

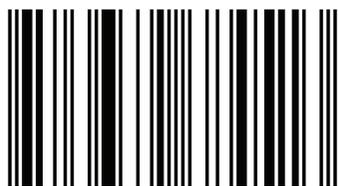
## Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo

A erosão representa um dos fatos mais urgentes da humanidade: ela já destruiu milhares de hectares de terras cultiváveis e levou tantos outros a elevadas condições de empobrecimento. Nas condições atuais, já sofremos com a escassez de terras boas para o plantio. O solo é um recurso muito importante, pois dele depende a sobrevivência dos vegetais e dos seres vivos. Seu processo de formação pode levar milhões de anos, mas sua destruição, se provocada pela ação humana, é bastante rápida, entorno de alguns anos. É necessário que tenhamos consciência da necessidade do manejo adequado do solo, o qual deve ser feito de modo a manter ou melhorar suas características, através do controle das ações que resultam na sua degradação. Procuramos neste livro apresentar uma contribuição técnico-científica que sirva de suporte na tentativa de minimizar os processos erosivos.



### Anne Caroline Barbosa de Carvalho

Possui Graduação em Geografia (Bacharelado) e Mestrado em Ecologia Aplicada a Conservação e Manejo dos Recursos Naturais, ambos pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Atua principalmente nas áreas de Recursos Hídricos e Conservação do Solo.



978-3-639-68451-3



Anne Caroline Barbosa de Carvalho · Celso B. de Melo  
Ribeiro · Wadson S. D. da Rocha

## Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo

Conceitos, Modelos e Aplicações

 Novas Edições  
Acadêmicas

**Anne Caroline Barbosa de Carvalho  
Celso B. de Melo Ribeiro  
Wadson S. D. da Rocha**

**Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo**



**Anne Caroline Barbosa de Carvalho  
Celso B. de Melo Ribeiro  
Wadson S. D. da Rocha**

# **Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo**

**Conceitos, Modelos e Aplicações**

**Novas Edições Acadêmicas**

## **Impressum / Imprensa**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Informação biográfica publicada por Deutsche Nationalbibliothek: Nationalbibliothek numera essa publicação em Deutsche Nationalbibliografie; dados biográficos detalhados estão disponíveis na Internet: <http://dnb.d-nb.de>.

Os outros nomes de marcas e produtos citados neste livro estão sujeitos à marca registrada ou a proteção de patentes e são marcas comerciais registradas dos seus respectivos proprietários. O uso dos nomes de marcas, nome de produto, nomes comuns, nome comerciais, descrições de produtos, etc. Inclusive sem uma marca particular nestas publicações, de forma alguma deve interpretar-se no sentido de que estes nomes possam ser considerados ilimitados em matérias de marcas e legislação de proteção de marcas e, portanto, ser utilizadas por qualquer pessoa.

Coverbild / Imagem da capa: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Verlag / Editora:

Novas Edições Acadêmicas

ist ein Imprint der / é uma marca de

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland / Niemcy

Email / Correio eletrônico: [info@nea-edicoes.com](mailto:info@nea-edicoes.com)

Herstellung: siehe letzte Seite /

Publicado: veja a última página

**ISBN: 978-3-639-68451-3**

Copyright / Copirraite © 2014 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Todos os direitos reservados. Saarbrücken 2014

*Suas convicções tornam-se seus pensamentos.*

*Seus pensamentos tornam-se suas palavras.*

*Suas palavras tornam-se suas ações.*

*Suas ações tornam-se seus hábitos.*

*Seus hábitos tornam-se seus valores.*

*Seus valores tornam-se seu destino.*

(MAHATMA GANDHI)

*Aos meus pais, Marilene e Flávio,  
ao meu irmão, Charles Henrique,  
pelo carinho e incentivo.*

## AGRADECIMENTOS

Esta obra é, sem dúvida, resultado de um grupo de pessoas que auxiliaram, direta ou indiretamente, fazendo sugestões, indicando caminhos ou simplesmente torcendo pelo êxito do trabalho. Por isso, meus mais sinceros agradecimentos:

À minha família, especialmente meus pais e meu irmão, pelo apoio irrestrito aos meus objetivos.

Ao Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro, pela orientação, revisão e sugestões. Obrigada pela paciência e, apesar dos entraves iniciais, por ter acreditado no meu potencial e no meu comprometimento em desenvolver e finalizar este projeto.

Aos pesquisadores da Embrapa Gado de Leite: Dr. Wadson Sebastião Duarte da Rocha e Dr. Carlos Eugênio Martins (Cacá), por terem dado a mim a oportunidade de desenvolver este trabalho junto à Embrapa.

Ao Wadson, agradeço ainda, a co-orientação e o auxílio em todas as fases da pesquisa, desde a montagem do experimento até a finalização da mesma.

Ao Dr. Fausto de Souza Sobrinho, agradeço a presteza no auxílio das análises estatísticas e ao Msc. Marcos Cicarini Hott o fornecimento da base de dados da área de estudo.

À Embrapa Gado de Leite, agradeço também aos assistentes: Raymundo, Leonardo, Reginaldo e Ronaldo pela colaboração nos trabalhos de campo. Assim como aos estagiários: Leandro, Ricardo, Taís, Marlene e Ítalo. Com certeza, o apoio de vocês foi fundamental. Teria sido impossível fazer todas aquelas coletas sozinha. E aos demais funcionários que contribuíram indiretamente com esse trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan e à amiga Rosana pelo auxílio na construção dos mapas.

Ao José Carlos pela amizade e por ter me ajudado prontamente com as documentações.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de pesquisa, possibilitando a minha dedicação exclusiva durante o programa de mestrado e à Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa

de Pós-Graduação em Ecologia, por conceder-me a oportunidade de aperfeiçoamento técnico-científico.

## RESUMO

A erosão consiste no processo natural de desprendimento e transporte das partículas do solo, inerente à própria formação do solo e possui como principais agentes o vento e a água. Entretanto o homem, por meio da inserção de práticas que desequilibram as condições naturais, pode acelerar os processos erosivos. O controle da erosão torna-se necessário quando a quantidade de solo removida atinge valores acima de um nível considerado aceitável. Desde a década de 50, diversos modelos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados com o intuito de prever as perdas de solo por erosão, e o que trata o assunto de modo mais dinâmico, devido ao fato de superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter uma aplicação generalizada, é a chamada Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (no inglês, Universal Soil Loss Equation - USLE). Em função do exposto, o propósito deste trabalho foi realizar o monitoramento em campo das perdas de solo e água utilizando parcelas experimentais montadas em encosta, sob o uso de sistemas diferenciados de manejo do solo e da vegetação e chuva natural, em uma área do Campo Experimental José Henrique Bruschi, pertencente à Embrapa Gado de Leite, localizado no município de Coronel Pacheco – MG, promovendo ajustes e calibrações em um modelo matemático que simula processos de erosão superficial. Para tal, o trabalho foi subdividido em três capítulos, sendo o primeiro uma exposição teórica do tema erosão e alguns dos modelos matemáticos capazes de quantificar as perdas de solo. Apesar de algumas limitações, a USLE quando comparada com outros modelos, é considerada um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão laminar, por exigir um número de informações relativamente pequeno e por ser uma equação amplamente estudada. O capítulo dois descreve a aplicação do modelo proposto com o diagnóstico dos eventos pluviométricos e suas interações com os atributos do solo em diferentes formas de coberturas vegetais; o monitoramento das perdas de solo e escoamentos pluviais, a partir da montagem de parcelas experimentais situadas ao longo da encosta; a utilização do modelo USLE para estimar as perdas de solo, estabelecendo fatores de erosividade (R), erodibilidade (K),

topografia (LS), uso e manejo do solo (C) por meio dos dados obtidos pelo monitoramento das parcelas montadas na encosta, o que gerou simulações de perda de solo em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ . O valor considerado para o fator (P) foi de 0,5. As perdas de solo e água foram:  $117,79\ t\ ha^{-1}$  e  $2.372.230\ L\ ha^{-1}$ ;  $94,68\ t\ ha^{-1}$  e  $2.086.570\ L\ ha^{-1}$ ;  $20,50\ t\ ha^{-1}$  e  $1.687.135\ L\ ha^{-1}$  para o solo exposto, braquiária em monocultivo e braquiária com milho, respectivamente. O fator erosividade (R) foi de  $7.589\ MJ\ mm\ ha^{-1}h^{-1}$ ; o de erodibilidade (K)  $0,009\ t\ ha\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ , enquanto os valores do fator (C) foram de 1, 0,54 e 0,15 para os tratamentos solo exposto, braquiária em monocultivo e para o consórcio milho com braquiária, respectivamente. O capítulo três avalia a produtividade dos tipos de vegetação utilizados no experimento. A altura e a cobertura do solo pela braquiária não apresentaram diferenças entre os tratamentos avaliados. Porém, a produção da matéria verde e da matéria seca foram maiores na braquiária em monocultivo.

**Palavras-chave:** Erosão. Integração Lavoura-Pecuária. Latossolo Vermelho Amarelo. Perda de Água. Produtividade. USLE.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de avaliação e do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco.	5
Figura 2. Divisão do Brasil em regiões homogêneas, em termos de características da precipitação.	18
Figura 3. Ordem das parcelas no campo.	31
Figura 4. Comparação entre perdas de solo nos tratamentos.	36
Figura 5. Perdas de solo por profundidade da camada.	39
Figura 6. Comparação entre perdas de solo e água nos tratamentos, em um ano de avaliação.	40
Figura 7. Latossolos no Campo Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco – MG.	46
Figura 8. Declividades no Campo Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco – MG.	47
Apêndices	65

# SUMÁRIO

1. Introdução	3
1.1 Área de estudo	4
2. Objetivos	5
Capítulo 1: Modelos para estimar as perdas de solo	7
1. Introdução	7
2. Processos de erosão do solo	8
3. Determinação de perdas de solo por erosão	10
4. Histórico de predição da erosão	11
5. Equação Universal de Perda de Solo - USLE	14
5.1 Fator erosividade da chuva (R)	16
5.2 Fator erodibilidade do solo (K)	19
5.3 Fator comprimento e declividade da encosta (LS)	20
5.4 Fator uso e manejo do solo (C)	21
5.5 Práticas conservacionistas (P)	23
6. Tolerância de perda de solo	23
7. Aplicações e limitações da USLE	25
8. Conclusões	26
Capítulo 2: Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo em Coronel Pacheco-MG, Brasil	27
1. Introdução	27
2. Parcelas experimentais	28
3. Fatores da USLE	32
4. Análises estatísticas	34
5. Estimativas de perda de solo por declividade	35
6. Perdas de solo e água por escoamento superficial	35
7. Fator erosividade (R)	42
8. Fator erodibilidade (K)	43
9. Fator uso e manejo do solo (C)	44

10. Correlação entre perdas de solo real e estimada	45
11. Perdas de solo por declividade	46
12. Conclusões	48
Capítulo 3: Avaliação da produtividade da braquiária em monocultivo e em consórcio com milho	49
1. Introdução	49
2. Parcelas experimentais	50
3. Altura das plantas	51
4. Cobertura vegetal	53
5. Acúmulo de matéria verde e matéria seca	53
6. Conclusões	56
Referências bibliográficas	57

# 1. INTRODUÇÃO

A erosão é oriunda de fenômenos naturais que agem continuamente na crosta terrestre, como ocorrência do processo de modificação desta, além de fazer parte do processo de formação do solo. A ação do homem quebra essa harmonia, por meio da inserção de práticas que destroem o equilíbrio das condições naturais desse processo, dando origem à erosão acelerada, que constitui fenômeno de grande importância em razão da rapidez com que se processa e pelo fato de acarretar prejuízos não só para a exploração agropecuária, mas também para diversas outras atividades econômicas e ao meio ambiente (PRUSKI, 2009).

Grandes áreas cultivadas podem se tornar improdutivas ou economicamente inviáveis, se a erosão não for mantida em valores toleráveis. Considerando o sistema de manejo a que está submetido, o solo é passível, tanto de degradação quanto de melhoramento em seu potencial produtivo. Um manejo de solo inadequado pode provocar perdas de solo e água, com a consequente perda da sua capacidade produtiva (PEREIRA et al., 2009).

No Brasil, um dos fatores de desgaste que mais tem contribuído para a improdutividade do solo é, sem dúvida, a erosão hídrica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e o comprimento do declive do terreno e a capacidade que o solo tem de absorver água e, por forças passivas, como a resistência que o solo exerce à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal.

A água é o agente principal no processo erosivo, pois além de desprender e manter as partículas do solo em suspensão, o seu escoamento pela superfície do solo transporta, além dos sedimentos, os nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas. A erosão causa também problemas à qualidade e disponibilidade da água, decorrentes da poluição e do assoreamento de mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água nas estiagens.

A aplicação de modelos matemáticos em estudos de erosão vem sendo um recurso bastante utilizado para melhor compreender este processo. Segundo Wischmeier e Smith (1978) os modelos matemáticos são ferramentas importantes para a simulação e quantificação da erosão hídrica, fornecendo meios para o planejamento de práticas conservacionistas adequadas. Dentre os modelos que estimam as perdas de solo por erosão, a Equação Universal de Perda de Solo, proposta pelos autores, vem sendo amplamente utilizada por exigir um número de informações relativamente pequeno quando comparada aos modelos mais complexos e, por ser uma equação bastante conhecida e estudada. A equação engloba um conjunto de fatores naturais e antrópicos. Dentre estes, destacam-se como fatores naturais a erosividade, a erodibilidade e o fator topográfico e os fatores antrópicos que são definidos pelo uso e manejo do solo e práticas conservacionistas.

O conhecimento do desgaste produzido no solo pela erosão, em suas diferentes formas, serve de suporte para os planejamentos conservacionistas, pois indica, não apenas a maior ou menor erodibilidade do solo, como o grau de redução da sua capacidade de auxiliar na produção e, principalmente, a natureza e a intensidade das práticas conservacionistas necessárias.

## **1.1 ÁREA DE ESTUDO**

O experimento foi desenvolvido em uma área do Campo Experimental José Henrique Bruschi, pertencente à Embrapa Gado de Leite, localizado no município de Coronel Pacheco – MG, Brasil (23°35'16" de latitude sul e 43°15'56" de longitude oeste) em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em relevo ondulado a forte ondulado com declividade média de 20% (Figura 1). O clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico), de acordo com a classificação de Köppen, vigorando duas estações: seca (abril a setembro), com precipitação média mensal de 60 mm e temperatura média de 17°C, e chuvosa (outubro a março) com precipitação média mensal de 230 mm e temperatura média de 24°C respectivamente (SILVA et al., 2011).



