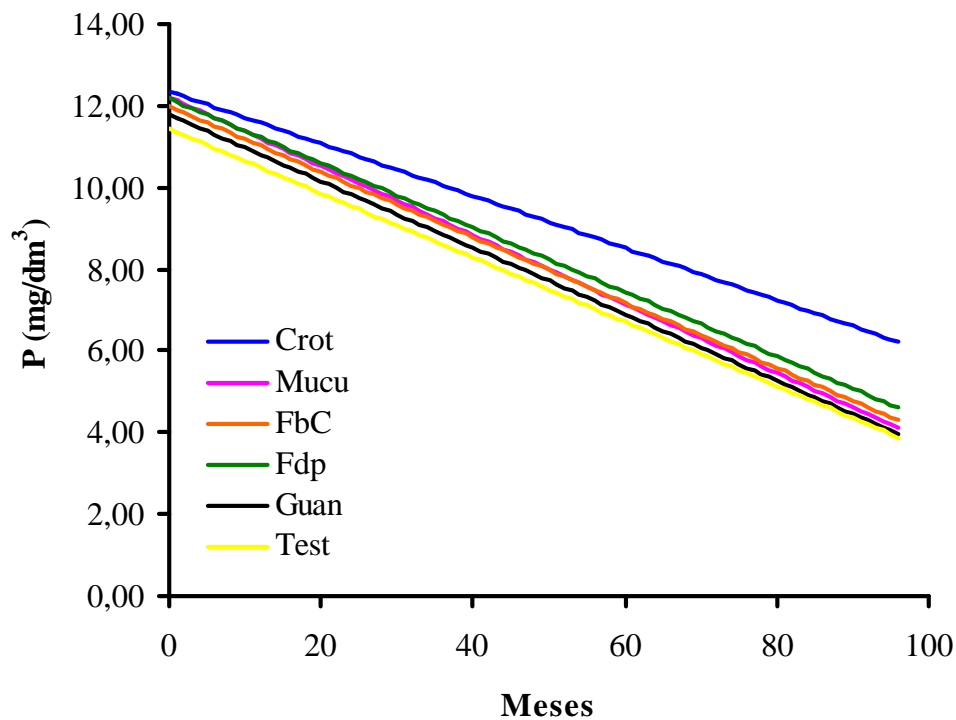
FIGURA 3. Variação dos teores de magnésio no solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.



Crotalária	$\hat{y} = 0,18 - 0,0258 \sqrt{x} + 0,0017x$	$R^2 = 0,894$
Mucuna	$\hat{y} = 0,15 - 0,00103^* x$	$R^2 = 0,656$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 0,15 - 0,00076^0 x$	$R^2 = 0,557$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 0,19 - 0,0239^0 \sqrt{x} + 0,00139^0 x$	$R^2 = 0,899$
Guandu	$\hat{y} = 0,15 - 0,00083^* x$	$R^2 = 0,517$
Testemunha	$\hat{y} = 0,16 - 0,00088^* x$	$R^2 = 0,608$

FIGURA 4. Variação dos teores de potássio no solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Para o fósforo, observa-se uma tendência linear de queda nos teores desse nutriente no solo, para todos os tratamentos (FIGURA 5). Constatou-se ao final de oito anos que o tratamento com crotalária juncea apresentou maior quantidade de fósforo no solo em relação ao demais tratamentos. Essa diminuição na última amostragem, evidencia a exploração que a cultura do milho vem exercendo neste solo.

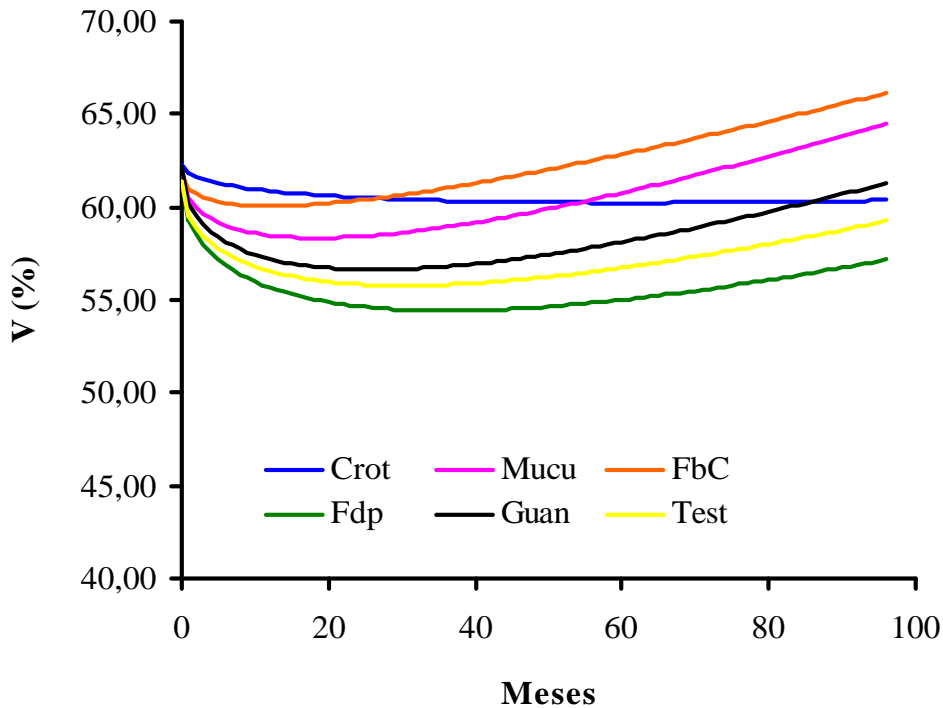


Crotalária	$\hat{y} = 12,35 - 0,0639^{**} x$	$R^2 = 0,748$
Mucuna	$\hat{y} = 12,21 - 0,0844^{**} x$	$R^2 = 0,949$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 11,98 - 0,0800^{**} x$	$R^2 = 0,968$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 12,17 - 0,0788^{**} x$	$R^2 = 0,987$
Guandu	$\hat{y} = 11,78 - 0,0814^{**} x$	$R^2 = 0,816$
Testemunha	$\hat{y} = 11,43 - 0,0786^{**} x$	$R^2 = 0,966$

FIGURA 5. Variação dos teores de fósforo no solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Quanto à porcentagem de saturação por bases (V%), observam-se curvas de variação diferenciada entre os tratamentos e ao longo dos anos (FIGURA 6). No primeiro ano de avaliação do experimento, os valores de V(%) decaem, uma vez que as leguminosas estão exaurindo cátions do solo, posteriormente, observa-se que os valores de V(%) passam a ser mais elevados, fato este decorrente da incorporação dos adubos verdes ao solo. Este comportamento é observado ainda nos anos subseqüentes porém ao longo dos oito anos constata-se que praticamente não houve variação nos valores de V(%) do solo. O tratamento consorciado com Feijão-bravo-do-Ceará foi o que proporcionou maior elevação nos valores de V(%), já o feijão-de-porco foi o que menor valor

apresentou ao longo dos oito anos de condução do experimento. O tratamento consorciado com crotalária apresentou menos variação que os demais tratamentos, ao longo do tempo, demonstrando quase uma tendência linear dos dados.



Crotalária	$\hat{y} = 62,28 - 0,5243 \sqrt{x} + 0,0336 x$	$R^2 = 0,060$
Mucuna	$\hat{y} = 62,08 - 1,7460 \sqrt{x} + 0,2035 x$	$R^2 = 0,245$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 61,87 - 1,0520 \sqrt{x} + 0,1519 x$	$R^2 = 0,417$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 61,38 - 2,3140 \sqrt{x} + 0,1924 x$	$R^2 = 0,297$
Guandu	$\hat{y} = 62,18 - 2,1710 \sqrt{x} + 0,2124 x$	$R^2 = 0,339$
Testemunha	$\hat{y} = 61,45 - 2,0640 \sqrt{x} + 0,1878 x$	$R^2 = 0,292$

FIGURA 6. Variação do V(%) no solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Vale ressaltar que, embora os tratamentos tenham apresentado curvas diferenciadas ao longo dos anos, não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F, em nenhuma época amostrada.

Com relação aos valores de Matéria Orgânica do solo (M.O.) (QUADRO 1), observa-se que os materiais vegetais deixado sobre o solo, não contribuíram para elevação dos valores desta no solo, ao contrário, nota-se uma tendência de diminuição nas quantidades de M.O. ao longo do tempo. Também se

constatou que não houve diferença significativa pelo teste F, para essa variável, entre os tratamentos.

Essas diferenças com relação ao acúmulo de matéria orgânica não foram verificadas, provavelmente, devido ao fato de que o sistema de manejo do solo adotado foi o sistema convencional, em que o material vegetativo foi incorporado no solo todos os anos por meio de grade aradora e niveladora, além da homogeneização dos tratamentos com a passagem do triton. Isso possibilitou maior oxidação da matéria orgânica no solo e conseqüentemente diminuição dos valores ao longo do tempo. As culturas anuais, em sistema de plantio convencional, estão associadas, geralmente, com redução do nível de matéria orgânica do solo, porque as práticas da aração, gradagem, cultivo, favorecem a decomposição da matéria orgânica, além disso, absorvem e exportam N.

