

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Influência do Preparo do Solo e de Plantas de
Cobertura na Erosão Hídrica de um Argissolo
Vermelho-Amarelo**

Eleandro Silva da Cruz

2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**INFLUÊNCIA DO PREPARO DO SOLO E DE PLANTAS DE
COBERTURA NA EROÇÃO HÍDRICA DE UM ARGISSOLO
VERMELHO-AMARELO**

ELEANDRO SILVA DA CRUZ

Sob a Orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

e Co-orientação do Pesquisador/Professor
Marcos Bacis Ceddia

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Março de 2006

658.32

B333r

Cruz, Eleandro Silva da, 1979-

Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo/

Eleandro Silva da Cruz. - 2006.

57f. : grafs., tabs.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 50-57.

1. Erosão Hídrica – Cobertura do solo – Brasil – Teses. 2. Imagens digitais – Brasil – Teses. I. Cruz, Eleandro Silva da. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

ELEANDRO SILVA DA CRUZ

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/ 03/ 2006.

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Carlos Alberto Alves Varella. Dr. UFRRJ

José Guilherme Marinho Guerra. Dr. EMBRAPA

Demétrius David da Silva. Dr. UFV

ÍNDICE DE TABELAS

<u>Tabela 1. Algumas características físicas e químicas do Argissolo Vermelho Amarelo em que foram implantadas as parcelas de perda de solo.</u>	15
<u>Tabela 2. Exemplo de uma matriz de erros (CONGALTON, 1991).</u>	22
<u>Tabela 3. Coeficiente de ajuste da função discriminante linear de Fisher ($\hat{\alpha}$), índice GR médio e coeficiente de variação (CV) para as classes planta e solo agrupadas por tratamento, com e sem sombreamento</u>	25
<u>Tabela 4. Coeficientes Kappa, variâncias e valores de Z calculados para as imagens classificadas utilizando o <i>software</i> SIARCS[®] e de acordo com VARELLA et al. (2002) para os diferentes tratamentos, de acordo com o grau de sombreamento</u>	27
<u>Tabela 5. Coeficientes Kappa e valores Z calculados, a partir de amostragens feitas em imagens classificadas utilizando o <i>software</i> SIARCS[®] e de acordo com VARELLA et al. (2002) (VAR), para os diferentes tratamentos, de acordo com o grau de sombreamento.</u>	28
<u>Tabela 6. Matriz de erro resultante da classificação das imagens das coberturas do solo provenientes dos tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, utilizando o <i>software</i> SIARCS[®]</u>	28
<u>Tabela 7. Matriz de erro resultante da classificação das imagens das coberturas do solo provenientes dos tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, de acordo com VARELLA et al. (2002)</u>	29
<u>Tabela 8. Coberturas relativas do solo determinadas através do programa SIARCS e de acordo com VARELLA et al., 2002 (VAR) em diferentes épocas de amostragens.</u>	31
<u>Tabela 9. Massa seca de parte aérea com o corte feito 91 dias após semeadura, dos tratamentos Mucuna Cinza e Crotalária, e aos 100 dias após semeadura para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo</u>	32
<u>Tabela 10. Lâminas totais precipitadas, em mm, índices de erosividade EI_{30}, em $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, e padrões de precipitação das chuvas ocorridas durante a execução do experimento</u>	34
<u>Tabela 11. escoamento superficial de parcelas experimentais entre 24/12/2004 e 25/05/2005</u>	36
<u>Tabela 12. EI_{30} médio acumulado ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) necessário para causar escoamento superficial médio de 1mm.</u>	40
<u>Tabela 13. Perdas de solo, em $kg\ ha^{-1}$, observadas em 22 chuvas erosivas ocorridas durante a realização do experimento.</u>	41

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura 1. Vista geral da área experimental.</u>	15
<u>Figura 2. Desenho esquemático da disposição das parcelas experimentais com os tratamentos Mucuna (1), Milho em Nível (2), Milho Morro a Baixo(3), Crotalária (4) e Solo Exposto (5).</u>	16
<u>Figura 3. Detalhes construtivos das calhas coletoras de enxurradas construídas para o estudo de perdas de solo e água.</u>	17
<u>Figura 4. Esquema do funcionamento do conjunto das estruturas utilizadas nas coletas de perdas de solo e água.</u>	18
<u>Figura 5. Evolução da cobertura do solo, até os 46 dias após o plantio, proporcionada pelo plantio em nível de <i>Crotalária Juncea</i>, com densidade de plantio de 400.000 plantas por hectare.</u>	20
<u>Figura 6. Porcentagem de coberturas determinadas utilizando a metodologia proposta por VARELLA et al. (2002) e o software SIARCS.</u>	26
<u>Figura 7. Evolução da cobertura do solo para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, obtidas de acordo com VARELLA et al. (2002) e utilizando o software SIARCS®.</u>	31
<u>Figura 8. Dinâmica da decomposição da matéria seca da parte aérea obtida através de bolsas plásticas e modelos ajustados</u>	33
<u>Figura 9. Escoamento superficial observado na parcela ocupada com o tratamento Milho Morro a Baixo: Vista geral da parcela (a) e escoamento pelos sulcos de plantio (b).</u>	37
<u>Figura 10. Lâminas totais escoadas acumuladas (mm) em função das lâminas totais precipitadas acumuladas (mm) para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível, Milho Morro a Baixo e Solo Exposto.</u>	40
<u>Figura 11. Perdas acumuladas de solo, em função das lâminas precipitadas acumuladas, para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível, Milho Morro a Baixo e Solo Exposto.</u>	44
<u>Figura 12. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Mucuna</u>	45
<u>Figura 13. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Crotalária</u>	46
<u>Figura 14. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Milho em Nível.</u>	47
<u>Figura 15. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Milho Morro a Baixo.</u>	48
<u>Figura 16. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Solo Exposto</u>	49

RESUMO

CRUZ, Eleandro Silva da. **Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2006. 69p Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

A erosão do solo é um sério fator de degradação ambiental e está correlacionado com diversas características, tais como erodibilidade do solo, erosividade das chuvas e nível de cobertura do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes formas de preparo do solo e de coberturas vegetais nas perdas de água e solo causadas por erosão hídrica em um Argissolo Vermelho Amarelo, bem como avaliar dois tipos de classificadores de imagens utilizados para a determinação da taxa de cobertura, proporcionada pelas projeções das copas das plantas no solo. Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, localizado no município de Seropédica-RJ, no período de 24 de dezembro de 2004 a 25 de maio de 2005. Foram implantadas cinco parcelas de 22 m de comprimento por 3,5 m de largura, no terço médio de uma encosta com aproximadamente $0,09 \text{ m m}^{-1}$ de declividade. Cada parcela foi ocupada com um tipo de tratamento, quais foram: Preparo convencional do solo em nível e semeadura de Mucuna Cinza (*Mucuna pruriens*) em nível - Mucuna; preparo convencional do solo em nível e semeadura em nível de Crotalária (*Crotalaria juncea*) – Crotalária; preparo convencional do solo em nível e semeadura de Milho (*Zea mays*) em nível – Milho em Nível; preparo convencional do solo no sentido do declive e semeadura de milho no mesmo sentido – Milho Morro a Baixo; e preparo convencional do solo no sentido do declive, mantido sem nenhum tipo de cobertura – Solo Exposto. As taxas de cobertura do solo foram determinadas através de fotografias digitais obtidas perpendicularmente à superfície do solo, aos 15, 23, 29, 33, 41, 44, 51, 56, 62, 68, 72, 76, 81 e 83 dias após a semeadura. Foi feito também o acompanhamento da taxa de decomposição dos resíduos vegetais em superfície, provenientes do corte da parte aérea das plantas. Aos dados de perda de água e taxa de decomposição foram ajustados modelos matemáticos que melhor se correlacionassem. Ambas as metodologias testadas para se fazer a classificação de imagens digitais, com a finalidade de se determinar as porcentagens de cobertura do solo, se mostraram viáveis com exatidões globais superiores a 0,9. Os maiores níveis de cobertura do solo foram proporcionados pelo tratamento Crotalaria e Mucuna. A decomposição dos resíduos vegetais provenientes dos tratamentos Crotalaria e Mucunas decresceu exponencialmente com o tempo de exposição, enquanto que os resíduos vegetais provenientes dos tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo se correlacionaram de forma exponencial e linear com o tempo de exposição. O preparo do solo no sentido do declive associado à semeadura de milho no mesmo sentido proporcionou as maiores perdas de solo e de água, enquanto que o cultivo de crotalária em nível foi responsável pelas menores perdas de solo e de água.

Palavras chave: Taxa de cobertura do solo, perda de solo e água, manejo do solo.

ABSTRACT

CRUZ, Eleandro Silva da. **Tillage and cover plants influence in hidric erosion in a Argissolo Vermelho-Amarelo soil.** 2006. 69p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica , RJ, 2006.

The soil erosion is a serious ambient degradation factor and is correlated with diverse characteristics, such as soil erodibility, rain erosivity and soil cover level. This work was developed in order to evaluate the effect of different kind of soil tillage and soil vegetal cover in the losses of water and soil caused by hidric erosion in an Argissolo Vermelho-amarelo, as well as evaluating two types of images classificators used to determinate the tax of covering, proportionated for the projections of the pantries of the plants in the soil surface. The experiments was conducted in the Experimental field at Embrapa Agrobiologia, located at count of Seropédica, Rio de Janeiro state, Brazil, between 24 December, 2004 and 25 May, 2005. Five plots with 22 m per 3,5 m was instaled in the midle place of encost, with nearly 0,09 m m⁻¹ declivity. In some plots was applied the folows treatments: Conventional soil tillage in level and Mucuna Cinza (*Mucuna pruriens*) sowing – Mucuna; Conventional soil tillage in level and sowing in level of Crotalária (*Crotalaria juncea*) – Crotalária; Conventional soil tillage in level and sowing in level of Maize (*Zea mays*) – Milho em Nível; Conventional soil tillage in sensing of declivity and sowing of Maize in the same sensing – Milho Morro a Baixo; and Conventional soil tillage in sensing of declivity, without soil cover – Solo Exposto. The soil cover level was determinated using digital photographs taked perpendiculary to the soil surface, at 15, 23, 29, 33, 41, 44, 51, 56, 62, 68, 72, 76, 81 e 83 days after sowing. Was maked too the determination of decomposition of crops residues in the soil surface, from crops. Was adjusted mathematics models to water and soil losses and decomposition residues, acording the better correlation. Both the methods evaluated to make the digital images classification, with the intention to determinate the soil cover levels, was viable, with global exactiness over 0,9. The bigger soil cover levels was from treatments Crotalária and Mucuna. The decomposition of crop residues from Crotalaria and Mucuna treatments, was decreasing exponentially acording the exposition period, while the crop residues from Milho em Nível and Milho Morro a Baixo was decreasing exponentially and lineary, with the period exposition. The soil tilage in the declivity direction, associated to Maize sowing in the same direction, contributed to increasing the soil and water losses, while the crotalaria sowing in level generated the smaller soil and water losses.

Key words: hydric erosion, tillage systems, erosion plots

SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO</u>	1
<u>2 REVISÃO DE LITERATURA</u>	4
2.1 Perdas de Solo e Água	4
2.2 Cobertura Vegetal do Solo	7
2.3 Classificadores de Imagens	10
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS</u>	15
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	15
3.2 Descrição das Parcelas	16
3.3 Tratamentos Empregados	17
3.4 Coleta de Enxurradas	18
3.5 Quantificação das Perdas de Solo	19
3.6 Avaliação da Cobertura do Solo	20
3.6.1 <i>Análise das imagens</i>	20
3.6.2 <i>Validação dos classificadores de imagens utilizados</i>	21
3.7 Taxa de Decomposição “in situ” da Matéria Seca	22
3.8 Estudo das Características das Chuvas	23
3.8.1 <i>Registro da precipitação</i>	23
3.8.2 <i>Cálculo da erosividade das chuvas</i>	23
3.8.3 <i>Cálculo do coeficiente de escoamento (C_{esc})</i>	23
<u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	25
4.1 Análise da Cobertura do Solo	25
4.1.1 <i>Análise das imagens digitais</i>	25
4.1.2 <i>Decomposição “in situ” dos resíduos vegetais</i>	32
4.2 Lâmina, Erosividade e Padrão das Precipitações	34
4.3 Perda de Água	35
4.4 Perdas de Solo	41
4.5 Variáveis Estudadas	44
<u>5. CONCLUSÕES</u>	50
<u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	51

1 INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um grave problema ambiental, sendo um dos fatores determinantes para a inviabilização de grande das terras cultiváveis. No entanto, este é um processo natural que pode ser acelerado pela intervenção do homem, que ao adotar sistemas de manejo inadequados, expõe o solo à ação das chuvas erosivas e dos ventos. Diversas são as conseqüências do processo erosivo, podendo-se citar a perda de terras cultiváveis pela redução da área de produção, o assoreamento de reservatórios de água reduzindo sua capacidade, o arraste de nutrientes para corpos d'água, prejudicando a manutenção do equilíbrio ecológico nestes ecossistemas e a consolidação do processo de desertificação em áreas susceptíveis a tal fenômeno.

O homem interfere decisivamente na intensidade do processo erosivo, no entanto, existem técnicas de exploração do solo que são capazes de reduzir a magnitude do processo erosivo, tais como cultivo em nível, manutenção da cobertura do solo, adoção de práticas de preparo do solo que preconizam a menor alteração das camadas naturais do solo, entre outras. Desta forma fica evidente a grande quantidade de práticas que podem ser aplicadas com a finalidade de se beneficiar a conservação do solo.

A erosão pode ser dividida em erosão hídrica e eólica, sendo os seus agentes respectivamente a água e o vento. A erosão hídrica é uma das formas de degradação do solo mais comuns nas terras cultiváveis. Este fenômeno varia com as características edafoclimáticas do local, sofrendo assim grande variação em áreas distintas. Este processo é condicionado principalmente pelos fatores chuva, solo, topografia, cobertura, manejo e práticas conservacionistas, atuando juntos ou isoladamente, para culminar com o desprendimento, arraste e deposição das partículas do solo. A incidência de chuvas com maiores intensidades na época de implantação e desenvolvimento das culturas, por exemplo, contribui para o agravamento da erosão hídrica, sobretudo em culturas de sequeiro, quando a época de plantio, em que a cobertura do solo é pequena, coincide com o período das chuvas.

A capacidade da chuva de causar erosão está relacionada com a quantidade de energia contida nas gotas que atingem o solo. Esta energia pode ser considerada energia cinética e varia com a intensidade de precipitação e o diâmetro das gotas de chuva. Assim sendo, a declividade do terreno, aliada ao poder erosivo das chuvas, influi negativamente no processo de erosão hídrica do solo, uma vez que quanto maior for a inclinação e a energia cinética das gotas de chuva, maior será a desagregação das partículas do solo, facilitando seu deslocamento até outras áreas.

Em linhas gerais a erosividade das chuvas pode ser entendida como a capacidade que uma determinada chuva tem de causar erosão, e pode ser mensurada através de alguns índices, destacando-se o EI_{30} , que é o produto da energia cinética total de uma determinada chuva pela maior intensidade de precipitação observada em um intervalo de 30 minutos (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Outra característica importante das chuvas é o padrão de precipitação, definido em função da ocorrência do pico de intensidade de precipitação com relação à sua duração. Quando os maiores valores de intensidade de precipitação ocorrem no primeiro terço de duração da chuva, diz-se que se trata de uma chuva de padrão de precipitação avançado, sendo este tipo de chuva o menos danoso sob o ponto de vista do favorecimento do processo erosivo. Por outro lado, se uma chuva erosiva apresenta ao longo de sua distribuição o pico de intensidade no terço médio de sua duração, trata-se de uma chuva de padrão intermediário. Finalmente, as chuvas erosivas com padrão de precipitação atrasado apresentam os picos de

intensidade de precipitação durante o terço final de sua duração, coincidindo com a condição de solo já umedecido e, por conseqüência, com menor capacidade de infiltração, favorecendo o processo de escoamento superficial.

A erosividade das chuvas deve ser levada em consideração para a implementação de ações ou programas de conservação do solo. As chuvas com maior poder erosivo causam maior desagregação na superfície do solo, removendo e transportando a distâncias maiores estas partículas. Havendo a deposição de partículas de solo em outro local, ocorre a obstrução parcial ou total dos poros do solo, reduzindo então sua capacidade de infiltração e, conseqüentemente, aumentando o volume de escoamento superficial.

A erodibilidade do solo, por sua vez, pode ser entendida como a predisposição do solo de ser erodido, sendo influenciada por suas características intrínsecas. Desta forma, é um parâmetro altamente variável, uma vez que o tipo de solo é influenciado por diversos fatores, que vão desde material de origem, clima, relevo até temperatura.

Dentre as conseqüências mais evidentes do processo erosivo, destaca-se o assoreamento dos corpos d'água. A carga de sedimentos transportada via processo erosivo e depositada nos leitos dos rios e lagos traz consigo nutrientes, que na maioria das vezes são responsáveis pelo processo de eutrofização dos corpos d'água, interferindo de maneira negativa nestes ecossistemas. Além disso, a deposição de sedimento no fundo dos rios e lagos provoca uma diminuição da área para escoamento da água, causando alagamentos a montante e redução da oferta de água à jusante dos pontos de assoreamento dos rios.

No meio agrícola, a maior parte dos sistemas de manejo adotados são inadequados sob o ponto vista de conservação do solo, uma vez que favorecem o processo erosivo, seja por manter o solo descoberto, seja por empregar práticas de revolvimento do solo. Isto provoca a destruição da estruturação natural que o solo apresenta, facilitando o processo de escoamento superficial. No entanto, práticas conservacionistas podem ser empregadas na produção de alimentos, sem, contudo, significar a redução da produtividade.

As práticas conservacionistas preconizam basicamente a redução dos processos de alteração das condições físico-químicas do solo, mantendo a qualidade do ambiente ao qual está inserido o solo. O uso de métodos de preparo e semeadura com baixo grau de mobilização do solo e com manutenção dos resíduos culturais na superfície, por exemplo, cresceu expressivamente nos últimos anos. Estes métodos apresentam uma série de vantagens em relação aos convencionais uma vez que, em geral, há maior rugosidade e cobertura superficial do solo. Estas características fazem com que as perdas de água sejam reduzidas, diminuindo assim a necessidade de complementação das demandas hídricas das plantas por irrigação, acarretando racionalização do uso de insumos no sistema produtivo. Observa-se, ainda, que nos sistemas conservacionistas em geral há uma redução das perdas totais de nutrientes por erosão, gerando também uma economia no uso de adubação mineral e/ou orgânica para a manutenção da fertilidade do solo.

A manutenção da cobertura viva do solo, portanto, pode ser considerada uma importante técnica para se reduzir e, até mesmo, anular a ocorrência do processo erosivo, e deve estar contemplada em qualquer conjunto de práticas conservacionistas. Neste sentido, algumas espécies de plantas têm sido estudadas para serem utilizadas como plantas de cobertura e para adubação verde, protegendo o solo do impacto das gotas de chuva, fazendo a ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, garantindo uma fonte de nutrientes ambientalmente segura e relativamente barata para as culturas econômicas.

A quantificação adequada das taxas de cobertura se faz necessária em estudos sobre processos erosivos, uma vez que, as perdas de solo e água estão relacionadas às diferenças nas taxas de cobertura do solo. Existem diversos métodos de mensuração das taxas de cobertura vegetal, desde os mais simples aos mais sofisticados, e cada um tem suas vantagens e desvantagens, devendo estas serem levadas em consideração no momento da decisão sobre

qual metodologia empregar para se determinar as taxas de cobertura do solo para os fins propostos.

É neste contexto que se justifica a execução deste trabalho, que teve como objetivos avaliar dois tipos de classificadores de imagens para a determinação de taxas de cobertura do solo e os efeitos de diferentes formas de preparo do solo e de coberturas vegetais nas perdas de água e solo causadas por erosão hídrica em parcelas experimentais de perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, no município de Seropédica-RJ.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Perdas de Solo e Água

Erosão é o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento, e entre os fatores que influenciam na magnitude do processo erosivo estão as chuvas, a infiltração, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variável, conforme o local de ocorrência (SILVA et al., 2003).

O processo de erosão é resultante de duas formas de ocorrência, a erosão entressulcos e a erosão em sulcos, dependendo das condições superficiais em que ocorrem e da forma de atuação do agente erosivo (ELLISON, 1947; MEYER et al., 1975). Segundo PEREIRA et al. (2003), a erosão entressulcos é descrita como o processo de desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas da chuva, pelo transporte no escoamento de lâmina rasa e pela liberação de sedimentos para os pequenos sulcos ou canais. Desta forma, a presença de resíduos vegetais no solo aumenta a rugosidade hidráulica, reduzindo a velocidade e aumentando a profundidade do fluxo superficial (FOSTER, 1982).

De acordo com FOSTER et al. (1982), a taxa de desagregação do solo em entressulcos pode ser estimada pela Equação 1:

$$D_i = K_i \cdot i^2 \cdot S_f \cdot C_i \quad (1)$$

em que D_i é a taxa de desagregação do solo de solo em entressulcos, expresso em $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$; K_i representa a erodibilidade do solo em erosão em entressulcos, expresso em kg s m^{-4} ; i é a intensidade de precipitação, em m s^{-1} ; S_f é coeficiente do fator de declividade; e C_i é o coeficiente do fator cobertura do solo.

O fator declividade do solo pode ser estimado a partir da Equação 2, proposta por LIEBENOW et al. (1990):

$$S_f = 1,05 - 0,85 \cdot e^{-4 \text{sen } \Omega} \quad (2)$$

em que S_f é coeficiente do fator de declividade; e é a base do logaritmo natural, e Ω é o ângulo do declive.

Já o fator cobertura do solo em entressulcos pode ser estimado pela Equação 3, de acordo com FOSTER (1982):

$$C_i = C_{iI} \cdot C_{iII} \cdot C_{iIII} \quad (3)$$

em que C_i é fator de cobertura do solo; C_{iI} é o efeito da cobertura proveniente do dossel das culturas; C_{iII} é o efeito da cobertura de acordo com o contato direto dos resíduos com a superfície do solo; e C_{iIII} é o efeito dos resíduos incorporados ao solo. O subfator C_{iIII} pode ser estimado, segundo FOSTER (1982), pela Equação 4:

$$C_{iIII} = \xi \cdot \exp \left\{ -0,21 \cdot [(y_c / y_d) - 1]^{1,18} \right\} \quad (4)$$

em que ξ é a fração da superfície exposta ao impacto direto das gotas de chuva; y_c representa a altura da lâmina de água na superfície com cobertura; e y_d representa a altura da lâmina de água na superfície sem cobertura.

A Equação 4 considera que, com a presença de cobertura em contato direto com o solo, a desagregação só ocorre na fração descoberta da superfície exposta ao impacto direto das gotas de chuva. Considera, ainda, que, nessa fração da superfície, a taxa de desagregação é reduzida pelo aumento da profundidade do fluxo superficial, ou seja, a profundidade do fluxo superficial no solo coberto será sempre maior que no solo descoberto.

No entanto, LAFLEN et al. (1985) sugerem que o subfator C_{iIII} seja estimado pela Equação 5:

$$C_{iIII} = e^{-2,5 \cdot CS} \quad (4)$$

em que CS é a cobertura do solo, em $m^2 m^{-2}$. Essa relação simplifica o cálculo do subfator C_{iIII} , uma vez que a variável fica dependente apenas da cobertura do solo.

BRAIDA & CASSOL (1999), em experimento conduzido no município de Santa Maria-RS, verificaram que o uso da Equação 4, proposta por FOSTER (1982) para estimar o fator C_{iIII} , superestimou-o para as menores doses de palha e superestomou-o para as maiores doses de palha, em relação aos valores estimados principalmente para a palha de milho. Os autores verificaram ainda que a Equação 5, proposta por LAFLEN et al. (1985) produziu estimativas do subfator C_{iIII} mais consistentes com os dados observados, com exceção para as menores quantidades de palha de trigo, cujos valores estimados foram menores que os observados. Estes resultados levaram os autores a concluir que as relações do subfator C_{iIII} com a cobertura do solo foram semelhantes àquelas propostas por LAFLEN et al. (1985), reforçando a adequação do modelo proposto para a estimação de desse subfator.

A erosão no sulco resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar canais mais ou menos profundos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Esta forma de erosão é função da capacidade do escoamento em desprender os sedimentos, da capacidade de transporte do escoamento e da carga de sedimentos existentes no escoamento (FLANAGAN et al., 1995, citado por PEREIRA et al., 2003), sendo a maior parte do solo perdida em pequenos sulcos que se formam em decorrência do escoamento superficial (TISCARENO LOPEZ et al. (1993), citado por PEREIRA et al., 2003). Esta é também a forma de erosão mais característica e por isso mais percebida em áreas submetidas ao processo erosivo.

Em termos globais, a erosão do solo proveniente de ecossistemas terrestres contabiliza aproximadamente 190×10^{15} g de sedimentos anualmente, sendo que 10% deste montante é transportado para os oceanos (LAL, 1995). Estima-se que durante os últimos 40 anos, cerca de um terço do total das terras aráveis do mundo foram permanentemente danificadas pela erosão e continuam sendo danificadas a uma razão de 10×10^6 ha ano⁻¹ (PIMENTAL et al., 1995).