Fonte: IBGE (2012).

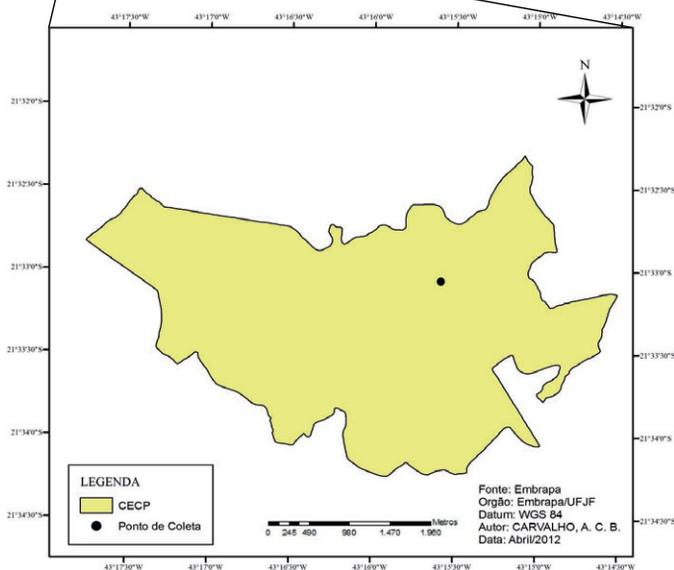


Figura 1. Localização da área de avaliação e do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco.

## 2. OBJETIVOS

- Apresentar alguns dos principais modelos para estimar as perdas de solo;
- Diagnosticar os eventos pluviométricos e suas interações com os atributos do solo sob diferentes formas de coberturas vegetais;
- Monitorar as perdas de solo e escoamentos pluviais, a partir da montagem de parcelas experimentais situadas ao longo da encosta;

- Utilizar o modelo USLE para estimar as perdas de solo, estabelecendo fatores de erosividade (R), erodibilidade (K), topografia (LS) e uso e manejo (C), por meio dos dados gerados pelo monitoramento das parcelas montadas na encosta, gerando simulações de perda de solo em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ;
- Avaliar a produtividade da braquiária em monocultivo e em consórcio com milho.

# **CAPÍTULO 1**

## **MODELOS PARA ESTIMAR AS PERDAS DE SOLO**

### **1. INTRODUÇÃO**

A erosão consiste no processo natural de desprendimento e transporte das partículas do solo, inerente à própria formação do solo e possui como principais agentes o vento e a água. Entretanto o homem, por meio da inserção de práticas que desequilibram as condições naturais, pode acelerar os processos erosivos originando a erosão acelerada. Esta, devido à rapidez com que ocorre, é conceituada como um fenômeno de grande importância, pois acarreta grandes prejuízos tanto para a agropecuária quanto ao meio ambiente, promovendo extensivamente o assoreamento, a poluição e a eutrofização das águas superficiais, com prejuízo na quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

No Brasil, indiscutivelmente, a erosão hídrica é a mais importante, pois desagrega e transporta o material erodido com grande facilidade, principalmente em regiões de clima úmido onde os resultados são mais visíveis. O controle da erosão hídrica torna-se necessário quando a quantidade de solo removida atinge valores acima de um nível considerado aceitável. A tolerância dessas perdas depende das características e das propriedades do solo, profundidade, topografia e erosão antecedente (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Desde a década de 50, diversos modelos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados com o intuito de prever as perdas de solo por erosão. Como ressalta Amorim (2004), os modelos de simulação, tais como os de predição de erosão, são ferramentas poderosas na pesquisa e nas práticas agrícolas, pois, quando aplicados em situações de campo, auxiliam na determinação de práticas conservacionistas e dos manejos mais indicados. No entanto, tanto os modelos empíricos quanto aqueles baseados em princípios físicos necessitam serem avaliados e, ou, calibrados para uma determinada condição edafoclimática, antes de serem extensivamente utilizados para a predição da erosão.

Tendo em vista que os modelos de predição de erosão existentes foram desenvolvidos e os seus parâmetros ajustados para condições de clima temperado, condições essas bem diferentes das de clima tropical, torna-se de fundamental importância uma verificação da aplicabilidade destes modelos para as condições edafoclimáticas brasileiras, uma vez que o desenvolvimento de um modelo é bastante oneroso em termos de tempo e de recursos necessários, tanto do ponto de vista da coleta de dados quanto das diferentes áreas do conhecimento que envolve o processo erosivo.

Dentre os muitos modelos que tentam exprimir a ação dos principais fatores que exercem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica, o que trata o assunto de modo mais dinâmico, devido ao fato de superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter uma aplicação generalizada, é a chamada Equação Universal de Perda de Solo (MINGOTI, 2009).

A USLE é a equação de estimativa de erosão mais conhecida e aplicada até hoje. Todos os modelos desenvolvidos após a USLE foram elaborados a partir dela, ou contêm variáveis dessa equação. O objetivo da USLE é fazer previsão de médio a longo prazo de erosão do solo com base em séries de longos períodos de coleta de dados, e daí então promover o planejamento de práticas conservacionistas para minimizar as perdas de solo a valores aceitáveis (MACHADO, 2002).

## **2. PROCESSOS DE EROSÃO DO SOLO**

Foi por meio da erosão conhecida como geológica ou natural, que se esculpíram os vales e se depositaram as planícies dos rios. Entretanto, quando desprovido de vegetação, o solo fica exposto a uma série de fatores que tendem a depauperá-lo numa velocidade que varia com os atributos, o tipo de clima e os aspectos topográficos (LEPSCH, 2010).

Segundo SILVA et al. (2003), a erosão acelerada ou induzida é muito mais rápida que a natural, primariamente como resultado da influência das atividades do homem, ou, em alguns casos, de animais. É entendida como o processo de

desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e/ou pelo vento e constitui, sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados que em outras regiões do planeta (GUERRA et al., 2010). Este é o caso do Brasil onde, indiscutivelmente, a erosão hídrica é a mais importante, pois as chuvas concentram-se em certas estações do ano e contribuem para desagregar e transportar o material erodido com grande facilidade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

O processo de erosão hídrica pode ser descrito em três estágios: desprendimento, transporte e deposição (AMORIM, 2004).

A desagregação é a primeira fase do processo erosivo e consiste no desprendimento das partículas de solo (individual ou agregados). O desprendimento das partículas tem início com o umedecimento dos agregados, o que reduz suas forças coesivas, enfraquecendo-os e tornando-os menos resistentes ao desprendimento, que somente ocorre quando as forças externas, de natureza cisalhante, superam as forças internas (PRUSKI, 2009). Em condições agrícolas, os principais agentes externos responsáveis pelo desprendimento dos agregados são aqueles associados ao impacto das gotas de chuva e ao escoamento superficial.

O transporte, segunda fase do processo erosivo, consiste na transferência das partículas de solo desagregadas de seu local de origem para outro, seja pelo salpicamento decorrente do impacto das gotas de chuva, seja pelo escoamento superficial (PRUSKI, 2009), considerado o maior agente de transporte das partículas de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A deposição é a terceira e última fase do processo erosivo, que consiste na deposição do material que foi desagregado e transportado. Isso ocorre quando a quantidade de sedimentos contida no escoamento superficial é maior que sua capacidade de transporte (PRUSKI, 2009).

Dentre os tipos de erosão hídrica (laminar, em sulcos e voçorocas), a erosão laminar é considerada um dos principais problemas ambientais percebidos nas bacias hidrográficas antropizadas e de uso predominantemente agrícola (BAPTISTA, 2003), e se destaca pela combinação da ação desagregadora do impacto das gotas de chuva (ARAGÃO et al., 2011). Ao colidirem com a superfície do solo desnudo, as gotas de chuva rompem os agregados reduzindo-os a partículas menores, passíveis de serem arrastadas pela energia da enxurrada (LEPSCH, 2010).

Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, provoca a poluição dos mananciais hídricos (PRUSKI, 2009). Dessa forma, as perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduzindo o rendimento operacional das máquinas agrícolas.

O controle da erosão hídrica torna-se necessário quando a quantidade de solo removida atinge valores acima de um valor considerado aceitável. Embora o estabelecimento de tolerância para solos e topografia ser geralmente uma questão de julgamento coletivo, em que fatores físicos e econômicos são levados em consideração, a tolerância dessas perdas depende das propriedades do solo, profundidade, topografia e erosão antecedente (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

### **3. DETERMINAÇÃO DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO**

Os métodos de estudo e de abordagem da pesquisa em erosão variam basicamente com a natureza do fenômeno a ser estudado e com o objetivo central do estudo, juntamente com as limitações econômicas e de tempo necessário para a pesquisa, bem como de espaço físico (SILVA et al., 2003).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010), os métodos para determinação de perdas de solo por erosão podem ser agrupados basicamente em: diretos ou indiretos.

Os métodos diretos são todos aqueles que se baseiam na coleta, na medição e na análise do material erodido, com auxílio de instalações coletoras e medidores

especiais. Ainda de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), os métodos diretos de determinação de perdas de solo se subdividem em: por impacto; por arrastamento superficial e por percolação.

Os métodos indiretos baseiam-se nos vestígios encontrados nos perfis de solo ou mesmo nas diferenças encontradas em relação ao solo não erodido. São geralmente mais imprecisos do que os fundamentados nos estudos do material erodido, além de envolverem outras variáveis associadas aos processos erosivos. São utilizados basicamente como métodos auxiliares do estudo erosivo (BAPTISTA, 2003).

Um manejo agrícola efetivo, visando o controle do processo erosivo, requer o entendimento das relações complexas entre os processos físicos, químicos, hidrológicos e meteorológicos. Como a análise dessas importantes interações dificilmente pode ser obtida experimentalmente, a utilização de modelos matemáticos torna-se uma forma prática para compreender tais interações.

Os modelos matemáticos vêm sendo amplamente empregados na predição do processo erosivo, tanto para planejamentos conservacionistas (preventivos) como em seu controle. A principal vantagem da aplicação de modelos é a possibilidade de estudar vários cenários, como o pior cenário possível, e diferentes tipos de manejos e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida (SILVA et al., 2003).

#### **4. HISTÓRICO DE PREDIÇÃO DA EROSÃO**

As pesquisas realizadas para compreender os processos erosivos eram baseadas no estudo da erosão laminar e da erosão em sulcos com foco apenas nos processos de escoamento superficial (FOX e WILSON, 2010). Em sua fase inicial, entre 1880 e 1947, os estudos relacionados à erosão limitavam-se ao entendimento e a descrição qualitativa dos principais fatores que afetavam o processo erosivo. Trabalhos experimentais desenvolvidos no Meio Oeste dos Estados Unidos, no período de 1940 a 1954, resultaram na obtenção de equações de perda de solo que incluíam os efeitos do comprimento e da declividade da encosta, das características e

propriedades do solo, das práticas conservacionistas e das condições de uso e manejo do solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Em 1946, um comitê dos Estados Unidos reuniu-se com a finalidade de revisar os fatores da última equação gerada e os dados existentes no país e, após incluir o fator chuva, deu origem a uma nova equação de perda de solo conhecida como equação de Musgrave (1947). Anos mais tarde (1954-1965), num esforço de agências de pesquisa e extensão dos Estados Unidos para revisão das equações, foi proposto um novo modelo empírico denominado Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Esta equação, de base empírica, não leva em consideração, de forma individualizada, os processos físicos envolvidos na erosão do solo, como o desprendimento e transporte das partículas do solo. Na USLE são apenas discriminadas as significâncias dos diferentes fatores que regem o processo erosivo, dentre os quais estão incluídos a precipitação, o comprimento da encosta, a declividade da encosta, a erodibilidade do solo, o cultivo (uso do solo) e as práticas agrícolas (AMORIM, 2004). A USLE também não considera os processos de deposição nos sopés das encostas e não incorpora o processo de erosão em voçorocas. Esses fatos são responsáveis por subestimativas de perda de solo pelo modelo, quando ocorrem processos como o de voçorocamento em uma região (VALENTIN, 2008).

Apesar dessas limitações, a USLE é considerada um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão laminar, por exigir um número de informações relativamente pequeno quando comparado aos modelos mais complexos e por ser uma equação bastante conhecida e estudada (AMORIM et al., 2009).

Após a publicação do *Agriculture Handbook 537* (WISCHMEIER e SMITH, 1978), outros modelos foram desenvolvidos a fim de aprimorar a predição da perda de solo e também do aporte de sedimentos. A crescente demanda dos usuários da USLE por maior flexibilidade na modelagem de erosão para condições diferentes daquelas que deu origem ao modelo e que não eram contempladas por sua estrutura, resultou em trabalhos de atualização do modelo em meados da década de 1980, pelo

Serviço de Pesquisas na Agricultura do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-ARS). Mantendo a mesma estrutura da USLE, novas pesquisas e análises resultaram na Equação Universal de Perda de Solo Revisada - RUSLE, aliando o desempenho da USLE para novos e antigos esquemas de manejo de terras (CRUZ, 2003). Além disso, devido à complexidade das equações usadas para quantificar os fatores da equação principal, foi desenvolvido um programa computacional para facilitar a estimativa da perda de solo (AMORIM, 2004).

A RUSLE apresenta a vantagem de poder estimar as perdas de solo para situações onde não é possível aplicar a USLE e em locais onde não tenham dados de perda de solo para a determinação dos componentes do modelo. E pela utilização de um programa computacional, pode incorporar conceitos de base física para a determinação de alguns de seus componentes, favorecendo uma reprodução mais real do sistema. Embora tenha sofrido consideráveis melhorias esta equação também não abrange os processos de deposição, o que limita sua aplicação para áreas onde o processo de deposição tenha importância expressiva.

A necessidade de se desenvolver uma nova tecnologia para a estimativa das perdas de solo por erosão surgiu para suplantiar o grande número de limitações apresentadas pelos modelos USLE e RUSLE, principalmente referentes à impossibilidade de aplicação dos modelos de forma satisfatória em situações fora daquelas nas quais foram desenvolvidos (AMORIM et al., 2009).

Na metade da década de 1980, o USDA iniciou o *Water Erosion Prediction Project* – WEPP, visando desenvolver uma nova geração de tecnologias para predição da erosão hídrica. Esse modelo se baseia nos fundamentos de teorias de infiltração, física do solo, fitotecnia, hidráulica e mecânica da erosão (MACHADO et al., 2003). Proporciona várias vantagens em relação às outras tecnologias de previsão de erosão, pois incorpora conceitos de erosão entressulcos e nos sulcos. Através do WEPP é possível simular os processos que ocorrem em determinada área de acordo com o estado atual do solo, cobertura vegetal, restos culturais e umidade do solo. Quando ocorre uma chuva, se houver escoamento superficial, o modelo estima o desprendimento, transporte e a deposição das partículas ao longo da encosta, porém

não contempla a erosão em grandes voçorocas e cursos de águas perenes (AMORIM et al., 2009).