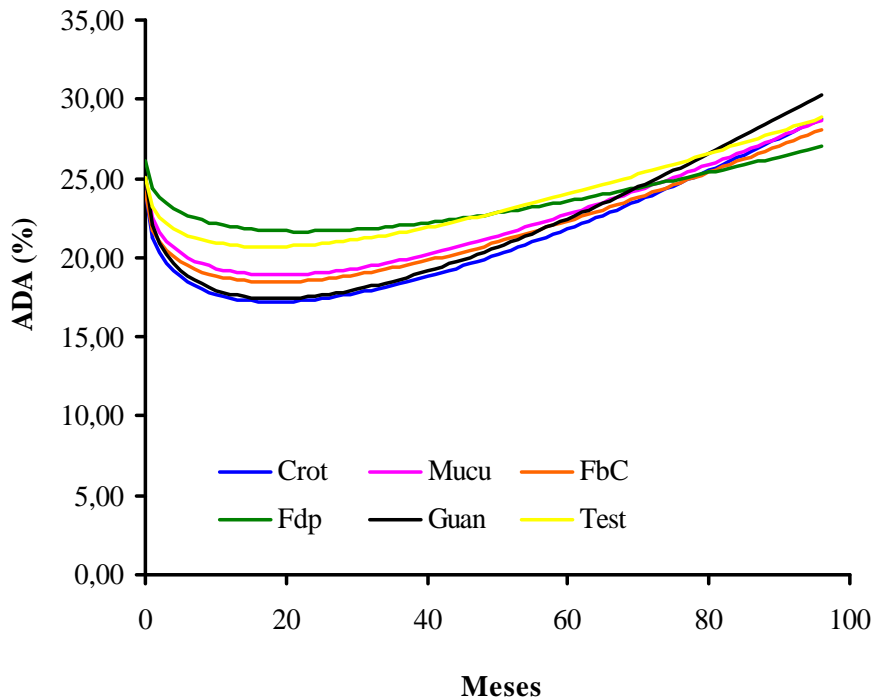
Segundo Malavolta (1976), o que pode contribuir para a diminuição dos teores de matéria orgânica, é a competição, entre planta e microorganismo, pelo nitrogênio disponível. Segundo o mesmo autor, quando se adiciona, ao solo, restos de culturas com uma relação C/N alta, 50 por exemplo, como é o caso do colmo e da palhada do milho, verifica-se que a flora heterotrófica (que necessita de carbono fixado para viver) multiplica-se rapidamente o que significa maior produção de CO<sub>2</sub>. Esses organismos também necessitam de N para viver, assim retiram do solo, já que a proporção no resto incorporado é pequena, essa é a fase de imobilização do N. Prosseguindo a decomposição dos restos encontrados, a relação C/N dos mesmos diminui porque perdem carbono na forma de CO<sub>2</sub> e conservam parte do nitrogênio. Na falta do C facilmente oxidável, a atividade dos organismos decompositores diminui, isto se traduz em menor produção de CO<sub>2</sub> e na liberação de nitrogênio mineral (mineralização).

## 4.2. Alterações nas características físicas do solo

Os valores de argila dispersa em água (ADA) elevaram ao longo dos anos, mais especificamente a partir do quarto ano de implantação do experimento (FIGURA 7).

Constatou-se que nos primeiros anos o efeito da ciclagem dos nutrientes no solo foi evidente, contribuindo para uma diminuição dos valores de argila dispersa em água e, conseqüentemente, aumento da floculação entre as partículas de argila do solo, fato este verificado para todos os tratamentos; Porém ao longo dos anos essa tendência não foi mantida, a partir do quarto ano os valores de argila dispersa em água elevaram. O aumento do pH em água significa um aumento de cargas neste solo, que por ser Latossolos, é formado por minerais do tipo óxidos de Fe e Al e caulinita, tendo como tipos de cargas, principalmente as dependentes de pH. Observou-se, nas condições desse experimento, correlação positiva entre as variáveis pH em água e argila dispersa em água, da ordem de 0,8087 com grau de significância de 1%. Segundo Mitchell (1976), o aumento de cátions no sistema, proporciona neutralização dos agentes cimentantes ou de agregação, substituindo íons na dupla camada difusa dos colóides do solo por íons de menor valência e maior raio hidratado. Segundo o mesmo autor as suspensões estáveis ou a dispersão de argila freqüentemente requerem condições de pH elevado. Resultados semelhantes foram encontrados por Eltz et al. (1989) e Paladini e Mielniczuk (1991). A matéria orgânica teve coeficiente de correlação com a argila dispersa de -0.8405, significativo a 1%, ou seja, o aumento da argila dispersa em água contrapõe com a diminuição na matéria orgânica do solo, fato também observado por Carvalho Júnior (1995). Para esse autor, esse resultado é contraditório, já que a matéria orgânica deveria contribuir em cargas para estes solos, mas, a resposta pode estar na qualidade da matéria orgânica. Para Malavolta (1976), a matéria orgânica atua como agente cimentante para as partículas do solo, produzindo agregados estáveis em água, a ligação entre a fração mineral e a orgânica parece ser devida ao estabelecimento de pontes de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ , dependendo do solo considerado. Se a matéria orgânica não estiver sendo eficiente no processo de agregação, ocorrerão condições favoráveis para a eluviação da fração mineral no solo.

Outro fator, embora contraditório na literatura, que contribui para o aumento dos índices de argila dispersa em água, é a utilização de gradagens no preparo do solo, que ocasiona dano físico aos agregados, essa destruição parcial dos agregados e redução do nível de agregação do solo, pode levar a uma eluviação das partículas dispersas (Fonseca ,1986).



Crotalária	$\hat{y} = 24,29 - 3,224^{**} \sqrt{x} + 0,3781^{**} x$	$R^2 = 0,648$
Mucuna	$\hat{y} = 24,96 - 2,808^{**} \sqrt{x} + 0,3254^{**} x$	$R^2 = 0,760$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 24,10 - 2,653^{**} \sqrt{x} + 0,3127^{**} x$	$R^2 = 0,606$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 26,14 - 1,915^{**} \sqrt{x} + 0,2044^{**} x$	$R^2 = 0,743$
Guandu	$\hat{y} = 25,22 - 3,634^{**} \sqrt{x} + 0,4231^{**} x$	$R^2 = 0,779$
Testemunha	$\hat{y} = 25,01 - 2,096^{**} \sqrt{x} + 0,2538^{**} x$	$R^2 = 0,830$

FIGURA 7. Variação da argila dispersa em água no solo, ao longo dos anos, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Com relação ao efeito do consórcio na argila dispersa em água, observou-se que houve significância pelo teste F , porém não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Para os valores de densidade do solo, densidade de partícula, porosidade total, macroporosidade e microporosidade (QUADRO 2), não se observaram diferenças significativas pelo teste F entre os tratamentos, porém, entre as profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm observou-se diferenças pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Em se tratando da influência do manejo convencional nas propriedades acima descritas, observa-se que quando do revolvimento do solo a estrutura original deste solo vem sendo modificada em razão do fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com conseqüente redução de macroporos e aumento de microporos o que, em longo prazo, nas condições do experimento, pode resultar em camadas mais compactadas do solo. O fato de ter ocorrido elevação do pH pode, em longo prazo, influenciar de maneira consistente a formação de camadas compactadas, principalmente pelo conseqüente aumento da argila dispersa em água, fato aventado também por Jucksch (1987).

QUADRO 2. Resultados das análises físicas de amostras de solo dos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Tratamentos	Prof,	DS*	DP*	PT*	MICROP*	MACROP*
	--- cm ---	----- g/cm <sup>3</sup> -----		----- % -----		
Crotalaria	0 a 10	0,97a <sup>1</sup>	2,53 a	61 a	38 a	23 a
	10 a 20	1,10b	2,60 b	58 b	42 b	16 b
Mucuna-preta	0 a 10	1,00a	2,48 a	60 a	39 a	21 a
	10 a 20	1,10b	2,58 b	58 b	41 b	17 b
Feijão-b-C	0 a 10	0,95a	2,56 a	63 a	37 a	26 a
	10 a 20	1,09b	2,60 a	58 b	40 b	18 b
Feijão-d-p	0 a 10	0,99a	2,55 a	61 a	38 a	23 a
	10 a 20	1,09b	2,54 a	57 b	41 b	16 b
Guandu	0 a 10	0,97a	2,49 a	61 a	38 a	23 a
	10 a 20	1,07b	2,50 a	57 b	40 b	17 b
Testemunha	0 a 10	0,97a	2,50 a	62 a	38 a	24 a
	10 a 20	1,06b	2,65 b	60 b	41 b	19 b

\* DS = densidade do solo; DP = densidade de partículas; PTP = porosidade total; MICROP = microporosidade; MACROP = macroporosidade.

<sup>1</sup> Médias seguidas das mesmas letras, na coluna, para o mesmo tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estes resultados estão de acordo com as considerações de Tisdall e Oades (1982), que ressaltaram que em sistemas de manejo que adotem revolvimento intensivo do solo e propiciam baixas taxas de adição de resíduos orgânicos, esses afetam o teor de matéria orgânica do solo, um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados.

Com relação aos valores obtidos de densidade do solo e porosidade total, nas diferentes profundidades, observa-se que os maiores valores de densidade do solo foram obtidos na profundidade de 10 a 20 cm, conseqüentemente menores valores de porosidade total. Os coeficientes de correlação entre densidade do solo e micro e macroporosidade foram 0,8922 e -0,9021 respectivamente, ambos com grau de significância de 1 %. Dados semelhantes foram obtidos por Souza (1988), pesquisando em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob vegetação de cerrado. Na literatura são comuns trabalhos que mostram em sistemas de plantio convencional, problemas relacionados à compactação do solo, com conseqüente redução da porosidade, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água e redução do crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Porém, essa tendência não foi observada nesse experimento. Constatou-se que embora houvesse um aumento da densidade do solo na camada de 0 a 20 cm, não chega a valores prejudiciais ao desenvolvimento das plantas.

As proporções entre macro e microporosidade se mostraram satisfatórias para todos os tratamentos, demonstrando bom estado de conservação da estrutura desse solo. Russel et al. (1963), dão algumas características desejáveis para os solos, relativo à estrutura, como por exemplo, que os poros devam ser estáveis para durar vários anos e que deva haver microporos para que haja retenção de maior quantidade de água.