Frente a importância que o fenômeno apresenta, muitos estudos têm sido realizados no intuito de avaliar como os diferentes tipos de manejo do solo tem influenciado nas perdas por erosão (VINSENTIN et al., 2002; FONSECA et al., 2003; CASSOL & LIMA, 2003; ANDRELLO et al., 2003; CASSOL et al., 2004; ATREYA et al., 2005; BERTOL et al., 2003; BERTOL et al., 2004a; LEITE et al., 2004).

Segundo COGO et al. (2004), a erosão em terras cultivadas causa a remoção do solo superficial, rebaixando-o e, assim, progressivamente diminuindo o seu potencial produtivo e o rendimento das culturas, aumentando os custos de produção das mesmas e, assim, diminuindo a lucratividade da lavoura, soterra as plantas jovens cultivadas nas várzeas e em outras partes baixas do terreno, causa o assoreamento de valas de drenagem, canais de irrigação e de terraços, reservatórios, rios e lagos, diminuindo sua capacidade efetiva de armazenamento e de condução de água e, finalmente, degradando a qualidade das águas superficiais. BERTOL

(2002) estima que o valor da terra de um Cambissolo Húmico Alumínico léptico seria completamente perdido, devido à erosão hídrica, em 65 anos com o solo sem cultivo e em 2.495 anos quando a prática da semeadura direta fosse empregada no mesmo solo.

Segundo DERPSCHE (2004), o uso sustentável dos recursos naturais significa reduzir e, no caso ideal, evitar o escoamento superficial, aumentando a eficiência da utilização da água e dos nutrientes. Para que isto ocorra é necessário aliar as boas práticas agrícolas sob o ponto de vista de conservação do solo, a rendimentos satisfatórios que permitam a sobrevivência digna dos trabalhadores que tiram da terra seu sustento. No entanto, as perdas de solo e água são extremamente dependentes das características intrínsecas do solo, do seu manejo e das chuvas incidentes, entre outros fatores (REICHERT et al., 2001; COGO et al., 2004; BERTOL et al., 2004a; FRANCO et al., 2002), e desta forma não é uma tarefa simples cruzar informações tão distintas e dependentes das características locais.

PEREIRA et al. (2003) analisando o efeito de diferentes vazões de escoamento superficial e declividade nas perdas de solo resultantes, concluíram que a declividade apresentou um efeito mais expressivo nas taxas de perda de solo do que a vazão, demonstrando que o cultivo inadequado em encostas declivosas pode acarretar perdas de solo de grande vulto. Neste sentido, ATREYA et al. (2005), estudando a influência do preparo reduzido do solo e o cultivo convencional em plantios de milho e de milho consorciado com soja sobre as perdas de solo nas montanhas do Himalaia, em um terço médio de encosta com 18% de declividade, observaram que as perdas durante dois anos de observações foram significativamente menores quando o preparo reduzido do solo foi empregado em detrimento ao preparo convencional. No entanto, com relação às perdas de água não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. As perdas anuais de solo variaram de 16,6 e 11,1 Mg ha⁻¹, para o preparo convencional e reduzido do solo, respectivamente. BELOTTI & OLIVEIRA (2004) encontraram, para duas áreas de plantio de milho, de Cambissolo no Município de Brumadinho (MG), perdas de solo da ordem de 8,1 e 14,2 Mg ha⁻¹, respectivamente quando se levou em consideração o aspecto conservação do solo e quando isto não foi feito.

A eficácia da manutenção da cobertura do solo para o controle da erosão pode ser observada no trabalho de AMORIM (2003), verificou que num Latossolo Vermelho-Amarelo a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo contribuiu para a redução percentual das perdas de solo e de água de, aproximadamente, 95% e 68%, respectivamente. No mesmo estudo, o autor observou ainda que a cobertura vegetal associada ao preparo do solo em nível, proporcionou uma redução de 99% de perda de solo e 87% de perda de água, quando comparada com as perdas ocorridas na parcela mantida descoberta com solo preparado no sentido do declive. Os valores médios de perda de solo encontrados nas condições estudadas por AMORIM (2003) foram de 57,35 Mg ha⁻¹ e de 107,33 mm de perda de água, no período de Novembro a Março na cidade de Viçosa-MG.

No Estado do Paraná, pesquisas evidenciaram que de 15 a 20 Mg ha⁻¹ de solo são perdidos anualmente, em áreas intensivamente mecanizadas (PARANÁ, 1989). No Estado de São Paulo, a perda anual devido à erosão é de aproximadamente 194.106 toneladas de terras férteis, dos quais 48,5 de toneladas chegam aos mananciais em forma de sedimentos transportados, causando seu assoreamento e poluição (TAPIA-VARGAS et al., 2001).

Segundo BERTOLINI et al. (1993), são perdidos em torno de 10 kg de solo para cada 1 kg de soja produzido e 12 kg de solo para cada 1 kg de algodão produzido no Estado de São Paulo, devido ao uso e manejo inadequados do solo. BHATT & KHERA (2005), estudando o efeito da cobertura do solo sobre as perdas de solo em uma área de submontanha do Punjab – Índia, verificaram que em uma única chuva de 79,5 mm, as perdas de água foram de 43,7 mm e as perdas de solo foram de 25 Mg ha⁻¹, em parcelas cujo solo foi preparado convencionalmente e mantido descoberto.

LEITE et al. (2004) observaram, em um Nitossolo Háplico aluminoso argiloso sob chuva simulada, que o cultivo de milho e feijão em semeadura direta sobre resíduos dessecados em solo previamente preparado reduziu as perdas de solo em 96% em relação ao cultivo de milho e feijão com uma aração e duas gradagens sobre resíduos dessecados, e que para os mesmos tratamentos as perdas de água equivaleram a 7% e 22%, respectivamente.

2.2 Cobertura Vegetal do Solo

A degradação dos solos brasileiros está ligada ao esgotamento da fertilidade do solo, a ocorrência do processo de erosão acelerada, entre outros fatores (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Desta forma, técnicas agrícolas que promovam o aumento da cobertura e a ciclagem de nutrientes devem ser empregadas no intuito de se utilizar este recurso natural de forma racional (CASSOL et al., 2004; TOLK et al., 1999; NUÑES et al. 2003).

Diversas são as técnicas disponíveis para se manejar o solo, no entanto, o emprego de técnicas inadequadas pode inutilizar permanentemente um solo para a exploração agrícola, devendo-se empregar técnicas que sejam viáveis econômica e ambientalmente. Neste sentido, a utilização de plantas em cobertura surge como uma alternativa para a manutenção da qualidade do solo. O emprego de plantas de cobertura é capaz de reduzir a intensidade do processo erosivo, podendo inclusive promover o re-estabelecimento de suas condições físicas e químicas do mesmo.

Estudando o efeito da cobertura vegetal sobre as perdas de solo em uma área de submontanha na região do Punjab - Índia, BHATT & KHERA (2005) verificaram que o escoamento superficial médio aumentou cerca de 50% quando o solo foi mantido descoberto e 17% quando foi adicionado cerca de 6 Mg ha⁻¹ de palha em superfície. Já LEITE et al. (2004), estudando a influência de diferentes tipos de manejo do solo nas perdas de solo e água, em um Nitossolo Háplico sob chuva simulada, observaram que a queima de resíduos culturais aumentou as perdas de solo em 21 vezes em relação à ausência de queima e que as perdas de água equivaleram em média a 22,5% do volume das chuvas aplicadas, para área não queimada, e a 26,5% para área que sofreu o processo de queima. Os mesmos autores observaram ainda que as perdas de solo relacionaram-se exponencialmente com a percentagem de cobertura da superfície pelos resíduos culturais e com a cobertura pela copa das plantas.

A utilização de plantas de cobertura pode promover a renovação da fertilidade das camadas superficiais do solo, pela retirada de nutrientes das camadas subsuperficiais com a conseqüente liberação na superfície, após o corte e a decomposição dos resíduos culturais (ANDRIOLI et al., 2004; PERIN et al., 2004). Neste sentido, ESPÍNDOLA et al. (2006), estudando a dinâmica da decomposição e da liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras no município de Seropédica-RJ, verificaram que houve rápida liberação de N, Ca e Mg pelas leguminosas, enquanto a vegetação espontânea apresentou o mesmo comportamento para P, evidenciando o potencial das leguminosas herbáceas perenes na liberação de nutrientes.

O aumento da cobertura do solo pode também proporcionar o controle da oscilação da temperatura do solo em função da incidência dos raios solares. OLIVEIRA et al. (2005) avaliando a variação da temperatura e umidade do solo em resposta a diferentes tipos e níveis de cobertura do solo, no município de Viçosa-MG, concluíram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciaram diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo, e ainda que as oscilações mais expressivas ocorreram quando o terreno encontrava-se sem cobertura e quando a direção do plantio da cultura facilitava a exposição a insolação. Resultados semelhantes foram obtidos também por GIRARDELLO et al., 2004.

Diversos são os tipos de plantas com potencial para a utilização como cobertura do solo e adubação verde. Segundo STUTE & POSNER (1995), citados por ESPÍNDOLA et al.

(2006), para que um adubo verde seja eficiente no fornecimento de nutrientes, deve haver sincronia entre o nutriente liberado pelo resíduo da planta de cobertura e a demanda da cultura de interesse comercial.

As leguminosas representam um grupo de plantas com potencial para a utilização como adubação verde, por apresentarem, nas condições edafoclimáticas brasileiras, boa produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes, mesmo sob condições de baixa tecnologia. DOURADO et al. (2001), estudando a influência da adubação fosfatada e da poda na produção de matéria seca e de grãos da crotalária (*Crotalaria juncea* L.) no município de Selvíria-MS, verificaram que com a poda e a adubação fosfatada, não foi alterada a produção de matéria seca nem a de grãos, mas apenas a qualidade fisiológica das sementes de crotalária, evidenciando a viabilidade da utilização desta espécie como planta de cobertura e/ou adubação verde.

Sob o ponto de vista de conservação do solo, uma planta de cobertura deve apresentar, entre outras características, boa produção de parte aérea, uma vez que isto irá favorecer a redução na intensidade do processo erosivo, redução esta favorecida pelo amortecimento do impacto das gotas de chuva sobre o solo (FOSTER, 1982). Além disso, a utilização de plantas de cobertura pode proporcionar um incremento na quantidade de carbono no solo, favorecendo a agregação das partículas, o que favorece o processo de infiltração da água e redução do escoamento (BAYER et al., 2003). De acordo com CASSOL et al.(2004), o aumento da cobertura do solo com resíduos vegetais elevam a altura da lâmina de escoamento e a rugosidade hidráulica, além da velocidade média de escoamento, provocada pelo aumento das forças viscosas, que por sua vez é provocado pela interposição física dos resíduos ao escoamento, o que por fim resulta na redução da taxa de desagregação do solo.

Para que seja significativo este incremento de carbono orgânico no solo, é fundamental a adição de quantidades elevadas de material de origem orgânica no sistema. NASCIMENTO & SILVA (2004), avaliando a fitomassa de leguminosas para o uso como cobertura de solo no município de Alagoinha-PB, verificaram que a leucena (*Leucaena leucocephala* L.) , o guandu (*Cajanus cajan* L.), a mucuna preta (*Stylobium aterrimum* L.), o kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides* L.), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.), a cunhã (*Clitoria ternatea* L.) e a mucuna cinza (*Stylobium cinereum* Piper e Tracy), produziram, em ordem decrescente, as maiores quantidades de fitomassa, que variaram de 12,48 a 6,52 Mg ha⁻¹. Estes resultados demonstram o potencial para a utilização de leguminosas como plantas de cobertura do solo.

A manutenção de resíduos sobre a superfície do solo, por si só não é capaz de manter a sustentabilidade do sistema, devendo ser acompanhada de técnicas que favoreçam a manutenção das características físicas e químicas naturais do solo. Partindo desta premissa, GHUMAN & SUR (2001) estudando o efeito do cultivo e da manutenção de resíduos culturais nas propriedades do solo e na produção de milho e trigo, cultivados em um solo argilo-arenoso na região do Punjab-Índia, constataram que existe a necessidade de se utilizar a cobertura vegetal do solo em conjunto o cultivo mínimo com o objetivo de se aumentar a qualidade do solo e se manter/aumentar a produção das culturas.

No entanto, o estabelecimento de leguminosas herbáceas perenes nos sistemas de plantio ainda constitui um desafio, uma vez que estas apresentam um desenvolvimento inicial lento, necessitando se fazer o controle das plantas espontâneas durante a fase inicial de estabelecimento (PERIN et al., 2000). Além disso, após estabelecidas, estas culturas podem competir com as culturas principais por água e nutrientes, se o plantio for mal planejado. Por outro lado, as leguminosas perenes competem com espécies espontâneas e inteferem no ciclo reprodutivo dessas espécies, o que reduz a mão-de-obra empregada no controle da vegetação espontânea, conforme observado por WILES et al.(1989), LANINI et al. (1989) e SARRANTONIO (1992), citados por PERIN et al. (2004).

A escolha correta da população de plantas, bem como das espécies empregadas, integra o conjunto de ações a serem desenvolvidas em atividades cujo objetivo seja promover a conservação do solo através da utilização de plantas de cobertura. PERIN et al. (2004), avaliaram a cobertura do solo e o estoque de nutrientes de galáxia (*Galactia striata*) e cudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*), em uma área experimental no município de Seropédica-RJ, e verificaram que a densidade adequada para a rápida cobertura do solo para cudzu tropical e galáxia foi de 10 plantas m⁻¹, no espaçamento de 25 cm entre os sulcos de plantio. Estes resultados evidenciam o fato de que o emprego de espécies como cobertura viva do solo deve seguir certos critérios técnicos, que variam de acordo com a cultura empregada, para que seja alcançada a eficiência almejada.

Algumas relações empíricas podem ser estabelecidas no intuito de se estimar a as dinâmicas de crescimento e de decomposição das plantas. Segundo PERIN et al. (2003), a dinâmica da evolução da cobertura do solo pelo crescimento do amendoim forrageiro pode ser descrita pela Equação 5:

$$TC = \frac{A}{1 + B^{(-k \text{ DAP})}} \quad (5)$$

em que TC, expresso em %, é taxa de cobertura do solo; A é o limite superior da taxa de cobertura do solo; B está relacionado com o tamanho inicial do sistema; K é a taxa de incremento inerente ao sistema.

Para descrever o processo de decomposição dos resíduos vegetais, WIEDER & LANG (1982), citados por AITA & GIACOMINI (2003), sugerem a utilização dos modelos matemáticos que seguem (Equações 6 e 7):

$$MSR = A e^{-k_a t} + (100 - A) \quad (6)$$

$$MSR = A e^{-k_a t} + (100 - A) e^{-k_b t} \quad (7)$$

em que MSR é a percentagem de matéria seca remanescente no tempo *t* (dias); *k_a*, *k_b* são as constantes de composição da matéria seca do compartimento mais facilmente decomponível (A) e do compartimento mais recalcitrante (100-A), respectivamente.

Ambos os modelos consideram que a matéria seca dos resíduos culturais pode ser dividida em dois compartimentos. No primeiro modelo (Eq.6) apenas a matéria seca do compartimento mais facilmente decomponível (A) é transformada, diminuindo exponencialmente a uma taxa constante. Já a MS do segundo compartimento (100-A) são mais recalcitrantes, e por isso não sofrem transformação no período de tempo considerado. No segundo modelo (Eq.7), a MS dos dois compartimentos diminuem exponencialmente com taxas constantes, no entanto, o primeiro compartimento apresenta uma taxa maior do que o segundo. Levando-se em consideração as características gerais das plantas leguminosas e gramíneas, sob as mesmas condições, poderíamos afirmar que a Equação 6 descreve o comportamento da decomposição de resíduos provenientes de gramíneas e a Equação 7 de resíduos de leguminosas.

AITA & GIACOMINI (2003) comentam que a partir dos valores da constante de decomposição da MS de cada compartimento pode-se calcular o tempo de meia vida (*t*_{1/2}), que pode ser descrito como o tempo necessário para haver a decomposição de 50% da MS daquele compartimento, sendo que, para isto pode-se utilizar a Equação 8, cuja dedução é apresentada em PAUL & CLARK, 1996.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k_{(a,b)}} \quad (8)$$

Desta forma, chega-se a constatação de que a manutenção da cobertura do solo é importante sob o ponto de vista econômico e ambiental, existindo para isto espécies adequadas para cada condição de solo e de clima.

2.3 Classificadores de Imagens

A utilização conjunta de sensores remotos e equipamentos de processamento e transmissão de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através de registro e análise das interações eletromagnéticas com elementos componentes do planeta Terra, em suas mais diferentes manifestações, é definida por NOVO (1992) como sensoriamento remoto. Neste sentido, a utilização de imagens pode ser empregada para estudar objetos ou atributos, o que pode servir para a tomada de decisões em diversas áreas do conhecimento.

Uma das formas de se estudar os fatores presentes na superfície terrestre, consiste na utilização de imagens, as quais devem conter as representações de todos os atributos que se deseja estudar. No entanto, vários são os tipos de imagens utilizadas para estudar o ambiente, dependendo da finalidade do estudo a ser desenvolvido. No campo do sensoriamento remoto, é indispensável se fazer a classificação das imagens, visando facilitar a sua interpretação e a extração de informações relevantes presentes na mesma. Para que isto seja possível, lança-se mão de modelos classificadores, que consistem em algoritmos implementados em programas específicos, cuja finalidade é reduzir os erros de interpretação, que são influenciados por fatores relacionados à falta de qualidade das imagens e pela intervenção humana.

Diversas são as metodologias para se avaliar os classificadores de imagens, porém, a maioria destas metodologias é fundamentada na correspondência entre os atributos analisados nas imagens e a sua ocorrência no campo de observação. Assim, como forma de validação das informações contidas nas imagens, diversos pesquisadores têm associado informações coletadas em campo com as contidas em imagens, utilizando para isto, a tecnologia do Sistema Global de Posicionamento (GPS).

As técnicas de avaliação da taxa de cobertura do solo são diversas e cada uma traz consigo um determinado erro de interpretação. PERIN (2001) fez o acompanhamento do crescimento das plantas, até a cobertura total do solo, por meio de fotografias que foram processadas com auxílio do software SIARCS[®] 3.0, conforme descrito por JORGE & CRESTANA (1996). O autor concluiu que a cobertura total do terreno ocorreu para a mucuna cinza, centrosema, amendoim forrageiro e galáxia aos 37, 92, 114 e 114 dias após o plantio, respectivamente. No entanto, uma limitação deste método é a impossibilidade de avaliar a taxa de cobertura do solo em ocasiões em que não haja contraste entre o solo e a cobertura, como por exemplo na cobertura proporcionada pela palha em um solo com alto teor de matéria orgânica.

MAGALHÃES et al. (2004) testaram dois métodos de mensuração da cobertura vegetal em áreas de pastagem por meio de análise de regressão. Em um desses métodos, proposto por STOCKING (1994), as leituras eram feitas de forma aleatória e transversalmente às linhas da cultura e medidas por um aparato que consistiu em uma estrutura horizontal, contendo orifícios para visualização, a cerca de 1,5m de altura do solo. O outro método, considerado alternativo, consistiu em uma plataforma de madeira com 10 orifícios, possibilitando a obtenção de leituras verticais para identificação qualitativa e quantitativa da área visada, a olho nu, através de tubos de 10 mm de diâmetro por 150 mm de comprimento, espaçados de 5 cm. Os autores concluíram que as médias de percentual de cobertura vegetal obtidas pelos dois métodos não diferiram estatisticamente e ainda, que o tempo de execução das leituras no campo foi significativamente menor no método alternativo quando comparado

ao método proposto por STOCKING (1994). Desta forma, o método a ser utilizado para a estimativa da cobertura do solo deve ser definido de acordo com o propósito do estudo, bem como pelo grau de exatidão requerido pelo mesmo.

VARELLA et al. (2002) desenvolveram um programa computacional utilizando redes neurais para estimar a cobertura do solo a partir de fotografias digitais. Os autores concluíram que o classificador utilizado apresentou índice de exatidão global de 82,10%, indicando que a metodologia pode ser utilizada em programas computacionais para separar feições, onde a diferença entre a intensidade do brilho não permite a aplicação da técnica de limiarização, como no caso de palha sobre um solo. De acordo com estes autores, é possível também se fazer a classificação de atributos solo e planta em imagens digitais baseando-se na relação existente entre os *pixels* que representam o atributo solo e que representam o atributo planta.

De acordo com este pré-suposto, cada observação é composta pelos valores numéricos das bandas do vermelho, verde e azul. Dividindo-se os valores numéricos da banda do verde pelos valores numéricos da banda do vermelho, obtém-se um índice, denominado de índice de cobertura verde (GR). O índice GR tende a ser maior do que 1 (um) para o atributo planta e menor do que 1 (um) para o atributo solo.

Com a finalidade de fazer a distinção entre os atributos solo e planta em uma imagem, pode-se montar uma matriz de índices GR que pode ser utilizada no ajuste da função discriminante linear de Fisher. Um exemplo de matriz pode ser visualizado abaixo:

$$GR = \begin{bmatrix} GR_{P_3} & GR_{S_3} \\ GR_{P_4} & GR_{S_4} \\ GR_{P_5} & GR_{S_5} \\ \vdots & \vdots \\ GR_{P_{14}} & GR_{S_{14}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

em que GR = matriz de índices de cobertura verde; GRP= vetor de índices de cobertura verde para plantas; e GRS=vetor de índices de cobertura vermelha para solo.

A função discriminante linear de Fisher é uma combinação linear de características observadas que apresenta maior poder de discriminação entre duas populações (JOHNSON & WICHERN, 1999). Tal função tem a propriedade de minimizar as probabilidades de má classificação, quando as populações são normalmente distribuídas. A função discriminante linear de FISHER é dada por:

$$D(X) = \hat{a}' X = [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]' S_c^{-1} X \quad (10)$$

em que: D(X) = função discriminante linear de FISHER; \hat{a} = coeficiente de ajuste da função discriminante linear de Fisher; X= vetor de características das populações; \bar{x}_1 = vetor de média amostral das características da população π_1 ; \bar{x}_2 = vetor de média amostral das características da população π_2 ; e S_c^{-1} = inversa da matriz comum de covariância amostral das populações π_1 e π_2 .

A avaliação da qualidade da classificação pode ser feita identificando-se nas imagens classificadas, amostras de pontos que foram classificados corretamente e que não foram. Partindo-se da amostra de validação, os resultados da classificação podem ser organizados em uma matriz quadrada, de dimensão igual ao número de classes, denominada matriz de erro ou confusão (CONGALTON, 1991). Nesta matriz, os resultados da classificação são colocados nas colunas e na diagonal principal são colocados os números de observações cuja classificação esteja de acordo com a sua referência. No restante da coluna são colocados os

números de observações omitidas e classificadas como outras classes, que representam os erros de omissão ou exclusão.

Dividindo-se o número de observações omitidas pelo total de observações da classe correspondente, ou seja, pelo total da coluna, tem-se o erro de omissão por classe. A soma desses erros, em todas as colunas, dividido pelo total de amostras é o erro global, ao passo que, na linha, a soma dos valores fora da diagonal principal é o erro de comissão ou inclusão naquela classe, que é calculado ao ser dividido pelo total na linha. O erro de omissão (EO) está relacionado com a 'exatidão do produtor' (1-EO), pois o produtor do classificador tem interesse em conhecer como ocorreu o acerto da classificação dos objetos. O erro de comissão (EC) está relacionado com a 'exatidão do usuário' (1-EC), pois é a confiabilidade que o usuário tem quanto aos resultados da classificação.

Uma maneira simples de avaliar um classificador é por meio do erro global, no entanto, este erro independe dos erros de omissão e comissão, que são importantes na avaliação de um classificador. Desta forma, COHEN (1960), citado por ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS (1986), desenvolveu um coeficiente de concordância denominado kappa. CONGALTON e MEAD (1983) afirmam que esta é uma técnica de análise estatística multivariada discreta que pode ser utilizada, pois os dados em uma matriz de erros são discretos e multinormais. De acordo estes autores, o tratamento estatístico é uma medida do acerto real menos o acerto por acaso. De acordo com ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS (1986) o coeficiente kappa pode ser definido de acordo com a Equação 11:

$$\hat{K} = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (11)$$

em que: \hat{K} = Estimativa do coeficiente Kappa; P_o = Proporção de unidades corretamente classificadas; e P_c = Proporção esperada de acerto por acaso.

Conforme HUDSON e RAMM (1987), ao computar os totais marginais na matriz de erro, o coeficiente kappa pode ser estimado pela Equação 12.

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i}} \quad (12)$$

em que: x_{ii} = Valor na linha i e coluna i da matriz de erros; $x_{i\oplus}$ = Total da linha i; $x_{\oplus i}$ = Total da coluna i; n = Número total da amostra; e c = Número total de classes.

O kappa é igual a zero quando o acerto obtido pelo classificador é igual ao acerto por acaso. Valores positivos de kappa ocorrem quando o acerto for maior que o acaso, enquanto os negativos ocorrem quando o acerto é pior do que uma classificação por acaso. O maior valor de kappa (+1,00) ocorre quando existe uma classificação perfeita (COHEN, 1960, citado por ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986).