O WEPP é apresentado em três versões básicas: uma versão para vertentes (*hillslope version*), uma versão para bacias hidrográficas (*watershed version*) e uma de quadrícula (*grid version*) (MACHADO et al., 2003).

Apesar de parecer um modelo mais completo, o WEPP apresenta algumas limitações como o grande número de parâmetros de entrada necessário para a aplicação do modelo; necessidade de treinamento intensivo de pessoal para efetiva implementação; além de não poder ser aplicado para prever a erosão em voçorocas.

De acordo com Amorim (2004), diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados desde a década de 1950, com intuito de prever a magnitude das perdas de solo por erosão. Como já citado, os mais comumente utilizados são a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) e o *Water Erosion Prediction Project* (WEPP). Porém cada tipo de modelo serve para um propósito e, dessa forma, não existe um que possa categoricamente ser indicado como mais apropriado que os demais para todas as situações.

## **5. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO – USLE**

A USLE é a equação de estimativa de erosão mais conhecida e aplicada até hoje. Todos os modelos desenvolvidos após a USLE foram elaborados a partir dela, ou contém variáveis dessa equação (SEEGER et al., 2011). É uma equação empírica utilizada para estimar a erosão laminar para cada combinação possível entre sistemas de cultivo e práticas conservacionistas associadas a um tipo de solo específico, condições de chuva e topografia (WICHMEIER e SMITH, 1978).

Originalmente, a USLE foi projetada de forma a servir como ferramenta de trabalho para projetos conservacionistas americanos em que os resultados fossem representados por um número apenas e pudessem ser calculados a partir de dados meteorológicos, pedológicos e de parcelas de erosão regional e local, e fosse livre de qualquer base geográfica (AMORIM et al., 2009). Esta equação foi obtida a partir de

observações de perda de solo em mais de 10.000 parcelas-padrão com 0,008ha (3,5m de largura e 22,1m de comprimento) e 9% de declividade, distribuídas em todas as regiões dos Estados Unidos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

De acordo com Barretto et al. (2008) a pesquisa científica brasileira em erosão acelerada do solo teve uma formação recente. Apesar dos primeiros trabalhos terem sido publicados ainda na década de 1940, aproximadamente metade da produção originou-se a partir da década de 1990. No Brasil, os trabalhos iniciais com a equação de perdas de solo foram desenvolvidos por Bertoni et al. (1975) utilizando os dados existentes para as condições do Estado de São Paulo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A USLE é expressa pela relação:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Onde:

A = perda de solo calculada por unidade de área,  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R = fator chuva: índice de erosão pela chuva,  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ;

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m,  $t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;

L = fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive, adimensional;

S = fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa, adimensional;

C = fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado, adimensional;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, adimensional.

## 5.1 FATOR DE EROSIVIDADE DA CHUVA (R)

A erosividade é representada por um índice numérico que expressa sua capacidade, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção. Entre os fatores da USLE, apenas o fator R é calculado diretamente a partir de registros pluviográficos, enquanto os demais são relativos à parcela-padrão (AMORIM et al., 2009).

Considerada como um dos principais agentes ativos no processo de erosão hídrica, a chuva tem seu potencial erosivo quantificado a partir de suas características físicas, sendo os índices de erosividade  $EI_{30}$  e  $KE > 25$  os mais utilizados (MONTEBELLER et al., 2007). De acordo com Wischmeier e Smith (1958), o índice  $EI_{30}$  foi definido como o melhor índice de erosividade para estimar a capacidade da chuva em provocar erosão. Verificaram que a perda de solo provocada pelas chuvas em áreas cultivadas apresentou elevada correlação entre energia cinética total e intensidade máxima em 30 minutos. É o índice que melhor expressa o potencial da chuva em causar erosão, considerando as fases de impacto das gotas da chuva, a desagregação do solo, a turbulência do escoamento e o transporte das partículas de solo e, seus valores são dados pela equação:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Onde:

Ec = energia cinética,  $MJ ha^{-1} mm^{-1}$ ;

I = intensidade da chuva,  $mm h^{-1}$ .

Sendo o índice de erosão  $EI_{30}$  expresso por:

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30}$$

Onde:

$EI_{30}$  = índice de erosão,  $MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$ ;

$E_c$  = energia cinética da chuva;

$I_{30}$  = intensidade máxima em 30 minutos,  $\text{mm h}^{-1}$ .

Para alguns autores o  $EI_{30}$  subestima a erosividade nas regiões tropicais, o que tem contribuído para o desenvolvimento de outros índices de erosão. Assim, para algumas regiões da África, por exemplo, Hudson (1965) encontrou melhor correlação das perdas de solo com índice  $KE > 25$ , que considera a energia cinética total das chuvas com intensidade superior a  $25 \text{ mm h}^{-1}$  (AMORIM et al., 2009).

Devido a serem os registros de pluviógrafos escassos ou inexistentes em alguns países e as análises dos diagramas dos pluviógrafos para a energia cinética, extremamente morosas e trabalhosas, diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos, fatores esses de fácil medida e que não requerem registros de intensidade de chuva (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Nesse sentido, um índice muito utilizado é o coeficiente de chuva ( $R_c$ ) que pode ser determinado conforme proposição de Fournier (1956), modificado por Lombardi Neto (1977), com base nos valores de precipitação média e precipitação anual média (MONTEBELLER et al., 2007).

A relação obtida é:

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$$

Onde:

$EI$  = média mensal do índice de erosão,  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ;

$r$  = precipitação média mensal, mm;

$P$  = precipitação média anual, mm.

Porém, Silva (2004) em estudo relativo à erosividade no Brasil, propôs a divisão do país em oito regiões homogêneas (Figura 2) em termos de precipitação, tendo esse autor apresentado para cada uma das regiões, equações que permitem estimar a erosividade para cada mês ( $R_x$ ) a partir das precipitações médias mensais ( $M_x$ ) e da precipitação média anual (P) (Tabela 1).



Figura 2. Divisão do Brasil em regiões homogêneas, em termos de características da precipitação, segundo Silva (2004).

Tabela 1. Equações propostas por diversos autores e apresentadas por Silva (2004) para estimar a erosividade da chuva para cada mês ( $R_x$ ) a partir das precipitações médias mensais ( $M_x$ ) e da precipitação média anual (P).

Região	Equação	Autor(es)
1	$R_x = 3,76(M_x^2/P) + 42,77$	Oliveira Jr. e Medina(1990)
2	$R_x = 36,849(M_x^2/P)^{1,0852}$	Morais et al (1991)
3	$R_x = (0,66M_x) + 8,88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42,307(M_x^2/P) + 69,763$	Silva (2004)
5	$R_x = 0,13 (M_x^{1,24})$	Leprun (1981)
6	$R_x = 12,592(M_x^2/P)^{0,6030}$	Val et al. (1986)
7	$R_x = 68,73(M_x^2/P)^{0,841}$	Lombardi Neto e Mondenhauer (1992)
8	$R_x = 19,55 + (4,2M_x)$	Rufino et al. (1993)

As variáveis das equações da tabela acima estão em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, ou seja, no sistema internacional. Para converter um valor de erosividade apresentado no sistema métrico (tm mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) para o sistema internacional, multiplica-se o valor

por 9,81, conforme indicado por Foster et al. (1981), e para converter um valor do sistema internacional para o sistema métrico, divide-se o valor por 9,81.

## **5.2 FATOR DE ERODIBILIDADE DO SOLO (K)**

O significado de erodibilidade é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas (duração, intensidade e frequência), cobertura vegetal e manejo, do que pelas características e propriedades do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). A erodibilidade expressa a resistência do solo à erosão hídrica, sendo dependente, entre outros fatores, dos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos (AMORIM et al., 2009).

Medidas experimentais do valor de K, conforme normas estabelecidas no surgimento da USLE, em condições específicas de declividade (9%) e comprimento de rampa (25m), são custosas e requerem muitos anos de determinações, além de ser difícil isolar os fatores do solo de outros fatores e requer para sua determinação a instalação de tanques coletores de enxurrada (BAPTISTA, 2003). Esses valores são expressos como a perda de solo (A), por unidade de índice de erosão da chuva (R) (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). Tais motivos tornaram necessária a estimativa da erodibilidade por outros meios.

A erodibilidade pode ser realizada por meio do que foi considerado o primeiro método para estimativa da erodibilidade, desenvolvido por Wischmeier et al. (1971), o qual consiste em uma representação gráfica (nomograma), que se baseia na combinação dos atributos físicos dos solos (percentagem de silte e areia muito fina; percentagem de areia compreendida entre 2 e 0,1mm; estrutura e classe de permeabilidade) e na percentagem de matéria orgânica (AMORIM et al., 2009). No entanto, a obtenção indireta da erodibilidade a partir do nomograma e de modelos matemáticos que empregam atributos do solo tem sido usada com sucesso apenas nos Estados Unidos. E não tem apresentado bons resultados quando aplicadas em solos tropicais, devido às diferenças texturais, particularmente em relação aos Latossolos brasileiros (AMORIM et al., 2009).

Como mencionado, a metodologia para a quantificação desse índice, além de seu alto custo, demanda bastante tempo até que sejam obtidos dados definitivos de unidades específicas de solo. Apesar dessas limitações diversos autores: Bertoni e Lombardi Neto (1975); Denardin (1990); Lima et al. (1990); Chaves (1994); Roloff e Denardin (1994) desenvolveram modelos para a estimativa da erodibilidade específicos para cada grupamento de solos.

### **5.3 FATOR COMPRIMENTO E DECLIVIDADE DA ENCOSTA (LS)**

A intensidade da erosão hídrica é afetada tanto pela distância ao longo da qual é processado o escoamento superficial (L) quanto pela declividade do terreno (S). Para aplicação prática são considerados conjuntamente como LS (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

O fator LS é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Esse fator pode ser determinado experimentalmente ou estimado por meio da equação abaixo, proposta no *Agriculture Handbook 537* (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

$$LS = (L/22,13)^m (65,41\text{sen}^2\alpha + 4,56\text{sen}\alpha + 0,065)$$

Onde:

L = comprimento da encosta, m;

$\alpha$  = ângulo da declividade da encosta em graus;

m = parâmetro de ajuste que varia em razão da declividade da encosta.

Porém, é muito comum nos trabalhos de determinação dessas variáveis da USLE o uso de uma equação estabelecida para qualquer valor de L e S (FOSTER et al., 1981).

$$LS = \sqrt{L}/100 (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2)$$

Onde:

L = comprimento do declive, m;

S = grau do declive, %.

O efeito do comprimento e do grau de declive assim estabelecido pressupõe declives essencialmente uniformes, isto é, não considera se eles são côncavos ou convexos, pois seus efeitos nas perdas por erosão não foram ainda bem avaliados (BERTONI e LOMBARDI, 2010).

#### **5.4 FATOR USO E MANEJO DO SOLO (C)**

As perdas de solo que ocorrem em uma área mantida continuamente descoberta podem ser estimadas pelo produto dos termos R, K, L e S da equação de perdas de solo. Entretanto, se a área estiver cultivada, tais perdas serão reduzidas devido à proteção que a cultura oferece ao solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978). O fator uso e manejo do solo (C) é, portanto, a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Wischmeier e Smith (1965) utilizando-se de dados de escoamento, de perdas de solos e das precipitações associadas a essas perdas, em aproximadamente 8.000 lotes de projetos federais nos EUA, em 21 estados, analisou a evolução da influência do crescimento vegetal, da sequência de plantio, das práticas de lavoura, da fertilidade e manejo dos resíduos na erosão do solo provocada pelas chuvas (BAPTISTA, 2003).

Visando facilitar a determinação dessa variável (C), são considerados estágios definidos de desenvolvimento das culturas e suas influências na erosão do solo. Os principais estágios são: (a) período D – preparo do solo: do preparo ao plantio; (b) período 1 – plantio: do plantio a um mês após o plantio; (c) período 2 – estabelecimento: do fim do período 1 até dois meses após o plantio; (d) período 3 –

crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita; (e) período 4 – resíduo: da colheita até o preparo do solo. No *Agriculture Handbook 537* (WISCHMEIER e SMITH, 1978), os valores do fator C estão apresentados em várias tabelas para diferentes cultivos e períodos de crescimento das culturas (AMORIM et al., 2009).

O valor de C adotado deverá ser o somatório de todos os valores calculados de C por períodos do ciclo de desenvolvimento da cultura. A variação de C oscila entre 0,00004 para as áreas recobertas por formações arbóreas intocadas e, 1 para as áreas de solo exposto, desprovidos de cobertura vegetal (BAPTISTA, 2003).

Alguns valores do fator C, para diferentes culturas e tipos de manejo, são apresentados na Tabela 2. No entanto, dada a sua complexidade, poucos são os trabalhos no país com determinação desse fator para diferentes culturas (SILVA et al., 2008).

Tabela 2. Valores do fator (C) para diferentes condições de uso da terra e manejo

Uso e manejo do solo	Fator C
Solo exposto	1,000
Floresta ou vegetação densa com copas altas e fechadas	0,001
Campo com boa cobertura	0,010
Campo utilizado para pastagem (sem recuperação)	0,100
Coqueiro, café, cacau (com cobertura)	0,1-0,3
Trigo, sorgo	0,4-0,9
Algodão morro abaixo	0,69
Algodão em nível	0,69
Milho em nível	0,34
Cana-de-açúcar em sulco e em nível	0,15
Cultivo de milho em preparo convencional	0,34
Cultivo de milho em preparo reduzido 1	0,34
Cultivo de milho em preparo reduzido 2	0,34
Cultivo de milho em preparo reduzido 3	0,34
Cultivo de Milho com grade pesada	0,34
Cultivo da soja em preparo convencional	0,54
Cultivo da soja em sistema de plantio direto	0,25
Pousio invernal e milho no verão	0,25

Adaptado de Silva et al. (2003); Pruski (2009).

## 5.5 PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)

O fator de práticas conservacionistas representa a relação entre as perdas de solo esperadas de um terreno que foi cultivado adotando-se determinada prática conservacionista e as perdas quando se planta no sentido do declive, ou seja, morro abaixo (SILVA et al., 2003). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e algumas capinas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). Na tabela 3 são apresentados alguns valores de (P) para as práticas conservacionistas mais utilizadas para controlar a erosão.

Tabela 3. Valores de (P) para algumas práticas conservacionistas.

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordão de vegetação permanente	0,2

Fonte: Pruski (2009).