Com relação à estabilidade de agregados via úmida, observa-se pelas FIGURAS 8 e 9, que não variaram de forma significativa pelo teste F entre os tratamentos, para nenhuma classe de agregados estudada.

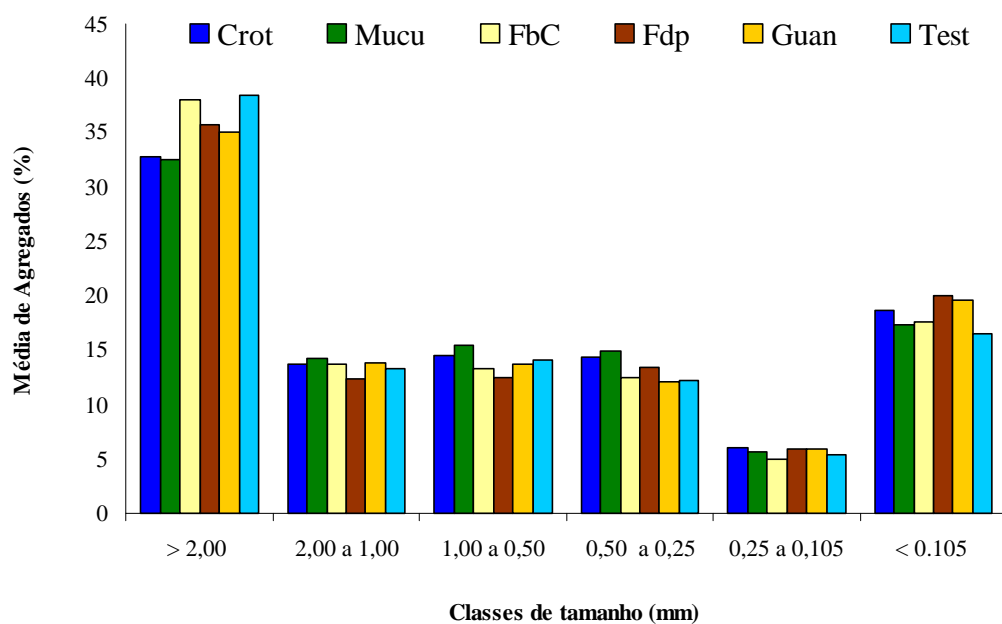


FIGURA 8. Variação da estabilidade de agregados via úmida, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

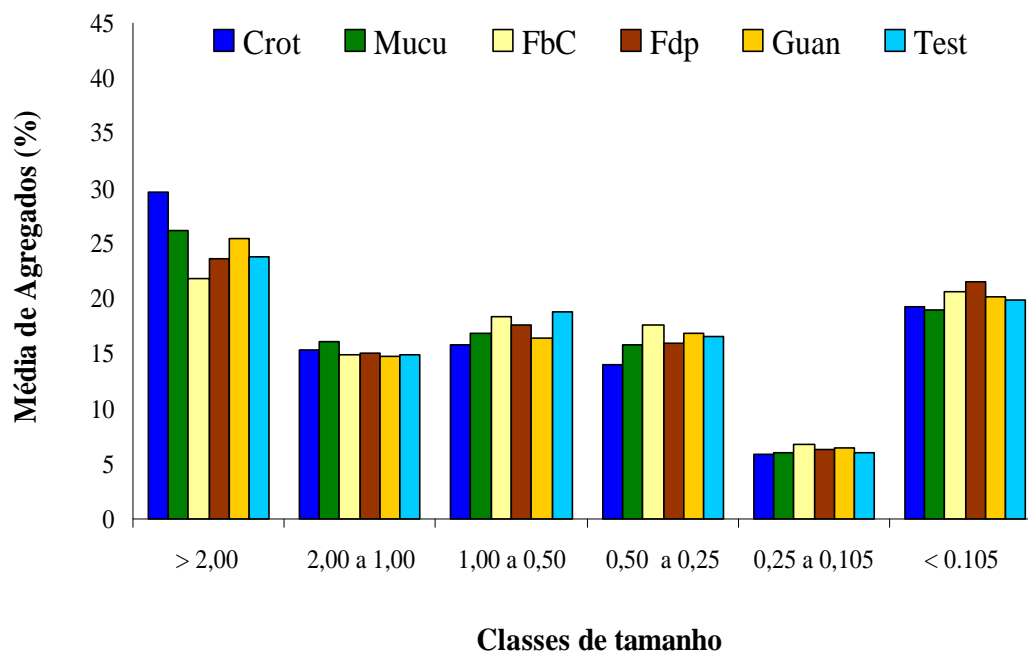


FIGURA 9. Variação da estabilidade de agregados via úmida, na camada de 10 a 20 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Os maiores valores de distribuição de tamanho dos agregados maior 2,0 mm, foram constatados na camada de 0 a 10 cm, para todos os tratamentos, evidenciando o efeito da matéria orgânica no processo de estabilização dos agregados. Ressaltando que pelo fato de não ter ocorrido diferenças significativas entre os tratamentos, pode-se supor que a palhada do milho + espontâneas, bem como das leguminosas, estão influenciando de forma mais acentuada neste processo. Pode-se observar ainda que, do total de agregados maiores que 2,0 mm existentes, aproximadamente 35 %, para todos os tratamentos, continuaram estáveis em água, na profundidade de 0 a 10 cm, demonstrando as boas condições físicas deste solo. Constatou-se também o aumento considerável de agregados de diâmetro < 0,105 mm na profundidade de 10 a 20 cm, para todos os tratamentos. Isto pode ter ocorrido devido à utilização de grade aradora e grade niveladora no preparo do solo antes do plantio, o que pode ter uniformizado os tratamentos. Dados semelhantes foram obtidos por Souza (1988) e Grohmann (1960), neste último, o autor avaliou o efeito do cultivo intensivo na distribuição do tamanho dos agregados estáveis

em água em um Latossolo e Podzólico distrófico e verificou que a aração reduziu a porcentagem de agregados maiores que 2,0 mm em torno de 50 % em ambos os solos, isto refletiu em aumento uniforme nos tamanhos de outros agregados no Latossolo e em aumento de agregados pequenos que podem obstruir os macroporos entre os agregados maiores e diminuir a infiltração de água no solo.

O QUADRO 3, apresenta os resultados de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados. O DMP é um indicativo da estabilidade da estrutura do solo. Não se determinaram números absolutos para interpretar, através dos resultados da análise de agregados em água, quando um solo pode ser considerado de boas ou más propriedades físicas. No entanto, se aceita como sendo de baixa estabilidade, os solos com índice de agregação (diâmetro médio ponderado) abaixo de 0,50 mm. Para todos os tratamentos analisados e nas duas profundidades estudadas, obteve-se diâmetro médio ponderado dos agregados acima de 1,00 mm, o que indica que solos com índice médio de agregação acima de 0,50 mm são relativamente resistentes à erosão (esboroamento e dispersão das partículas) sendo que, sua permeabilidade não se alterará com um bom manejo. Não se observaram diferenças significativas pelo teste F entre os tratamentos, porém essa diferença existe entre profundidades.

QUADRO 3. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo, nos diferentes tratamentos num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

	DMP (mm)	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm
Crotalária	1.50	1.43
Mucuna-preta	1.50	1.33
Feijão-bravo-Ceará	1.65	1.19
Feijão-de-porco	1.56	1.24
Guandu	1.56	1.29
Testemunha	1.67	1.25

Para as variáveis grau de dispersão (GD), grau de floculação (GF), não se observaram diferenças significativas pela análise de variância entre os tratamentos (FIGURA 10). Para se observar possíveis influências dos adubos verdes nessas variáveis e nas condições estruturais do solo, talvez seria necessário um tempo maior para que as leguminosas expressassem todo seu potencial ou que o sistema de manejo adotado seja revisto.

Como forma de melhorar a obtenção de dados do potencial de cada adubo verde, talvez seja necessário à adoção de uma prática mais conservacionista de manejo, tal qual o sistema de plantio direto e/ou cultivo mínimo. Tal prática propiciaria maior interação entre a fitomassa das leguminosas e o sistema solo, ao longo dos anos, e talvez expressaria de forma mais rápida as possíveis influências das diferentes leguminosas na estrutura do solo, bem como o potencial de cada leguminosa no processo de ciclagem de nutrientes.

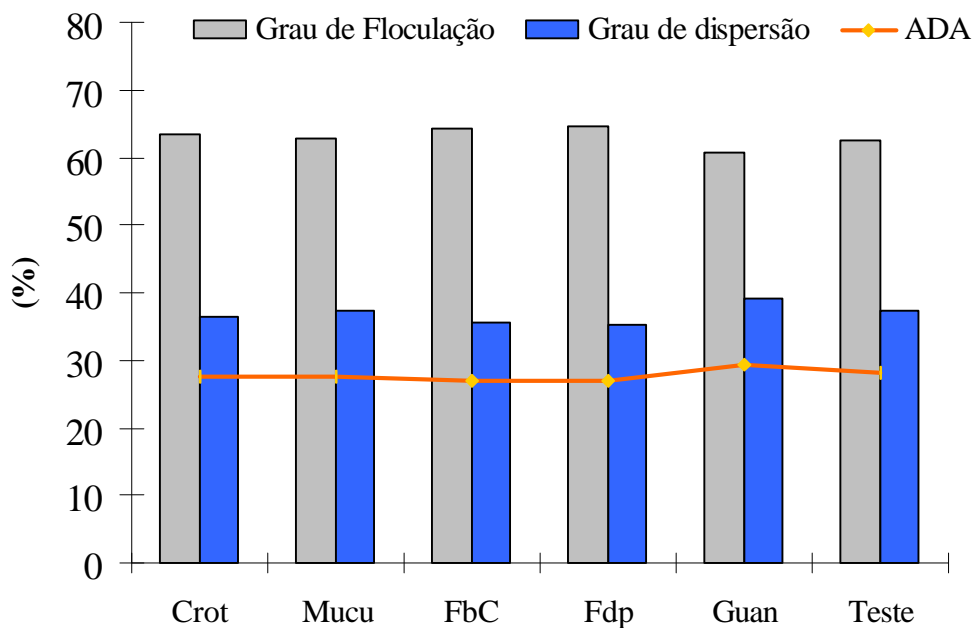


FIGURA 10. Valores de argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF) e grau de dispersão (GD), nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