SOUTH et al. (2004) testaram quatro tipos de algoritmos classificadores para fazer a identificação de áreas com cultivo mínimo e cultivo convencional a partir de uma imagem *Landsat ETM+* da parte Sul de Michigan e Norte de Indiana, nos Estados Unidos. Os resultados indicaram que dos classificadores de rotina examinados, os dois métodos de ângulos espectrais foram superiores aos demais, baseados nas distâncias, sendo que o algoritmo baseado no co-seno do ângulo foi superior aos demais, obtendo em média uma acurácia de 97,2% e coeficiente “Kappa” de 0,959.

DAUGHTRY et al. (2006), objetivando avaliar vários índices espectrais para medir a cobertura proveniente de resíduos de milho e soja utilizando dados multi e hiper-espectrais de satélite e categorizar a intensidade de cultivo do solo, através de imagens *Landsat Thematic Mapper* e *EO-1 Hyperion* de campos agrícolas na região central de Iowa – USA, verificaram

que os índices espectrais dos resíduos usando as bandas da imagem *Landsat* relacionaram fracamente com a cobertura pelos resíduos. Já com os dados *Hyperion*, os mesmos autores observaram que a cobertura do solo foi linearmente relacionada com o índice de absorção da celulose, o qual mede a intensidade relativa da absorção da celulose e lignina, caracteristicamente próxima de 2.100nm.

POWELL et al. (2004), ao examinar fontes de erro introduzidas durante a avaliação da precisão de um mapa de cobertura do solo gerado a partir de uma imagem *Landsat* do Estado de Rondônia, verificaram que os classificadores erraram em aproximadamente 30% das amostras de treinamento, sendo que amostras de referência mistas e localizadas em classes de transição foram as maiores fontes de erro. Os autores verificaram ainda que os acertos no atributo Floresta de estágio secundário de crescimento, entre ambos os classificadores, ficaram em média abaixo de 50%, enquanto que para o atributo Floresta primária ficou acima de 90%. As discordâncias entre o mapa e os dados de referência, atribuídas a erros de geolocalização, ficaram acima de 30%, e as discordâncias atribuídas a mudanças na cobertura do solo entre as datas de coletas foram de 2,4%. Após a geocorreção, 24% das discordâncias restantes corresponderam a amostras de referência com atributos mistos e 47% corresponderam às bordas de *pixels* no mapa classificado.

XAVIER et al. (2004) estudando a relação entre o índice de área foliar (IAF) de diversos tipos de cobertura do solo com Frações Componentes Puros (FCPs) do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), a partir de uma imagem do sensor ETM+ a bordo do satélite LANDSAT, em uma microbacia hidrográfica no município de Piracicaba-SP, verificaram que as relações do IAF com a fração do componente puro vegetação (F_{VEG}) e com a fração do componente puro solo (F_{SOL}) foram significativas, embora fracas. Os mesmos autores ainda concluíram que ao considerar apenas os dados de IAF de cana-de-açúcar, houve aumento da variação explicada tanto para F_{VEG} , quanto para F_{SOL} , sugerindo que a estratificação da vegetação pelo tipo pode melhorar a estimativa do IAF.

Uma outra aplicação prática para a utilização de imagens digitais é a identificação de constituintes do solo. MADEIRA NETO (1991) ao estudar três Latossolos com diferentes teores e tipos de óxidos de ferro observou comportamento diferenciado na reflectância dos mesmos, quando a matéria orgânica foi removida. A cor do solo é um importante parâmetro uma vez que é reflexo de sua própria constituição mineralógica e do seu teor de matéria orgânica. Neste sentido, ESCADAFAL et al (1989) obtiveram coeficientes de correlação superiores a 0,9 ao estudar relações entre a cor do solo, medida com a carta de Munsell, e as bandas do LANDSAT. Informações semelhantes foram obtidas também por POST et al. (2004). Sobre isto DALMOLIN et al. (2005) concluíram que o comportamento espectral de solos é dependente de suas características físicas, químicas e biológicas, e que utilizando técnicas de sensoriamento remoto, podem-se obter informações de maneira rápida e não destrutiva da constituição de solos em nível de laboratório ou em nível orbital.

ARAÚJO et al. (2004) desenvolveram uma metodologia para explorar o potencial de informações contidas em fotografias digitais aéreas, de lavouras em várias fases de desenvolvimento vegetativo das culturas da soja e do milho. Esta metodologia foi aplicada em duas áreas de cultivo nos municípios de Pirassununga e Campos Novos Paulista, Estado de São Paulo, e os autores concluíram que os coeficientes de determinação existentes entre o valor digital de imagens e a produtividade de grãos, para células ou “pixels” de 25 m² e 100 m², são muito baixos, e com o aumento do tamanho das células há uma tendência de diminuição dos referidos valores. Os mesmos autores concluíram ainda que as fotografias convencionais aéreas não podem ser utilizadas na previsão de produtividade, não sendo relevante a época de obtenção para as culturas da soja e do milho.

A utilização em conjunto de fontes de informações remotas e de campo pode produzir resultados satisfatórios. ESPÍRITO-SANTO & SHIMABUKURO (2005), ao fazer o

mapeamento da cobertura vegetal da região da Floresta Nacional do Tapajós no Pará, utilizando imagens multitemporais do satélite LANDSAT e a validação deste mapeamento por meio de imagens de videografia aérea e dados de campo, obtiveram uma exatidão global de classificação de 84,5% e um índice kappa de 80,9%. Além disso, os mesmos autores concluíram que a integração das imagens de videografias aéreas e dos pontos de levantamento de campo permitiu a realização de uma boa análise da exatidão do mapeamento da cobertura vegetal produzido por imagens orbitais.

No entanto, com objetivo de fazer a comparação do desempenho dos classificadores, pode-se fazer um teste de significância entre os dois coeficientes kappa independentes, a um determinado nível de significância, para isto CONGALTON e MEAD (1983), sugerem a Equação 13:

$$Z = \frac{\hat{K}_1 - \hat{K}_2}{\sqrt{\hat{\sigma}_{k1} + \hat{\sigma}_{k2}}} \quad (13)$$

em que: Z = Valor Z calculado; \hat{K}_1 = Estimativa do coeficiente Kappa do classificador 1; \hat{K}_2 = Estimativa do coeficiente Kappa do classificador 2; $\hat{\sigma}_{k1}$ = Estimativa da variância do Kappa do classificador 1; e $\hat{\sigma}_{k2}$ = Estimativa da variância do Kappa do classificador 2.

Segundo BISHOP et al. (1975), citados por HUDSON e RAMM (1987), a variância pode ser estimada utilizando a Equação 14.

$$\hat{\sigma}_k = \frac{1}{n} \left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \quad (14)$$

em que:

$$\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c x_{ii} \quad ; \quad \theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i} \quad ; \quad \theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^c x_{ii} (x_{i\oplus} + x_{\oplus i}) \quad ; e$$

$$\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c x_{ij} (x_{j\oplus} + x_{\oplus j})^2$$

Desta forma, se o valor Z calculado para o teste for maior que o valor Z tabelado, assume-se que o resultado é significativo e rejeita-se a hipótese nula ($H_0: K1=K2$), concluindo-se que os dois classificadores são estatisticamente diferentes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O presente estudo foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa, denominado “Terraço”, localizado no Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia (EMBRAPA AGROBIOLOGIA), município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, sob coordenadas geográficas 22° 46’ de latitude Sul e 43° 41’ de longitude Oeste. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo e as parcelas experimentais ocuparam o terço médio de uma encosta com declividade média de 0,09mm⁻¹ (Figura 1).



Figura 1. Vista geral da área experimental.

Na Tabela 1 encontram-se apresentadas algumas características físicas e químicas do solo da área de estudo (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1. Algumas características físicas e químicas do Argissolo Vermelho Amarelo em que foram implantadas as parcelas de perda de solo.

Horizonte	Composição granulométrica TFSA (%)				Grau de flocculação (%)	Silte/Argila
	Símb.	Prof. cm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm		
A	0-16	58	15	26	27	0,59
AB	16-27	50	14	36	19	0,38
BA	27-46	42	13	44	44	0,30
Bt ₁	46-90	46	12	42	77	0,30
Bt ₂	90-117	40	15	45	82	0,33
Bt ₃	117-155+	30	12	58	99	0,21

Símb.	pH H ₂ O	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	P ⁺⁺⁺	C	MO	N
		cmol.c.dm ⁻³				-mg.dm ⁻³				
A	4,90	0,20	4,10	2,80	1,30	47,00	4,00	1,04	1,80	0,11
AB	5,00	0,20	3,70	2,00	1,70	20,00	3,00	0,85	1,46	0,10
BA	5,10	0,00	3,40	2,30	1,10	14,00	1,00	0,48	0,83	0,06
Bt1	5,70	0,00	3,00	1,80	1,20	51,00	1,00	0,28	0,48	0,05

Bt2	5,90	0,00	2,30	1,10	1,20	6,00	1,00	0,24	0,41	0,04
Bt3	5,80	0,00	3,20	1,70	1,50	7,00	2,00	0,22	0,39	0,05

3.2 Descrição das Parcelas

Inicialmente o trabalho consistiu em recuperar cinco parcelas experimentais com dimensões 3,5m x 22,0m, que foram construídas no final dos anos 80 com objetivo de quantificar perdas de solo (CARVALHO, 1992; FREITAS, 1980). A Figura 2 apresenta a localização das parcelas na área experimental.

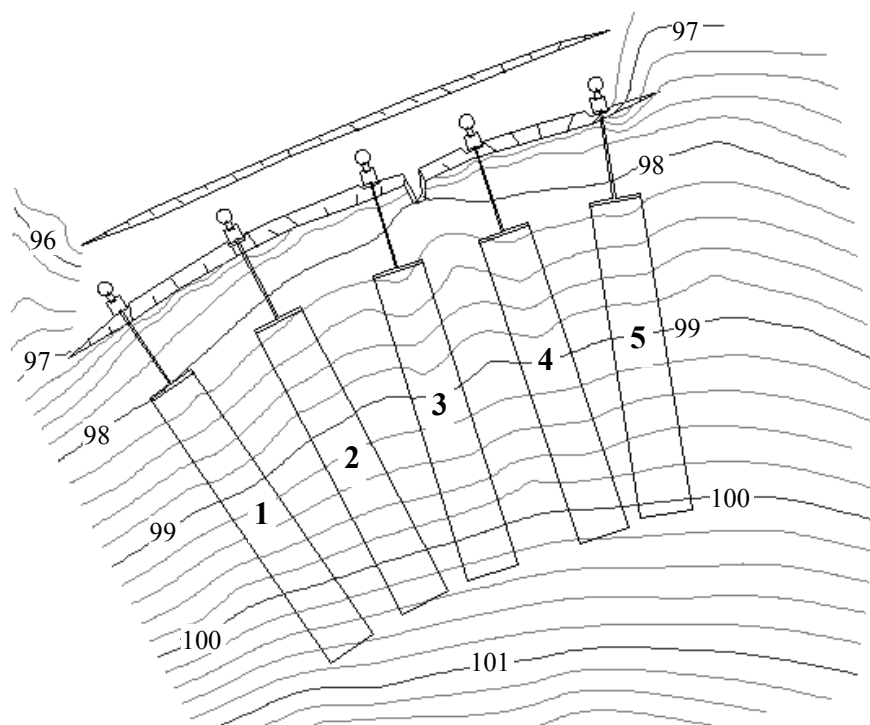


Figura 2. Desenho esquemático da disposição das parcelas experimentais com os tratamentos Mucuna (1), Milho em Nível (2), Milho Morro a Baixo(3), Crotalária (4) e Solo Exposto (5).

As parcelas foram delimitadas na parte superior e nas laterais por chapas galvanizadas de 2 m por 0,25 m, as quais foram cravadas até cerca de 0,1m no solo. Pelo fato das parcelas se encontrarem em condições inadequadas de funcionamento, em função do longo período de tempo sem a realização de experimentos de perda de solo, foi construída, em blocos de concreto, uma calha coletora de enxurradas na parte inferior de cada parcela, cujos detalhes são apresentados na Figura 3.

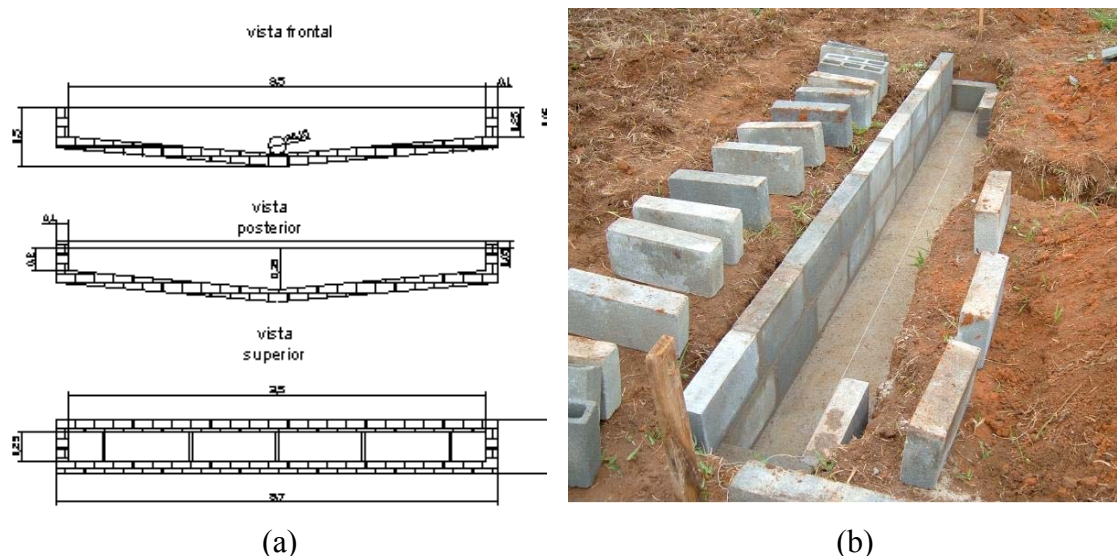


Figura 3. Detalhes construtivos das calhas coletoras de enxurradas construídas para o estudo de perdas de solo e água.

3.3 Tratamentos Empregados

Devido ao fato de a área já ter sido utilizada para experimentos de perda de solo, foram realizadas operações para se obter uma homogeneização do solo. Com o objetivo de conferir um certo grau de homogeneidade às camadas superficiais do solo antes da implantação das parcelas, foi realizada uma escarificação mecânica até 0,4m de profundidade, seguida de uma aração e duas gradagens, cerca de duas semanas antes do início do experimento. Todas estas operações foram realizadas em nível.

Após estas operações foram realizadas as atividades que se seguem, e que constituem os tratamentos empregados em cada parcela:

- **Mucuna** - Preparo convencional do solo (uma aração e duas gradagens) em nível e plantio de Mucuna Cinza (*Mucuna pruriens*) em nível, sendo com semeadura direta em sulcos espaçados de 0,5 m e uma densidade de 5 sementes por metro linear, em sistema de quincôncio;
- **Crotalária** - Preparo convencional do solo em nível e plantio de Crotalária (*Crotalaria juncea*) em nível, sendo a semeadura feita em sulcos espaçados 0,5m e na densidade de 20 sementes por metro linear;
- **Milho em Nível** - Preparo convencional do solo (uma aração e duas gradagens) em nível e Milho (*Zea mays*) BRS2110 da linha “compet” Bayer “seeds” semeado no espaçamento de 1 metro entre sulcos e 0,3 m entre plantas, mantendo-se, após desbaste, duas plantas entre os espaçamentos, com as linhas dispostas em nível;
- **Milho Morro a Baixo** - Preparo convencional do solo (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive e plantio do mesmo híbrido de milho utilizado no tratamento anterior com o mesmo espaçamento, porém, com as linhas de plantio dispostas de morro abaixo; e
- **Solo Exposto** - Preparo convencional do solo (uma aração e duas gradagens) no sentido do declive, mantendo-se o solo sem cobertura durante a execução do experimento.

As semeaduras foram realizadas no dia 22/12/2004, data em que as coletas de enxurradas começaram a ser feitas, porém, no tratamento Mucuna foi necessário repetir a semeadura sendo realizada no dia 29/12/2004 pelo fato de terem ocorrido falhas significativas na germinação comprometendo o estande. O mesmo procedimento foi adotado para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, sendo que, nestes casos as semeaduras foram realizadas no dia 14/01/2005.

Para todos os tratamentos, exceto Solo Exposto, foi realizada uma adubação de plantio, tendo sido aplicada uma dosagem de 80 kg.ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg.ha^{-1} de K_2O , juntamente com FTE na dosagem de 20 kg.ha^{-1} . A aplicação foi localizada nos sulcos de plantio, e as fontes de P e K empregadas foram respectivamente Superfosfato Simples (20% de P_2O_5) e Cloreto de Potássio (60% K_2O). A adubação aplicada foi baseada nos resultados revelados pela análise química de terra de amostras coletadas na profundidade de 0,0 - 0,4 m de profundidade, de acordo com as recomendações do Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (ALMEIDA et al., 1988).

3.4 Coleta de Enxurradas

As coletas de enxurradas foram realizadas sempre após cada evento de chuva capaz de proporcionar escoamento superficial. Para tanto, toda enxurrada escoada superficialmente era conduzida até a calha coletora, localizada na parte mais baixa da parcela, a qual estava conectada ao primeiro tanque de armazenamento (Figura 4 - Caixa A) por meio de tubos feitos em PVC com 0,15 m de diâmetro e 6m de comprimento. Este tanque tinha capacidade de armazenamento de 800 Litros e era dotado de uma calha coletora do tipo GEIB que permitia que, quando o volume de 800 L fosse ultrapassado, apenas um onze avos (1/11) do excedente fosse recolhido ao segundo tanque de armazenamento (Figura 4 - Caixa B), com capacidade de armazenagem de 1000 L. Ambas as caixas eram dotadas de tampas para que a precipitação não fosse contabilizada como escoamento superficial.

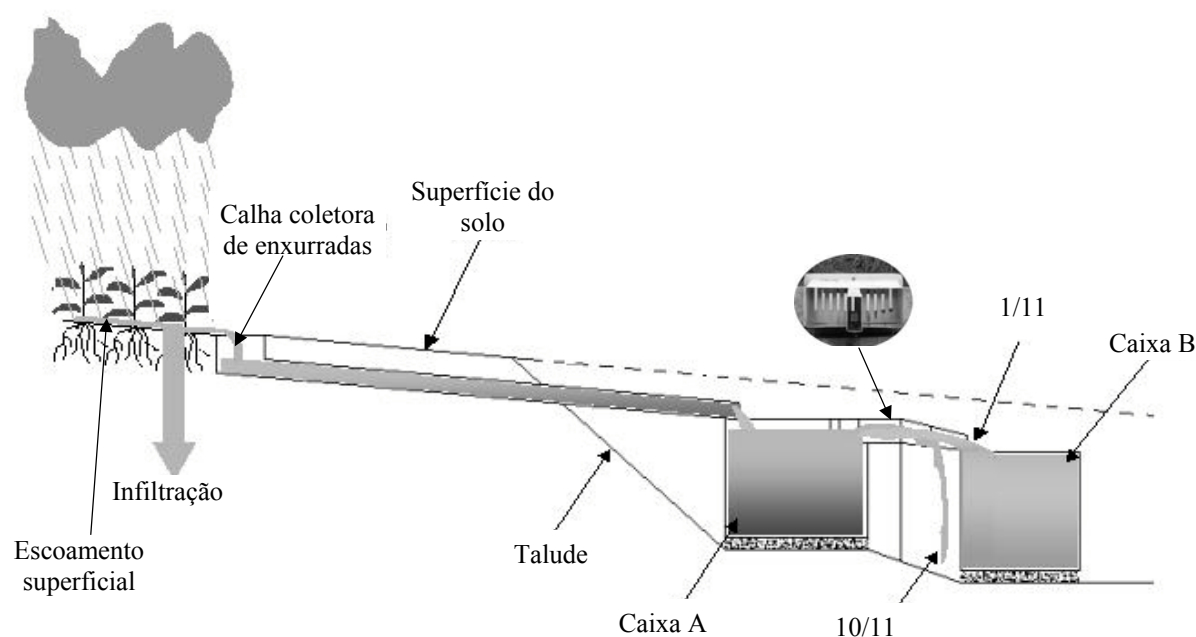


Figura 4. Esquema do funcionamento do conjunto das estruturas utilizadas nas coletas de perdas de solo e água.

O volume total escoado foi obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{VOL} = \text{VOL}_A + (11 \text{VOL}_B) \quad (15)$$

em que: VOL = Volume total escoado da parcela; VOL_A = Volume total escoado retido na primeira caixa de armazenamento; e VOL_B = Volume total escoado retido na segunda caixa de armazenamento.

De posse do volume total escoado calculou-se o escoamento superficial, de acordo com a Equação 16:

$$L_{esc} = \frac{V_{esc}}{A} \quad (16)$$

em que: L_{esc} = Lâmina escoada (mm); V_{esc} = Volume total escoado da parcela (L); e A = Área da parcela (m^2).

Após toda chuva capaz de gerar escoamento superficial foram realizadas as amostragens do sedimento e da suspensão retidos na(s) caixa(s), conforme os procedimentos descritos a seguir:

A) Em se verificando a presença de suspensão na Caixa B, a coleta começava por ali, homogeneizando a suspensão e retirando-se 3 (três) alíquotas de 1 Litro cada uma para fins de quantificação do peso de sólidos em suspensão e 1 (uma) alíquota de 0,5 L para fins de determinação dos teores de Potássio, Cálcio e Magnésio em solução. Após esta coleta, a caixa era esvaziada por um orifício localizado no fundo da mesma, sendo limpa e fechada novamente;

B) Após a realização do procedimento descrito anteriormente, toda vez que havia presença de sedimento, fazia-se a coleta do material retido na Caixa A. Para isto, primeiramente era feita a constatação da presença de sedimento no fundo da Caixa, homogeneizando-se logo em seguida o material (suspensão e sedimento), procedendo-se então da mesma forma de coleta descrita no item anterior, coletando-se inclusive o mesmo número de amostras;

C) Se por acaso fosse constatada a presença de quantidade significativa de sedimentos no fundo da Caixa A após a realização das tarefas descritas anteriormente, ao invés desta ser esvaziada por completo, deixava-se uma lâmina d'água equivalente ao volume de 40 L de suspensão misturada ao sedimento depositado. Este material era então homogeneizado ininterruptamente, até o fim da coleta de 3 (três) amostras com 0,5L cada uma, as quais foram utilizadas para a determinação da massa de solo depositada no fundo da Caixa A, bem como para a determinação do teor de nutrientes;

D) Após a realização dos procedimentos anteriores e após esvaziadas as Caixas A e B, estas eram lavadas e tampadas até o próximo evento de chuvas, após o que repetiam-se todos os procedimentos.

3.5 Quantificação das Perdas de Solo

Para a determinação da massa de solo erodido, presente na suspensão, as garrafas com 1L de amostra (item 3.5 - A e B) foram agitadas e vertidas em provetas, adicionando-se cerca de 10 mL de uma solução de Sulfato de Alumínio na concentração de 1 N, o que fazia com que em pouco tempo toda argila em suspensão viesse ao fundo da proveta. Após a verificação de que toda argila presente estivesse precipitada, parte da água era retirada por meio de sifonagem para facilitar a secagem das alíquotas acondicionadas recipientes de alumínio levados a estufa mantida a $105^{\circ}C$ durante 24 horas. Após a secagem completa determinou-se a massa de solo contida em 1 L de suspensão. Os valores de perda de solo considerados para os cálculos foram médias de três repetições, ou seja, as três amostras de suspensão coletadas nas Caixas A, e B se fosse o caso.

Para a determinação da massa de solo presente nos sedimentos, as amostras foram acondicionadas em estufa de circulação forçada a $60^{\circ}C$, até que se atingisse massa constante, conforme metodologia utilizada também por SOUZA (2002) e CARVALHO et al. (2003).

As perdas totais de solo foram determinadas somando-se a massa de solo presente na suspensão, extrapolada para o volume total escoado (Equação 15), com a massa de solo do sedimento, extrapolada para 40 litros (item 3.5 - C).

3.6 Avaliação da Cobertura do Solo

3.6.1 Análise das imagens

O acompanhamento da evolução da cobertura do solo proporcionada pela parte aérea das plantas foi feito por meio de fotografias digitais tomadas aos 15, 23, 29, 33, 41, 44, 51, 56, 62, 68, 72, 76, 81 e 83 dias após a semeadura, sendo que parou-se de fazer as amostragens no momento em que a altura do docel atingisse cerca de 2 m, ou o nível de cobertura alcançasse a quase totalidade.

As fotografias foram tiradas mantendo-se a câmera a uma distância de 2,9 metros da superfície do solo, focando-se uma área útil de 2m² delimitada por um quadro de madeira acomodado na superfície do solo. Para que fossem tomadas fotografias sempre do mesmo local, dentro das parcelas, foram definidas áreas de referência no terço superior, médio e inferior de cada parcela, sendo as imagens tomadas sempre do mesmo local, durante o ciclo de crescimento das plantas.