## 6. TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO

A expressão tolerância de perdas de solo é usada para designar a intensidade máxima de erosão de solo que permitirá a uma elevada produtividade manter-se sustentável (WISCHMEIER e SMITH, 1978). As informações de tolerância de perda de solo podem ser utilizadas na USLE, além da forma usual para testar a eficácia dos sistemas de manejo do solo, como um critério para definir a distância entre terraços em uma lavoura (OLIVEIRA et al., 2008).

O critério mais importante, do ponto de vista agrônomo, para a determinação dos limites de tolerância, é a espessura da camada de solo favorável ao enraizamento das culturas, ou seja, a profundidade dos horizontes A e B (BAPTISTA, 2003).

Os métodos de estimativa da tolerância de perda de solo por erosão, embora utilizem atributos que influenciem a erosão do solo, são empíricos notadamente no

que se refere à definição dos fatores o que conduz à estimativas de tolerâncias diferentes para um mesmo solo (BERTOL e ALMEIDA, 2000). Não há ainda um consenso entre os pesquisadores em relação à tolerância de perda e solo.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010) em consequência da intensidade da erosão variar grandemente para diferentes solos, a imposição de limites fixos de perda de solo aplicáveis a solos semelhantes parece irracional.

Apesar de haver mais de um tipo de equação para se estimar a tolerância de perdas de solo, diversos autores como Silva et al. (2000); Mannigel et al. (2002); Fiori et al. (2004); Oliveira et al. (2008); Campos et al. (2008) utilizaram a equação criada por Bertoni e Lombardi Neto (1975) na qual além da espessura dos horizontes A e B, consideram a relação textural entre os horizontes A e B como um dos fatores importantes para a determinação das perdas, pois ela afeta a infiltração e a permeabilidade dos solos. Uma relação alta determina uma menor capacidade de infiltração, aumentando a erosão. Bertoni e Lombardi Neto (1975) estabeleceram então um critério para a relação textural no cálculo da tolerância:

- Para uma relação inferior a 1,5, ou seja, se a porcentagem de argila do horizonte A dividida pela porcentagem de argila do horizonte B for inferior a 1,5, considera-se a espessura total dos horizontes A e B;
- Para uma relação textural entre 1,5 e 2,5, considera-se 75% da espessura desses horizontes;
- Para uma relação textural superior a 2,5 considera-se apenas 50% da espessura desses horizontes.

E a partir disso, desenvolveram a seguinte equação para expressar a tolerância de perdas de solo por erosão laminar:

$$C = h \cdot r$$

Onde:

C = camada de solo possível de ser removida do horizonte (mm/ano)

h = espessura dos horizontes A e B (m);

r = fator que expressa o efeito relação textural (0,50 para 50%, 0,75 para 75% e 1,00 para 100%).

## 7. APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DA USLE

A USLE permite estimar a perda média anual de solos provocada pelas erosões laminar para as condições em que foram obtidos os valores de seus componentes. Esta equação foi desenvolvida para as condições existentes nos Estados Unidos, onde há um expressivo banco de dados o que facilita sua ampla utilização. Devido à base totalmente empírica, a sua aplicação em situações diferentes daquelas para as quais foi desenvolvida requer a realização de pesquisas para obtenção dos componentes do modelo (AMORIM et al., 2009). É preciso que o modelo seja testado, o que pode acarretar em modificações para que seja aplicado, por exemplo, na região tropical. O ideal é testar o modelo e ao mesmo tempo promover estudos experimentais, a fim de se ter a veracidade dos resultados (GUERRA et al., 2010). Diversos autores como Beutler et al. (2003); Albuquerque (2005); Mendes (2006) e Amaral (2008) conduziram seus trabalhos em estações experimentais e contribuíram com dados para o entendimento dos mecanismos dos processos erosivos tropicais.

A criação da equação teve por objetivo inicial fornecer aos técnicos do serviço de conservação do solo subsídios para planejar o uso do solo de áreas rurais e avaliar se determinada área cultivada apresentava perdas de solo dentro ou além dos limites considerados toleráveis para as condições da área, permitindo ainda a avaliação da eficácia de práticas conservacionistas (BAPTISTA, 2003). A USLE também é aplicada em outros tipos de uso e ocupação de terras, incluindo áreas de construção urbana e aterros para construções de estradas (SILVA et al., 2003).

É importante salientar que mesmo em ambientes onde há banco de dados suficientes para a utilização da USLE, seu uso está condicionado a algumas limitações implícitas na própria concepção e nos fatores do modelo. Isso porque a USLE prevê apenas a erosão média da vertente, não levando em consideração a forma da vertente, além disso, não permite quantificar a deposição. Ainda como é um modelo empírico, pelo menos alguns de seus componentes como K, C e P têm de ser obtidos experimentalmente, em condições semelhantes aquelas onde será utilizado (SILVA et al., 2003).

Outra grande limitação da USLE refere-se à concepção dos fatores do modelo, os quais são uma representação média da área em estudo, não levando em consideração a variabilidade espacial e temporal dos fatores, que, juntamente ao fato da USLE não considerar o processo de deposição de sedimentos, torna sua aplicação limitada em bacias hidrográficas (AMORIM et al., 2009). Ainda assim, a USLE vem sendo combinada com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para estimar a erosão laminar em bacias hidrográficas, como observado nos trabalhos de Tavares et al. (2003); Costa et al. (2007); Serio et al. (2008) e Ferreira et al. (2009), pois a utilização desses sistemas permite a realização de uma análise rápida e dinâmica da área em estudo (LOPES et al., 2011).

## **8. CONCLUSÕES**

A estimativa da erosão é uma informação essencial para a adoção de um programa de manejo e conservação do solo e útil para prever os impactos antes mesmo de determinada cultura ou prática agrícola ser implementada.

A modelagem da perda de solo consiste, dessa forma, em uma ferramenta de grande importância como suporte às tomadas de decisão, uma vez que as alternativas de manejo são numerosas, geralmente de alto custo, e os resultados de uma prática conservacionista podem levar algum tempo para exercer influência na erosão.

Cada tipo de modelo serve a um propósito e, por isso, não existe um que possa categoricamente ser indicado como mais apropriado que os demais para todas as situações.

Apesar de algumas limitações a USLE, quando comparada com outros modelos, é considerada um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão laminar, por exigir um número de informações relativamente pequeno e por ser uma equação amplamente estudada. Para o caso do Brasil, por exemplo, onde a base de dados e de informações cartográficas é normalmente escassa, a aplicação de outros modelos para a previsão de perda de solo poderia se tornar inviável.

## **CAPÍTULO 2**

# **EROSÃO POTENCIAL LAMINAR HÍDRICA SOB TRÊS FORMAS DE CULTIVO EM CORONEL PACHECO – MG, BRASIL**

### **1. INTRODUÇÃO**

A erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, ocasionado pela ação da água e ou do vento, constituindo a principal causa da degradação das terras agrícolas (PRUSKI, 2009). Essa é responsável por formações de sulcos e voçorocas que diminuem a área efetivamente utilizada para produção, resultando em quedas bruscas na produtividade (CABRAL et al., 2010).

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, como é o caso do Brasil, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão (GUERRA et al., 2010). A erosão hídrica é resultante da ação conjunta do impacto das gotas de chuva e da enxurrada sobre o solo, caracterizada pelas fases de desagregação, transporte e deposição. A desagregação e o transporte são provocados respectivamente, pelo impacto das gotas de chuva e pelo cisalhamento da enxurrada, na superfície do solo (BERTOL et al., 2007). Esse tipo de erosão pode ocasionar a redução da disponibilidade de nutrientes no solo das áreas utilizadas para produção agropecuária, visto que as enxurradas, provenientes das águas que não foram retidas ou infiltradas no solo, transportam partículas em suspensão e nutrientes necessários às plantas (ARAGÃO et al., 2011).

Dessa forma, a avaliação do processo erosivo, para determinar a quantidade de solo, água e nutrientes perdidos, é imprescindível para adoção de medidas de manejo e conservação de solo e água. A modelagem da erosão do solo é uma forma de descrever matematicamente este processo, constituindo-se uma ferramenta eficaz para avaliar a eficiência das estratégias de ação a serem adotadas visando o controle

de degradação de solos, uma vez que a adoção da experimentação em campo é custosa e morosa (CABRAL et al., 2010).

O desenvolvimento de modelos de estimativa de erosão vem oferecer uma análise quantitativa do processo erosivo, permitindo que se estime o quanto de solo é perdido, como também reconhecer a intensidade com que cada fator contribui para essas perdas. O modelo mais simples consiste na Equação Universal de Perdas de Solo, a qual estima as perdas anuais de solo com boa acurácia para as condições brasileiras (SILVA et al., 2008). A USLE expressa a perda de solo por unidade de área e considera fatores como erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topografia, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Alguns exemplos podem ser encontrados quanto à utilização da USLE, provando ser um bom instrumento a ser utilizado em estudos de processos erosivos, principalmente os superficiais como pode ser visto em Beutler et al. (2003); Albuquerque (2005); Mendes (2006) e Amaral (2008). Quando comparado com outros tipos de modelo, a USLE apresenta vantagens operacionais, em especial por não exigir um elevado número de variáveis e permitir sua aplicação em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) com relativa facilidade (CASTRO e VALÉRIO FILHO, 1997).

## **2. PARCELAS EXPERIMENTAIS**

Foram avaliados três tratamentos relativos ao manejo do solo e da vegetação de cobertura.

Em cada um dos tratamentos foram implementadas duas parcelas experimentais para o monitoramento do escoamento superficial e das perdas de solo sob condições de chuva natural, que foi monitorada pela estação meteorológica localizada no Campo Experimental. Foi utilizado um delineamento de blocos ao acaso, em um esquema de subparcelas divididas no tempo. As parcelas apresentaram tratamentos diferenciados, correspondentes a duas formas de cobertura do solo e um tratamento com solo descoberto: pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e área manejada com o consórcio milho e braquiária (integração lavoura-pecuária ou

iLP). A camada superficial do solo, 0 – 20 cm de profundidade, foi corrigida e adubada conforme a análise do solo (Tabela 4), e recomendação técnica (CFSEMG, 1999). O solo exposto (sem cobertura) foi utilizado como testemunha (Tratamento 1). No tratamento 2, a *Brachiaria decumbens* foi semeada a lanço. No tratamento 3, além da semeadura da braquiária, foi semeado milho, no mesmo momento que a braquiária, com espaçamento entre linhas de 1 m, e uma população de 70.000 plantas por hectare. Antes da correção do solo as áreas receberam herbicida à base de *Glyphosate*, de acordo com a especificação técnica contida na bula, para dessecar a braquiária presente. No caso do tratamento 1, a utilização foi constante para manter o solo descoberto. Para isto, além de dessecar, todo o material vegetal foi retirado da área. Em relação ao tratamento 3, a semeadura do milho foi realizada de forma direta, ou seja, sem o revolvimento do solo.

O ordenamento das parcelas foi escolhido ao acaso, e após esta operação, cada parcela foi ocupada com os seguintes tratamentos: parcelas 1 e 4 (solo exposto, sem preparo do solo); parcelas 2 e 5 (braquiária em monocultivo, semeada a lanço); parcelas 3 e 6 (milho e braquiária, *Brachiaria decumbens* semeada a lanço e milho plantado com espaçamento de 1m entre as linhas e com 7 sementes por metro linear (Figura 3).

Tabela 4. Resultados da análise de solo.

Parcela	pH H <sub>2</sub> O	P mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	Al <sup>3+</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	H+Al	SB	CTC(t) cmolc/dm <sup>3</sup>	CTC(T)	V %	m	MO dag/kg	P-rem mg/L
1	4,8	1,6	61	0,9	0,5	0,5	5,28	1,56	2,06	6,84	23	24	2,6	14,2
2	5,1	2,1	71	0,8	0,5	0,3	5,12	1,48	1,78	6,60	22	17	2,7	16,8
3	4,9	3,9	80	0,9	0,4	0,4	5,45	1,50	1,90	6,95	22	21	3,0	20,5
4	4,6	1,8	67	0,6	0,3	0,6	5,45	1,07	1,67	6,52	16	36	2,7	18,8
5	5,0	2,1	28	0,9	0,4	0,3	5,45	1,37	1,67	6,82	20	18	2,7	19,9
6	4,8	2,1	55	0,8	0,4	0,5	5,28	1,34	1,84	6,62	20	27	2,9	18,3

pH em água, KCl e CaCl<sub>2</sub> - relação 1:2,5; P e K, Extrator Mehlich - I; Ca - Mg - Al, Extrator KCl - 1 mol/L; H+Al, Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L, pH 7,0; SB = Soma de Cátions Básicos Trocáveis; CTC(t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Cátions Básicos; m = Índice de Saturação de Alumínio; MO = Matéria Orgânica do Solo, P-rem = Fósforo Remanescente.

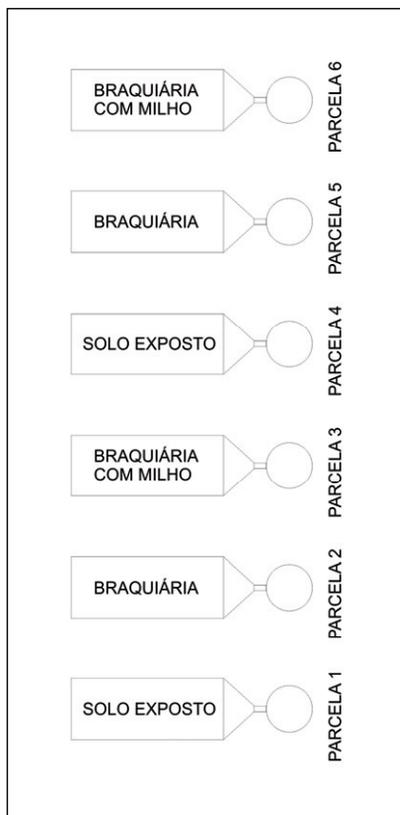


Figura 3. Ordem das parcelas no campo.

As parcelas experimentais, separadas por chapas de aço galvanizado 0,50 – 400 mm, apresentavam dimensionamento de 2 X 5 m, perfazendo um área de 10 m<sup>2</sup> cada. As mesmas foram instaladas no sentido da declividade, com 15 cm para dentro do solo e 25 cm para fora. As parcelas possuíam um formato retangular e na parte inferior havia um aparato para conduzir a água e o solo provenientes do escoamento superficial das parcelas para um tubo de PVC com diâmetro de 100 mm e 50 cm de comprimento para conduzir a enxurrada até as caixas de polietileno, com capacidade de 500L (Apêndices A, B e C).