Com relação à análise textural realizada no ano de 2003, observou-se que os valores de argila encontrados estão muito acima daqueles obtidos por Favero (1998), quando amostrou solo de cada parcela experimental do mesmo experimento e submeteu a análise textural no ano de 1995 (QUADRO 4). Para o método M2, essa elevação se deve ao processo de agitação utilizada, naquela oportunidade, nas análises de rotina, que tempos depois foi modificado segundo a metodologia proposta por Ruiz (2003). A diferença entre os dois métodos está basicamente no tipo de agitação preconizada, sendo que para o método tradicional (M1) a agitação é rápida, feita com coqueteleiras durante 15 minutos, já para o método atual (M2), a agitação é lenta submetida à aproximadamente 16 horas de agitação a 50 rpm. Esta diferença entre os dois métodos, na maneira de desestruturar os solos, possibilitou para o método atual (M2) determinar valores mais elevados de argila, isto porque a ação da agitação sobre o material do solo promoveu maior dispersão do mesmo, conseqüentemente resultando em maior quantidade de material no tamanho da fração argila. Outro pressuposto aventado por Jucksch (1995), foi de que o tempo de contato entre o solo e o dispersante químico, pelo método de agitação lenta, é maior, sendo assim pode promover maior equilíbrio da fração argila com o meio, principalmente durante a agitação, que leva um tempo maior.

De acordo com o QUADRO 4, observa-se que também para o método da coqueteleira (M1), os valores de argila total foram maiores em relação à análise realizada por Fávero (1995). Para as condições de Sete Lagoas, constata-se na literatura que o Latossolo Vermelho típico é caracterizado por apresentar textura argilosa e muito argilosa com maior freqüência. Sendo assim, constata-se que os valores de análise textural encontrados por Fávero (1995) estão aquém dos valores reais para esse tipo de solo e para esse local em questão. A diferença nos teores de argila total, nas duas épocas distintas, foram da ordem de 25%, aproximadamente, tanto para o método M2 quanto para o M1. Tendo em vista a diferença acentuada entre as duas épocas para a análise textural e baseado na similaridade de resultados entre dois métodos distintos no ano de 2003, constata-se que deve ter ocorrido algum erro na determinação de argila total por Fávero (1995). Contata-se que os valores de silte (32%),

determinado por Fávero (1995), estão muito acima dos padrões definidos para esse solo, que variam em torno de 10 a 15%. Sendo assim pode-se aventar uma subestimação de argila e superestimação de silte no ato da análise.




QUADRO 4. Resultados da análise textural de amostras de solo nos diferentes tratamentos, no experimento da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Épocas	Método	Textura (%)		
		Areia	Silte	Argila
1995	M1	18	32	50
2003	M1	20	10	70
	M2	13	12	75

#### 4.3. Morfologia de agregados

Para justificar a utilização da escala não originada em zero, dos gráficos posteriores, bem como para melhoria da compreensão acerca da definição de um índice e a sua aplicação a uma determinada forma geométrica, foi confeccionado um esquema de ilustração que segue no QUADRO 5.

QUADRO 5. Representação de figuras geométricas com seus respectivos valores de Aspecto (grau de arredondamento), Rugosidade, obtidos por meio do programa QUANTPORO.

<b>Formas Geométricas</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Rugosidade</b>
	<b>1,00</b>	<b>0,90</b>
	<b>0,85</b>	<b>0,89</b>
	<b>0,40</b>	<b>0,65</b>

Por meio do QUADRO 5, percebe-se que quando uma figura geométrica é perfeitamente redonda, conseqüentemente o seu valor de aspecto atinge o máximo que é 1,00 lembrando, que este parâmetro expressa o quão arredondado é o agregado analisado, já o valor de rugosidade, que expressa as estrias da forma geométrica, é 0,90. Quando se analisa uma forma geométrica perfeitamente quadrada, obtém-se um valor de aspecto de 0,85 e de rugosidade de 0,80. Nesse ponto é que a escala do gráfico se torna de fundamental importância, uma vez que a diferença de um agregado redondo para um agregado quadrado é mínima dentro de uma escala de 0 a 1.

Como já descrito anteriormente, o programa fornece medidas de área, perímetro, comprimento do maior e menor eixo e os valores dos índices aspecto, rugosidade, diâmetro de Feret e compactidade.

Com relação à área dos agregados, obtida quando se executa o programa, dividiu-se em classes distintas, depois de submetido os dados a uma análise de distribuição de freqüência. Obtiveram-se oito classes distintas e comuns para todos os tratamentos, conforme observado na FIGURA 11.

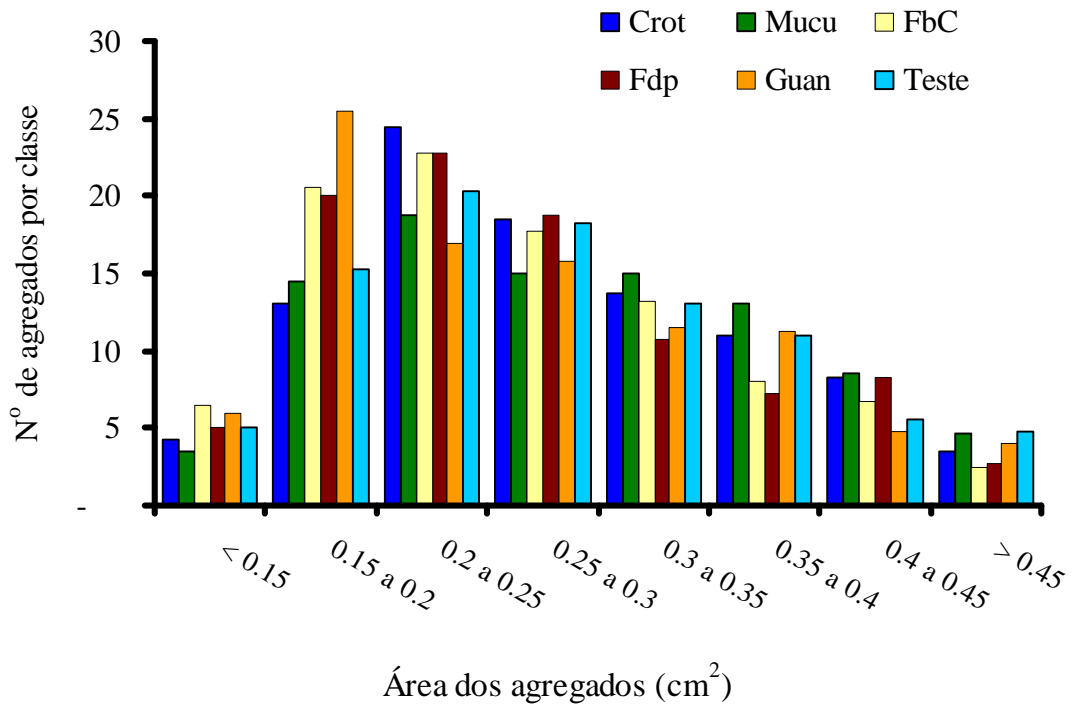


FIGURA 11. Quantidade de agregados por classe, em função da área (cm<sup>2</sup>) dos agregados, nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

De um modo geral constatou-se que todos os tratamentos apresentaram maiores concentrações de agregados na faixa de área entre 0,2 a 0,35 cm<sup>2</sup> aproximadamente, lembrando que os agregados analisados foram os que permaneceram na peneira de 4,76 mm no ato da amostragem e na camada de 0 a 10 cm de profundidade. O tratamento com milho consorciado com guandu, apresentou maior concentração de agregados na classe de 0,2 a 0,25 cm<sup>2</sup>, já o tratamento com crotalária concentrou mais agregados na classe de 0,25 a 0,3 cm<sup>2</sup>. Os demais tratamentos não apresentaram picos de concentração sendo que as curvas obtidas muito se comparam com a da testemunha. O tratamento que apresentou maior proporção de agregados com elevados valores de área (cm<sup>2</sup>), foi o tratamento cujo consórcio foi realizado com mucuna-preta e a cultura do milho. Os adubos verdes, a palhada do milho + espontâneas, propiciaram a formação e conseqüente estabilização de agregados de maior diâmetro, o que para as condições de aeração e dinâmica da água no solo, é interessante. Segundo Hillel (1982), é importante manejar o solo com objetivo de obter agregados de maior diâmetro, pois uma adequada condição estrutural

do solo afeta acentuadamente os regimes de água, ar e calor do solo. Russel (1963), acrescenta que uma condição desejável para os solo em termos estruturais, é que os poros devam ser estáveis para durar vários anos e facilitem a penetração das raízes. Segundo Mielniczuk (1997) uma condição indesejável para o solo é a redução do tamanho médio dos agregados o que concomitantemente ocasiona redução na taxa de infiltração da água no solo.

Como citado anteriormente, os índices de rugosidade e aspecto foram analisados com gráficos não originados em zero. Na FIGURA 12, observa-se que em um gráfico cuja escala do eixo y é de 0 a 1, não se consegue distinguir qual a forma geométrica dos agregados, nem tão pouco a possível influência dos adubos verdes, uma vez que as curvas todas se concentram na faixa de 0,75 a 1,00.