As imagens foram tomadas sempre entre 7 e 9 horas da manhã para reduzir os efeitos negativos do sombreamento por ocasião do processamento das imagens. Na Figura 5 encontram-se apresentados, a título de exemplificação, imagens tomadas de crotalária em diferentes dias após semeadura, e que foram utilizadas para a determinação da taxa de cobertura do solo.

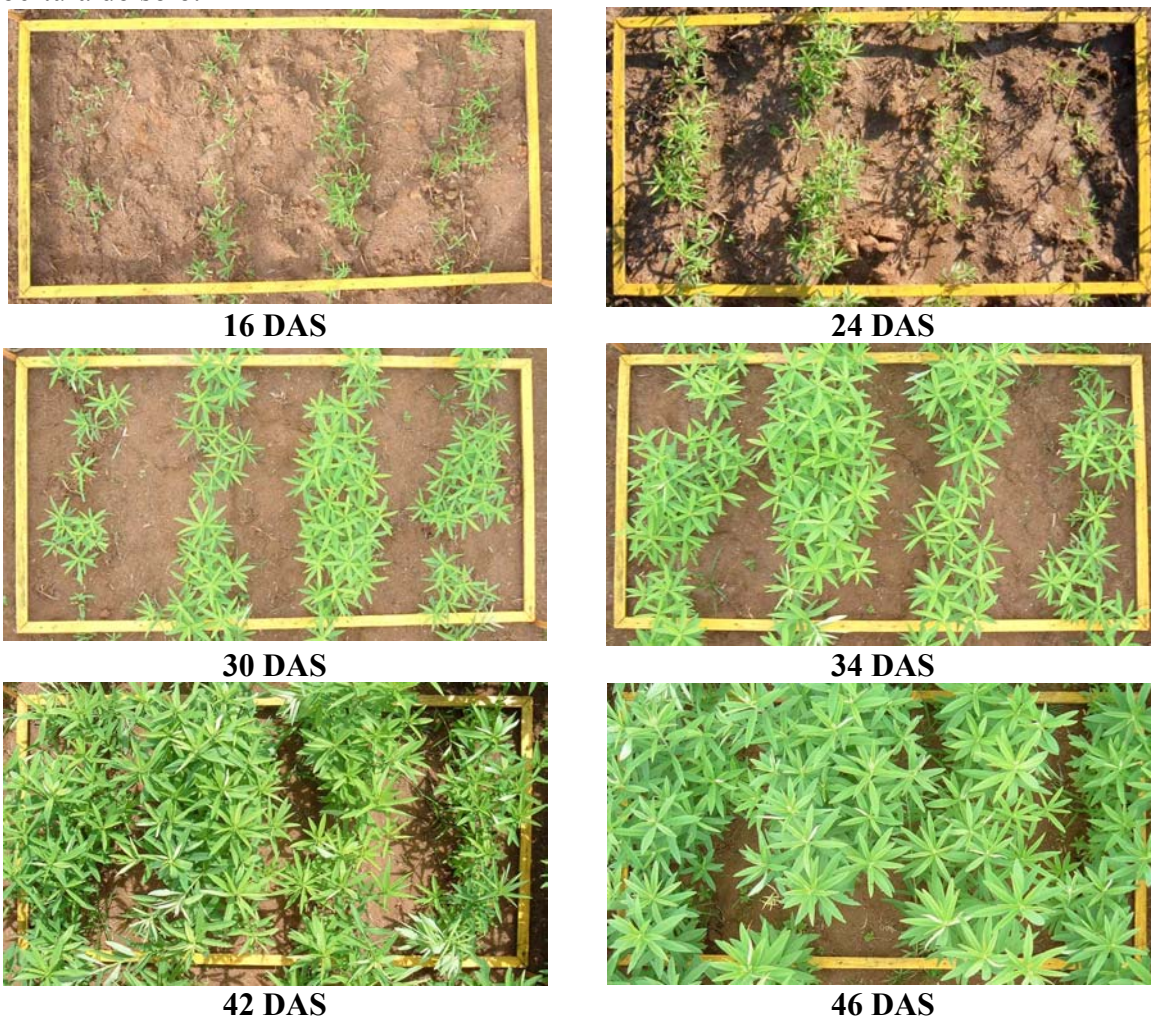


Figura 5. Evolução da cobertura do solo, até os 46 dias após o plantio, proporcionada pelo plantio em nível de *Crotalaria Juncea*, com densidade de plantio de 400.000 plantas por hectare.

Com a finalidade de se determinar a taxa de cobertura do solo proporcionada pelas plantas, calculou-se a relação entre os *pixels* que representavam os atributos solo e planta em cada imagem. Para isto foram retiradas 10 observações de *pixels* de vegetação verde e 10 observações de *pixels* de solo descoberto em cada imagem de cada tratamento por época de amostragem.

Cada observação foi composta pelos valores numéricos das bandas do vermelho, verde e azul, e foram processadas dividindo-se os valores numéricos da banda do verde pelos valores numéricos da banda do vermelho, razão essa doravante denominada índice de cobertura verde (GR). De posse de arquivos em formato de texto contendo os valores de GR, foi montada uma matriz com duas colunas e dez vezes o número de imagens que foram analisadas para cada tratamento, do início ao fim das tomadas. Esta matriz foi utilizada para fazer o ajuste da função discriminante linear de Fisher (JOHNSON & WICHERN, 1999), com o objetivo de se minimizar as probabilidades de má classificação.

Algumas imagens apresentaram problemas de sobreposição, conforme pode ser observado na Figura 5 para 24 e 42 DAS, representando uma significativa fonte de erros por ocasião das análises. Este fato justificou a análise das imagens em dois grupos: com presença de sombra e sem presença de sombra de planta no solo.

O algoritmo classificador, baseado na metodologia proposta por VARELA et al. (2002), foi implementado no programa computacional MATLAB (MATHWORKS, 2000). A regra de classificação utilizada neste trabalho foi alocar X_0 na classe planta se $D(X_0) \geq \hat{m}$ e alocar X_0 na classe solo se $D(X_0) < \hat{m}$, em que: (X_0) = valor da função discriminante de Fisher para o pixel X_0 da imagem RGB; X_0 = valor do índice GR para o pixel X_0 da imagem RGB; \hat{m} = estimativa do ponto médio entre as classes planta e solo do índice GR.

Ao final obtiveram-se imagens binárias, com as mesmas dimensões das imagens originais, em que os *pixels* classificados como planta receberam valor “1” e os classificados como solo receberam valor “0”. A proporção de cobertura verde foi estimada dividindo-se o número de *pixels* de valor “1” pelo número total de *pixels* da imagem binarizada.

As mesmas imagens foram também analisadas utilizando-se o software SIARCS® (JORGE & CRESTANA, 1996), para fins de comparação entre os resultados obtidos. Para isto, foi necessário fazer a mudança de extensão das imagens e de resolução, adotando-se então a extensão de arquivo BMP (*Bit Map Windows*) e 300 dpi (*dots per inch*) de resolução.

3.6.2 Validação dos classificadores de imagens utilizados

Após a análise de todas as imagens de acordo com ambos os classificadores, foram amostradas nas imagens 10 *pixels* representativos do atributo planta, de acordo com a imagem original e 10 *pixels* representativos do atributo solo.

Partindo-se da amostra de validação, os resultados da classificação foram organizados em uma matriz quadrada, de dimensão igual ao número de classes (planta e solo), denominada matriz de erro ou confusão (CONGALTON, 1991). Os resultados da classificação foram então colocados nas colunas, sendo que, na diagonal principal foram colocados os números de observações que tiveram classificação correta, tomando-se como referência a imagem de origem. No restante da coluna foram alocados os números de observações omitidas e classificadas como outras classes. Para a obtenção do erro de omissão de cada classe, foi calculada a razão entre o número de observações omitidas e o total de observações da classe, ou seja, pelo total da coluna.

O erro global foi obtido pela razão entre o resultado da soma dos valores contidos na diagonal principal da matriz de erro e o total de amostras, subtraído de 1. A Tabela 2 representa um exemplo de uma matriz de erros para 4 atributos, conforme adaptação de CONGALTON, 1991.

Tabela 2. Exemplo de uma matriz de erros (CONGALTON, 1991)

Dados de referência						
Classes	A	B	C	D	Total linha $x_{i\oplus}$	Erro de Comissão (%)
A	65	4	22	24	115	43
B	6	81	5	8	100	19
C	0	11	85	19	115	26
D	4	7	3	90	104	13
Total coluna $x_{\oplus i}$	75	103	115	141	Total geral	Erro Global (%)
Erro de omissão (%)	13	21	26	36	434	26

Foi calculado também o coeficiente Kappa (COHEN (1960), citado por ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS, 1986). Para isto foi utilizada a equação proposta por HUDSON e RAMM (1987). O coeficiente kappa foi avaliado de acordo com o postulado por COHEN (1960), citado por ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS (1986), ou seja, considerou-se que o acerto obtido pelo classificador era igual a acerto obtido por acaso quando o valor de kappa era igual a zero, por outro lado, se o valor de kappa fosse superior a zero, considerou-se que o acerto foi maior que o acaso, enquanto que valores negativos de kappa indicaram que o acerto foi pior do que uma classificação por acaso.

Os valores dos coeficientes Kappa foram comparados ao nível de 5% de probabilidade (Z tabelado=1,96), através do teste Z . Desta forma, se o valor Z calculado para o teste fosse maior que o valor Z tabelado, assumia-se que o resultado era significativo e rejeitava-se a hipótese nula ($H_0: K_1=K_2$), concluindo-se que os dois classificadores eram estatisticamente diferentes.

3.7 Taxa de Decomposição “in situ” da Matéria Seca

Aos 90 dias após o plantio foi realizado o corte rente ao solo das plantas dos tratamentos Mucuna e Crotalária, as quais tiveram o caule seccionado em partes de aproximadamente 20 cm. Para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo foi feito o mesmo procedimento, porém o corte foi feito aos 99 dias após o plantio.

O acompanhamento da decomposição dos resíduos vegetais deixados sobre o solo por ocasião do corte das plantas foi feito por meio de bolsas plásticas de 0,4 x 0,3 m, com abertura de malha de 5 mm, nos quais foi colocado aproximadamente 50 g de material fresco cortado, sendo estes dispostos na superfície do solo, conforme metodologia adaptada de ESPINDOLA et al. (2006).

As determinações da quantidade do material remanescente foram feitas aos 03, 08, 16, 32, 62 e 92 dias após o corte para os tratamentos Mucuna e Crotalária, e aos 07, 15, 31, 61 e 90 dias após o corte para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo. Para isto, era retirado das bolsas o todo o material remanescente, após, este material era submetido a secagem em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 60°C até atingir peso constante. Em cada amostragem foram utilizadas três bolsas, e desta forma foram utilizadas ao todo 66 bolsas.

A partir dos dados coletados foram ajustados os modelos matemáticos que melhor se ajustaram, de acordo com os valores coeficiente R^2 .

3.8 Estudo das Características das Chuvas

3.8.1 Registro da precipitação

Para o armazenamento das magnitudes dos eventos de chuva ocorridos durante a condução do experimento, foi instalado um pluviógrafo digital do tipo pulso, o qual estava conectado a um Datalogger, previamente programado para armazenar valores de precipitação a cada minuto, e que foi instalado na área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), distando aproximadamente a 500 m, em linha reta, da área experimental.

Após cada evento de chuva erosiva, o dispositivo de memória era descarregado com o auxílio de um microcomputador e os dados eram então consistidos para serem utilizados posteriormente.

3.8.2 Cálculo da erosividade das chuvas

De posse dos dados pluviográficos procedeu-se então ao cálculo do índice de erosividade EI_{30} e identificaram-se os padrões das chuvas erosivas ocorridas durante a execução do experimento utilizando-se o programa “Chuveros”, que foi desenvolvido pelo Prof. Elemer Antonio Cassol, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS (COGO et al. 2003). O programa “Chuveros” calcula a erosividade das chuvas a partir de um arquivo de dados de extensão “.DAT”, que deve conter as chuvas de um ano no máximo, sendo que devem ser informadas apenas aquelas chuvas individuais e erosivas.

Para montagem do arquivo de dados, as chuvas foram divididas de acordo com os critérios adotados por MEHL (2000), o qual define uma chuva individual como sendo aquela separada de outra por um intervalo de no mínimo 6 horas com precipitação inferior a 1 mm, e erosiva como sendo a chuva cuja precipitação total seja superior a 10 mm, ou quando a precipitação for igual ou superior a 6 mm em 15 minutos de chuva.

A energia cinética das chuvas (EC) foi calculada a partir da equação básica de energia de Wischmeier ($EC = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I$), em $MJ ha^{-1}$. O I_{30} representa a intensidade máxima da chuva determinada com base em um período contínuo de 30 minutos, em $mm h^{-1}$ e o EI_{30} representa a erosividade da chuva (produto de EC por I_{30}), em $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$.

Utilizando o mesmo programa computacional, as chuvas foram ainda classificadas por padrões de acordo com a classificação proposta por MEHL (2000). O padrão avançado (AV) foi atribuído à toda chuva erosiva que apresentou a maior intensidade de precipitação no primeiro terço de sua duração. O padrão intermediário (IN) foi atribuído às chuvas que apresentaram a maior intensidade no terço médio do tempo de sua duração, e finalmente para o padrão atrasado (AT) foi considerada toda chuva que apresentou a maior intensidade no terço final de sua duração.

3.8.3 Cálculo do coeficiente de escoamento (C_{esc})

Após esta classificação, e de posse dos respectivos índices EI_{30} , perdas de água e de solo em cada parcela e do total precipitado, foram calculados os seguintes parâmetros: coeficiente de escoamento (C_{esc}) e energia necessária para provocar o escoamento superficial de 1mm de água, utilizando-se para tanto as Equações 17 e 18, respectivamente.

$$C_{esc} = \frac{L_{esc}}{L_{Ppt}} \quad (17)$$

em que, C_{esc} = Coeficiente de escoamento médio em cada parcela e grupo de chuvas erosivas de mesmo padrão; L_{esc} = Lâmina média escoada de cada parcela e grupo de chuvas erosivas de mesmo padrão (mm); e L_{Ppt} = Lâmina média precipitada em cada grupo de chuvas erosivas de mesmo padrão.

$$\bar{X} = \frac{EI_{30}^1}{L_{esc}} \quad (18)$$

em que, \bar{X} = Acúmulo médio de EI_{30} para causar escoamento superficial de 1mm em cada parcela e grupo de chuvas erosivas de mesmo padrão ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); e EI_{30}^1 = Índice de erosividade EI_{30} médio de cada grupo de chuvas erosivas de mesmo padrão ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da Cobertura do Solo

4.1.1 Análise das imagens digitais

Na Tabela 3 estão apresentados os coeficientes de ajuste da função discriminante linear de Fisher (\hat{a}), o índice GR médio e o Coeficiente de variação (CV) para as classes planta e solo das imagens agrupadas por tratamento, com e sem sombreamento.

Tabela 3. Coeficiente de ajuste da função discriminante linear de Fisher (\hat{a}), índice GR médio e coeficiente de variação (CV) para as classes planta e solo agrupadas por tratamento, com e sem sombreamento

.Tratamentos	Sem Sombreamento				
	\hat{a}	Planta		Solo	
		GR	CV (%)	GR	CV (%)
Mucuna	14,21992	1,26	17,5	0,86	11,6
Crotalária	38,41334	1,21	10,7	0,82	6,1
Milho em Nível	44,81910	1,24	10,5	0,83	4,8
Milho Morro a Baixo	44,24465	1,20	10,0	0,82	6,1
Tratamentos	Com Sombreamento				
	\hat{a}	Planta		Solo	
		GR	CV (%)	GR	CV (%)
Mucuna	6,57837	1,38	23,9	0,96	14,6
Crotalária	5,29367	1,28	25,8	0,91	19,8
Milho em Nível	11,98566	1,20	16,7	0,89	11,2
Milho Morro a Baixo	14,41621	1,16	14,7	0,89	11,2

As imagens com sombreamento apresentaram, em geral, menores coeficientes ajustados (\hat{a}) do que as imagens sem sombreamento (Tabela 3). Os tratamentos Crotalária e Mucuna apresentaram menores coeficientes (\hat{a}) do que os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, em ambas as condições de luminosidade. Tais imagens também apresentaram maiores coeficientes de variação para ambos os atributos e todos os tipos de coberturas. Isto pode ser explicado pelo fato de que em uma mesma imagem, submetida a uma condição de luz inadequada (com sombreamento), existem variações nas intensidades das cores de ambos os atributos (planta e solo), que se fizeram perceber nas amostragens realizadas através da redução da precisão das classificações.

Pode-se notar que os índices GR, para as classes planta e solo, foram maiores e menores do que 1, respectivamente, conforme constatarem também VARELLA et al. (2002). Este fato reforça a teoria de que as bandas do verde e do vermelho de uma imagem podem ser usadas para separar as feições de planta e solo. No entanto, nota-se que as variações ocorridas para o atributo solo foram menores do que para atributo planta. Isto ocorreu pelo fato de as partes aéreas das plantas ficarem expostas a diferentes níveis de iluminação, devido a diferença de altura entre as folhas e a própria interceptação da luz pelas folhas mais altas na planta, fazendo com que houvesse um sombreamento de folhas mais baixas. Isto é reforçado pelo fato de que, para as imagens com sombreamento, o maior CV foi observado na cobertura proporcionada pelo tratamento Crotalária, ou seja, o tratamento em que altas taxas de cobertura do solo ocorreram com maior velocidade, fazendo com que houvesse “manchas” de solo sombreadas e não sombreadas.

Em decorrência do exposto anteriormente, JORGE (1998) recomenda que seja feito o sombreamento da área a ser fotografada para a análise no SIARCS[®], no intuito de se evitar problemas tais como reflexo e principalmente o efeito da sombra da planta no solo. No entanto, nas condições deste trabalho, não foi possível eliminar tais efeitos, optando-se desta forma por analisar as imagens de acordo com as condições encontradas no campo, por ocasião das amostragens.

A Figura 6 demonstra a correlação entre as determinações feitas utilizando-se a metodologia proposta por VARELLA et al., 2002 (VAR), e o software SIARCS.

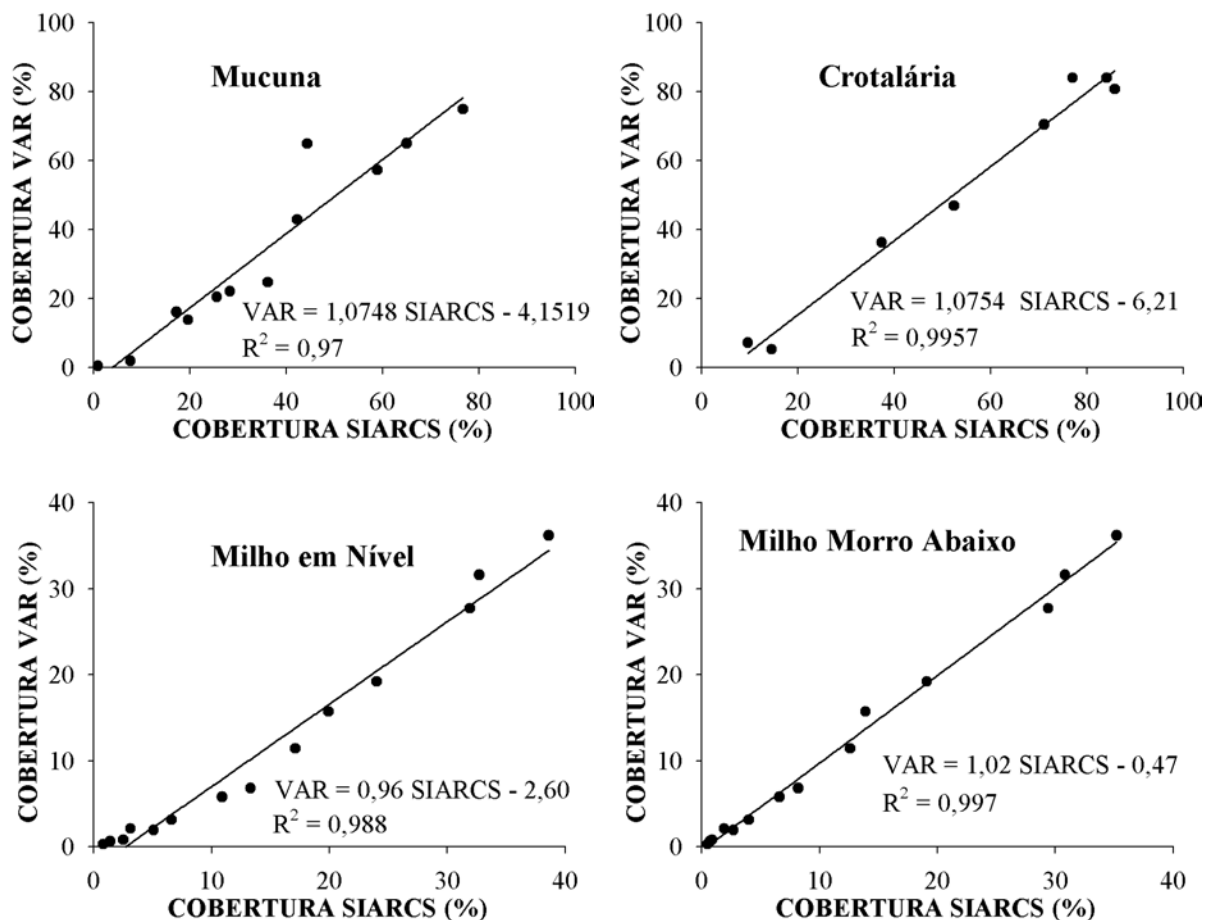


Figura 6. Porcentagem de coberturas determinadas utilizando a metodologia proposta por VARELLA et al. (2002) e o software SIARCS.

Ao serem feitas as comparações entre as determinações das coberturas percentuais dentre os tratamentos, notam-se correlações altas e positivas, variando de 97,0 a 99,7%. Isto indica que as diferenças entre as duas metodologias, sob as condições deste trabalho foram poucas. Todos os interceptos dos modelos lineares ajustados foram negativos, indicando uma superioridade nas estimativas das coberturas percentuais ao se utilizar o software SIARCS[®], em detrimento à tecnologia proposta por VARELLA et al. (2002).

Os parâmetros para a avaliação da classificação das imagens feitas utilizando o software SIARCS[®] e a metodologia proposta por VARELLA et al. (2002) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes Kappa, variâncias e valores de Z calculados para as imagens classificadas utilizando o *software* SIARCS[®] e de acordo com VARELLA et al. (2002) para os diferentes tratamentos, de acordo com o grau de sombreamento

Tratamentos	SIARCS [®]		VARELLA et al. (2002)		Z calc.
	Kappa	Variância (10 ⁻⁴)	Kappa	Variância (10 ⁻⁴)	
Sem Sombreamento					
Mucuna	0,972	3,66	0,897	1,39	3,32
Crotalária	0,985	2,10	0,990	0,75	0,28
Milho em Nível	0,984	1,03	0,962	1,96	1,29
Milho Morro a Baixo	0,933	6,33	0,923	10,33	0,25
Com Sombreamento					
Mucuna	0,925	17,82	0,799	23,54	1,96
Crotalária	0,919	0,65	0,833	2,61	4,76
Milho em Nível	0,942	17,28	0,857	0,27	2,03
Milho Morro a Baixo	0,913	1,33	0,863	1,33	3,06

Em ambos os classificadores os coeficientes Kappa foram elevados (acima de 0,8), independentemente da condição de luminosidade (Tabela 4). As classificações feitas utilizando o SIARCS[®] proporcionaram, na maioria dos casos, maiores coeficientes, indicando uma melhor qualidade na classificação das imagens. Considerando o nível de significância de 5% para teste-z ($Z_{\text{tabelado}} = 1,96$), verificou-se ainda que os classificadores utilizados foram estatisticamente iguais para as análises das imagens das coberturas dos tratamentos Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, sob condição de luminosidade adequada, e Mucuna para condição de sombreamento ($Z_{\text{Tabelado}} \geq Z_{\text{calculado}}$). Por outro lado, para o tratamento Mucuna sob condição adequada de luminosidade, e Milho em Nível, Milho Morro a Baixo e Crotalária, sob condições inadequadas de luminosidade, a classificação feita utilizando o SIARCS[®] apresentou valores de coeficientes Kappa superiores estatisticamente aos obtidos pela classificação feita de acordo com VARELLA et al. (2002).

Devido ao fato de as imagens a serem utilizadas no SIARCS[®] obedecerem a um padrão pré-estabelecido para o seu processamento, pode haver a necessidade de se alterar as suas propriedades, tais como resolução e extensão de arquivo. Assim, quando são obtidas as imagens através de máquinas fotográficas comuns, como neste trabalho, insere-se uma forte interferência do operador no processo de classificação das imagens, estando estas susceptíveis então, às habilidades dos operadores durante a execução das classificações. Além disso, o processo de classificação das imagens através do SIARCS[®] requer um tempo relativamente grande, uma vez que, se forem feitas análises de muitas imagens, estas serão processadas individualmente, inviabilizando a rápida obtenção dos resultados.