A massa de solo e o volume de água transportado pelo escoamento superficial foram quantificados após as chuvas. Nas parcelas experimentais, depois de armazenados nas caixas de polietileno, a água escoada era quantificada em recipientes graduados com capacidade para 14L (Apêndice D), e os sedimentos restantes colocados em outro recipiente e levados para laboratório para terem sua massa determinada (Apêndice E). Após a quantificação do sedimento, à massa composta era adicionado HCl para que o material decantasse e o excesso de água fosse retirado e quantificado. Após a retirada do excesso de água o material era levado para estufa de circulação de ar à 60<sup>0</sup>C por 72h. Após este processo o material era novamente quantificado. A massa do material erodido foi determinada em balança de precisão.

### 3. FATORES DA USLE

As estimativas de perda de solo foram realizadas com base no modelo USLE descrito pela equação abaixo (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Onde:

A= perda de solo média anual, t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;

R = fator de erosividade da chuva, MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>;

K = fator erodibilidade do solo, t ha MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;

L = fator de comprimento de rampa, adimensional;

S = fator de declividade de rampa, adimensional;  
C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;  
P = fator de práticas conservacionistas, adimensional.

O fator erosividade (R), em função da escassez de dados pluviográficos na área estudada, foi obtido a partir da metodologia proposta por Silva (2004), a qual permite estimar a erosividade para o Estado de Minas Gerais baseada em precipitações médias mensais e precipitações médias anuais, calculada pela equação:

$$R_x = 12,592 (M_x^2/P)^{0,6030}$$

Onde:

$R_x$  = erosividade da chuva para cada mês, MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;  
 $M_x$  = valor da precipitação média mensal, mm;  
P = precipitação média anual, mm.

O fator erodibilidade (K) foi determinado experimentalmente em parcelas de solo exposto e adaptado da metodologia apresentada por Wischmeier et al. (1971), sendo expresso pela equação:

$$K = A/R$$

Onde:

K = fator de erodibilidade, t ha MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;  
A = perda de solo anual, t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;  
R = fator de erosividade, MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>;

A metodologia foi adaptada porque as parcelas não foram manejadas em alqueive, ou seja, o terreno não foi preparado e deixado livre de vegetação por um período mínimo de dois anos ou até que os primeiros resíduos da cultura anterior fossem decompostos.

A determinação do fator topográfico (LS) foi realizada por uma equação estabelecida para qualquer valor de L e S (FOSTER et al., 1981). Os valores da declividade, necessários para aplicar a equação, foram medidos em campo.

$$LS = \sqrt{L/100 (1,36+0,97S+0,1385S^2)}$$

Onde:

L = comprimento do declive, m;

S = grau do declive, %.

O fator uso e manejo do solo (C) foi calculado a partir da razão entre as perdas de solo das parcelas com cobertura e as perdas correspondentes das parcelas mantidas sem cobertura (solo exposto) (WISCHMEIER e SMITH, 1965).

O fator práticas conservacionistas (P) foi extraído da literatura, adotando-se o valor de 0,5, correspondente ao plantio em contorno, por ser o valor que mais se adequava ao sistema de plantio direto, utilizado neste trabalho.

Embora a coleta tenha sido de quatorze meses (dezembro/2010 a janeiro/2012) esse intervalo de tempo foi utilizado apenas para comparar os resultados das perdas de solo e água, e correlacionar as perdas de solo com a precipitação. Os valores das perdas de solo obtidos nesta época também foram utilizados para estimar as perdas de solo em diferentes camadas de solo. Para isso, foi utilizada como valores de referência a camada superficial do solo, 0 – 20 cm de profundidade e a uma densidade média de 1.200 kg m<sup>-3</sup>.

Para a aplicação da USLE foram consideradas apenas as coletas realizadas em doze meses (janeiro/2011 a dezembro/2011).

#### **4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS**

Os resultados das perdas de solo e água coletados em quatorze meses foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, foi aplicado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparar as médias. Os resultados de perda de solo de cada tratamento, obtidos em campo em doze meses, e as perdas de solo estimadas pela USLE, foram comparadas pelo índice de correlação, através do teste t. Esse índice também foi utilizado para correlacionar a precipitação e as perdas de solo em campo para os quatorze meses de avaliação.

## **5. ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLO POR DECLIVIDADE**

O plano de informação da declividade foi obtido pela imagem de satélite Aster (2012) com pixel de resolução 30 X 30 metros. A partir da obtenção dessa imagem foi elaborado o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo por meio da utilização do programa ArcGis 9.3. Esse programa possui um módulo chamado 3D Analyst e uma opção Slope, que em função do MDE, calcula as diversas classes de declividade, em graus ou em porcentagem. Utilizou-se a opção de porcentagem, gerando um mapa que foi reclassificado de acordo com a Embrapa (1999), que consiste em agrupar as porcentagens de declividade em classes de 0 a 3% (relevo plano), 3 a 8% (relevo suave ondulado), 8 a 20% (relevo ondulado), 20 a 45% (relevo forte ondulado), 45 a 75% (relevo montanhoso) e maiores que 75% (relevo escarpado).

A partir da obtenção dos dados de declividade esses, foram cruzados com o mapa de solos da área (Embrapa, 2012), considerando apenas as classes de Latossolos Vermelhos Amarelos por serem o mesmo solo do experimento.

Posteriormente, essas informações foram associadas com as variáveis obtidas para a USLE a fim de calcular as perdas de solo em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ . Tais perdas foram calculadas para a maior declividade existente dentro de cada intervalo, considerando a área total de cada intervalo.

## **6. PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

As perdas totais de solo em 14 meses foram  $117,79\ t\ ha^{-1}$ ,  $94,68\ t\ ha^{-1}$  e  $20,50\ t\ ha^{-1}$  para o solo exposto, braquiária e consórcio milho com braquiária, respectivamente (Figura 4).

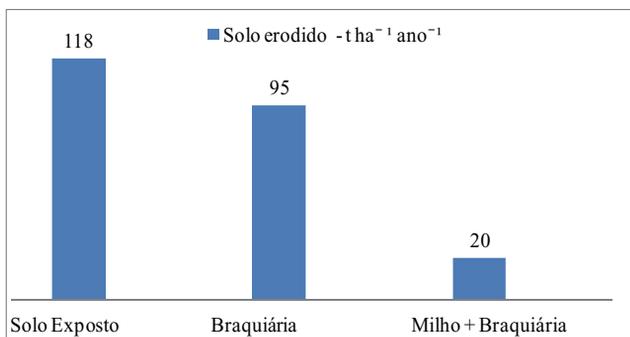


Figura 4. Comparação entre perdas de solo nos tratamentos.

Houve diferença ( $p < 0,05$ ) nos valores médios das perdas de solo no dia 27/12/10 nos três tratamentos. Neste dia foram registradas as maiores perdas do experimento provavelmente, pelo grande volume de chuva acumulado (142 mm) em apenas dois dias, e pela ausência quase total de cobertura nas parcelas, visto que, o primeiro plantio havia sido realizado no dia 16/12/10. Nos meses seguintes, a parcela de milho com braquiária apresentou diferença nas perdas, comparada com as outras parcelas, nos dias 06/01/11, 16/01/11 e 12/12/11. As perdas médias de solo na parcela de milho com braquiária foram menores quando comparadas aos outros dois tratamentos o que pode ser explicado pela eficiência da cobertura vegetal em proteger a área contra o escoamento superficial e dos sulcos formados na semeadura do milho ter auxiliado na redução da velocidade de escoamento da água (Apêndice F). A parcela de solo exposto apresentou diferença em relação à parcela de braquiária em monocultivo e a parcela de milho com braquiária nos dias 16/01/11 e 28/12/11, provavelmente pelo grande volume de chuva registrado neste dia (152 mm). Quanto aos valores médios acumulados, verificou-se que os tratamentos não diferiram (Tabela 5).

Tabela 5. Perdas médias de solo em 14 meses de avaliação (t ha<sup>-1</sup>).

Treatment	25/12/2010	27/12/2010	03/01/2011	03/01/2011	06/01/2011	12/01/2011	16/01/2011	23/02/2011						
Solo Exposto	0,77	aE	45,51	bA	1,44	aE	18,10	aB	0,22	aE	13,64	aBC	0,50	aE
Braquiária	1,21	aCD	56,26	aA	1,44	aCD	14,12	aC	0,27	aD	8,45	abBCD	0,12	aD
Milho e Braquiária	0,41	aA	9,06	cA	0,25	aA	4,38	bA	0,21	aA	2,68	aA	0,16	aA
Média	0,80	C	36,94	A	1,04	C	12,20	B	0,23	C	8,26	BC	0,26	C
Treatment	01/03/2011	03/03/2011	10/03/2011	23/03/2011	31/03/2011	04/04/2011	06/04/2011							
Solo Exposto	2,71	aDE	0,27	aE	0,69	aE	0,19	aE	1,74	aE	0,07	aE	1,76	aE
Braquiária	0,27	aD	0,02	aD	0,02	aD	0,00	aD	0,06	aD	0,00	aD	0,04	aD
Milho e Braquiária	0,05	aA	0,03	aA	0,03	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,00	aA	0,01	aA
Média	1,01	C	0,11	C	0,25	C	0,07	C	0,60	C	0,02	C	0,60	C
Treatment	11/04/2011	02/05/2011	17/11/2011	24/11/2011	30/11/2011	12/12/2011	16/12/2011							
Solo Exposto	4,39	aCDE	0,35	aE	0,33	aE	0,49	aE	0,14	aE	7,77	abBCDE	0,35	aE
Braquiária	0,07	aD	0,00	aD	0,42	aCD	0,22	aD	0,06	aD	11,19	aBC	0,13	aD
Milho e Braquiária	0,02	aA	0,00	aA	0,33	aA	0,26	aA	0,10	aA	1,52	bA	0,01	aA
Média	1,49	C	0,12	C	0,36	C	0,32	C	0,10	C	6,83	BC	0,17	C
Treatment	21/12/2011	28/12/2011	04/01/2012	10/01/2012	18/01/2012	Média Total								
Solo Exposto	0,49	aE	12,67	aBCD	0,76	aE	0,65	aE	1,49	aE	4,52	a		
Braquiária	0,05	aD	0,19	bD	0,00	aD	0,08	aD	0,01	aD	3,64	a		
Milho e Braquiária	0,01	aA	0,08	bA	0,00	aA	0,87	aA	0,05	aA	0,79	a		
Média	0,17	C	4,31	BC	0,25	C	0,53	C	0,52	C				

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

A parcela do consórcio milho com braquiária reduziu as perdas de solo em relação a parcela com solo exposto e a parcela apenas com braquiária. As perdas totais de solo na parcela com tratamento milho e braquiária foram baixas (20 t ha<sup>-1</sup>) quando comparadas aos demais tratamentos (95 t ha<sup>-1</sup> para braquiária em monocultivo e 118 t ha<sup>-1</sup> para solo exposto), tal fato pode ser atribuído à proteção do solo proporcionada pela integração entre as culturas das gramíneas. A eficiência da cobertura vegetal em reduzir as perdas de solo pode ser atribuída, principalmente, à proteção da superfície do solo proporcionada pela copa das plantas, impedindo o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação do solo e resultando em baixa concentração de sedimentos no escoamento superficial.

Apesar da intensidade da chuva não ter sido avaliada neste trabalho, algumas situações foram utilizadas para avaliar a correlação entre a precipitação e a perda de solo para verificar a importância da quantidade de chuva e sua distribuição na perda de solo.

Primeira situação: correlação entre os valores de quantidade de chuva total e perda de solo total; segunda situação: correlação de chuva por dia e perda de solo total; terceira situação: correlação entre chuva por dia e perda de solo por dia para cada época de coleta. Foi observada, que a correlação foi maior na segunda e terceira situações. Segunda situação: solo exposto ( $r = 0,82$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 7,18$ ), braquiária ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 6,17$ ), milho com braquiária ( $r = 0,80$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 6,54$ ). Terceira situação: solo exposto ( $r = 0,81$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 6,73$ ), braquiária ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 6,20$ ), milho com braquiária ( $r = 0,80$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 6,61$ ), demonstrando a importância da avaliação diária e da intensidade da chuva nos processos erosivos. Pois, quando foi correlacionado os valores totais de precipitação em cada avaliação de perda de solo (primeira situação) a correlação foi de menor significância. Na primeira situação os valores foram: solo exposto ( $r = 0,44$ ;  $p < 0,05$ ;  $t = 2,42$ ), braquiária ( $r = 0,34$ ;  $p < 0,10$ ;  $t = 1,76$ ), milho com braquiária ( $r = 0,36$ ;  $p < 0,10$ ;  $t = 1,91$ ). A avaliação do grau de importância de cada situação foi baseada nos valores de  $r$  e  $t$ .

As perdas de solo em massa ( $t\ ha^{-1}$ ) para as parcelas de solo exposto, braquiária em monocultivo e milho com braquiária quando transformada para a camada de solo transportada apresentaram valores de 0,56 cm, 0,30 cm e 0,10 cm respectivamente. Tais perdas podem ser praticamente imperceptíveis em campo em um curto prazo, como o avaliado. Porém, podem trazer consequências negativas mais marcantes quando for considerado um prazo maior de tempo, dez anos, por exemplo (Figura 5).

Na camada mais superficial é que estão as maiores concentrações de matéria orgânica e de nutrientes, além da maior diversidade biológica, fundamentais para a nutrição vegetal. Portanto, deve ser protegida da erosão o máximo possível para garantir a sustentabilidade da atividade agrícola.

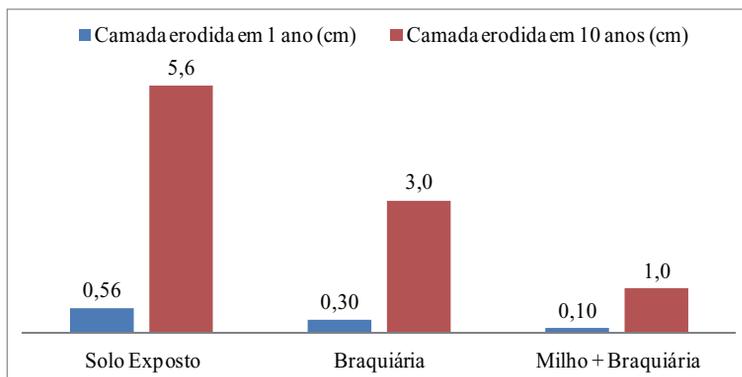


Figura 5. Perdas de solo por profundidade da camada. Para a estimativa de 10 anos foi considerada uma avaliação constante e linear, baseada na perda medida em 12 meses.