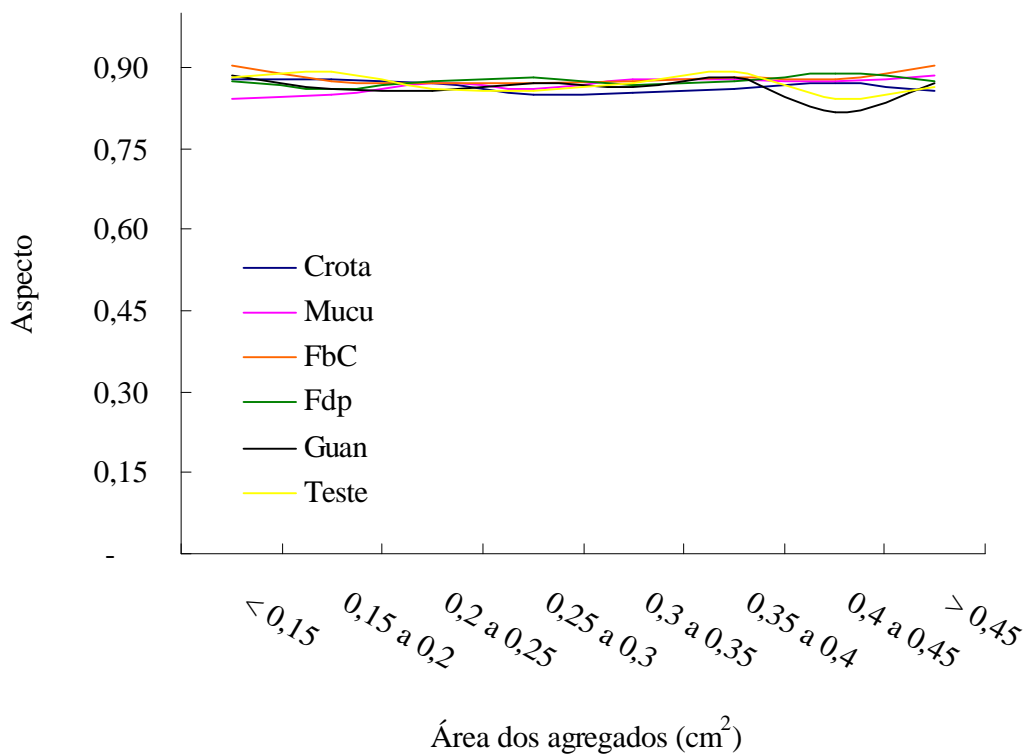
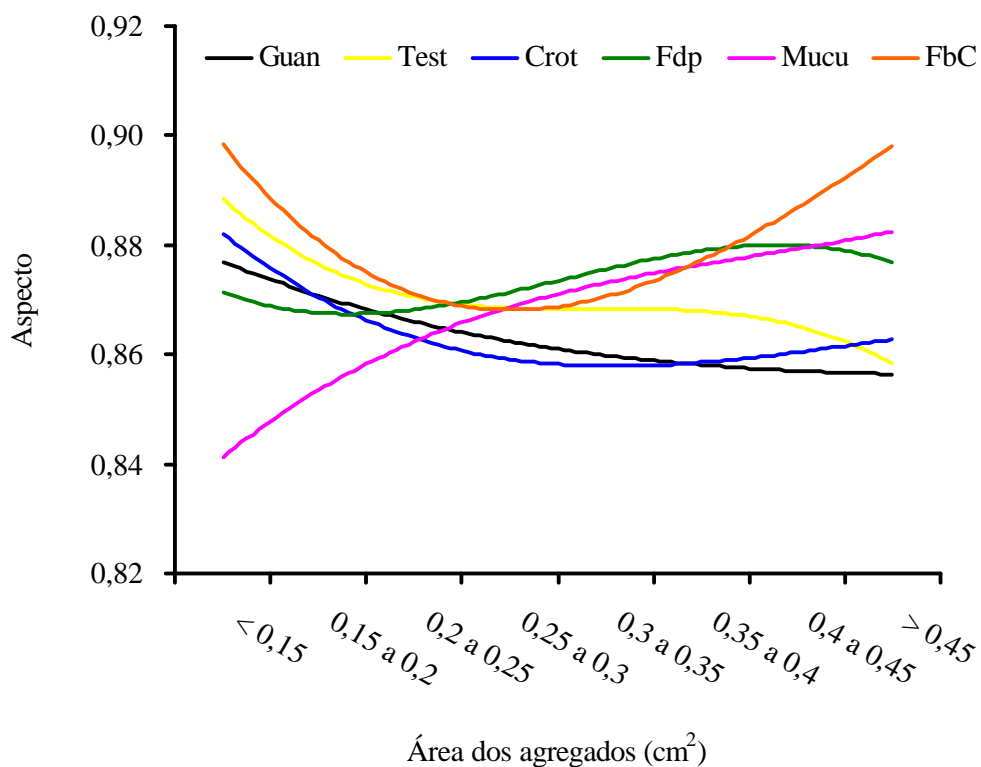


FIGURA 12. Grau de arredondamento dos agregados (aspecto), em uma escala de 0 a 1, em função da área (cm<sup>2</sup>) dos agregados, nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

De acordo com a FIGURA 13, observa-se que houve grande variação no comportamento das curvas nos diferentes tratamentos para o índice grau de arredondamento dos agregados (aspecto). O tratamento consorciado com crotalária, demonstrou que para os agregados de área menor, esses se mostraram mais arredondados, conforme aumenta à área dos agregados, os mesmos passam a ser mais quadrados. Esse mesmo comportamento foi observado para os tratamentos consorciados com feijão-bravo-do-Ceará, esse com tendência de elevação nos agregados maiores, guandu e com a testemunha. Em contrapartida o tratamento consorciado com mucuna apresentou para os agregados de área menor maior concentração de agregados quadrados e conforme se eleva à área dos agregados, a forma geométrica preponderante passa a ser a forma mais arredondada. Para o tratamento consorciado com feijão-de-porco essa mesma tendência foi observada.



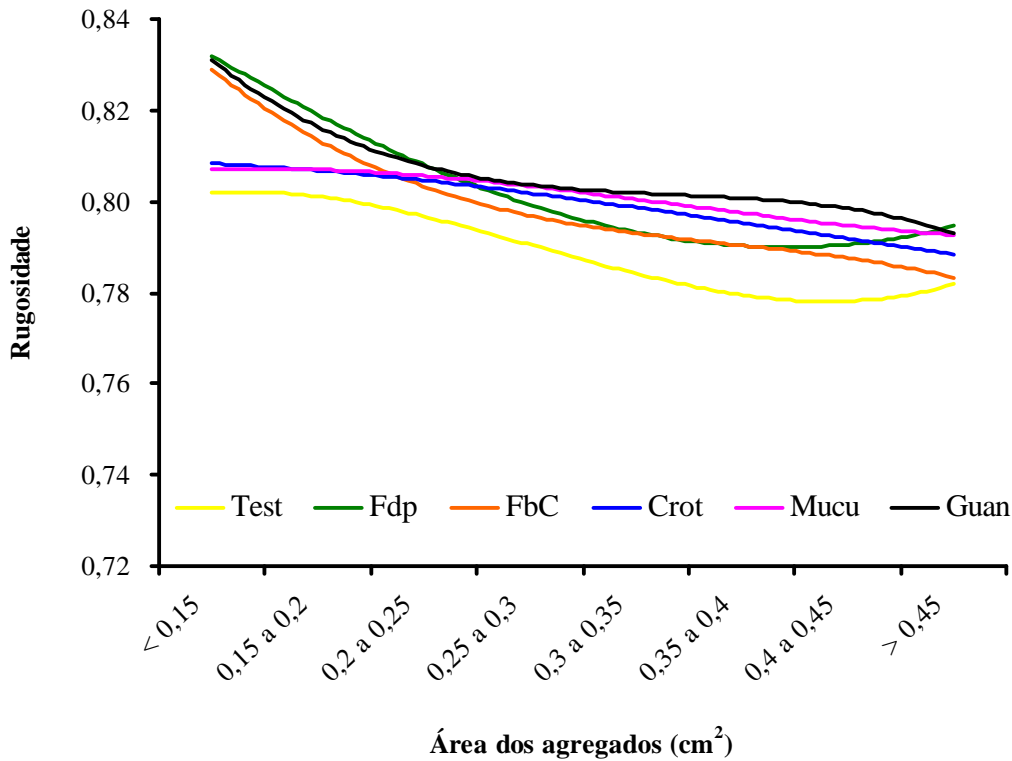
Crotalária	$\hat{y} = 0,8986 - 0,0193x + 0,0029x^2 - 0,0001x^3$	$R^2 = 0,511$
Mucuna	$\hat{y} = 0,8251 + 0,0184x - 0,0024x^2 + 0,0001x^3$	$R^2 = 0,8536$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 0,9252 - 0,0318x + 0,0052x^2 - 0,0002x^3$	$R^2 = 0,8704$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 0,8811 - 0,0133x + 0,0038x^2 - 0,0003x^3$	$R^2 = 0,2946$
Guandu	$\hat{y} = 0,8846 - 0,0085x + 0,0009x^2 - 0,000003x^3$	$R^2 = 0,1189$
Testemunha	$\hat{y} = 0,9083 - 0,0246x + 0,005x^2 - 0,0003x^3$	$R^2 = 0,2561$

FIGURA 13. Grau de arredondamento dos agregados (aspecto), em função da área ( $\text{cm}^2$ ), nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas.

De um modo geral, espera-se que em sistemas que causem mínimas perturbações no solo, propiciem agregados maiores. Quando da utilização de grades e arados, ocorre a pulverização dos agregados e conseqüentemente diminuição na área dos agregados e preponderância de formas mais alongadas e/ou quadradas no solo. De um modo geral esse comportamento foi observado em todos os tratamentos, demonstrando a influência acentuada do sistema de preparo na estruturação do solo. A importância de se caracterizar o sistema poroso do solo, foi aventado por Vomocil (1965), que na oportunidade salientou que o sistema poroso é importante nas investigações sobre armazenamento e movimento de gases e água, no estudo de desenvolvimento de raízes de

plantas, nos problemas concernentes com a infiltração e retenção de calor e nas investigações da resistência dos solos.