Já a metodologia proposta por VARELLA et al. (2002) permite que haja menor probabilidade de erros durante a classificação das imagens, uma vez que a interferência humana está apenas no processo de definição das amostras dos atributos a serem utilizados para a estimativa do coeficiente de ajuste da função linear de Fisher ($\hat{\alpha}$); após estimado, o coeficiente poderá ser utilizado para outras imagens do mesmo tipo de cobertura, sem contudo causar acréscimo nos erros decorrentes, podendo-se inclusive criar um banco de dados para a classificação das coberturas, o que tornaria o processo ainda mais rápido. Além disso, o processamento das imagens é feito de acordo com o bloco de imagens correspondentes aos valores estimados de $\hat{\alpha}$, diminuindo assim o tempo de processamento das imagens.

Ainda analisando os dados contidos na Tabela 4 fica evidente a robustez de ambos os classificadores para separar os atributos planta e solo em imagens digitais, em diferentes tipos de coberturas e condições de luminosidade.

Na Tabela 5 estão apresentados os parâmetros de avaliação da classificação das imagens das coberturas proporcionadas pelos tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, feitas utilizando o software SIARCS[®] e a metodologia proposta por VARELLA et al. (2002), de acordo com a condição de luminosidade.

Tabela 5. Coeficientes Kappa e valores Z calculados, a partir de amostragens feitas em imagens classificadas utilizando o software SIARCS[®] e de acordo com VARELLA et al. (2002) (VAR), para os diferentes tratamentos, de acordo com o grau de sombreamento

Tratamentos	SIARCS VAR		Z calc. ¹	SIARCS VAR		Z calc. ²
	Kappa ¹			Kappa ²		
Mucuna	0,948	0,810	0,59	0,867	0,640	1,52
Milho em Nível	0,971	0,929		0,894	0,739	
Milho Morro a Baixo	0,925	0,933		0,913	0,861	
Crotalária	0,983	0,975		0,858	0,708	

1-Sombreamento de solo por planta normal; 2- Sombreamento de solo por planta excessivo.

Os valores de Kappa variaram de 0,64 a 0,983, sendo que o menor valor corresponde ao tratamento Mucuna sob condição de luminosidade inadequada, e o maior valor ao tratamento Crotalária sob condição adequada de luminosidade (Tabela 5). De uma forma geral, os coeficientes Kappa das classificações das imagens tomadas sob condição de luminosidade adequada foram maiores, independente do tratamento, do que para as imagens tomadas sob condição de luminosidade inadequada, demonstrando a importância de se eliminar o efeito de sombreamento nas imagens para serem utilizadas na classificação de coberturas. No entanto, ao se agruparem os resultados das classificações das imagens feitas de acordo com as duas metodologias, em cada condição de luminosidade, não foram verificadas diferenças estatísticas entre os classificadores, apresentando, o programa SIARCS[®] melhor desempenho para a maioria dos tratamentos, com exceção de Milho Morro a Baixo, sob luminosidade inadequada.

A matriz de erro ou de confusão resultante das classificações das imagens obtidas dos tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo sob condições de luminosidade adequada e inadequada, utilizando o software SIARCS[®] está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Matriz de erro resultante da classificação das imagens das coberturas do solo provenientes dos tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, utilizando o software SIARCS[®]

Classes	Solo	Planta	Total linha $x_{i\oplus}$	Erro de Comissão (%)
Solo	1.406	73	1.479	4,9
Planta	38	1.371	1.409	2,7
Total Coluna $x_{\oplus i}$	1.444	1.444	Total geral	Erro Global (%)
Erro de omissão (%)	2,6	5,1	2.888	3,8
Kappa	0,92			

Foram retiradas 1.444 amostras de “pixels” das imagens de solo e de planta. Para o atributo solo, 1.406 amostragens foram classificadas corretamente e para o atributo planta 1.371 amostragens foram classificadas corretamente, acarretando em erros de omissão de 2,6

e 5,1%, respectivamente. Assim, a exatidão do produtor para a classificação feita utilizando-se o software SIARCS® de forma geral foi maior para o atributo solo do que para o atributo planta. Os erros de comissão, que estão relacionados com a exatidão do usuário, ou seja, é a confiabilidade quanto ao resultado da classificação, foram de 4,9 e 2,7%, respectivamente para os atributos solo e planta. O erro global da classificação foi de 3,8%, indicando boa qualidade na classificação feita ao utilizar-se o SIARCS®.

Na Tabela 7 estão apresentados os parâmetros da classificação feita de acordo com a metodologia proposta por VARELLA et al. (2002), agrupando-se as imagens das parcelas Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo.

Tabela 7. Matriz de erro resultante da classificação das imagens das coberturas do solo provenientes dos tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, de acordo com VARELLA et al. (2002)

Classes	Solo	Planta	Total linha $x_{i\oplus}$	Erro de Comissão (%)
Solo	1.408	204	1.612	12,7
Planta	32	1.236	1.268	2,5
Total Coluna $x_{\oplus i}$	1.440	1.440	Total geral	Erro Global (%)
Erro de omissão (%)	2,2	14,2	2.880	8,2
Kappa	0,84			

Das 1.440 amostragens feitas dos atributos solo e planta, 1.408 e 1.236 foram classificadas corretamente como solo e planta, respectivamente, correspondendo a erros de omissão de 2,2 e 14,2%, respectivamente (Tabela 7). Ainda na Tabela 7, observa-se que os erros de comissão das classificações de solo e planta, foram de 12,7 e 2,5, respectivamente. O erro global foi de 8,2%, indicando também boa qualidade na classificação feita de acordo com VARELLA et al. (2002).

Baseado nos dados das Tabelas 6 e 7, nota-se que o atributo planta se revelou o mais difícil de classificar, independentemente do classificador, já que apresentou os maiores erros de comissão. O atributo solo apresentou um comportamento distinto, refletindo, em ambos os casos, erro de omissão relativamente baixo (Tabelas 6 e 7). Isso ocorreu devido ao fato de terem sido observadas menores variações de cores para o atributo solo, conforme discutido anteriormente para a Tabela 3, fazendo com que fosse mais fácil classificar *pixels* de plantas como solo do que vice-versa.

O coeficiente Kappa da classificação feita de acordo com a metodologia proposta por VARELLA et al., 2002 (Tabela 6) foi menor do que o proveniente da classificação do SIARCS® (Tabela 7). Isto ocorreu em decorrência do aumento no erro de omissão do atributo solo, já que para o atributo planta praticamente não houve diferença entre os erros de omissão de cada classificador.

Os erro global da classificação feita utilizando o SIARCS® (Tabela 6) proporcionou um erro global de 3,8% (exatidão global de 96,2%) e a classificação feita de acordo com VARELLA et al., 2002 foi de 8,2% (exatidão global de 91,8%), (Tabela 7). Estes resultados são superiores aos obtidos por BOLFE et al. (2004), que avaliaram a acurácia da classificação digital de povoamentos florestais nativos, de *Pinus sp.* e de *Eucalyptus sp.*, feita a partir de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica (SIG) e sistema de posicionamento global (SIG), e obtiveram uma exatidão global de 85,23%. Os valores de exatidão global obtidos no presente trabalho também são superiores aos

observados por LAWRENCE et al., 2005, que identificaram a infestação de duas áreas por duas espécies de plantas invasoras no Estado de Montana – Estados Unidos, através de imagens multiespectrais, e encontraram acurácias médias de 84 e 86% para cada área estudada.

A evolução da cobertura do solo para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, de acordo com as duas classificações feitas, pode ser visualizada na Figura 7, e na Tabela 8 estão os níveis médios de cobertura do solo obtidas de acordo com a metodologia proposta por VARELLA et al.(2002) e utilizando o programa SIARCS®.

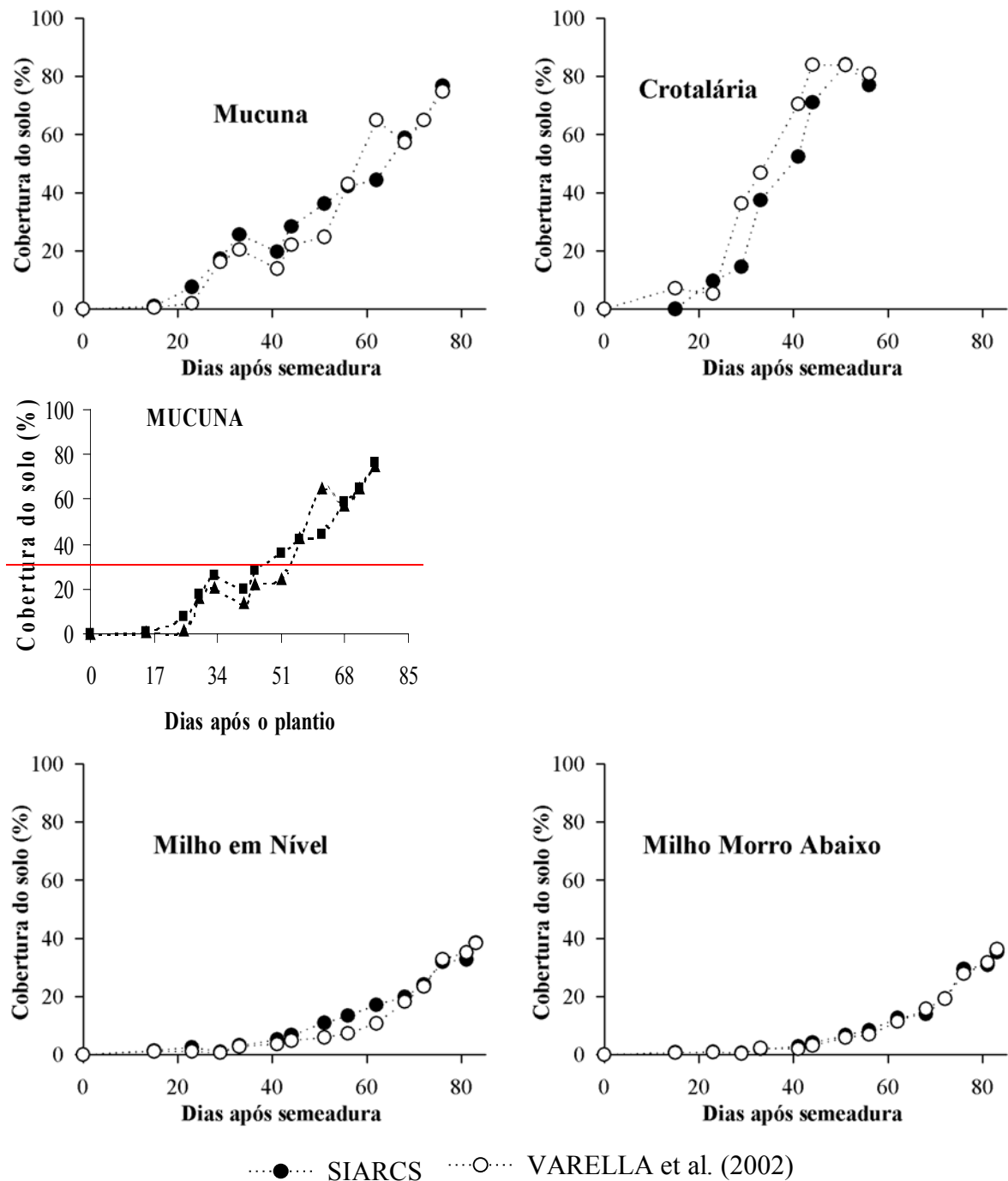


Figura 7. Evolução da cobertura do solo para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, obtidas de acordo com VARELLA et al. (2002) e utilizando o *software* SIARCS®.

Tabela 8. Coberturas relativas do solo determinadas através do programa SIARCS e de acordo com VARELLA et al., 2002 (VAR) em diferentes épocas de amostragens

DAS	Mucuna		Crotalária		Milho em Nível		Milho Morro a Baixo	
	Cobertura do solo (%)							
	SIARCS	VAR	SIARCS	VAR	SIARCS	VAR	SIARCS	VAR
15	0,9	0,4	9,6	7,1	1,4	1,1	0,7	0,6
23	7,6	1,9	14,5	5,2	2,5	1,0	0,9	0,8
29	17,2	16,1	37,4	36,3	0,8	0,6	0,5	0,3
33	25,6	20,4	52,4	46,9	3,1	2,7	1,9	2,1
41	19,6	13,8	71,1	70,5	5,1	3,6	2,7	1,9
44	28,3	22,1	84,1	84,0	6,6	4,7	4,0	3,1
51	36,2	24,7	77,0	84,0	10,9	5,9	6,6	5,8
56	42,3	42,9	85,8	80,8	13,3	7,3	8,2	6,8
62	44,3	64,9	---	---	17,1	10,7	12,6	11,4
68	58,9	57,3	---	---	19,9	18,2	13,9	15,7
72	65,0	65,0	---	---	24,0	23,4	19,1	19,2
76	76,7	74,9	---	---	31,9	32,8	29,4	27,7
81	---	---	---	---	32,7	35,1	30,8	31,6
83	---	---	---	---	38,6	38,3	35,2	36,2

As coberturas finais proporcionadas pelos tratamentos Mucuna e Crotalária foram praticamente o dobro das coberturas finais proporcionadas pelos tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo (Figura 7 e Tabela 8) e foram obtidas em tempos menores, independentemente da metodologia de análise empregada. Esta superioridade pode ter sido devido às espécies empregadas nos tratamentos Mucuna e Crotalária apresentarem capacidade de estabelecer relação de simbiose com bactérias fixadoras de Nitrogênio atmosférico, o que garante a estas plantas maior oferta de N, e conseqüentemente maior velocidade de acumulação de fitomassa aérea. Já para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, por ter sido empregada uma gramínea, este mecanismo não foi tão eficiente, fazendo com que as plantas ficassem mais vulneráveis às condições adversas da baixa fertilidade do solo. Os nutrientes adicionados ao solo, via adubação de plantio, não foram suficientes para suprir as eventuais necessidades do milho, uma vez que o intenso processo erosivo que ocorreu nas parcelas, sobretudo no primeiro mês, possivelmente fez com que grande parte dos nutrientes aplicados fossem perdidos juntamente com a camada superficial do solo e na água.

As maiores taxas de cobertura do solo foram observadas no tratamento Crotalária, contrastando com o tratamento Milho Morro a Baixo (Tabela 8), evidenciando a capacidade da crotalária ser usada como planta de cobertura. O tratamento Crotalária rapidamente proporcionou altas taxas de cobertura do solo, e isto fez com que as perdas de água e solo também fossem diminuídas (Tabelas 10 e 13), havendo assim maior oferta de água para as plantas em dias secos subseqüentes aos dias chuvosos e uma menor perda de nutrientes.

Outro fato importante é que o tratamento Crotalária foi o único em que as plantas atingiram a altura de 2m. A altura das plantas, para a conservação do solo, também é importante, uma vez que plantas altas, mesmo que não recubram o solo totalmente, formam uma barreira para as chuvas que incidam obliquamente à superfície solo, sobretudo em condições de declividade.

O tratamento Mucuna também proporcionou boa cobertura do solo, alcançando a quase totalidade de cobertura (Tabela 8). Porém, a velocidade de crescimento da vegetação foi maior na parte final do ciclo, expondo mais o solo na fase inicial do seu crescimento, contrastando com o comportamento observado por PERIN (2001), onde a velocidade de crescimento da Mucuna Cinza foi alta, inclusive após os primeiros dias de plantio, tendo ocorrido a cobertura plena do solo aproximadamente aos 37 dias após o plantio. A diferença de comportamento em relação aos resultados obtidos por PERIN (2001) se deve, entre outros fatores, à diferença entre as densidades de plantio empregadas nos dois trabalhos e à possibilidade de não ter havido sucesso no processo de inoculação das sementes de Mucuna Cinza no presente trabalho, o que prejudicou o desenvolvimento das plantas na fase inicial.

4.1.2 Decomposição “in situ” dos resíduos vegetais

O tratamento que proporcionou o maior rendimento de matéria seca (7,37 Mg ha⁻¹), foi Crotalária (Tabela 9), contrastando com o tratamento Mucuna, que rendeu 2,45 Mg ha⁻¹. Estes resultados discordam dos obtidos por NASCIMENTO & SILVA (2004), que verificaram que a leguminosa que apresentou menor rendimento de matéria seca foi a crotalária. Os autores comentam que este desempenho está relacionado a falta de água ocorrida durante a execução do experimento. Estes resultados podem estar relacionados a diferença existente entre as condições de umidade do solo, uma vez que neste trabalho o plantio foi realizado durante a época das chuvas.

Tabela 9. Massa seca de parte aérea com o corte feito 91 dias após semeadura, dos tratamentos Mucuna Cinza e Crotalária, e aos 100 dias após semeadura para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo

DAC	Mucuna Mg ha ⁻¹	Crotalária Mg ha ⁻¹	DAC	Milho Nível Mg ha ⁻¹	Morro a Baixo Mg ha ⁻¹
00	2,45	7,37	00	3,06	3,12
03	2,02	6,25	07	2,03	1,94
08	1,96	6,07	15	2,03	1,79
16	1,94	6,04	31	1,91	1,74
32	0,65	2,76	61	1,87	1,63
62	0,51	1,83	90	1,83	1,42
92	0,49	1,79	---	---	---

Os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo apresentaram rendimentos de matéria seca semelhantes, 3,06 e 3,12 Mg ha⁻¹, respectivamente. Estes resultados refletem a baixa eficiência da cultura do milho como planta de cobertura.

Na Figura 8 estão representadas graficamente as curvas de decomposição “in situ” dos resíduos vegetais mantidos sobre o solo após o corte.

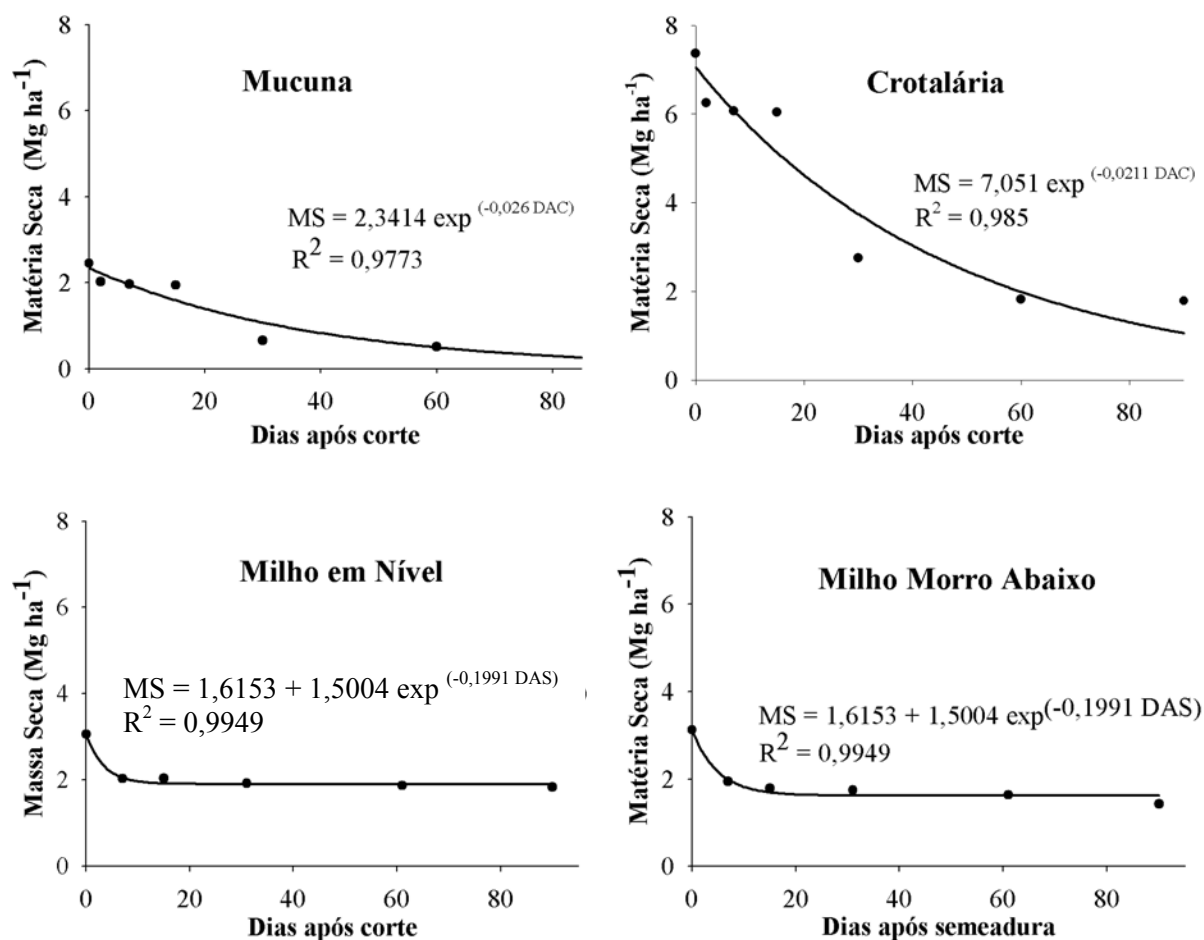


Figura 8. Dinâmica da decomposição da matéria seca da parte aérea obtida através de bolsas plásticas e modelos ajustados

Nota-se na Tabela e Figura 8, que após 92 dias de exposição, cerca de 80% da matéria seca da parte aérea proveniente do tratamento Mucuna havia sido decomposta, e para o tratamento Crotalária, após o mesmo período de exposição, cerca de 76% da matéria seca total já havia sido decomposta. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por ESPÍNDOLA et al.(2006) em condições edafoclimáticas semelhantes. No entanto, conforme DERPSCH et al. (1985), a elevada taxa de decomposição das leguminosas contribui para a diminuição da sua eficiência na manutenção da umidade e na proteção do solo contra a erosão, podendo ser esta característica indesejável sob o ponto de vista de conservação do solo.

De acordo com a Figura 8, os modelos matemáticos ajustados para os dados provenientes dos tratamentos Mucuna e Crotalária são semelhantes aos utilizados por REZENDE et al. (1999) e sugeridos por AITA & GIACOMINI (2003). Os modelos ajustados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 0,9773 e 0,985, respectivamente para os tratamentos Mucuna e Crotalária, respectivamente. De acordo com estes modelos, as constantes de decomposição (k) são respectivamente 0,0211 e 0,026 dia^{-1} , para os tratamentos Crotalária e Mucuna. Estes valores são similares aos encontrados por ESPÍNDOLA et al.(2006) para os restos culturais de Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov & W.C. Gregory) com corte feito na estação seca. O tempo de meia vida foi de 24,9 e 30,8 dias respectivamente para os tratamentos Mucuna e Crotalária, sendo estes valores

também condizentes com os obtidos por ESPINDOLA et al.(2006) para amendoim forrageiro e siratro cortados na estação chuvosa.

Recorrendo-se à Tabela e Figura 8, tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, nota-se que, após 90 dias de exposição dos resíduos vegetais, apenas cerca de 40 e 55% da matéria seca havia sido decomposta, respectivamente para os tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo. Estes resultados contrastam aos obtidos para os tratamentos Mucuna e Crotalaria e isto se deve ao fato de o material proveniente de milho apresentar uma relação C/N alta, dificultando a ação de microorganismos decompositores, ao contrário do que ocorre para os materiais provenientes de leguminosas.

De acordo com o modelo ajustado para o tratamento Milho em Nível, cerca de 38% da matéria seca adicionada ao solo ($1,16 \text{ Mg ha}^{-1}$), apresentou uma alta taxa de decomposição, seguindo uma tendência exponencial negativa, e o restante, cerca de 62% ($1,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), apresentou um comportamento mais recalcitrante com tendência linear. Estes resultados estão de acordo com WIEDER & LANG (1985), citados por AITA & GIACOMINI (2003), que propõem o ajuste de um modelo de regressão não linear para explicar a taxa de decomposição em função do tempo, onde este é dividido em duas partes, a primeira em que o material mais facilmente decomponível é decomposto de forma exponencial com taxa constante em função do tempo, e uma segunda parte onde é decomposto de forma linear todo o material remanescente com maior dificuldade para ser decomposto, a uma taxa de decomposição menor.

No entanto, o modelo ajustado não foi sensível à taxa de decomposição do material mais recalcitrante, uma vez que o período de observações foi curto para se avaliar a decomposição dos resíduos vegetais do milho, porém, demonstrou claramente o efeito duradouro da adição de restos culturais de materiais provenientes de gramíneas, que pode ser vantajoso sob o ponto de vista de conservação do solo. Este fato foi constatado por BHATT & KHERA (2005), que estudando o efeito do cultivo do solo e da maneira de aplicação de palha mantidas em cobertura sobre o processo erosivo, na área sub-montanhosa do Punjab-Índia, observaram que ao acrescentar cerca de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palha em parcelas de perda de solo a redução no escoamento superficial foi de cerca de 33% em relação a não aplicação de palha.

4.2 Lâmina, Erosividade e Padrão das Precipitações

O total precipitado e o EI_{30} acumulado foram de 542,2 mm e de $1.269,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente (Tabela 10).