As perdas de água foram de  $2.372.230\ L\ ha^{-1}$ ,  $2.086.570\ L\ ha^{-1}$  e  $1.687.135\ L\ ha^{-1}$  para os tratamentos de solo exposto, braquiária e milho com braquiária, respectivamente, ou 11, 10 e 8% da precipitação total (Figura 6).

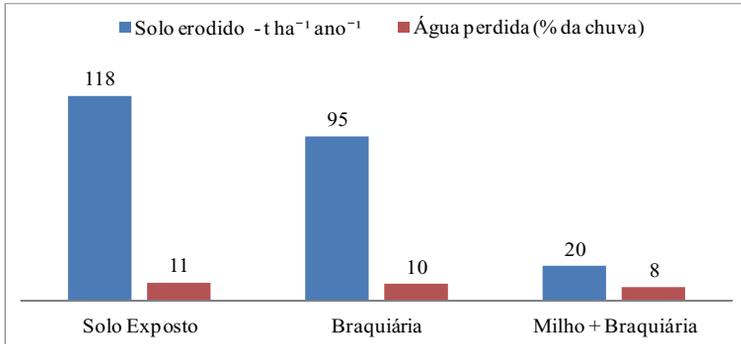


Figura 6. Comparação entre perdas de solo e água nos tratamentos, em um ano de avaliação.

Houve diferença nos valores médios de perda de água no dia 16/01/11 nos três tratamentos (Tabela 6). Nos meses seguintes, a parcela de braquiária em monocultivo apresentou diferença em relação à parcela de solo exposto e a parcela de milho e braquiária apenas no dia 06/01/11. A parcela de solo exposto apresentou diferença em relação à parcela de braquiária em monocultivo e a parcela de milho e braquiária nos dias 11/04/11 e 28/12/11. As maiores perdas de água para os tratamentos de solo exposto e braquiária em monocultivo ocorreram no dia 16/01/11. E para o tratamento milho e braquiária a maior perda ocorreu no dia 27/12/10. Quanto aos valores acumulados, verificou-se que os tratamentos não diferiram.

O tratamento relativo ao consórcio do milho com a braquiária apresentou a maior redução nas perdas de água (1.687.135 L ha<sup>-1</sup>), pois a manutenção de gramíneas e outros tipos de cultura na proteção do solo garante a redução do impacto das gotas de chuva contra o solo, além de constituir uma barreira física ao transporte de materiais, reduzindo a velocidade de escoamento da água.

Tabela 6. Perdas médias de água em 14 meses de avaliação (L ha<sup>-1</sup>).

Tratamento	25/12/2010	27/12/2010	03/01/2011	06/01/2011	12/01/2011	16/01/2011	23/02/2011
Solo Exposto	13.675 aD	501.565 aAB	44.208 aD	397.425 bB	17.650 aD	590.490 bA	13.155 aD
Braquiária	10.375 aC	502.365 aB	41.245 aC	501.150 aB	11.980 aC	677.110 aA	3.340 aC
Milho e Braquiária	7.565 aC	501.080 aA	38.325 aC	346.045 bB	17.000 aC	458.990 cAB	8.825 aC
Média	10538 F	501670 C	41258 EF	414873 CD	15543 F	575530 AB	8440 F
Tratamento	01/03/2011	03/03/2011	10/03/2011	23/03/2011	31/03/2011	04/04/2011	06/04/2011
Solo Exposto	79.785 aCD	7.185 aD	42.825 aD	3.470 aD	36.005 aD	3.590 aD	27.240 aD
Braquiária	37.830 aC	1.890 aC	6.720 aC	3.450 aC	12.720 aAC	2.600 aC	15.745 aC
Milho e Braquiária	32.025 aC	4.115 aC	45.380 aC	6.010 aC	0.000 aC	4.325 aC	9.050 aC
Média	49880 EF	4397 F	31644 EF	3275 F	16242 F	3505 F	17345 F
Tratamento	11/04/2011	02/05/2011	17/11/2011	24/11/2011	30/11/2011	12/12/2011	16/12/2011
Solo Exposto	95.315 aCD	5.025 aD	13.380 aD	7.965 aD	35.055 aD	88.490 aCD	16.285 aD
Braquiária	25.670 aBC	4.400 aC	6.120 aC	3.120 aC	10.080 aC	47.990 aC	6.390 aC
Milho e Braquiária	22.110 bC	2.500 aC	7.925 aC	5.265 aC	24.685 aC	48.115 aC	9.890 aC
Média	47698 EF	3975 F	9142 F	5450 F	23373 F	61532 EF	10855 F
Tratamento	21/12/2011	28/12/2011	04/01/2012	10/01/2012	18/01/2012	Média Total	
Solo Exposto	23.410 aD	163.900 aC	38.710 aD	81.340 aCD	25.090 aD	91239 a	
Braquiária	9.700 aC	79.840 bC	16.750 aC	37.220 aC	13.875 aC	80253 a	
Milho e Braquiária	10.575 aC	33.265 bC	15.110 aC	24.170 aC	4.450 aC	64890 a	
Média	14562 F	92335 E	23523 F	47577 EF	14485 F		

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Porém, em todas as situações, inclusive de solo exposto, o escoamento da água pela superfície correspondeu a aproximadamente 10 % da chuva, indicando que de 80 a 90 % da quantidade da água da chuva infiltrou no solo, o que pode auxiliar no maior armazenamento de água.

Foi verificada também alta correlação entre o escoamento superficial da água e da perda de solo, independente da situação avaliada no teste. Primeira situação: correlação entre os valores de escoamento total e perda de solo total; segunda situação 2: correlação entre escoamento por dia e perda de solo total; terceira situação: correlação entre escoamento por dia e perda de solo por dia para cada época de coleta. Primeira situação: solo exposto ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 7,25$ ), braquiária ( $r = 0,67$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 4,40$ ), milho com braquiária ( $r = 0,89$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 9,76$ ); segunda situação: solo exposto ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 13,69$ ), braquiária ( $r = 0,85$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 8,05$ ), milho com braquiária ( $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 21,62$ ) e; terceira situação: solo exposto ( $r = 0,90$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 9,90$ ), braquiária ( $r = 0,82$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 6,97$ ), milho com braquiária ( $r = 0,96$ ;  $p < 0,001$ ;  $t = 16,18$ ), demonstrando a importância da água que esco no transporte de material de solo (sedimento). A avaliação do grau de importância de cada situação foi baseada nos valores de  $r$  e  $t$ .

## 7. FATOR EROSIVIDADE (R)

O valor da erosividade para o período estudado foi de  $7.589 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , podendo ser considerada forte de acordo com os valores apresentados por Silva et al. (2003) (Tabela 7).

Tabela 7. Classes de interpretação para erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ).

Intervalos	Interpretação
$R < 2.452$	Erosividade fraca
$2.452 < R < 4.905$	Erosividade média
$4.905 < R < 7.357$	Erosividade média a forte
$7.357 < R < 9.810$	Erosividade forte
$R > 9.810$	Erosividade muito forte

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2003).

O valor encontrado para a erosividade se aproxima do calculado por Mello et al. (2007) para a Zona da Mata Mineira. Os maiores valores, tanto da erosividade quanto da precipitação pluvial ocorreram nos meses de janeiro, março e dezembro (Tabela 8). Apesar de o estudo ter sido conduzido por apenas doze meses, a concentração de quase 50% da erosividade em apenas três meses pode ser um indicador para tomadas de medidas preventivas no sentido de proteger o solo da erosão hídrica antes e durante esta época crítica.

Tabela 8. Valores de precipitação (mm) e erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ).

Tratamento	Precipitação Mensal							Precipitação Anual
	jan	fev	mar	abr	mai	nov	dez	
SE								
B	367	44	378	150	18	235	431	1.623
MB								
Tratamento	Fator R Mensal							Fator R Anual
	jan	fev	mar	abr	mai	nov	dez	
SE								
B	1.774	137	1.838	603	47	1.036	2.154	7.589
MB								

SE = Solo Exposto, B = Braquiária em monocultivo, MB = Milho com Braquiária.

## 8. FATOR ERODIBILIDADE (K)

O valor obtido para o fator K no experimento,  $0,009 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , é considerado baixo de acordo com a classificação apresentada por Silva et al. (2003) (Tabela 9). Em geral, os Latossolos apresentam baixos valores de erodibilidade podendo ser atribuídos às quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, os quais proporcionam a esses solos boa estrutura (SILVA et al., 2011b) por favorecerem a agregação das partículas e conferir maior resistência a dispersão em água.

Tabela 9. Classes de interpretação para erodibilidade ( $t \text{ ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ).

Intervalos	Interpretação
< 1,471	Erodibilidade baixa
1,471 – 2,943	Erodibilidade média
> 2,943	Erodibilidade alta

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2003).

Embora, o estudo da erodibilidade tenha sido realizado em um curto prazo, o resultado se aproxima do valor de  $0,0010 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  encontrado por Silva et al. (1994) para um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura muito argilosa. O resultado da erodibilidade neste trabalho também se aproxima de alguns valores obtidos para outros tipos de Latossolos como pode ser observado em Denardin (1990) que encontrou o valor de  $0,009 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para um Latossolo Roxo distrófico, textura argilosa; Martins Filho e Pereira (1993) que obteve o valor de  $0,009 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para um Latossolo Vermelho Escuro distrófico, textura argilosa e, Silva (1997) que também encontrou o valor de  $0,009 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para um Latossolo Amarelo álico, textura argilosa.

## 9. FATOR USO E MANEJO DO SOLO (C)

O fator da cobertura vegetal contribuiu para que as perdas (média anual) fossem reduzidas de  $68,32 \text{ t ha}^{-1}$  (solo exposto) para  $37,12 \text{ t ha}^{-1}$  (braquiária) e  $10,11 \text{ t ha}^{-1}$  (milho e braquiária), representando uma redução de 45,84% e 85,20%, respectivamente.

Os valores obtidos para o fator C variaram de 0,15 a 0,54 para o consórcio milho e braquiária, e braquiária em monocultivo, respectivamente. Este fator varia de zero a um, aproximando-se de zero, nos sistemas de manejo conservacionista, e de um, nos sistemas não conservacionistas. Os resultados confirmam que, quanto maior a cobertura do solo, maior é a proteção contra os agentes erosivos e, que a linha de plantio do milho pode ter funcionado como barreira, reduzindo a velocidade da água que escoava pela superfície do solo. Além das folhas de milho terem auxiliado na redução do impacto da gota de água com a superfície do solo.

## 10. CORRELAÇÃO ENTRE PERDAS DE SOLO REAL E ESTIMADA

Os resultados obtidos para as perdas totais de solo, medidas experimentalmente e estimadas pelo modelo, permitiram verificar que o modelo superestimou os valores das perdas na parcela de solo exposto e subestimou os valores das perdas para as parcelas de braquiária em monocultivo, e do consórcio milho com braquiária (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10. Perda de solo real em 2011 ( $t\ ha^{-1}$ ).

Cultivo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Nov	Dez	Total
SE	33,40	0,50	5,61	6,21	0,35	0,96	21,29	68,32
B	24,29	0,12	0,38	0,11	0,00	0,69	11,54	37,12
MB	7,51	0,16	0,10	0,03	0,00	0,68	1,62	10,11

SE = Solo Exposto; B = Braquiária em monocultivo; MB = Milho com Braquiária.

Tabela 11. Perda de solo estimada pela USLE em 2011 ( $t\ ha^{-1}$ ).

Cultivo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Nov	Dez	Total
SE	17,32	1,34	17,95	5,89	0,46	10,12	21,02	74,10
B	7,76	0,60	8,04	2,64	0,21	4,53	9,42	33,19
MB	2,34	0,18	2,42	0,79	0,06	1,36	2,83	9,99

SE = Solo Exposto; B = Braquiária em monocultivo; MB = Milho com Braquiária.

Ao comparar as perdas reais e estimadas mensais para cada tratamento, pelo índice de correlação, verificou-se que o tratamento com solo exposto evidenciou a maior correlação,  $r = 0,70$ ; ( $p < 0,001$ );  $t = 2,22$ .

As perdas de solo real e estimada, registradas neste experimento, foram superiores aos limites de tolerância apresentados por Bertoni e Lombardi Neto (2010), 9,6 a 14,2  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  para a classe dos Latossolos Vermelhos Amarelos. Este resultado é importante, pois pode indicar que há necessidade de maior cuidado com estes solos, principalmente em áreas de declividade de 20%.

## 11. PERDAS DE SOLO POR DECLIVIDADE

Os Latossolos correspondem a 42% da área total do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite localizado no município de Coronel Pacheco que é de 1.037 ha (Figura 7). Deste percentual as maiores declividades estão entre 20 – 45%, caracterizando uma superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e, ou, morros (elevações de 100 a 200 m de altitude relativa) com declividades fortes (Embrapa, 1999) (Figura 8).

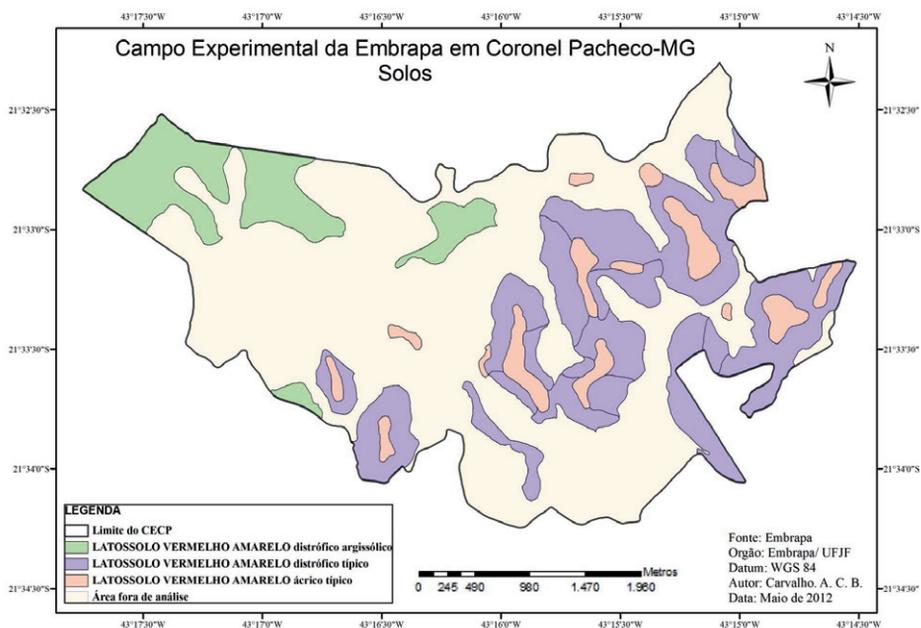


Figura 7. Latossolos no Campo Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco – MG.