Para a variável rugosidade dos agregados, observa-se na FIGURA 14 que todos os tratamentos apresentaram a mesma tendência.



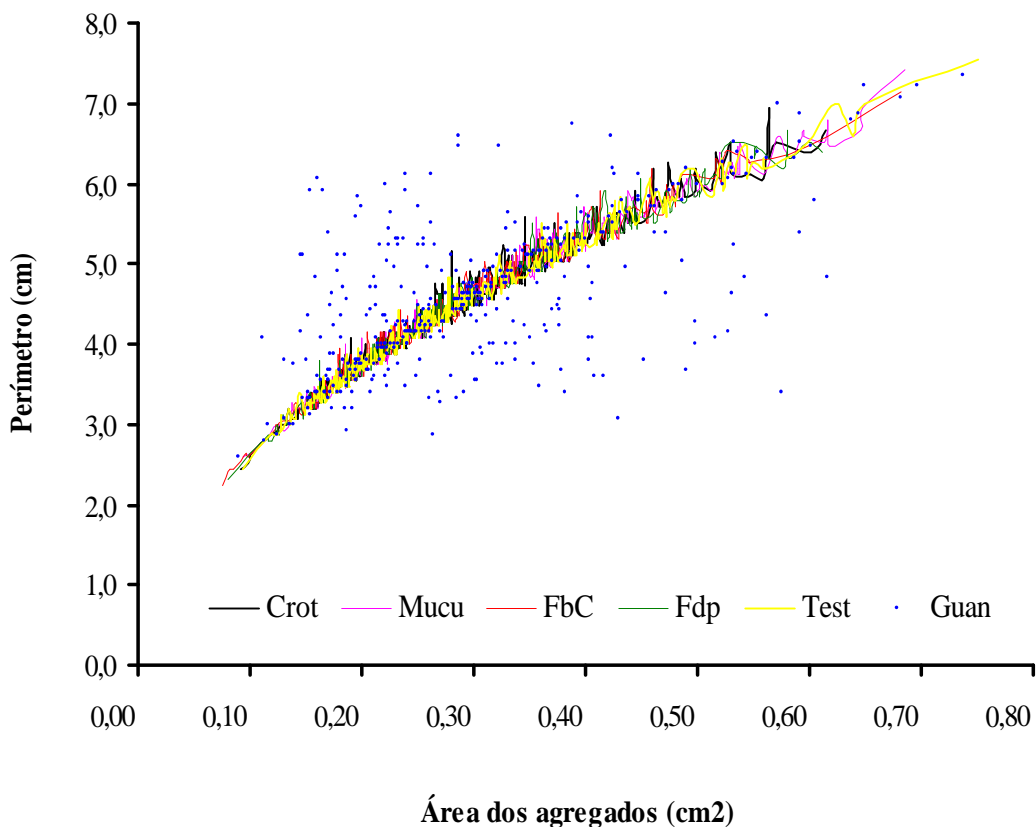
Crotalária	$\hat{y} = 0,8088 - 0,00004x - 0,0005x^2 + 0,000003x^3$	$R^2 = 0,7158$
Mucuna	$\hat{y} = 0,8055 + 0,0026x - 0,001x^2 + 0,000006x^3$	$R^2 = 0,705$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 0,8508 - 0,0256x + 0,0039x^2 - 0,0002x^3$	$R^2 = 0,892$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 0,8468 - 0,0154x + 0,0007x^2 + 0,000006x^3$	$R^2 = 0,8499$
Guandu	$\hat{y} = 0,8533 - 0,0269x + 0,0048x^2 - 0,0003x^3$	$R^2 = 0,9204$
Testemunha	$\hat{y} = 0,7974 + 0,0077x - 0,0035x^2 + 0,0003x^3$	$R^2 = 0,8211$

FIGURA 14. Rugosidade dos agregados, em função da área (cm<sup>2</sup>), nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

De um modo geral, quanto maior o agregado, maior foi à rugosidade externa, para todos os tratamentos. Vale lembrar que um agregado totalmente liso, apresentaria rugosidade 1,00.

O perímetro diz respeito ao comprimento da área externa do agregado, ou seja, é o comprimento da borda do agregado. Normalmente em sistemas de

manejo com mínima perturbação do solo, os valores desta medida são maiores, devido à maior proporção de agregados de tamanho e rugosidade maiores. Na FIGURA 15, constam valores crescentes de área (cm<sup>2</sup>) dos 400 agregados de cada tratamento em função do perímetro de cada agregado. Para todos os tratamentos, com exceção do consórcio milho com guandu, quanto maior o agregado maior o perímetro. Já para o tratamento com guandu, observa-se que ocorreu muita variação do perímetro em diferentes tamanhos de agregados.



Crotalária	$\hat{y} = 1,2738 + 15,277x - 16,813x^2 + 10,423x^3$	$R^2 = 0,9722$
Mucuna	$\hat{y} = 1,298 + 15,029x - 16,094x^2 + 9,5986x^3$	$R^2 = 0,9815$
Feijão-b-C	$\hat{y} = 1,2355 + 15,576x - 17,275x^2 + 10,461x^3$	$R^2 = 0,9795$
Feijão-d-p	$\hat{y} = 1,3094 + 14,739x - 14,48x^2 + 7,4042x^3$	$R^2 = 0,9812$
Guandu	$\hat{y} = 2,3511 + 12,386x - 21,877x^2 + 19,243x^3$	$R^2 = 0,4389$
Testemunha	$\hat{y} = 1,2667 + 15,327x - 17,059x^2 + 10,454x^3$	$R^2 = 0,983$

FIGURA 15. Perímetro dos agregados, em função da área (cm<sup>2</sup>) crescente, nos diferentes tratamentos, num Latossolo Vermelho-típico de Sete Lagoas, MG.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento dos atributos do solo mediante o cultivo consorciado de milho com diferentes espécies de leguminosas. Este projeto é parte integrante de uma linha de pesquisa iniciada e desenvolvida em parceria entre o Departamento de Solos da UFV e a Embrapa Milho e Sorgo. Iniciou-se o projeto no ano de 1995 em uma área onde se procedia o monocultivo de milho, na oportunidade, Favero (1998) implantou, no agrícola de 1995/96, o cultivo de cinco leguminosas já consagradas como espécies vegetais utilizadas como adubos verdes (mucuna-preta, guandu, lablab, feijão-de-porco e feijão-bravo-do-ceará). A área efetiva do experimento em estudo é de 730 m<sup>2</sup>, instalado no campo experimental da Embrapa Milho Sorgo no município de Sete Lagoas – MG, em uma encosta de um Latossolo Vermelho-típico A moderado textura argilosa, com relevo suave ondulado. Os tratamentos estão distribuídos em parcelas de 10 x 5 m, e no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistem na consorciação das cinco leguminosas com o milho, incluindo também um tratamento sem leguminosa, que serve como testemunha. A cultivar de milho crioula “Caiano de Sobrália” vem sendo semeada normalmente como cultura de verão, espaçada 0,9 m entre sulcos de plantio e densidade de 5 plantas por metro linear. Para o preparo do solo utilizaram-se de grade aradora e grade niveladora para incorporação das leguminosas em questão além da utilização do tritão para trituração da palhada antes do preparo do solo. As amostras (indeformadas) destinadas a análises

de densidade e macro e microporosidade foram coletadas em anel de aço inox com cinco cm de altura por cinco cm de diâmetro. As amostras deformadas foram coletadas com trado em diferentes pontos da parcela constituindo uma amostra composta, e as análises micromorfométricas foram feitas com agregados no intervalo de 9,52 e 4,76 mm de diâmetro. Foram avaliados os atributos físicos, químicos e micromorfométricos do solo, este último por meio do programa QUANTPORO desenvolvido no Departamento de Solos da UFV.

Para as características químicas analisadas conclui-se que o pH não variou nos primeiros anos de condução do experimento, entretanto ao longo dos anos ocorreu uma elevação nos valores dessa variável no solo, para todos os tratamentos, sendo que não houve diferença significativa pelo teste F entre os tratamentos. Já para o P e K, houve uma diminuição nos teores desses elementos no solo. As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, não variaram significativamente após oito anos de condução do experimento, sendo que para o  $\text{Mg}^{2+}$  houve uma elevação nos teores.

O efeito de ciclagem de nutrientes por parte dos adubos verdes estudados é evidente nos primeiros anos de condução do experimento, demonstrando o potencial dos mesmos no aporte de matéria seca e nutrientes ao solo, porém o preparo do solo utilizado, a exportação de nutrientes por parte da cultura do milho e a não utilização de fontes nutricionais nem calagem, contribuíram para homogeneizar as parcelas, não ressaltando diferenças entre tratamentos.

Analisando as alterações nas características físicas do solo, conclui-se que após oito anos de condução do experimento, ocorreu uma elevação nos valores de argila dispersa em água. Para as demais variáveis analisadas não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos.

As análises micromorfométricas demonstraram que, de um modo geral todos os tratamentos apresentaram maiores concentrações de agregados na faixa de área entre 0,2 a 0,35  $\text{cm}^2$  aproximadamente, para os agregados analisados do intervalo entre 9,52 e 4,76 mm de diâmetro. Com relação ao grau de arredondamento dos agregados (aspecto), os tratamentos consorciados com crotalária, feijão-bravo-do-Ceará, guandu e a testemunha, apresentaram agregados de área menor mais arredondados, conforme aumenta à área dos agregados, os mesmos passam a ser mais quadrados. Já para os tratamentos com mucuna e feijão-de-porco o comportamento é inverso.