Tabela 10. Lâminas totais precipitadas, em mm, índices de erosividade EI_{30} , em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, e padrões de precipitação das chuvas ocorridas durante a execução do experimento

Datas	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	EI_{30} (MJ mm ha h^{-1})	Padrão de precipitação*
24/12/04	38,1	38,1	26,8	1
25/12/04	20,5	58,6	88,2	1
27/12/04	21,0	79,6	16,9	2
11/01/05	29,0	108,6	232,7	1
12/01/05	29,0	137,6	177,1	1
13/01/05	5,0	142,6	1,8	1
19/01/05	44,0	186,6	72,7	1
23/01/05	48,0	234,6	88,7	3
27/01/05	42,0	276,6	39,5	1

28/01/05	7,0	283,6	2,1	3
05/02/05	21,6	305,2	16,5	3
04/03/05	48,0	353,2	32,2	1
16/03/05	5,5	358,7	0,2	1
19/03/05	23,0	381,7	53,1	1
25/03/05	37,0	418,7	67,3	2
26/03/05	11,5	430,2	5,1	2
29/03/05	16,3	446,5	131,5	1
01/04/05	22,0	468,5	15,6	1
05/04/05	15,0	483,5	32,5	2
02/05/05	8,7	492,2	2,6	2
22/05/05	22,0	514,2	72,8	2
25/05/05	28,0	542,2	92,5	1
Total	542,2		1.268,4	

* 1 – Avançado; 2 – Intermediário; 3 - Atrasado

Durante o período de execução do experimento, com exceção dos meses de fevereiro e abril, a lâmina precipitada foi superior em relação às médias históricas apresentadas por CARVALHO et al. (2005). No entanto, os índices EI_{30} se apresentaram com menores magnitudes em comparação às informações apresentadas por estes autores, com exceção do mês de maio. Nesta análise, o mês de dezembro não foi considerado pelo fato da coleta de dados experimentais ter sido iniciada apenas no dia 24. Apesar das diferenças citadas nas lâminas precipitadas e nos índices de erosividade, esses valores são coerentes com os encontrados por CARVALHO et al. (2005), considerando uma série histórica de pluviogramas de 1974 a 1980.

Nota-se na Tabela 10, que dentre as chuvas registradas durante o período de estudos, houve predominância de eventos de padrão avançado, tendo ocorrido 13 eventos com esta característica dentre os 22 registrados. Já os eventos de chuva de padrão de precipitação intermediário ocorreram 6 vezes, e os eventos com padrão de precipitação com padrão atrasado apenas 3. Dos 542,2 mm precipitados entre 24/12/2004 e 25/05/2005 na área de estudo, cerca de 64,6, 21,3 e 14,1%, ocorreram respectivamente em eventos de precipitação de padrão avançado, intermediário e atrasado. Estes resultados, embora baseados apenas em uma parte do ano, seguem um padrão semelhante ao encontrado por CARVALHO et al. (2005), que, baseado em séries históricas de pluviogramas de 1974 a 1980 para o Município de Seropédica, observaram que em média, por ano, cerca de 61,01% das chuvas erosivas são de padrão avançado, e cerca de 19,47% das chuvas erosivas são de padrão intermediário, sendo o mesmo percentual de chuvas de padrão atrasado.

A erosividade das chuvas (índice EI_{30}), que totalizou 1.268,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, sendo que deste total, cerca de 75,9, 15,6 e 8,5%, ocorreram respectivamente em eventos de precipitação de padrão avançado, intermediário e atrasado. Vale salientar que o índice EI_{30} , é função da maior intensidade de precipitação em um intervalo de precipitação de duração de 30 minutos, e não apresenta qualquer relação com o padrão de precipitação, e foi apresentado no texto junto aos padrões somente para fins didáticos.

4.3 Perda de Água

Na Tabela 11 estão apresentadas as lâminas escoadas em cada parcela experimental, em virtude das chuvas ocorridas durante a execução do experimento, e na Figura 9, estão representadas graficamente as lâminas escoadas e precipitadas acumuladas durante o mesmo período.

As perdas totais de água foram 68,5, 154,5, 161,2, 209,1 e 215,5 mm, respectivamente para os tratamentos Crotalária, Milho em Nível, Mucuna, Solo Exposto e Milho Morro a Baixo (Tabela 11).

Estas diferenças entre os tratamentos estão relacionadas aos preparos do solo empregados e à velocidade e níveis de cobertura do solo, já que para os tratamentos Solo Exposto e Milho Morro a Baixo foram empregadas operações de preparo do solo no sentido do declive (morro a baixo), o que fez com que a velocidade de escoamento da água sobre o solo fosse aumentada, reduzindo então a sua infiltração, acarretando aumento nas perdas

Tabela 11. Escoamento superficial de parcelas experimentais entre 24/12/2004 e 25/05/2005

Datas	Mucuna ¹	Crotalária ¹	Milho em Nível ²	Milho Morro Abaixo ²	Solo Exposto
24/12/04	30,9	4,8	8,7	21,4	10,4
25/12/04	11,2	13,1	16,2	15,4	10,4
27/12/04	7,7	3,5	9,6	12,1	10,4
11/01/05	2,5	1,3	3,1	6,2	3,2
12/01/05	15,5	12,1	16,9	25,0	10,4
13/01/05	0,1	0,0	0,0	0,6	0,1
19/01/05	19,5	2,9	17,8	20,2	17,5
23/01/05	36,3	20,2	31,3	39,9	45,2
27/01/05	19,5	6,0	27,9	24,7	26,7
28/01/05	1,6	0,1	0,7	2,3	1,6
05/02/05	2,9	0,2	3,5	6,5	10,3
04/03/05	0,8	0,5	0,1	1,4	4,2
16/03/05	0,0	0,1	0,0	3,4	7,0
19/03/05	0,6	0,1	0,1	5,7	10,3
25/03/05	7,0	0,0	13,1	20,2	15,0
26/03/05	0,3	0,0	0,2	1,8	0,8
29/03/05	1,0	0,1	1,0	1,8	1,8
01/04/05	2,6	0,0	0,9	2,7	5,6
05/04/05	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0
02/05/05	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
22/05/05	0,3	0,4	0,1	0,1	0,8
25/05/05	0,8	3,1	3,1	3,9	17,5
Total	161,2	68,5	154,5	215,5	209,1
Cesc	0,30	0,13	0,28	0,40	0,39

1. Corte dia 23/03/2005; 2. Corte dia 01/04/2005

totais de água em detrimento aos demais tratamentos (Tabela 11). As coberturas do solo foram determinantes na redução das perdas de água, uma vez que até o momento em que foi realizado o corte das plantas, para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, respectivamente cerca de 96,7, 94,8, 97,8 e 98,1% do total das lâminas escoadas já haviam sido registradas (Tabela 11).

Desta forma, o fato de o tratamento Crotalária ter proporcionado nível de cobertura do solo de 85,8%, aos 56 DAS, e o tratamento Mucuna ter apresentado 76,7% de cobertura do solo, aos 76 DAS (Tabela 8), fez com que as perdas de água totais para o tratamento Crotalária fossem cerca de 2,4 vezes menores do que as observadas para o tratamento Mucuna.

A maior cobertura proporcionada pelo tratamento Crotalária permitiu que a energia cinética das chuvas fosse dissipada ao incidir sobre a superfície das folhas, reduzindo as perdas por erosão em entressulcos, uma vez que houve a diminuição do processo de desagregação das partículas de solo e as perdas por erosão nos sulcos, já que houve a redução da turbulência das lâminas escoadas, e conseqüentemente da sua capacidade de transporte das partículas. Além disso, a redução na formação da superfície de selamento favoreceu a infiltração da água no solo, diminuindo também o escoamento superficial na parcela que recebeu o tratamento Crotalária.

Por outro lado, em função dos tratamentos Milho em Nível e Milho Morro a Baixo, foram observadas perdas de água totais de 154,5 e 215,5 mm, respectivamente, refletindo as diferenças entre o emprego de técnicas de preparo do solo em nível em detrimento ao preparo de morro a baixo, já que em ambos os tratamentos as porcentagens de cobertura do solo não ultrapassaram os 40% por ocasião do corte (Tabela 8).

No entanto, para a parcela que recebeu o tratamento Milho Morro a Baixo, a cobertura do solo proporcionada pelo plantio de milho não foi suficiente para evitar a formação dos sulcos de escoamentos preferenciais, representados pelo próprio sulco de plantio (Figura 9), tendo havido o favorecimento do escoamento superficial.

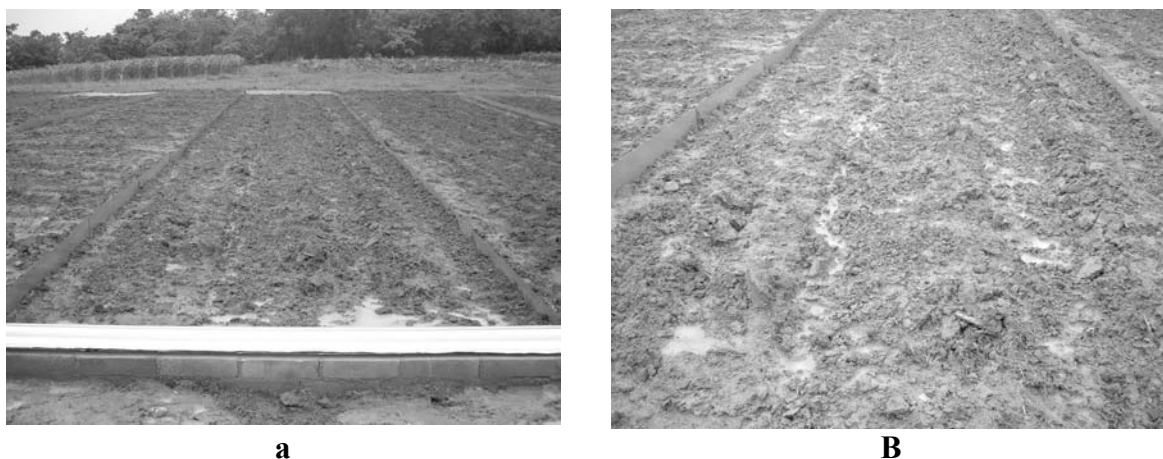


Figura 9. Escoamento superficial observado na parcela ocupada com o tratamento Milho Morro a Baixo: Vista geral da parcela (a) e escoamento pelos sulcos de plantio (b).

Na parcela cujo tratamento empregado foi Milho Morro a Baixo, houve a intensificação do processo de erosão nos sulcos, já que o plantio do milho foi realizado em sulcos dispostos no sentido do declive, e isto fez com que a água escoasse com maior velocidade, aumentando o volume escoado. Já para a parcela cujo tratamento empregado foi o Solo Exposto houve uma grande interferência do processo de erosão em entressulcos, já que o impacto das gotas de chuva diretamente sobre a superfície do solo fazia com que houvesse o desprendimento das partículas do solo pelo salpicamento, que por sua vez contribuiu para o processo de formação de uma superfície de selamento, fazendo com que houvesse redução na capacidade do solo de ser infiltrado e conseqüentemente aumentando o volume escoado superficialmente. Estes resultados concordam com CASSOL & LIMA (2003), que, estudando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho submetido a chuvas naturais, verificaram que em sistemas de semeadura sem preparo do solo, e por isso com alta taxa de cobertura, as perdas de água nas áreas em entressulcos são consideravelmente reduzidas em relação ao solo descoberto.

Quando comparadas as lâminas totais escoadas da parcela padrão (Solo Exposto) com as das demais parcelas, nota-se que apenas a lâmina total escoada da parcela com tratamento Milho Morro a Baixo foi maior que a lâmina escoada da parcela Solo Exposto (Tabela 11).

Este resultado diverge dos obtidos por AMORIM (2003), pois este autor observou que o cultivo do milho morro abaixo foi responsável pela redução de aproximadamente 68% da lâmina escoada em relação à parcela padrão. Este fato demonstra a complexidade que o estudo do processo erosivo possui, dada à quantidade de fatores que influenciam neste fenômeno e ainda reforça a necessidade de serem realizados mais estudos de campo sobre este fenômeno com vistas a validação de modelos de predição de perda de solo a serem aplicados no País.

Verifica-se ainda que a cobertura do solo associada ao preparo em nível foi eficiente na redução das perdas de água em relação ao preparo do solo morro abaixo mantido descoberto (Crotalária – 67,2%; Milho em Nível – 26,1% e Mucuna – 22,9%), tendo sido obtidos resultados semelhantes por CARVALHO et al. (2003) e COGO et al (2003). Por outro lado o tratamento Milho Morro a Baixo proporcionou um aumento nas perdas de água em relação ao tratamento Solo Exposto de aproximadamente 2,3%.

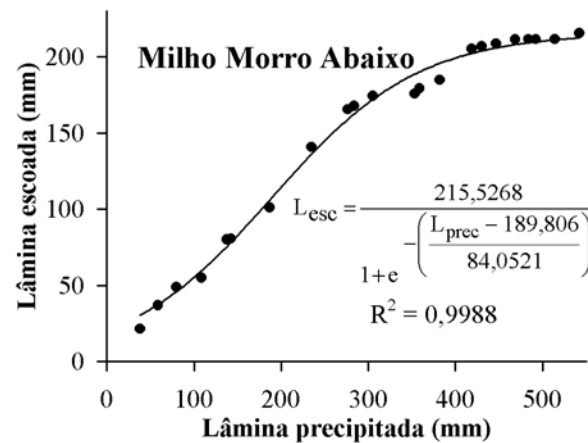
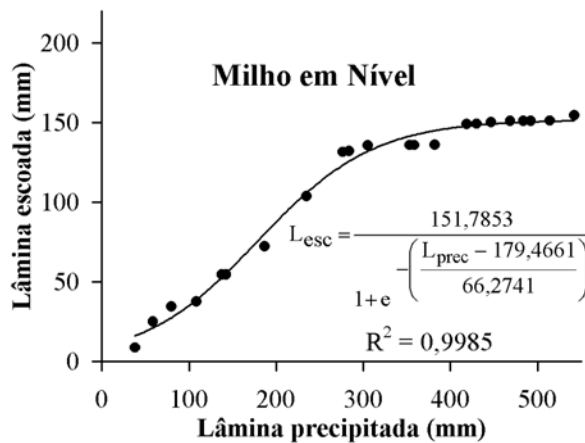
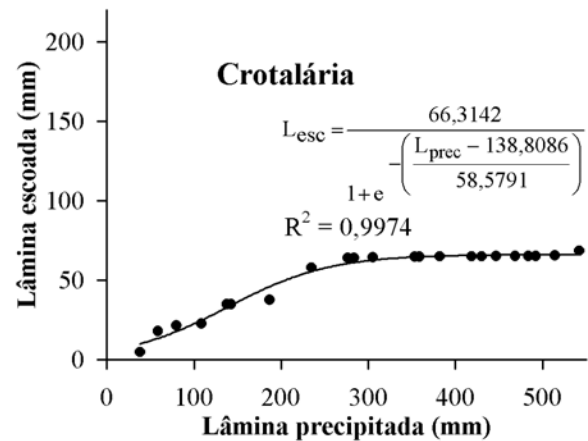
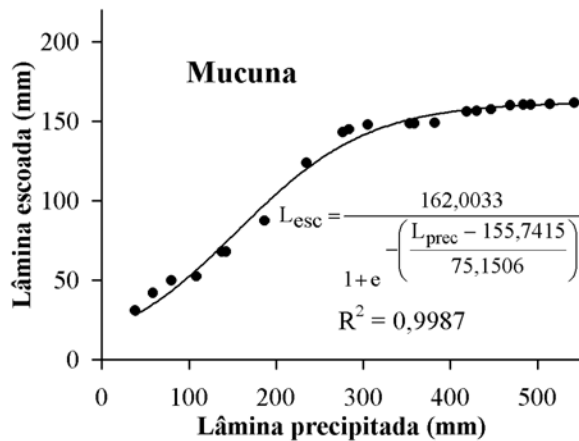
Nota-se ainda nas Tabelas 10 e 11 que o evento de precipitação que ocasionou os maiores escoamentos superficiais ocorreu no dia 23/01/2005. No entanto, o índice de erosividade EI_{30} calculado para este evento foi apenas o quinto maior dentre os listados na Tabela 10, ou seja, o pico de maior intensidade de precipitação se deu no terço final da chuva erosiva. Isto faz com que a capacidade de infiltração da água no solo seja reduzida neste momento crítico da chuva, o que acarretou um aumento no volume de escoamento superficial. Por outro lado, a chuva com maior índice de erosividade ocorreu após um veranico de 14 dias, o que fez com que as lâminas escoadas em todas as parcelas não fossem as maiores, já que um solo com menor teor de umidade possui maior infiltrabilidade, reduzindo o volume do escoamento superficial. Estes fatos ressaltam a grande importância que também possuem fatores como umidade antecedente do solo e padrão de precipitação na magnitude dos processos erosivos, conforme também observaram LIMA et al (2005).

ATREYA et al. (2005), estudando as perdas de água e solo na região médio-montanhosa do Nepal, observaram no primeiro ano de experimento, quando foi precipitada uma lâmina de 1.445 mm, perdas de água de 106 mm em parcelas com preparo convencional do solo e plantio de milho e de 121 mm em parcelas com o mesmo plantio e preparo reduzido do solo. Já para o segundo ano de experimento, durante o qual foi precipitada uma lâmina de 2.143 mm, as perdas de água para os mesmos tratamentos descritos anteriormente foram de 152 e 135 mm, respectivamente, não sendo observadas diferenças estatísticas entre as perdas de água para os tratamentos.

Ainda de acordo com a Tabela 11, os coeficientes de escoamento observados variaram de 0,13 a 0,40, para os tratamentos Crotalária e Milho Morro a Baixo, respectivamente. Estes resultados refletem os benefícios advindos da manutenção da cobertura do solo, uma vez que esta possui a capacidade de reduzir a energia cinética das gotas de chuva, diminuindo com isso o aumento da turbulência da lâmina de água que eventualmente escoam sobre o terreno, além de diminuir o selamento superficial aumentando a infiltração de água no solo. Os coeficientes de escoamento superficial para os tratamentos Milho em Nível, Mucuna e Solo Exposto foram de 0,28, 0,30 e 0,39, respectivamente. Estes resultados divergem de AMORIM (2003), que encontrou valor de coeficiente de escoamento superficial de 0,11 para uma parcela cujo solo foi preparado no sentido do declive e foi mantido descoberto no Município de Viçosa-MG, ou seja, cerca de 3,5 vezes menor do que o valor encontrado para o mesmo tratamento no presente trabalho. Esta diferença nos valores obtidos nos dois trabalhos se deve a própria diferença entre os eventos de chuva ocorridos em Viçosa-MG e Seropédica-RJ, uma vez que os regimes pluviométricos variam de acordo com a região.

Na Figura 10 estão representadas graficamente as perdas acumuladas de água das parcelas em função da lâmina de precipitação acumulada. Pode-se observar que foram ajustados modelos não lineares com comportamento sigmoidal à todos os dados de todos os

tratamentos. As curvas de lâminas escoadas acumuladas em função das lâminas precipitadas acumuladas demonstram um comportamento em que primeiramente se tem uma fase em que as lâminas escoadas acumuladas aumentam com maior taxa, tendendo a uma estabilização mais para o fim do período de análise, sobretudo para os tratamentos Mucuna, Crotalária e Milho em Nível. Este comportamento segue a tendência da evolução das coberturas do solo, já que, conforme discutido anteriormente, a cobertura do solo é importante para a redução do escoamento superficial. Além disso, o próprio comportamento da distribuição das precipitações no Estado do Rio de Janeiro, aumentando de outubro a março e diminuindo até junho, fez com que o houvesse esta redução no fim do experimento. Oportunamente serão discutidos os fatores contribuintes para o processo erosivo, por tratamento, interligados.



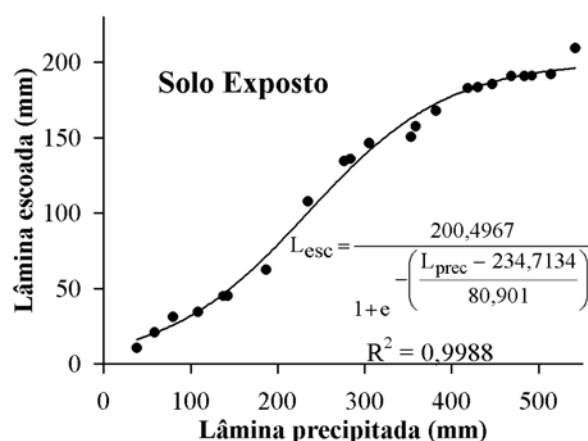


Figura 10. Lâminas totais escoadas acumuladas (mm) em função das lâminas totais precipitadas acumuladas (mm) para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível, Milho Morro a Baixo e Solo Exposto.

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios de EI₃₀ acumulados durante as precipitações de diferentes padrões para causar o escoamento superficial de 1mm.

Tabela 12. EI₃₀ médio acumulado (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) necessário para causar escoamento superficial médio de 1mm.

Tratamentos	Padrão avançado	Padrão intermediário	Padrão atrasado
Mucuna	11,6	12,6	2,0
Crotalária	20,8	50,6	4,9
Milho em Nível	13,4	7,6	2,8
Milho Morro Abaixo	8,1	5,5	1,8
Solo Exposto	11,2	6,9	1,6

Pode-se notar na Tabela 12 que as maiores demandas de energia da chuva para causar um volume de escoamento equivalente a uma lâmina de 1 mm foram observadas na parcela que recebeu o tratamento Crotalária. Isto ocorreu porque a cobertura vegetal proporcionada pelo plantio de crotalária, bem como seus resíduos deixados sobre o solo após o corte, serviram de proteção contra o efeito indesejável do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Assim, para que fosse formado o escoamento correspondente a uma lâmina média de 1mm, foi necessária maior quantidade de energia da chuva.

Por outro lado, o tratamento Milho Morro a Baixo foi o que permitiu que fosse formado escoamento médio de 1mm com as menores quantidades de energia cinética acumulada. Isto pode ser explicado pelo fato deste tratamento proporcionar maiores escoamentos superficiais (Tabela 11), influenciados não só pelo selamento superficial ocasionado pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo, mas também pela baixa tensão de cisalhamento que a superfície do solo possuía, em função do seu preparo ter sido feito no sentido do declive.

Pode-se notar ainda na Tabela 12 que o padrão de chuva em que foi necessária a menor demanda de energia por mm escoado, para todos os tratamentos, foi o atrasado. Isto pode ser explicado pelo fato de ser característico deste tipo de chuva, a ocorrência do pico de maior intensidade de precipitação em um intervalo de 30 minutos (I₃₀) no terço final da chuva erosiva, e como o índice EI₃₀ é diretamente proporcional ao I₃₀, no momento em que ocorria

tal intensidade, o solo já se encontrava saturado e provavelmente o escoamento superficial já havia iniciado, fazendo com que as lâminas escoadas fossem maiores e diminuindo então a relação entre EI_{30} e lâmina escoada. Os tratamentos Crotalária e Solo Exposto apresentaram o maior e o menor valor de $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ mm^{-1}$, respectivamente, o que evidencia a importância da cobertura do solo na dissipação da energia cinética das chuvas.

4.4 Perdas de Solo

Os valores totais de perda de solo variaram de 1.862,2 a 12.942,6 $kg\ ha^{-1}$ (Tabela 13), e corresponderam respectivamente aos tratamentos Crotalária e Milho Morro a Baixo. Pode-se notar ainda na Tabela 13 que os tratamentos cujo preparo do solo foi realizado em nível apresentaram os menores valores de perda de solo, exceto para o tratamento Mucuna, que gerou perda total de solo similar à perda gerada pelo tratamento Solo Exposto. Estes resultados corroboram o postulado por BERTONI e LOMBARDI NETO (2005), que afirmam que o cultivo em nível pode reduzir, em até 50%, as perdas de solo em relação ao cultivo morro abaixo.

Tabela 13. Perdas de solo, em $kg\ ha^{-1}$, observadas em 22 chuvas erosivas ocorridas durante a realização do experimento.

Datas	Mucuna	Crotalária	Milho em Nível	Milho Morro Abaixo	Solo Exposto
24/12/04	259,7	27,5	62,6	187,0	122,6
25/12/04	744,2	435,9	503,6	649,5	242,3
27/12/04	241,2	64,4	151,4	237,3	141,5
11/01/05	113,3	89,5	94,3	230,4	36,8
12/01/05	655,8	397,1	399,2	648,5	276,0
13/01/05	0,2	0,0	0,0	1,2	0,2
19/01/05	89,3	7,5	80,7	274,8	70,4
23/01/05	4.732,8	802,9	2.343,3	7.095,2	4.044,4
27/01/05	73,9	10,8	75,9	1.582,0	118,8
28/01/05	4,1	0,0	2,5	30,5	7,5
05/02/05	17,3	5,3	8,8	366,5	107,5
04/03/05	0,5	0,2	8,0	22,0	63,7
16/03/05	0,0	0,4	0,0	164,5	74,2
19/03/05	2,6	0,3	0,1	361,3	44,9
25/03/05	41,6	0,0	95,7	279,9	846,9
26/03/05	0,5	0,0	0,9	4,9	3,7
29/03/05	16,3	0,0	36,8	199,5	385,2
01/04/05	13,1	0,0	7,5	47,4	224,2
05/04/05	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
02/05/05	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
22/05/05	1,5	3,8	0,1	2,5	21,3
25/05/05	2,4	16,5	5,7	14,9	196,7
Total	7.012,5	1.862,1	3.877,1	12.399,8	7.028,8

* percentual de solo perdido pelo sedimento

Cerca de 98,0, 97,5, 93,8, 75,2 e 70,2%, do total das perdas de solo ocorreram até o dia 23/01/2005, respectivamente para os tratamentos Crotalária, Mucuna, Milho em Nível, Milho Morro a Baixo e Solo Exposto. Este fato também demonstra importância da manutenção da cobertura do solo, uma vez que os dois primeiros tratamentos apresentaram as maiores porcentagens finais de cobertura do solo (Figura 7 e Tabela 8), e isto fez com que as

perdas se concentrassem nas chuvas ocorridas em condições de baixa cobertura do solo (Tabela 13), passando então, após o estabelecimento de porcentagens adequadas de cobertura do solo a atenuar os efeitos da erosividade das chuvas, reduzindo as perdas de solo. De forma antagônica, os tratamentos Milho Morro a Baixo e Solo Exposto proporcionaram, após o dia 23/01/2005, cerca de 24,8 e 29,8%, respectivamente das perdas totais de terra, evidenciando a vulnerabilidade do solo ao processo erosivo sob condições de baixa cobertura e após um preparo inadequado.