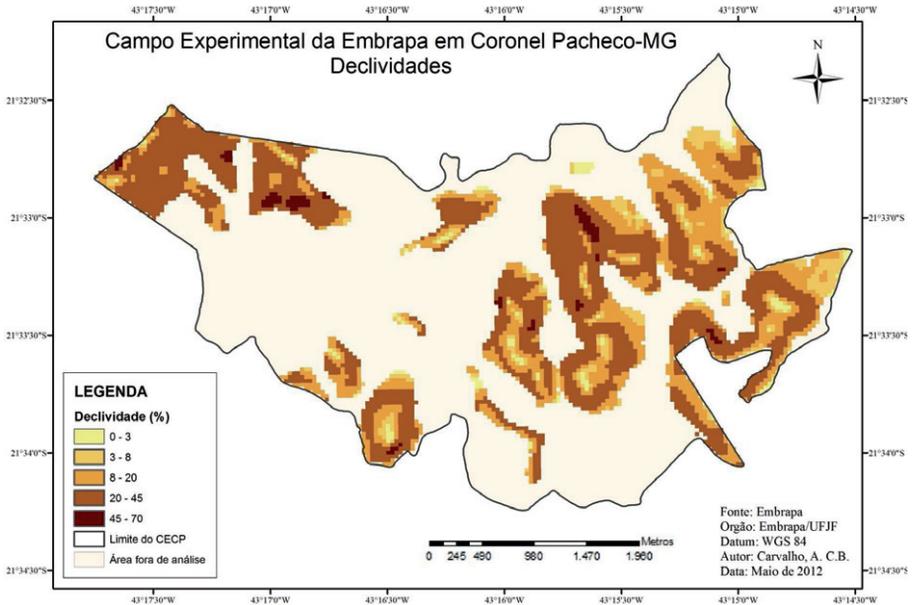


Figura 8. Declividades no Campo Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco – MG.

A declividade, ou inclinação do terreno, influencia na concentração, dispersão e velocidade da enxurrada e, em consequência no maior ou menor arrastamento superficial das partículas do solo. Em relação às perdas de solo analisadas de acordo com as declividades de 3%, 8%, 20%, 45% e 70% foi possível verificar que as menores perdas ocorreram nas menores declividades nos três cultivos, considerando as perdas em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ . (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativas de perdas de solo ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) em diferentes declividades.

Cultivo	Declividade (%)				
	3	8	20	45	70
SE	4,10	13,66	58,06	248,62	571,00
B	2,21	7,38	31,35	134,25	308,34
MB	0,61	2,05	8,71	37,29	85,65

SE = Solo Exposto; B = Braquiária em monocultivo; MB = Milho com Braquiária.

Nos terrenos planos, ou levemente inclinados, a água escoar em velocidade baixa e, além de possuir menos energia, tem mais tempo para infiltrar; nos terrenos muito inclinados, a resistência ao escoamento da água é menor e, por isso, elas atingem maiores velocidades. As regiões montanhosas são, assim, as mais suscetíveis à erosão hídrica (LEPSCH, 2010).

Porém, considerando a área total de cada declividade para a classe dos Latossolos, as perdas de solo foram maiores na declividade de 20% que ocupa a maior área (12 ha) em comparação aos demais valores: 3% (2,9 ha); 8% (7,5 ha); 45% (2 ha) e 70% (0,09 ha).

## **12. CONCLUSÕES**

O consórcio milho com braquiária reduziu as perdas de solo e água em relação à parcela com solo exposto e a parcela apenas com braquiária.

O fator (R) foi de  $7.589 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , caracterizando as chuvas desse local, para o período estudado, como de alta erosividade. Apesar disso, o valor obtido para o fator (K) foi baixo, como ocorre geralmente nos Latossolos.

A integração lavoura-pecuária, utilizando o milho, melhorou a capacidade do solo em resistir a sua perda pela atuação da água da chuva, o que pode ser confirmado pelo fator de uso e manejo do solo (C) igual a 0,1.

Apesar de algumas limitações da USLE, esta equação pode ser considerada um bom instrumento para a previsão das perdas de solo por erosão laminar.

## CAPÍTULO 3

# AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BRAQUIÁRIA EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIO COM MILHO

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas mistos de exploração da lavoura e pecuária têm chamado a atenção pelas vantagens que apresentam em relação aos sistemas isolados de agricultura ou de pecuária, são os chamados Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária ou iLP (CRUZ et al., 2009).

Nesses sistemas a produção de cultura de grãos, especialmente o milho, o sorgo e o arroz, consorciadas com forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Brachiaria*, é conhecida como Sistema Santa Fé (CHIODEROLI et al., 2010), no qual a forrageira pode ter dupla finalidade: servir para a exploração pecuária, a partir do final do verão até o início da primavera e, posteriormente para a formação de palha para a manutenção do Sistema de Plantio Direto (SPD) (CRUSCIOL e BORGHI, 2007).

Considerando o sistema de manejo a que está submetido, o solo é passível, tanto de degradação quanto de melhoramento em seu potencial produtivo. Um manejo de solo inadequado pode provocar perdas de solo e água, com a consequente perda da sua capacidade produtiva (PEREIRA et al., 2009).

O SPD e a iLP são alternativas de manejo que conciliam a manutenção e até mesmo a elevação da produção, com maior racionalidade dos insumos empregados.

Além disso, ocorre o aumento da matéria orgânica que incrementa a capacidade de suporte do solo, promovendo a agregação, com reflexos positivos na distribuição da água, favorecendo a infiltração e conseqüentemente, diminuindo o escoamento superficial (CHIODEROLI et al., 2010). Porém, é importante conhecer a espécie vegetal a ser utilizada no programa de rotação ou consorciação de culturas, quanto à sua produção de matéria seca e tempo de decomposição, que interferem diretamente na quantidade de palha sobre o solo e conseqüentemente em seus

atributos químicos, entre eles a CTC, que afeta diretamente a dinâmica de cátions no solo (CHIODEROLI et al., 2010), além da melhoria dos atributos físicos.

Espécies forrageiras perenes, como *Brachiaria decumbens*, *B. brizantha*, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Mombaça, além de fornecerem grande quantidade de massa seca, que é fundamental para o SPD, apresentam alta relação carbono/nitrogênio (C/N) (NUNES et al., 2006), retardando a velocidade de decomposição da palha, aumentando a possibilidade de utilização em regiões mais quentes na proteção do solo por mais tempo da radiação e erosão (TIMOSSI et al., 2007).

## 2. PARCELAS EXPERIMENTAIS

O modelo das parcelas é o mesmo já descrito anteriormente no capítulo 2.

Foram avaliadas a cobertura do solo, a altura das plantas de braquiária e a altura das plantas de milho. Avaliou-se ainda a produção de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) da *B. decumbens* em monocultivo e em consórcio com o milho no sistema de iLP e a MV e a MS total (simulando a silagem de milho com braquiária) nas parcelas manejadas no sistema consorciado. As plantas foram submetidas à três cortes (avaliações) a partir de uma área estabelecida de 0,5 m<sup>2</sup>. O primeiro corte ocorreu em (24/02/11), pouco mais de dois meses após o primeiro plantio (17/12/10). O segundo corte foi em (25/03/11). E o terceiro e último corte foi em (07/02/12), pouco mais de três meses após o segundo plantio (20/10/11).

Após os cortes, o material vegetal teve a sua massa verde total determinada, sendo posteriormente seco em estufa de circulação de ar a 60°C até alcançar massa constante, determinando-se a matéria seca. As análises foram feitas no Campo Experimental José Henrique Bruschi, pertencente à Embrapa Gado de Leite.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, quando necessário, foram comparadas pelo teste de Tukey,  $p < 0,05$ .

### 3. ALTURA DAS PLANTAS

Dentre as características que conferem habilidade competitiva, a altura da planta tem sido importante para várias culturas, incluindo o arroz, o milho e o feijão. (GIMENES et al., 2008).

Nesse sentido, as determinações das alturas da braquiária realizadas 70 dias após o primeiro plantio, 100 dias após o primeiro plantio e 110 dias após o segundo plantio (Tabela 13), evidenciaram diferenças na primeira avaliação onde o crescimento da braquiária em consórcio com o milho foi superior ao da braquiária em monocultivo.

Nesta época havia pouco milho, que nem foi avaliado. Como o milho foi adubado (adubação na linha) este adubo pode ter favorecido o melhor desenvolvimento da braquiária, já que o milho não germinou e nem emergiu da forma que deveria por consequência de um veranico de 47 dias. Na segunda avaliação os tratamentos não apresentaram diferenças entre os valores, quando o milho continuava em desenvolvimento mais lento não havendo, portanto, competição entre milho e braquiária.

Tabela 13. Médias das alturas da braquiária (cm).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
B	43 bC	56 aB	106 aA	68 a
MB	55 aB	63 aB	81 bA	66 a
Média	49 C	59 B	93 A	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). B = braquiária em monocultivo; MB = milho em consórcio com braquiária.

Na terceira e última avaliação os valores também apresentaram diferenças entre os tratamentos. O tratamento com braquiária em monocultivo apresentou valores superiores ao tratamento da braquiária consorciada com o milho. Na integração, devido à semeadura das culturas ser realizada no mesmo momento, o milho germina e emerge primeiro devido a sua maior quantidade de reserva e característica genética, o que atrasa o desenvolvimento da braquiária.

Segundo Mariani (2010), culturas de porte alto como o milho apresentam vantagens competitivas, pois não são afetadas pelo sombreamento das forrageiras. Situação importante, pois o objetivo é que o milho produza bem, para que após a sua colheita a braquiária possa expressar o seu potencial produtivo.

Porém, não houve diferenças nas médias finais das alturas da braquiária o que pode ser explicado pelos efeitos cumulativos; uma época sem o melhor desenvolvimento do milho (24/02/2011), uma época com a braquiária solteira (25/03/2011) e uma época (07/02/2012) em que a braquiária sofreu os efeitos da competição com o milho por recursos como água, luz e nutrientes.

Comparando as médias das alturas da braquiária em ambos os tratamentos, subdivididos no tempo, evidenciaram-se diferenças entre os valores apresentados, onde o maior valor foi obtido em 07/02/12. Quando as alturas da braquiária foram maiores, tanto no monocultivo quanto no consórcio com milho.

Em relação às médias das alturas por tratamento (Tabela 14), houve diferenças na primeira e na terceira avaliação onde os valores das alturas na parcela de milho com braquiária foram maiores que na parcela de braquiária em monocultivo. O mesmo ocorreu para os valores das médias finais entre os tratamentos.

As médias das alturas nos tratamentos, subdivididos no tempo, foram maiores na última época de avaliação (07/02/2012), tanto para o tratamento braquiária pura quanto para o tratamento braquiária em consórcio com o milho, pois a altura do milho foi utilizada no cálculo. A média das alturas das culturas de milho e braquiária foi utilizada com o objetivo de associar seu efeito na redução do impacto das gotas de chuva no solo.

Tabela 14. Médias das alturas por tratamento (cm).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
B	43 bC	56 aB	106 bA	68 a
MB	55 aB	63 aB	144 aA	87 b
Média	49 C	59 B	125 A	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). B = braquiária em monocultivo; MB = milho em consórcio com braquiária.

#### 4. COBERTURA VEGETAL

Não foram identificadas diferenças na cobertura do solo para a braquiária em monocultivo e nem para a braquiária em consórcio com o milho. Porém, os percentuais de cobertura mostraram uma tendência de serem maiores na primeira e segunda época de avaliação (24/02 e 25/03/2011), quando não houve a mesma competição com a cultura do milho verificada na avaliação do dia 07/02/2012. Portanto, a maior competição com o milho reduziu a cobertura do solo pela braquiária (Tabela 15), sendo de 47%, ao contrário dos 60 e 62 % verificados nas avaliações anteriores com menor competição com o milho. É importante salientar que em 24/02/2011 a produção de milho foi muito baixa devido às condições climáticas ocorridas no primeiro mês de semeadura do milho (dezembro de 2010).

No entanto, todos os tratamentos promoveram satisfatoriamente a cobertura do solo, superando o mínimo de 30%, recomendado para sistemas conservacionistas (MELLO et al., 2011).

Tabela 15. Cobertura vegetal (%).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
B	53 aA	58 aA	50 aA	54 a
MB	67 aA	66 aA	43 aA	59 a
Média	60 A	62 A	47 B	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). B = braquiária em monocultivo; MB = milho em consórcio com braquiária.

#### 5. ACÚMULO DE MATÉRIA VERDE E MATÉRIA SECA

De acordo com a tabela 16, não houve diferenças entre os valores de MV da braquiária em monocultivo para a braquiária em consórcio com o milho, 70 dias após a data do primeiro plantio. Aos 100 dias após a data do primeiro plantio também não houve diferenças entre os valores, mas o valor de MV da braquiária em monocultivo foi superior ( $19.134 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ao da avaliação anterior. Embora o milho da parcela em

consórcio com a braquiária não tenha se desenvolvido bem durante essa época, o que pode ter sido resultado de um veranico de 47 dias, ainda assim este pode ter prejudicado o desenvolvimento da braquiária. Pois após as condições climáticas (luminosidade e precipitação) foram melhores a partir do dia 24 de fevereiro de 2011.

Comparando os valores obtidos 110 dias após o segundo plantio, verificaram-se diferenças entre eles. A MV da braquiária em consórcio com o milho foi inferior ao da braquiária em monocultivo, o que demonstra que a braquiária solteira se desenvolveu melhor que a consorciada com o milho. O mesmo resultado foi obtido para a média final de MV da braquiária em monocultivo comparada à braquiária em consórcio com o milho. As avaliações de MV, quando subdivididas no tempo, foram maiores na segunda e terceira avaliação.

Tabela 16. Valores de MV da braquiária (kg ha<sup>-1</sup>).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
B	4.760 aC	19.134 aB	29.867 aA	17.920 a
MB	8.917 aA	14.715 aA	8.533 bA	10.722 b
Média	6.838 B	16.924 A	19.200 A	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). B = braquiária em monocultivo; MB = milho em consórcio com braquiária.

Em relação a MV dos tratamentos (massa total da área), estes diferiram apenas na última avaliação (07/02/2012) (Tabela 17). Na média final, o valor de MV do tratamento braquiária em consórcio com milho foi superior ao da braquiária em monocultivo. E quando os tratamentos foram comparados subdivididos no tempo, os melhores valores também foram obtidos na última avaliação.