Para a variável rugosidade dos agregados, conclui-se que todos os tratamentos apresentaram a mesma tendência, de um modo geral, quanto maior o agregado, maior as estrias dos mesmos. Já com relação ao perímetro (comprimento da borda do agregado), todos os tratamentos, com exceção do consórcio milho com guandu, quanto maior o agregado maior o perímetro. O tratamento com guandu, apresentou muita variação do perímetro em diferentes tamanhos de agregados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P.U.R. & GOEPFERT, C.F.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, n.1: p. 17-21,1978.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., coords. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, Pallotti, 1997. p.76-111.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 115-119, 1995.

ALVARENGA, R.C.; **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 112p. Tese (Doutorado em solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.

AMADO, T.J.C. & ALMEIDA, E.X.de. Adubação verde de verão para o Alto Vale do Itajaí. Florianópolis, EMPASC. 5p. (EMPASC. Pesquisa em Andamento, 73). 1987.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.179-189, 2000.

ANDRADE, M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & OLIVEIRA, E.L. Efeito da cobertura vegetal na solubilidade do manganês do solo. 7 Encontro de Química da Região Sul, Tubarão, 1999. Tubarão: SBQ, 1999.

ANDREWS, D.J.; KASSAM, A.H.; The importance of multiple cropping increasing world food supplies. **Multiple Cropping**. Madison, ASA, v.3, n.1, p. 1-9, 1976.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTO, V.J., et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.130-145, 1994.

ASSAD, M.L.L. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M., eds. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 363-443.

AYERS, R.S. A qualidade de água na Agricultura Trad. GHEYI, H.R.; de MEDEIROS, J.F. ; DAMASCENO, F.A.V., Campina Grande, UEPB, 1991.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.28, n.9, p.1261-1263, 1996.

BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A. & LAVELLE, P. Role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an Oxisol during forest to pasture conversion. *Geoderma*, 100: 193 – 213, 2000.

BAVER, L.D. & FARNSWORTH, R.B. Soil structure effects on the growth as sugar beets. **Soil science society of America Proceedings**, Madison, 5: 45-8, 1940.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Física de Suelos. 1. ed. México: U.T.E.H.A., 1973. cap. 7: Régimen térmico de los suelos: p. 267-298. 1973.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

BIANCHI, M.A.; FIORIN, J.E.; CANAL, I.N.; PETRERE, C. & CAMPOS, B. C. de. Resposta do trigo a culturas semeadas após o milho no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXVI., Rio de Janeiro. Resumos. SBCS, p.162, 1997.

CALEGARI , A. Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná. Londrina, IAPAR, 1995. 118p. (IAPAR. Circular, 80).

CAMPO, R.J.; SFREDO, G.J.; PALHANO, J.B.; BORKERT, C.M.; CORDEIRO, D.S.; LANTMANN, A.F. Efeito da incorporação de matéria verde sobre os rendimentos da soja e as propriedades do solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2. Londrina, 1981. **Anais...** Brasília, EMBRAPA, 1981.p.597 – 604.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRELLE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARPENEDO, V., MIELNICKZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO JÚNIOR, I.A. de. Estimativa de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em Latossolo de textura média, sob diferentes usos. Viçosa, MG: UFV, 1995, 83p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

CASSIOLATO, M.E.; MEDA, A.R.; PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. A. laboratory method to estimate the efficiency of plant extract to neutralize soil acidity. 14 Congresso Latino Americano de La Ciencia del Suelo, Temuco, 1999. Temuco: SLACS/UF/SAC/SCS, 1999. Resumo, 361.

CASTILHOS, E.G.; SCHERER, E.E. & AITA, C. Efeito da mucuna e da adubação nitrogenada na cultura do milho. Florianópolis, EMPASC. 4p. (EMPASC. Pesquisa em Andamento, 50). 1985.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; DEMARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.3, p. 293-297, 1986.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A. & SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p. 215-220, 1994.

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Input of dry matter and nutrients to the soil from cover plants cultivated between rows of perennial crops and their effects on soil reaction. *Arq. Biol. Technol.*, 40(1):47-55, 1997.

CONWAY, J. & JENKINS, D. A simple procedure for the quantification of void shapes in soil thin sections. in: *Soil Micromorphology*. BULLOCK, P. & MURPHY, C.P., eds. Techniques and Applications. A.B. Academic Publishers, Berkhamsted, 1983. 705.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.2, p. 203-209, 2002.

COSTA, F.J.S.A.; BOULDIN, D.R.; SUHET, A.R. Evaluation of N recovery from mucuna placed on the surface or incorporated in a Brazilian Oxisol. **Plant and Soil**, The Hague, v.124, p.91-96, 1990.

COSTA, M.B.B. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, ASPTA, 1993, 346p.

CROOKSTON, R.K.; HILL, D.S. Grain yields and land Equivalent Ratios from intercropping corn and soybeans in Minnesota. **Agron. J.** Madison, v.71, n.1, p. 41-44, 1979.

DA ROS, C.O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 85 p. Dissertação de Mestrado, 1993.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas do solo degradado pelo cultivo no solo Santo Ângelo: Latossolo roxo distrófico.** Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia, 1981. 138p. Dissertação.

DORNELES, S. H. B. **Efeito de formas de manejo dos restos culturais da mucuna no rendimento de grãos e suprimento de nitrogênio para a cultura do milho.** Santa Maria, UFSM, CPG em Agronomia, 1990. 69p. (Tese de Mestrado).

DUTRA, G.R.D. Adubos verdes: sua produção e modo de emprego. Campinas: Instituto Agrônomo, 1919. 76p.

ELTZ, F.L.F.; COGO, N.P. & MIELNICZUK, J. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo coberturas vegetais em solos Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (São Jerônimo). I. Resultados do primeiro ano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, n.2-3: p. 12-17, 1977.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p. 259-267, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

FAVERO, C. **Potencial de plantas espontâneas e de leguminosas para adubação verde.** Viçosa, MG: UFV, 1998, 93p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

FLECK, N.G.; MACHADO, C.M.N.; SOUZA, R.S. Eficiência da consorciação de culturas no controle de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.5, p. 591-598, 1984.

FONSECA, O.M. da; **Caracterização e classificação de solos Latossólicos e Podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do terciário no litoral Brasileiro.** Itaguaí, FRRJ, 1986. 185p. (Tese M.S.).

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 533-542, 1999a.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p. 2267-2276, 1999b.

FRIES, M.R.; AITA, C.; VENDRÚSCULO, E.R.O.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I.C.; NICOLOSO, R. & CUBILLA, M.M. Desempenho de leguminosas de verão em sucessão ao feijão (*Phaseolus vulgaris*) e sua influência sobre a aveia (*Avena strigosa* Schieb). In: Congreso Argentino De La Ciencia Del Suelo, 17. Mar del Plata/Argentina, 2000. Anais. Mar del Plata, 2000. (CD-ROM).

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A .P.; CUBILLA, M.M.; NICOLOSO, R. S. & FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura: II. decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 8, Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 6 e Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 3. Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria. (CD-ROM).

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; NICOLOSO, R. S.; MARQUES, M. G.; VENDRÚSCULO, E.R.O & FRIES, M.R,. Consorciação de plantas de cobertura: I. produção e composição da fitomassa. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 24, Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 8, Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 6 e Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 3. Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria. (CD-ROM).

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Sucessão de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 153-159, 2000.

GROHMANN, F. Distribuição de tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.19, p. 319 – 328, 1960.

HENRICHS, R. **Ervilhaca e aveia preta cultivadas simultaneamente como adubo verde e sua influência no rendimento do milho**. Piracicaba, ESALQ, 65 p. Dissertação de Mestrado, 1996.

HILLEL, D. Introduction to Soil Physics. 2. ed. New York, Academic Press, 1982. 364p.

HOYT, P.B. & TURNER, R.C. Effects of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH<sub>4</sub>, and crop yields. **Soil Science**, v.119, p. 227-237, 1975.

HUE, N.V. & AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Comm. Soil Science**. Plant An., v.20, p. 1499-1511, 1989.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; VARGAS, M.A.T.; CATTELAN, A.J.; MENDES, I.C. Microbiologia do solo e produtividade da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, I., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999a. p.126-137. (Embrapa Soja. Documentos, 124).

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo vermelho-escuro**. Viçosa, MG: UFV, 1987, 37p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1987.

JUCKSCH, I. **Meios mecânicos e concentrações de NaOH na dispersão e estabilidade de suspensões de argila**. Viçosa-MG: UFV, 1995. 50p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C.A. **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison: ASA, 1965. p.495-509.

KIEHL, E.J. **Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes**. Piracicaba: ESALQ, 1960. 113p. (Tese de livre Docência).

KIEHL, E.J. & GALLI, F. Adubação verde com tremoço. *O Solo*, 43: 19-33, 1951.

LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigéria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p. 762-768, 1976.

MALAVOLTA, E.; REICHARDT, K. **Manual de Química Agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, v.1, 528p. 1976.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 251p. 1980.

MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Plant extracts to improve acid soil chemistry. 14 Congresso Latino Americano de La Ciencia del Suelo, Temuco, 1999. Temuco: SLACS/UF/SAC/SCS, 1999. Resumo, 360.

MIELNICZUK, J. Potencialidades e perspectivas de uso de culturas de cobertura e rotações de culturas com prática de conservação do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, 1994, Florianópolis – SC. **Resumos**. Florianópolis: SBSC, p. 101-104, 1994.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. The Role of Mycorrhizal Fungi in Soil Conservation. in: Bethlenfalvay, G.J.; Linderman, R.G. (eds) Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. Madison: American Society of Agronomy Special Publications Number 54, 1992. p.29-44.

MITCHELL, J.K. Fundamentals of soil behavior, University of California / John Wiley, 1976. 422p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p. 411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. Anais. Ponta Grossa, Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000a. p.82-94.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Informações Agronômicas*, nº 92, 2000b. 8p. (Encarte técnico)

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**, v.7, p. 95-102, 1983.