Conforme discutido anteriormente, as perdas de terra geradas pelo tratamento Mucuna concentraram-se nas primeiras chuvas erosivas, sendo que cerca de 30% das perdas ocorreram até o dia 19/01/2005, no entanto vale ressaltar que a perda de solo gerada durante a chuva erosiva ocorrida no dia 23/01/2005 representou cerca de 67,5% da perda total para este tratamento. Isto ocorreu pelo fato de que a cobertura do solo para este tratamento foi insuficiente para promover a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, favorecendo o processo de desagregação das partículas do solo e o selamento superficial, aumentando o volume de solo transportado via processo erosivo.

As perdas de solo geradas pelo emprego do tratamento Mucuna foram similares às geradas na parcela cujo tratamento empregado foi Solo Exposto (Tabela 13), ao contrário do que se esperava. Este resultado pode ser explicado pelo fato de, por ocasião das primeiras chuvas erosivas, haver cobertura vegetal do terreno pelas plantas de Mucuna Cinza ainda insuficientes para conter o processo de desprendimento das partículas do solo, tendo sido este desprendimento acelerado pelo impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo.

Por outro lado, o impacto das gotas de chuva diretamente sobre a superfície desprotegida do solo fez com que fosse formada uma superfície de selamento na parcela que recebeu o tratamento Solo Exposto, fez com que fosse criada uma superfície com maior resistência a infiltração da água, o que contribui para a formação também de uma camada com menor rugosidade, que oferecia menos resistência ao escoamento da água, diminuindo então a turbulência da lâmina escoada, e conseqüentemente a capacidade de transportar partículas mais grosseiras de solo.

O tratamento Milho Morro a Baixo proporcionou a maior perda total de solo, conforme a Tabela 13, e isto ocorreu pelo fato de que o processo de erosão em sulcos foi fomentado, já que os sulcos preferenciais de escoamento superficial passaram a ser os próprios sulcos de plantio, que pelo fato de estarem dispostos no sentido do declive, proporcionaram maiores velocidades de escoamento, aumentando então a capacidade de transporte de solo. Assim, o efeito conjugado da baixa cobertura do solo, que permitia uma maior desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva sobre a sua superfície, com o escoamento em sulcos descrito anteriormente, fez com as perdas de solo fossem as mais altas dentre os tratamentos.

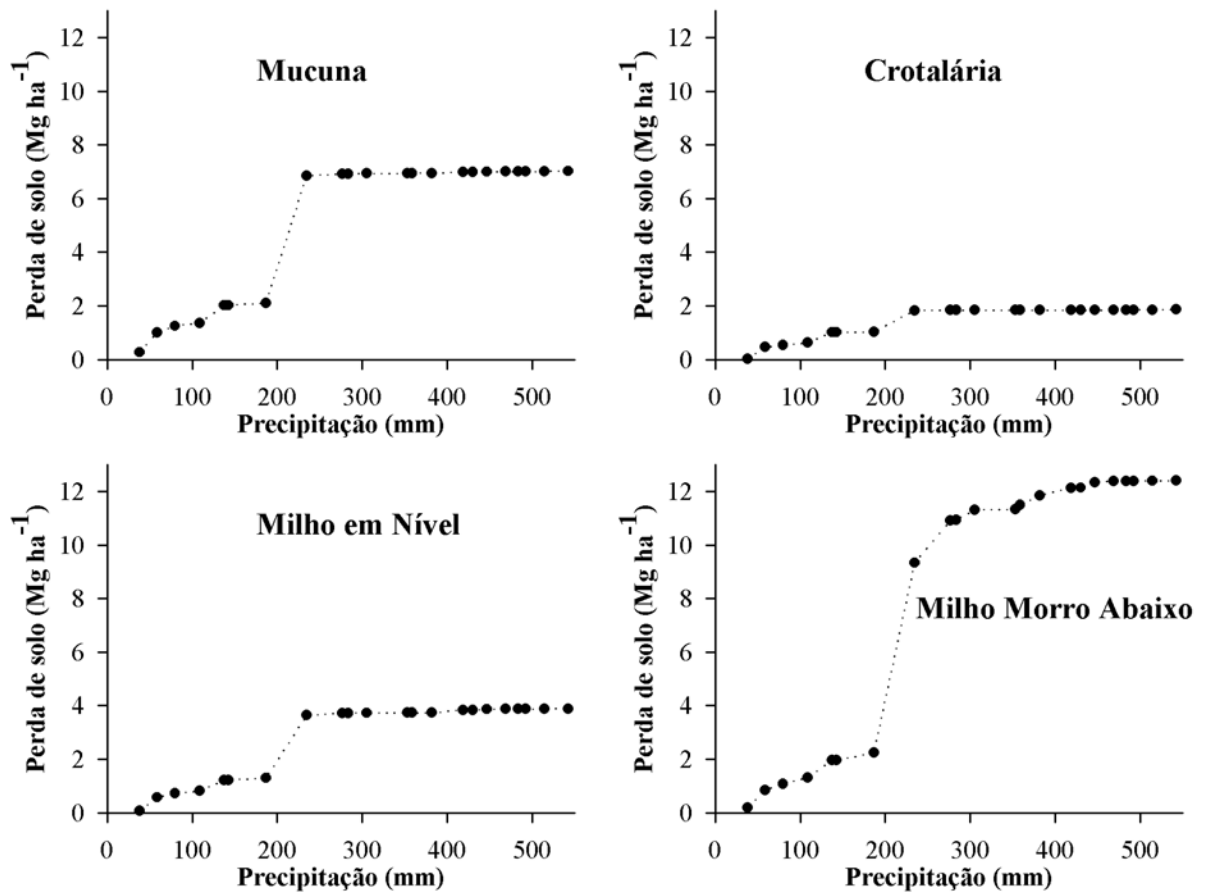
A boa produção de parte aérea da Crotalária em relação aos demais tratamentos (Figura 7 e Tabela 9), proporcionou a maior proteção do solo e, conseqüentemente, uma redução nas perdas de solo em detrimento aos demais tratamentos (Tabela 13). A perda total de solo proporcionada pelo emprego do tratamento Crotalária foi cerca de 3,8 vezes menor do que a perda relativa ao tratamento Solo Exposto e cerca de 6,7 vezes menor do que a perda associada ao tratamento Milho Morro a Baixo. Estes resultados estão de acordo com COGO et al (2003), que observaram perdas de solo cerca de 200% maiores em parcelas com solo de fertilidade natural quando comparada com as perdas de solo a partir de parcelas cujo solo teve a fertilidade corrigida. Estes autores comentam que esta diferença se deu pela maior produção de fitomassa no segundo tratamento, o que faz com que haja maior resistência ao processo erosivo.

Durante as análises do material erodido, notou-se a maior concentração de partículas finas de solo em suspensão no material erodido para os tratamentos Crotalária e Milho em

Nível, justamente os tratamentos em que se observaram as menores perdas totais de solo. Isto ocorreu pelo fato de que, para o tratamento Crotalária, a cobertura do solo fez com que a capacidade de transporte de partículas de solo pela lâmina escoada fosse diminuída, já que a cobertura servia para dissipar a energia cinética das gotas de chuva, fazendo com que a turbulência das lâminas escoadas fosse diminuída, permanecendo em suspensão somente as partículas de solo de menor peso, ou seja, as mais finas. No caso do tratamento Milho em Nível, a disposição em nível das linhas de plantio fez efeito significativo, já que isto contribuiu para a redução da velocidade de escoamento superficial, fazendo com que fosse transportado maior quantidade de material com partículas finas.

Para os tratamentos Milho Morro a Baixo e Solo Exposto, foi observado no material erodido, maior quantidade de material pesado, material este que se encontrava sedimentado no fundo das caixas coletoras de enxurrada. Tal comportamento foi devido às maiores velocidades de escoamento superficial, que surgiram em virtude do emprego dos baixos níveis de cobertura do solo, aliado ao preparo no sentido do declive. Estas características favoreceram o aumento no volume de solo desagregado e lançado para áreas adjacentes ao local de origem destas partículas. Estas partículas, tenderam a se deslocar para as partes mais baixas do terreno, formando uma camada sobre a superfície do solo que contribuiu para a redução da infiltração da água no solo. Isto fez com que a água buscasse irregularidades no próprio terreno para escoar, levando consigo o material em suspensão. Neste momento o impacto das gotas de chuva sobre esta lâmina favoreceu a transporte de partículas de solo junto com a água, pelo aumento da turbulência do regime, o que acarretou o aumento da capacidade de transporte de partículas pesadas.

Na Figura 11 estão apresentadas as perdas acumuladas de solo em função da lâmina de precipitação acumulada.



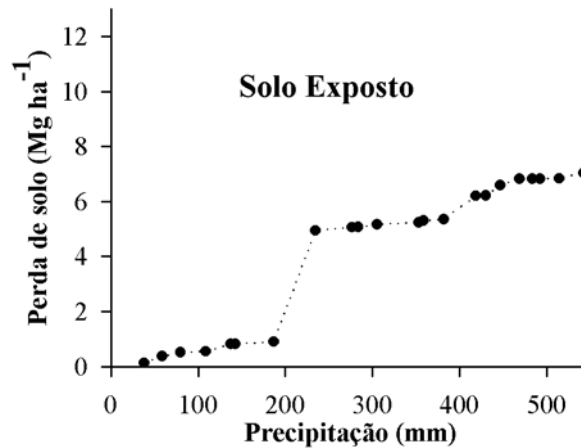


Figura 11. Perdas acumuladas de solo, em função das lâminas precipitadas acumuladas, para os tratamentos Mucuna, Crotalária, Milho em Nível, Milho Morro a Baixo e Solo Exposto

Nota-se que as perdas acumuladas de solo refletiram de forma acentuada os tratamentos empregados, demonstraram as diferenças existentes entre os tratamentos empregados de forma mais acentuada do que para as perdas acumuladas de água, conforme pode ser observado ao se comparar os gráficos apresentados na Figura 11 (perda de solo) com os apresentados na Figura 10 (perda de água). Ainda comparando-se as Figuras 11 e 10, nota-se que após o evento erosivo ocorrido no dia 23/01/2005 (Tabela 10), ou lâmina acumulada de 234,6 mm, as perdas de solo praticamente deixaram de ocorrer, sobretudo nas parcelas cujos tratamentos foram Milho em Nível, Mucuna e Crotalária, sendo que a partir do mesmo ponto, as perdas de água (Figura 10) continuaram aumentando, ainda que com menor intensidade. Estes resultados estão de acordo com BEUTLER et al.(2003), que concluíram que as perdas de solo são mais afetadas pelo sistema de preparo e cultivo do que as perdas de água.

O que foi discutido anteriormente para a Tabela 13, com relação à redução das perdas de solo em função do emprego dos tratamentos Crotalária e Milho em Nível pode ser visualizado na Figura 11. Os resultados apresentados corroboram aos encontrados por CASSOL & LIMA (2003), que estudando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho distrófico típico sob chuva simulada, observaram que a aplicação de palha sobre a superfície do solo, foi capaz de reduzir significativamente a perda total de solo em entressulcos, em decorrência do efeito da cobertura da superfície com palha na redução significativa da desagregação do solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por WEST et al. (1991), ROCKENBACH (1992) e BRAIDA & CASSOL (1999).

4.5 Variáveis Estudadas

Na Figura 12 estão apresentados graficamente alguns fatores que influenciaram as perdas de solo e água para o tratamento Mucuna.

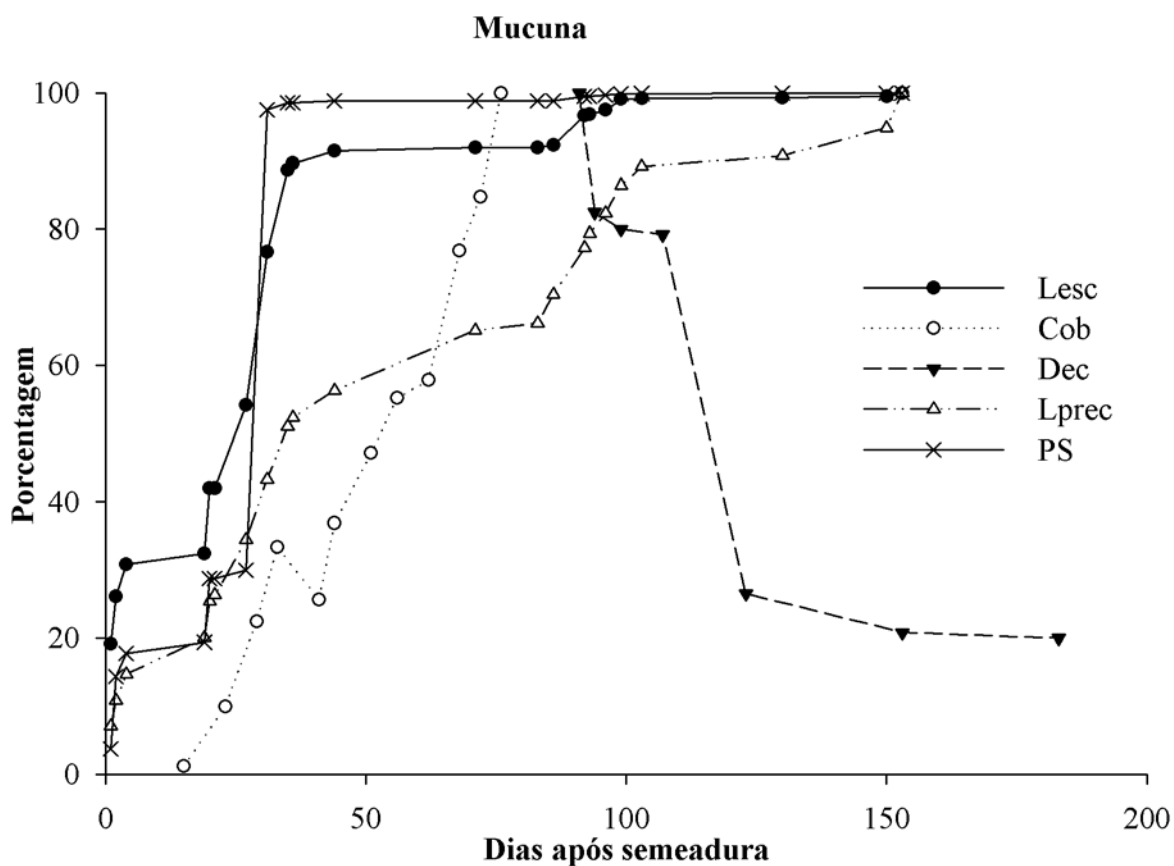


Figura 12. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Mucuna

A maior parte das perdas de solo e água foi perdida até os primeiros 35 dias após o plantio (Figura 12). Este comportamento reflete a interação de fatores tais como erosividade das chuvas, cobertura do solo e baixa agregação das partículas. De acordo com a Tabela 9, até os 31 dias após o plantio, cerca de 56% do índice EI_{30} já havia ocorrido, neste mesmo período, o máximo de cobertura vegetal alcançado foi aproximadamente 20% (Figura 7) e o solo ainda estava sob o efeito do preparo mecânico, que proporcionou a destruição parcial dos agregados sobre a superfície. Sob estas condições as perdas de solo e água foram favorecidas, já que, conforme discutido anteriormente para as Tabelas 11 e 13 e Figuras 10 e 11, o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo favorece o processo de erosivo, acarretando maiores perdas de solo e de água.

Ainda de acordo com a Figura 12, aos 92 dias após o plantio houve um aumento nas perdas de água, sem contudo aumentarem as perdas de solo, isto se deu devido ao fato de ainda persistir sobre o solo restos vegetais provenientes do corte da parte aérea, que foi deixado sobre o solo.

Na Figura 13 estão representadas as variáveis estudadas e que influenciaram as perdas de solo e água para o tratamento Crotalária.

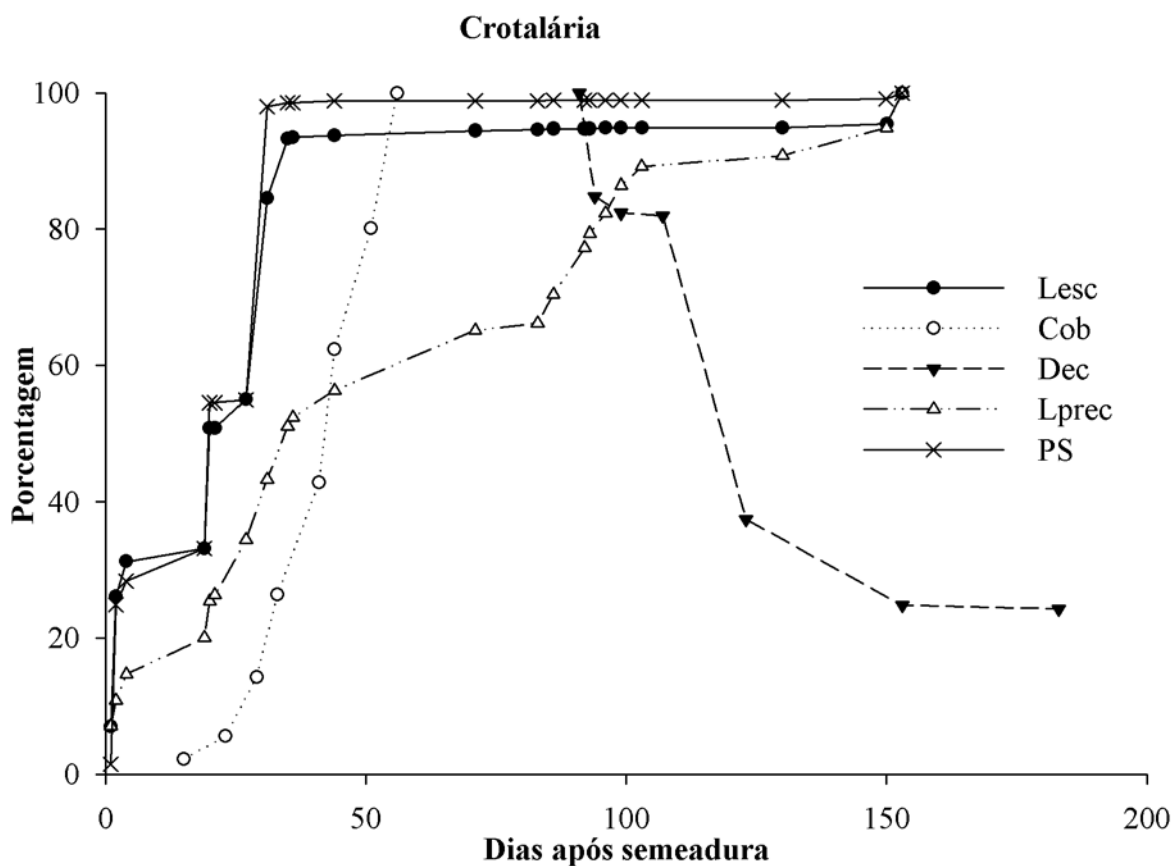


Figura 13. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Crotalária

De acordo com a Figura 13 e Tabela 11, de um total de 68,5 mm escoado superficialmente aproximadamente 85% escoou até os 31 dias após o plantio, sendo que, de acordo com a Tabela 12, apenas no evento de chuva erosiva ocorrido aos 31 dias após o plantio, houve a perda de cerca de 43% do total de solo perdido e cerca de 22% da água perdida. No entanto, a partir dos 35 dias após o plantio, as perdas de solo e de água foram praticamente nulas, sendo isto devido provavelmente aos altos níveis de cobertura do solo proporcionados pelo tratamento Crotalária em um período de tempo relativamente curto (Figura 7), o que protegeu do solo contra o impacto direto das gotas de chuva, reduzindo as perdas de solo e água, conforme discutido anteriormente para as Tabelas 11 e 13 e Figuras 10 e 11.

As perdas de solo e água continuaram sendo praticamente nulas mesmo após o corte da parte aérea das plantas de *Crotalaria juncea*. Isto se deve ao fato de o tratamento Crotalária ter apresentado boa produção de matéria seca (Tabela 9), o que permitiu que mesmo após a decomposição de boa parte deste material, o solo ainda permanecesse protegido contra os efeitos maléficis do impacto das gotas de chuva sobre o solo, conforme discutido anteriormente.

Na Figura 14 estão apresentados graficamente os fatores que influenciaram nas perdas de solo e água para o tratamento Milho em Nível.

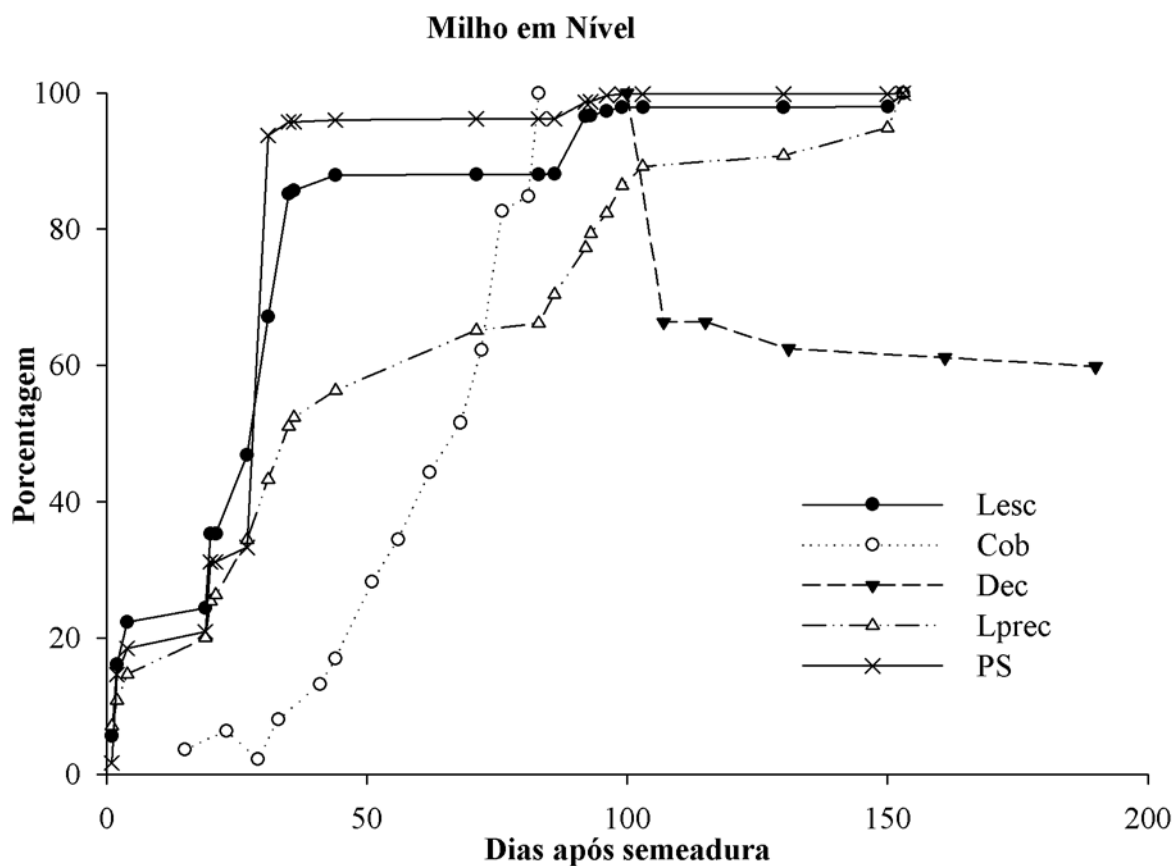


Figura 14. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Milho em Nível.

Pode-se observar na Figura 14 que as curvas correspondentes às perdas relativas acumuladas de solo e água foram similares a evolução da precipitação relativa acumulada, evidenciando a baixa capacidade de proteção do solo por parte da adoção do tratamento Milho em Nível. Ainda analisando a Figura 14, nota-se que as perdas de solo relativas foram geralmente menores do que as perdas de água, com exceção da perda de solo ocorrida aos 31 dias após o plantio.

As maiores perdas relativas de solo e água ocorreram durante os primeiros dias de execução do experimento, e isto foi favorecido pela desagregação das partículas do solo, em virtude do emprego do preparo mecânico por ocasião do plantio. Assim sendo, a formação de escoamento superficial favoreceu a remoção de partículas presentes na superfície do solo.

Nota-se que aproximadamente aos 92 dias após o plantio houve um aumento nas perdas de solo e de água, no entanto, as perdas de água foram mais significativas do que as perdas de solo, evidenciando o fato de que as perdas de água são mais influenciadas pelo tratamento do que as perdas de solo, conforme foi constatado também por BEUTLER et al. (2003).

Na Figura 15 estão representados graficamente os fatores que interferiram nas perdas de solo e água para o tratamento Milho Morro a Baixo.

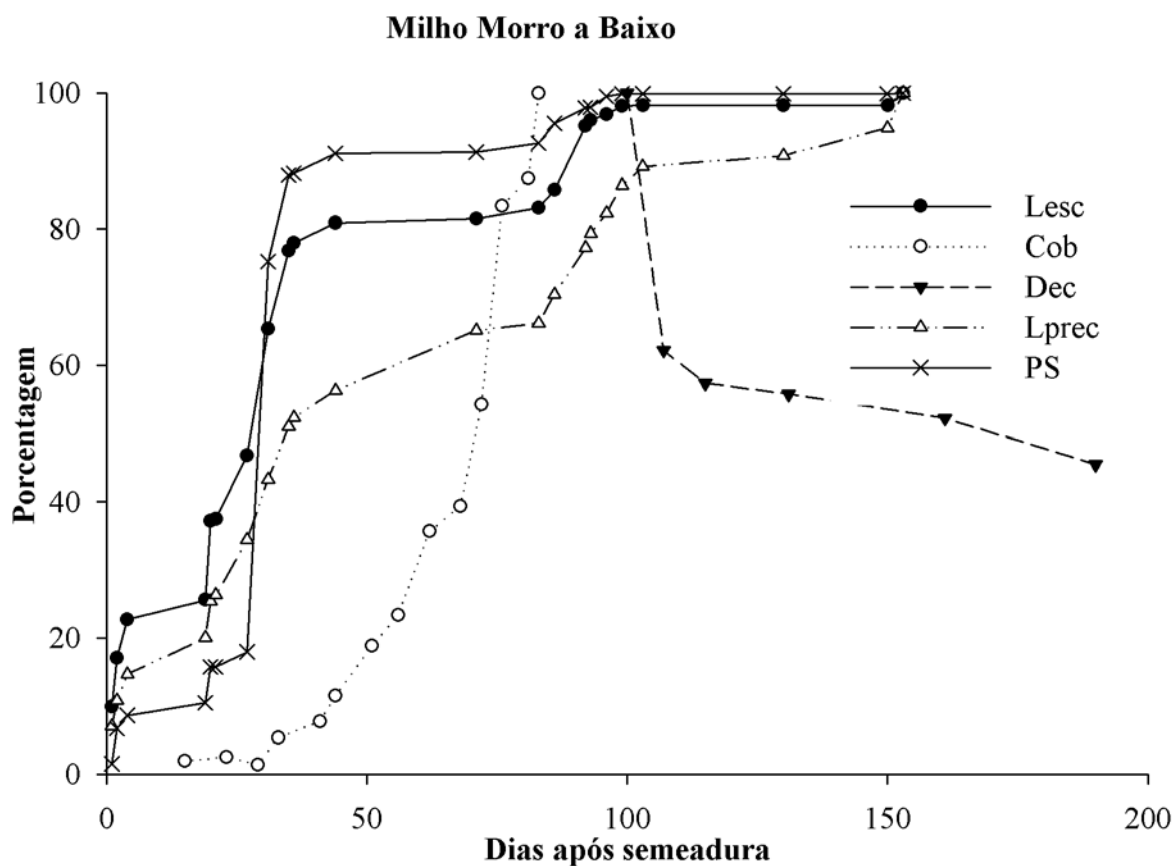


Figura 15. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Cobertura relativa acumulada (Cob), Decomposição relativa acumulada (Dec), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Milho Morro a Baixo

Após a análise da Figura 15, empreende-se que as perdas relativas acumuladas de solo apresentaram comportamento semelhante ao precipitação total relativa acumulada, em função dos dias após o plantio. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de ter sido empregado o preparo mecânico do solo no sentido do declive por ocasião do plantio, o que facilitou o processo erosivo, já que, conforme discutido anteriormente para as Tabelas 11 e 13 e Figuras 10 e 11, o transporte das partículas do solo no sentido do declive é facilitado.

As perdas de solo apresentaram relativamente menores magnitudes do que as perdas de água (Figura 15), concordando com o que constatado também para as Figuras 12, 13 e 14 e por BEUTLER et al.(2003), o que explicitou também a baixa qualidade da cobertura do solo proporcionada pelo plantio no sentido do declive do milho.

A Figura 16 apresenta as perdas de solo e de água proveniente do tratamento Solo Exposto e a precipitação total relativa acumulada durante a execução do experimento.

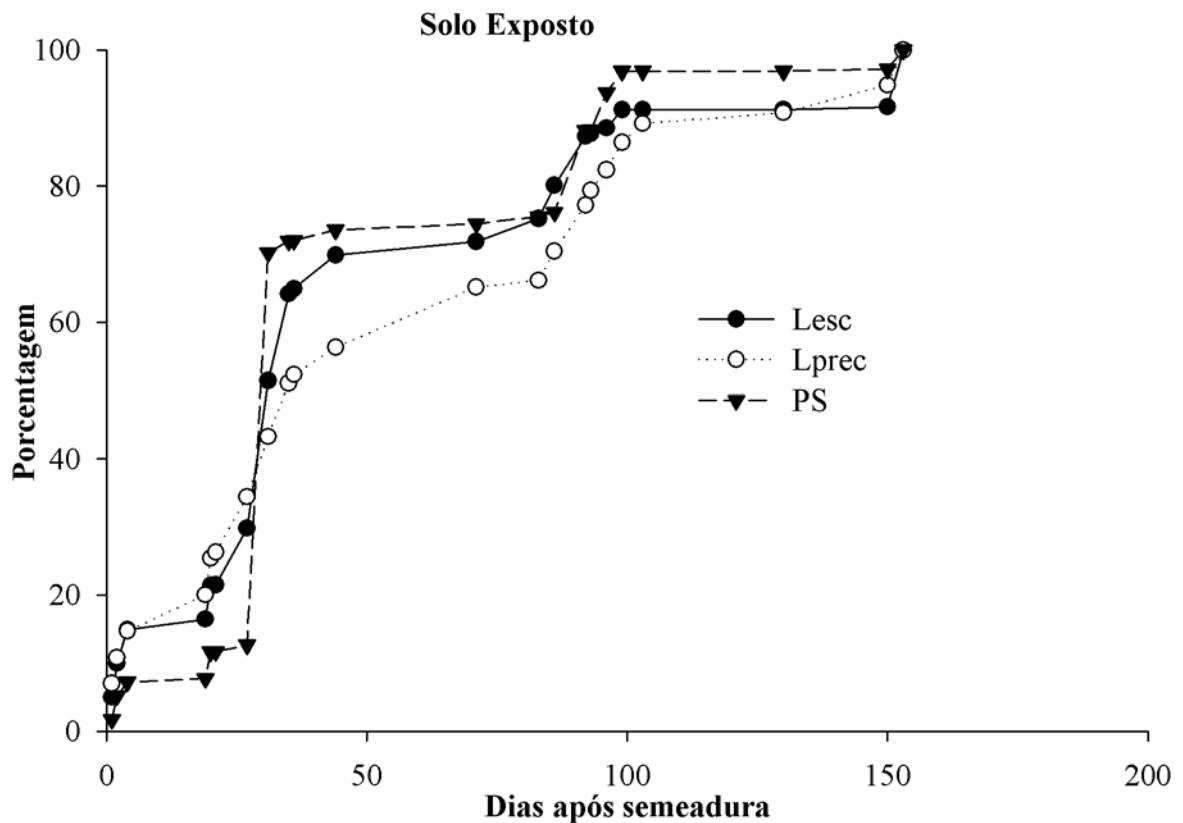


Figura 16. Lâmina escoada total relativa acumulada (Lesc), Lâmina precipitada total relativa acumulada (Lprec) e Perda de solo total relativa acumulada (PS) da parcela Solo Exposto

Vale ressaltar que, na Figura 16, foi adotada como referência para o início das coletas, o dia em que o plantio foi realizado para compor os tratamentos em que houve emprego de cobertura viva do solo (24/12/2004).

Ao analisar a Figura 16 nota-se a similaridade entre as perdas de solo e água com a curva de totais precipitados, ou seja, o processo de erosão hídrica continuou ocorrendo seguindo a tendência do próprio regime pluviométrico. Desta forma, em regiões de clima tropical, onde a época das chuvas se estende por aproximadamente seis meses e apresenta eventos de precipitação de elevado poder erosivo, o emprego de técnicas agrícolas que mantenham o solo descoberto durante a época das chuvas deve ser evitado com a finalidade de evitar a perda excessiva de solo e água e seus efeitos negativos.

Ainda de acordo com a Figura 16, as perdas de solo e água se concentraram até os 40 dias o plantio, sendo que até esta data, cerca de 60% do total de solo havia sido perdido e cerca de 50% do total de água escoada havia sido perdida, evidenciando a importância de se observar a época correta de se realizar as operações de preparo do solo, principalmente em que sejam realizadas operações em que o solo permaneça descoberto.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que:

- A metodologia proposta por VARELLA et al. (2002) para a determinação de porcentagem de cobertura do solo se mostrou viável, quando comparada com as determinações feitas com o *software* SIARCS 3.0, sob as condições deste trabalho;
- As leguminosas anuais apresentaram altas taxas de cobertura do solo e rápida decomposição dos resíduos;
- A produção de matéria seca obtida pelo emprego da leguminosa anual *Crotalaria juncea* foi superior às obtidas pelos demais tratamentos;
- A decomposição dos resíduos das leguminosas se correlacionou exponencialmente com o tempo de exposição, enquanto que, para os resíduos das gramíneas, em ambos os sistemas de plantio, houve correlação exponencial num primeiro momento, passando a ser linear no final;
- A alta velocidade de cobertura do solo proporcionada pelo tratamento Crotalaria influenciou na redução das perdas de solo e água;
- O preparo do solo e o plantio de milho no sentido do declive influenciaram no aumento das perdas de água e solo;
- O plantio de milho em nível proporcionou menores perdas de solo e água em detrimento ao plantio de milho no sentido do declive;
- Sob as mesmas condições, o plantio de milho no sentido do declive é mais favorável às perdas de solo e água do que a manutenção do solo descoberto;
- As perdas de solo foram mais influenciadas pelo emprego dos diferentes tratamentos do que as perdas de água;
- As maiores perdas de solo e água ocorreram em função dos baixos níveis de cobertura do solo e do preparo do solo no sentido do declive;
- O processo de erosão laminar gerou a maior parte das perdas de solo quando se empregou o plantio de leguminosas anuais em nível; e
- O processo de erosão em entressulcos foi mais intenso quando os níveis de cobertura eram baixos e o solo era preparado no sentido do declive.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de Nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura do solo solteiras e consorciadas. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p. 601-612, 2003.
- ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; DE-POLLI, H.; CUNHA, L.H; FREIRE, L.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; PEREIRA, N.N.C.; EIRA, P.A.; BLOISE, R.M.; SALEK, R.C. *Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro*. Itaguaí: Editora Universidade Rural. 1988. 179p. (Coleção Universidade Rural. Ciências Agrárias, n.2).
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; VINSANTIN, D. et al. Nutrientes perdidos na erosão hídrica sob chuva natural. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 14., 2002, Cuiabá. Resumos expandidos...Cuiabá: UFMT, 2002. CD ROM
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; RITTER, S. R.; BRIGNONI, L. F.; BRAMBATTI, D. C.; KAEFER, E. C.; ENGEL, F. L. Efeito ambiental das perdas de nutrientes pela erosão hídrica. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos...Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.
- AMORIM, R.S.S. *Avaliação dos modelos de previsão da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas Brasileiras*. Viçosa-MG, Universidade federal de Viçosa, 2003. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)
- ANDRELLO, A.C.; APPOLONI, C.R.; GUIMARÃES, M.F. Uso do Césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p. 223-229, 2003.
- ANDRIOLI, F. F.; BERTIN, E. G.; MORAES, M.; SIA, E. J.; FREZZARIN, G. N.; ANDRIOLI, I. Produção de matéria seca e N acumulado em plantas de cobertura cultivadas em pre-safra ao milho, em plantio direto. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos...Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.
- ARAÚJO, J. C.; MOLIN, J. P.; VETTORAZZI, C. A. Uso de fotografias aéreas coloridas 35 mm na avaliação de produtividade de grãos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal-SP. vol.24, n.3, p. 695 – 703, 2004.
- ATREYA, K.; SHARMA, S.; BAJRACHARYA, R. M.; RAJBHANDARI, N. P. Applications of reduced tillage in hills of central Nepal. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, (in press), 2005.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria-RS. v.33, n. 3, p.469-475. 2003.
- BELOTTI, F. M.; OLIVEIRA, C. V. Perda de solo por erosão na agricultura: a influência do manejo na variação das taxas de erosão em dois CAMBISSOLOS localizados no município de Brumadinho/MG. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO*

- SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos...Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.
- BERTOL, I. Custo financeiro da erosão hídrica do solo. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 14., 2002, Cuiabá. Resumos expandidos...Cuiabá: UFMT, 2002. CD ROM
- BERTOL, I. SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e suas distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.455-464, 2002.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.485-494, 2004a.
- BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háptico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.1045-1054, 2004b.
- BERTOL, I.; MELO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V; CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. *Scientia Agricola*, v.60, n.3, p.581-586, jul./Sept., 2003.
- BERTOLINI, D., LOMBARDI NETO, F., DRUGOWICH, M.I. *Programa Estadual de Bacias Hidrográficas*. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Campinas:CATI (impresso especial), 1993, 17p.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 5ª ed. São Paulo, Ícone, 355 p. 2005.
- BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.
- BHATT, R., KHERA, K.L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, (in press), 2005.
- BOLFE, E.L.; PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R.A.; FONSECA, E.L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.1, p.85-90, 2004.
- BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG. v. 23, p. 711-721. 1999.
- CARVALHO, C.N. *Fluxo geoquímico de Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio em função do uso agrícola*. Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992. 306p. Tese (Doutorado em Química).
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S. DA.; LANA, A.M.Q.; SILVA, W.A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-amarelo. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.11, n.1-4, p.15-22, 2003.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova

Friburgo-RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, Brasília-DF, v.39, n.7, p.685-690, 2004.

CASSOL, E. A.; & LIMA, V. L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, Brasília-DF, v.38, n.1, p.117-124, 2003.

COGO, C. M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, A.; SANTOS, M. V. Erosividade das chuvas de Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, no período de 1963-1990. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. Solo: Alicerce dos sistemas de produção. Resumos expandidos... Ribeirão Preto: UNESP, 2003. CD-ROM.

COGO, N. P.; DENERDIN, J. E.; BERTOL, I.; KOCHHANN, R. A. Retomada, redefinição e intensificação da pesquisa em erosão do solo no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos... Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, n.37 p.35-46, 1991.

CONGALTON, R.G. & MEAD R.A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.49, n.1, p.69-74, 1983.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, Santa Maria-RS. vol.35, n.2, p. 481 - 489. 2005.

DAUGHTRY, C. S. T.; DORAISWAMY, P. C.; HUNT JR. E. R.; STERN, A. J.; MCMURTREY, J. E.; PRUEGER, J. H. Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. *Soil & Tillage Research*, (in press), 2006.

DERPSCH, R. Agricultura Conservacionista no mundo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos...Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.

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

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 28, n.4, p. 145-146, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ESCADAFAL, R.; RUSSEL, L.; DERA, K. L. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of LANDSAT MSS and TM data. *Remote Sensing Environment*, New York, vol. 27, p. 37 – 46, 1989.

- ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com Bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG. vol.30, p.321-328. 2006
- ESPÍRITO-SANTO, F.D.; SHIMABUKURO, Y.E. Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. *Revista Árvore*, Viçosa-MG. vol.29, n.2, p.227-239, 2005.
- FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HANN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. (Ed.). *Hydrologic modeling of small watersheds*, St. Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 1982. p.297-380. (Monograph, 5).
- FRANCO, F.S.; COUTO, L.; CARVALHO, A.F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; MEIRA NETO, J.A.A. Quantificação da erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.751-760, 2002.
- FREITAS, P.L.; SOUSA, R.L.P.; FONTES, L.E.F.; MADEIRA NETO, J. S. *Avaliação de perda de solo e água com chuva natural, em podzólico vermelho-amarelo distrófico, na área experimental do SNLCS, Município de Itaguaí, RJ*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1980. 5p. (EMBRAPA-SNLCS. Pesquisa em Andamento, 1)
- GIRARDELLO, V; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A.; WEBER, M. A.; ROSSATO, O. B.; SANTI, O. G. R. Efeito do tipo e qualidade do resíduos orgânicos aportados ao solo na temperatura e umidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos... Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.
- GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e Nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, p. 277-286, 2005.
- GHUMAN, B.S. & SUR, H.S. Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam. v.58, p.01-10. 2001.
- HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.53, n.4, p.421-422. 1987.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1999, 815 p.
- JORGE, L.A.C. *Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS®*. São Carlos-SP: EMBRAPA-CNPDIA, 1996. 57p. (EMBRAPA-CNPDIA. Circular Técnica, 1).
- JORGE, L.A.C; CRESTANA, S. SIARCS® 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia-SP, ago. 1996. Solo suelo 96. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 5p. CD-ROM.
- LAFLEN, J.M.; FOSTER, G.R.; ONSTAD, C. Simulation of individual storm soil losses for modeling the impact of soil erosion on cropland productivity. In: EL-SWAFY, MOLDENHAUER & LO, eds. Soil erosion and conservation. Ankeny, Soil Conservation Society of American, 1985. p.285-295.

- LAL, R. Global soil erosion by water and carbon dynamics. *In: LAL, R., KIMBLE, J., LEVINE, E., STEWART, B.A. Soils and Global Change. CRC/Lewis Publishers, p. 131–142, 1995.*
- LANINI, W.T.; PITTENGER, D.R.; GRAVES, W.L.; MUÑOZ, F.; AGAMALIAN, H.S. Subclovers as living mulches for managing weeds in vegetables. *California Agriculture, Berkeley. v.43, p.25-27. 1989.*
- LAWRENCE, R. L.; WOOD, S.D.; SHELEY, R.L. Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman Cutler classifications (RandomForest). *Remote Sensing of Environment. (in press). 2005.*
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háptico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de água e solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, p.1033-1044, 2004.*
- LIEBENOW, A.M.; ELLIOT, W.J.; LAFLEN, J.M.; KOHL, K.O. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. *Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.33, p.1882-1888. 1990.*
- LIMA G.L.; AQUINO, R.F.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R. Perdas por erosão hídrica em Cambissolo e Latossolo sob três padrões de chuvas erosivas para Lavras (MG). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXX. Recife-PE, 2005. Resumos expandidos... Recife, Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2005. CD ROM.*
- LUCHESE, E. B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. *Fundamentos da Química do Solo-Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Editora Freitas Bastos, 182p. 2002.*
- MADEIRA NETO, J. S. *Etude quantitative des relations constituants minéralogiques – reflectance diffuse des latosols brésiliens. Applications à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasília). 1991, 238p. Thèse (Doctorat em Science du Sol) – Université Pierre et Marie Curie, UFR des Sciences de la Terre, Paris.*
- MAGALHÃES, C. A. S.; ALBERNAZ, W. M.; LIMA, J. M. Avaliação de dois métodos de mensuração da cobertura vegetal em áreas de pastagem. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos... Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.*
- MATHWORKS, Inc. *Image Processing Toolbox for use with MATLAB Release 12. Image Processing Toolbox User's Guide Revised for Version 2.2.2, 2000. 511p.*
- MEHL, H.U. *Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entre sulcos. Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria, 2000, 53p. Tese (Mestrado em Agronomia)*
- MEYER, L.D.; FOSTER, G.R.; RÖMKENS, M.J.M. Source of soil eroded by water from upland slopes. *In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agriculture Research Service. Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Washington, 1975. p. 177-189. (USDA. ARS-S, 40).*
- NASCIMENTO, J.T. & SILVA, I.F. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas para uso como cobertura do solo. *Ciência Rural, Santa Maria-RS. v.34, n.3, p.947-949. 2004.*
- NOVO, E. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. Editora Edgard Blücher. 2a. Ed. São Paulo, Brasil: 1992.*

- NÚÑES, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a distribuição química e perdas de Fósforo de um ARGISSOLO. *Bragantia*, Campinas. v.62, n.1, p. 101-109. 2003.
- OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB. v.9, n.4, p.535-539. 2005.
- PARANÁ. Secretaria de estado da agricultura e do abastecimento. *Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo*. Curitiba, 1989. 306 p.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. *Soil microbiology and biochemistry*. 2.ed. California, Academic Press, 1996. 340p.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.3, p.423-429, 2003.
- PERIN, A. *Desempenho de leguminosas herbáceas perenes com potencial de utilização para cobertura viva e seus efeitos sobre alguns atributos físicos do solo*. Seropédica-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), 2001. 105p.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p. 207-213, 2004.
- PERIN, A.; TEIXEIRA, M.G.; GUERRA, J.G.M. Desempenho de algumas leguminosas com potencial para utilização como cobertura viva permanente do solo. *Agronomia*, Seropédica-RJ. v.34, p.38-43. 2000.
- PIMENTAL, D., HARVEY, C., RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K., KURZ, D., MCNAIR, M., CRIST, S., SHPRIT, Z.L., FITTON, L., SAFFOURI, R., BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, v. 267, p. 1117-1124, 1995.
- POST, D. F.; LASSEL, G.; FLAKE, G. P. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. In. BIGHAN, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. *Soil Color*. Madison: SSSA, 1993. p. 35 - 49. (Special Publication, 31)
- POWELL, R. L.; MATZKE, N.; SOUZA JR., C.; CLARK, M.; NUMATA, I.; HESS, L. L.; ROBERTS, D. A. Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v.90, p.221-234, 2004.
- REICHERT, J. M.; SCHÄFER, M. J.; ELTZ, F. L. F.; NORTON, L. D. Erosão em sulcos e entressulcos em função do formato de parcela em Argissolo Vermelho-Amarelo arênico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília-DF, v. 36, n.7, p. 965-973, 2001.
- ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.52 n.2 p.223-227, 1986.
- SARRANTONIO, M. Opportunities and challenges for the inclusion of soil-improving crops in vegetable production systems. *HortScience*, Alexandria. v.27, p.754-758. 1992.
- SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perda de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos

microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JR., A.A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.437-447, 2000.

SILVA, C.G.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão hídrica entressulcos sob chuva simulada, em sistema de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.144-153, 2005.

SILVA, M.L.N.; BRITO, L.F.; PIRES, L.S.; CURI, N.; LEITE, F.P. Perdas de nutrientes e carbono orgânico por erosão hídrica em sistemas de manejo de florestas plantadas de eucalipto no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Resumos expandidos... Santa Maria: UFSM, 2004. CD ROM.

SOUTH, S.; QI, J.; LUSH, D. P. Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices. *Remote Sensing of Environment*, v.91, p.90-97, 2004.

SOUZA, J. M. P. F. *Perdas por erosão e características físico-hídricas de Latossolo em função do preparo do solo em oleráceas no ambiente de Mar de Morros, Paty do Alferes (RJ)*. Seropédica. RJ: UFRRJ, 2002. 83p. Tese (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002.

STOCKING, M.A. Assessing vegetative cover and management effects. In: Lal, R., (Ed.) Soil erosion research methods. Delray Beach, FL. *Soil and Water Conservation Society*. 1994. 340p.

STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. *Agronomy Journal*. v.87, p.1063-1069. 1995.

TAPIA-VARGAS, M., TISCAREÑO-LÓPEZ, M., STONE, J.J., OROPEZA-MOTA, J.L., VELAÂZQUEZ-VALLE, M. Tillage system effects on runoff and sediment yield in hillslope agriculture. *Field Crops Research*. 2001. v.69, p.173-182.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. BISSANI, C.C; BHONEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico)

TISCARENO-LOPEZ, M., LOPES, V. L., STONE, J. J., LANE, L. J. Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland applications I: Hillslope processes. *American Society of Agricultural Engineers*, n. 36, v. 6, p. 1659-1672, 1993.

TOLK, J.A.; HOWELL, T.A.; EVETT, S.R. Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam. v.50, p.137-147. 1999.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SENA JÚNIOR, D. G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.6, n.2, p.225-229. 2002.

VINSENTIN, D.; BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; CARRAFA, M. R.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Erosão hídrica em quatro cultivos sob chuva natural. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE

MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. Resumos expandidos... Cuiabá: UFMT, 2002. CD ROM.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes de seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A.; MACHADO, R.E. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal-SP. vol.24, n.2, p. 421-430, 2004.

WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, Washington-DC. v.63, p.1636-1642. 1982

WILES, L.J.; WILLIAM, R.D.; CRABTREE, G.D.; RADOSEVICH, S.R. Analysing competition between a living mulch and a vegetable crop in an interplanting system. *Journal American of Society Horticultural Science*, Mount Veron. v.114, p.1029-1034. 1989

WISCHMEIER, W.D. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (*Agriculture Handbook*, 537).