NOLLA, A. **Avaliação do consórcio de milho, leguminosas para adubação verde e plantas espontâneas**. Viçosa, MG: UFV, 1999, 123p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa., 1999.

OSMAN, A.E. & OSMAN A.M. Performance of mixtures of cereal and legume forages under irrigation in the Sudan. **J. Agric. Sci. Camb.**, v.98, p. 17-21, 1982.

PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho – Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p. 135-140, 1991.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.D. Manejo da acidez do solo. Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, PR: (IAPAR. Circular, 95), 86p. 1997.

PAVAN, M.A. Mobilização orgânica do calcário no solo através de adubo verde. In: PAULETTI, V.; SEGANFREDO, R. Plantio direto: atualização tecnológica. São Paulo: Fundação Cargill/Fundação ABC, 1999. p.45-52.

POSTAGE, J.R. **The Fundamentals of Nitrogen Fixation**. 1 ed. Cambridge University Press, New York, 1982.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. van. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p. 189-194, 1982.

RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RODRIGUES, D.C.; SANTOS, A.L.; SILVA, J.E. Influência do uso e manejo do solo na produção de CO<sub>2</sub> em diferentes agroecossistemas na região dos Cerrados. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13. 1996, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: SLACS-SBCS, 1996. CD-ROM.

RHEINHEIMER, D.S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 2000. p.211, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

ROCHA, E.J.D.; SOUSA, D.M.G. de; GOEDERT, W.J. Avaliação da fertilidade de solo submetido a anos de cultivos sob sistema de plantio direto. In: Fertibio 2000 . Resumos da XXIV Reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 22 a 26 de outubro de 2000. Santa Maria: UFSM/SBCS, 2000. CD-ROM.

RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa, MG: UFV, 2003, 22p. Apostila da disciplina de SOL 640 - Departamento de Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal de Viçosa., 2003.

RUSSEL, J. & RUSSEL, E.W. Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. 4. ed. Madrid, Aguilar, 1968. 801p.

SANTOS, J. C. F. **Comportamento de propriedades físicas e químicas de dois latossolos roxos sob diferentes sistemas de rotação de cultura em plantio direto**. Lavras: ESAL, 1993. 101p. (Dissertação de Mestrado).

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, M.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C. & RIBEIRO, L.M. Características da Porosidade de um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 775 – 779, 2001.

SCHOMBERG, H.H.; STEINER, J.L. & UNGER, P.W. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residues quality and water effects. **Soil Science**. Soc. Am. J., 58:372-381, 1994.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.287-291, 1997.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p. 249-254, 1985.

SIDDOWAY, F.H. Effects of cropping and tillage methods on dry aggregate soil structure. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.27, p. 452-454, 1963.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 191-199, 2000.

SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M., eds. Microrganismos de importância agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.151-194.

SKIDMORE, E.L. & CARSTENSON, W.A.; BANBURY, E.E. Soil changes resulting from cropping. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.39, n.5: p. 964-7, 1975.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil & Tillage Res.**, v.16, p.179-201, 1990.

SORRENSON, J.; MONTOYA, L. J. Economic implications as soil erosion and soil conservation practices in Paraná, Brazil. Report on a consultancy, IAPAR, Londrina/GTZ, Eschborn, 1989.

SOUSA, D.M.G. de; VILELA, L.; REIN, T.A.; LOBATO, E. Eficiência da adubação fosfatada em dois sistemas de cultivo em um latossolo de Cerrado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997. Rio de Janeiro. Informação, globalização, uso do solo. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

SOUZA, C.M. **Efeito do uso contínuo de grade pesada sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado e sobre o desenvolvimento das plantas e absorção de nutrientes pela cultura da soja.** Viçosa, MG: UFV, 1988, 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1988.

SUGUIU, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo. Edgard Blucher. EDUSP, 1973. 317P.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. **Australian Journal Soil Research**, v.18, p. 423-433, 1980.

TRENBARTH, B.R. Biomass production of mixtures. **Adv. Agron.** V.26, p. 177-210, 1974.

VAN DOREN JÚNIOR, D.M. & TRIPLETT JÚNIOR, G.B. Mulch and tillage relationships in corn culture. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.37, n.5: p. 766-9, 1973.

VIANA, J.H.M. **Análise de imagens micropedológicas com utilização do programa Quantporo e sua aplicação ao estudo de umedecimento e secagem em amostras de Latossolos**. Viçosa, MG: UFV, 2001, 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, 1981. p. 19-32. (IAPAR. Circular, 23).

VIEIRA, M.J.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Perda por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.2, n.3: p. 209-214, 1978.

VOMOCIL , J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part1. Physical and Mineralogical Properties. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 299-314.

WANG, J.D.; WOOLLEY, J.T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. **Soil science**, Baltimore, v. 141, p. 432-437, 1986.

WILLEY, R.W. Intercropping, its importance and research needs – competition and yield advantages. **Field crop abstracts**, Hurlley, v. 32, n.1, p. 1-10, 1979.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of nature of erosion losses. **J. Am. Soc. Agric.**, v.28, p. 337 – 351, 1936.

## APÉNDICE

Quadro 1A. Análise de variância para valores de pH em água (pH-H<sub>2</sub>O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e valores de acidez potencial (H + Al) em resposta ao manejo dos adubos verdes no solo.

FV	GL	Quadrados Médios <sup>1/</sup>					
		pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al
Tratamentos	5	0,0053 ns	1,1874 ns	113,20 ns	0,0386 ns	0,0056 ns	2,1936
Blocos	3	0,0013 ns	3,7948 ns	11,33 ns	0,0612 ns	0,0142 ns	3,5633
Resíduo	15	0,0119 ns	1,4605 ns	307,86 ns	0,0959 ns	0,0072 ns	2,8356
CV (%)		1,65	27,28	53,98	6,74	10,36	45,92

<sup>1/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns = não significativo

Quadro 2A. Análise de variância para valores de Soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), CTC efetiva (e), saturação por bases V (%) e matéria orgânica (M.O.) em resposta ao manejo dos adubos verdes no solo.

FV	GL	Quadrados Médios <sup>1/</sup>				
		SB	CTC	e	V(%)	M.O.
Tratamentos	5	0,0497 ns	2,1673 ns	0,0497 ns	48,25 ns	0,0035 ns
Blocos	3	0,1274 ns	4,6926 ns	0,1274 ns	59,08 ns	0,0070 ns
Resíduo	15	0,1222 ns	2,3320 ns	0,1222 ns	76,00 ns	0,0077 ns
CV (%)		6,36	16,66	6,36	14,24	3,03

<sup>1/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns = não significativo

Quadro 3A. Análise de variância para valores de argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (SIL) e argila (ARG), em resposta ao manejo dos adubos verdes no solo.

FV	GL	Quadrados Médios <sup>1/</sup>					
		ADA	GF	AG	AF	SIL	ARG
Tratamentos	5	29,28 ns	45,29 ns	0,1416 ns	0,26 ns	3,17 ns	2,56 ns
Blocos	3	3,82 ns	10,40 ns	1,1527 ns	0,22 ns	2,81 ns	3,00 ns
Resíduo	15	7,80 ns	17,38 ns	0,4527 ns	0,88 ns	2,55 ns	2,36 ns
CV (%)		4,88	17,36	6,93	7,78	14,36	2,04

<sup>1/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns = não significativo

Quadro 4A. Análise de variância para valores de densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP), porosidade total (PT), microporosidade (MICROP) e macroporosidade (MACROP), em resposta ao manejo dos adubos verdes no solo.

FV	GL	Quadrados Médios <sup>1/</sup>				
		DS	DP	PT (%)	MICROP	MACROP
Tratamentos	5	0,0016 ns	0,0080 ns	5,918 ns	0,0002 ns	0,0011 ns
Blocos	3	0,0011	0,0006	1,409	0,0004	0,0009
Erro A	15	0,0012	0,0099	4,781	0,0002	0,0010
Prof	1	0,1438 **	0,0303**	139,67**	0,0086 **	0,0445 **
Trat x Prof.	5	0,0007	0,0070	3,561	0,00006	0,0004
Erro B	18	0,0005	0,0097	2,798	0,0001	0,0006
CV (%)		3,46	3,90	3,67	3,22	15,73

<sup>1/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns = não significativo

Quadro 5A. Análise de variância para valores de estabilidade de agregados do solo, nas diferentes classes de tamanho, em resposta ao manejo dos adubos verdes no solo.

FV	GL	Quadrados Médios <sup>1/</sup>					
		> 2,00 mm	2 a 1,00 mm	1 a 0,5 mm	0,5 a 0,25 mm	0,25 a 0,105 mm	< 0,105 mm
Tratamentos	5	0,309 ns	0,111 ns	0,194 ns	0,094 ns	0,014 ns	0,479 ns
Blocos	3	10,47	0,470	0,858	1,492	0,195	0,169
Erro A	15	0,763	0,486	0,321	0,531	0,084	0,517
Prof	1	79,25**	2,075**	8,375**	6,242**	0,271**	2,412**
Trat x Prof.	5	3,128	0,456	0,407	0,628	0,055	0,171
Erro B	18	1,430	0,175	0,347	0,472	0,086	0,315
CV (%)		11,55	19,42	14,56	19,85	19,58	15,01

<sup>1/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns = não significativo

Quadro 6A. Análise de variância para valores de diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, em resposta ao manejo dos adubos verdes no solo.

FV	GL	Quadrados Médios <sup>1/</sup>
		DMP
Tratamentos	5	0,0050 ns
Blocos	3	0,1308
Erro A	15	0,0118
Prof	1	0,9722 **
Trat x Prof.	5	0,0445 *
Erro B	18	0,0194
CV (%)		7,60

<sup>1/</sup> \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns = não significativo