Tabela 17. Valores de MV por tratamento, massa total das forrageiras no sistema consorciado (kg ha<sup>-1</sup>).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
B	4.760 aC	19.134 aB	29.867 bA	17.920 b
MB	8.917 aB	14.715 aB	63.033 aA	28.888 a
Média	6.838 C	16.924 B	46.450 A	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúscula (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). B = braquiária em monocultivo; MB = milho em consórcio com braquiária, MV = matéria verde.

Na tabela 18 é apresentado o acúmulo de MS da braquiária conforme as três épocas de plantio mencionadas anteriormente. Na primeira e segunda avaliação não houve diferenças na produção de MS porque nessa época o milho não germinou e nem emergiu da forma que deveria devido às condições climáticas já citadas anteriormente. Na terceira e última avaliação a produção de MS foi maior na parcela da braquiária em monocultivo comparada à parcela de milho com braquiária.

Os resultados encontrados por Jakelaitis et al. (2005) corroboram os obtidos neste experimento, pois os autores encontraram maiores produções de biomassa de *Brachiaria decumbens* solteira quando comparada com a produção desta consorciada com milho. Portes et al. (2000) avaliaram o crescimento de *Brachiaria decumbens*, em consórcio com milho, sorgo, milheto e arroz e, observaram que a presença dos cereais também provocou redução da massa seca de *Brachiaria decumbens*. De acordo com Alvarenga et al. (2006), o milho por ser uma planta muito competitiva, afeta negativamente o crescimento da forrageira mesmo quando esta é semeada no mesmo momento que o milho, devido ao maior crescimento do milho e o consequente sombreamento que ele exerce nas forrageiras (CRUZ et al., 2008).

Em relação à média final, a produção de MS também foi maior na braquiária em monocultivo. A maior produção de MS foi obtida na última época avaliada.

Tabela 18. Valores de MS da braquiária (kg ha<sup>-1</sup>).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
B	1.365 aC	3.251 aB	8.188 aA	4.268 a
MB	2.581 aA	3.509 aA	1.891 bA	2.660 b
Média	1.973 C	3.380 B	5.039 A	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna), letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Bp = braquiária em monocultivo; MB = milho em consórcio com braquiária; MS = matéria seca.

Em relação a MS de cada tratamento avaliado (Tabela 19), pode-se afirmar que esta não diferiu entre a primeira e segunda época avaliada, houve diferença apenas na última avaliação com uma produção superior de MS no tratamento braquiária em consórcio com o milho quando comparada à braquiária em monocultivo. Na média final, o tratamento consorciado também apresentou maior valor. Ao comparar a produção de MS nos tratamentos subdivididos no tempo, os maiores valores foram obtidos na última avaliação. A soma da braquiária com o milho foi realizada porque no caso da silagem todo o material da área é coletado junto, pois não tem como colher separado o milho da braquiária.

Tabela 19. Valores de MS por tratamento, massa total das forrageiras no sistema consorciado (kg ha<sup>-1</sup>).

Cultivo	24/02/2011	25/03/2011	07/02/2012	Média
Bp	1.365 aC	3.251 aB	8.188 bA	4.268 a
MB	2.581 aA	3.509 aA	20.533 aA	2.660 b
Média	1.973 C	3.380 B	14.361 A	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam época, linha) e minúsculas (comparam manejo, coluna) iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Bp = braquiária pura; MB = milho em consórcio com braquiária; MS = matéria seca.

## 6. CONCLUSÕES

O crescimento da *Brachiaria decumbens* e a cobertura do solo não foram influenciados pelo consórcio com o milho.

A produção de matéria verde e matéria seca da *Brachiaria decumbens* foram maiores no monocultivo que no consórcio com o milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G.M.; SANTOS, J.R.; COSTA, J.P.V.; SOUZA, J.L. “Determinação de fatores da Equação Universal de Perda de Solo em Sumé, PB.” **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, pp.153-160, 2005.

ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; NETO, M. M. G. **A cultura do milho na integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa, 2006.

AMARAL, A.J.; BERTOL, I. COGO, N.P.; BARBOSA, F.T. “Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul Catarinense.” **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, pp. 2145-2155, 2008.

AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Tese de Doutorado, UFV, Viçosa, MG, 2004.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: Pruski, F. F. (ed.), **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**, 2 ed., Cap. 4, Viçosa: Ed. Viçosa, 2009.

ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SINIVASAN, V. S. “Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG.” **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 7, pp. 731-740, 2011.

ASTER. Disponível em: <http://www.asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Acesso em: abril de 2012.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003.

BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. “Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo.” **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, pp. 2443-2460, 2008.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. “Tolerância de Perda de Solo por Erosão para os Principais Solos do Estado de Santa Catarina.” **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, pp. 657-668, 2000.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. “Erodibilidade de um Nitossolo Háplico Alumínico determinada em condições de campo”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, pp. 541-549, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR, R. **Equação de Perdas de Solo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975. (Boletim Técnico, 21).

BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, I.; WILDNER, L.P. “Perdas de água e solo em um Latossolo Vermelho Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural.” **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, pp.509-517, 2003.

CABRAL, C. E. A.; AMORIM, R. S. S.; DORES, E. F. G. C.; SILVA, E. M. B. “Estimativa de perda de solo em sistemas de cultivo em lavouras de algodão”. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n.11, 2010.

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; FILHO, M. V. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. “Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas.” **Revista Ciência Rural**, v. 38, n. 9 (dez.), 2008.

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. “Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, pp. 419-426, 1997.

CHAVES, H. M. L. **Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco**. Brasília: CODEVASF/FAO, 1994.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. “Consortiação de Braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central”. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, pp.1101-1109, 2010.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999.

COSTA, T.C.C.; UZEDA, M.C.; FIDALGO, E.C.C.; LUMBRERAS, J.F.; ZARONI, M.J.; NAIME, U.J.; GUIMARÃES, S.P. “Vulnerabilidade ambiental em sub bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra”. **In: anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto**, pp. 2493-2500, Florianópolis, Abril, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. “Consórcio de milho com braquiária: Produção de forragem e palhada para plantio direto”. **Revista Plantio Direto**, n. 100, pp. 1-6, 2007.

CRUZ, J. B. C. **Avaliação operacional da revisão da Equação Universal de Perda de Solo (REUPS) para Latossolo Vermelho Distrófico Típico de Ponta Grossa, PR**. Dissertação de Mestrado, UFP, Curitiba, 2003.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S. P.; BICUDO, S.J.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; MACHADO, C. G. “Consórcio de milho e *Brachiaria decumbens* em diferentes preparos do solo”. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, pp. 633-639, 2009.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S. P.; BICUDO, S. J.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MACHADO, C. G. “Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* cultivados em consórcio em diferentes preparos do solo”. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, pp. 733-739, 2008.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Tese de Doutorado, ESALQ, Piracicaba, 1990.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

EMBRAPA. **Mapa de solos do Campo Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco – MG**. Disponível em: <http://www.cnpqgl.embrapa.br>. Acesso em: abril de 2012.

FERREIRA, A.S.; FRANCISCO, C. N. “Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para a avaliação de processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio Caceribu, RJ”. In: **Anais do XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto**, pp. 3777-3784, Natal, Abril, 2009.

FIORI, C. O.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. “Tolerância de perdas de solo na Bacia do Rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil”. **Boletim Paranaense de Geociências**, n.54, pp.83-99, 2004.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. “Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units”. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.36, n.6, pp. 355-359, 1981.

FOURNIER, F. “The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff”. **Association Hydrologic Int. Public**, v. 38, 1956.

FOX, G. A.; WILSON, G. V. “The role of subsurface flow in hillslope and stream bank erosion: a review”. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 3, pp. 717-733, 2010.

GIMENES, M. J.; FILHO, R. V.; PRADO, E. P.; POGETTO, M. H. F. A.; CHRISTOVAM, R. S. “Interferência de espécies forrageiras em consórcio com a cultura do milho”. **Revista da FZVA**, v. 15, n. 2, pp. 61-76, 2008.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

HUDSON, N. W. **The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with particular reference to Northern Rhodesia**. Thesis (M. Sc.), University of Cape Town, Cape Town, 1965.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: abril de 2012.

JAKELAITS, A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; FREITAS, F. C. L.; VIVIAN, R. “Influência de herbicidas e de sistemas de semeadura de *Brachiaria brizantha* consorciada com milho”. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, pp. 59-67, 2005.

LEPRUN, J.C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro**. Recife: Ministério do Interior. SUDENE, 1981.

LEPSCH, I, F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, J. M.; CURTI, N.; RESENDE, E. M.; SANTANA, D. P. “Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade em Latossolos”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n. 1, pp. 85-90, 1990.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. Thesis (M. Sc.), Purdue University, West Lafayette, 1977.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerâncias de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. “Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP”. **Bragantia**, v. 51, pp. 189 – 196, 1992.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. D.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. “Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro”. **Revista Agro@ambiente On Line**, v. 5, n. 2, pp. 88-96, 2011.

MACHADO, C. C.; GARCIA, A.R.; SILVA, E.; FONTES, A.M. “Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais”. **Revista Árvore**, v.27, n.3, pp.295-300, 2003.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Tese de Doutorado, ESALQ, Piracicaba, 2002.

MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. “Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo”. **Revista Acta Scientiarum**, v.24, n.5, pp.1335-1340, 2002.

MARIANI, F. **Estabelecimento de *Panicum maximum* e *Urochloa brizantha* com milho ou soja e cultivo em sucessão de trigo e aveia preta**. Dissertação de Mestrado, UPF, Passo Fundo, 2010.

MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, V.P. “Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade”. **Ciência Agrônômica**, v.8, n.1, pp.39-45, 1993.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURTI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. “Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.4, pp.537-545, 2007.

MELLO, L. M. M.; MENDONÇA, V. Z.; PEREIRA, F. C. B. L.; HOLANDA, H. V.; YANO, E. H. “Cobertura do solo na consorciação de milho com forragens em plantio direto”. **XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Cuiabá, 2011.

MENDES, C.A.R. **Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim, RJ**. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

MINGOTI, R. **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 2009.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S.R.; FRANCO, E.M. “Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro”. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, 2007.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI 30 de chuva e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, pp. 339-344, 1991.

MUSGRAVE, C. W. “The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion, a First Approximation”. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 2, pp. 133-138, 1947.

NUNES, U. R.; JÚNIOR, V. C. A.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. “Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, pp. 943-948, 2006.

OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D.; SILVA, I. F.; SILVA, M. L. N. “Tolerância de perda de solo por erosão para o Estado da Paraíba”. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, 2008.

OLIVEIRA JR., R.C.; MEDINA, B.F. “A erosividade das chuvas em Manaus (AM)”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, pp. 235-239, 1990.

OLIVEIRA JR., R.C. **A erosividade das chuvas na parte leste do Pará**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1988.

PEREIRA, R. G.; ALBUQUERQUE, A. W.; CAVALCANTE, M.; PAIXÃO, S. L.; MARACAJÁ, P. B. “Influência dos sistemas de manejo do solo sobre os componentes de produção do milho e *Brachiaria decumbens*”. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, pp. 64-71, 2009.

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. “Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, pp. 1349-1358, 2000.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2009.

ROLOFF, G. P.; DENARDIN, J. E. “Estimativa simplificada da erodibilidade do solo”. In: **Anais da X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, pp.146-147, Florianópolis, 1994.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; HERTEN, G.H. “Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, pp. 439-444,1993.

SEEGER, M.; QUINTON, J.; KUHN, N. J. “Experiments in earth surface process research”. **Catena**, pp. 1-3, 2011.

SERIO, J.; COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A.S.; ORTEGA, E. “Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três microbacias hidrográficas no Brasil”. **Revista Acadêmica de Ciência Agrária e Ambiental**, v.6, n.2, pp. 213-221, 2008.

SILVA, A. L. “Rainfall erosivity map for Brazil”. **Catena**, v. 57, n. 3, pp. 251-259, 2004.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P. M. “Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub bacia hidrográfica de Latossolos no Sul de Minas Gerais”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, pp. 2125-2134, 2008.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003.

SILVA, C. C. M. F.; ROSSIELLO, R. O. P.; PACIULLO, D. S. C.; GOMES, D. M. S.; CARVALHO, C. A. B.; RIBEIRO, R. C. “Atributos morfofisiológicos e fitomassa de *Brachiaria decumbens* em um sistema silvipastoril”. **Revista de Ciência da Vida**, v. 31, n. 2, pp. 87-95, 2011a.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; OLIVEIRA, A. H.; LIMA, G. C.; CURI, N.; LEITE, F. P. “Erodibilidade de Latossolos no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais”. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Uberlândia, 2011b.

SILVA, M. L. N. **Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros**. Tese de Doutorado, UFLA, Lavras, 1997.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. “Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.6, pp. 1207-1220, 2000.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M. S.; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. “Comparação de métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob Cerrado”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.11, p.1751-1761, 1994.

TAVARES, A. C. F.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M.M. “Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas”. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.25, n.2, pp. 417-424, 2003.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. “Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema de plantio direto”. **Bragantia**, v.66, n.4, pp. 617-622, 2007.

VAL, L. A.; BAHIA, V. G.; FREIRE, J. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. “Erosividade das chuvas em Lavras, MG”. **Revista Ciência Prática**, v.10, pp. 199- 209, 1986.

VALENTIN, E. F. D. **Modelagem dinâmica de perdas de solo: O caso do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Descoberto – DF/GO.** Tese de Doutorado, UnB, Brasília, 2008.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. “A soil erodibility monograph for farmland and construction sites”. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

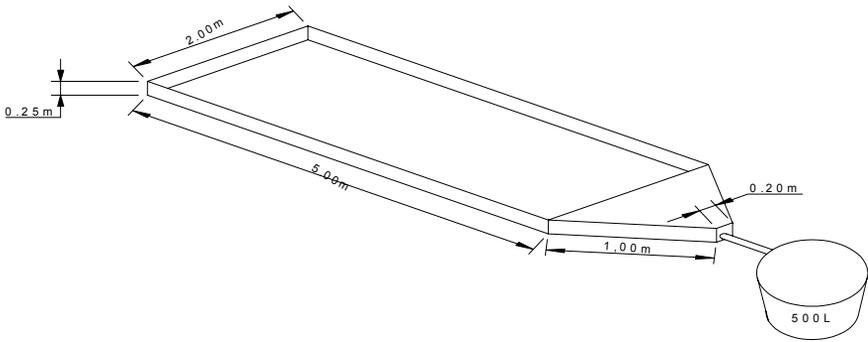
WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide planning.** Washington: USDA, 1978. (Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains.** Washington: USDA, 1965. (Handbook 282).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. “Rainfall energy and its relationships to soil loss”. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 39, p. 285-291, 1958.

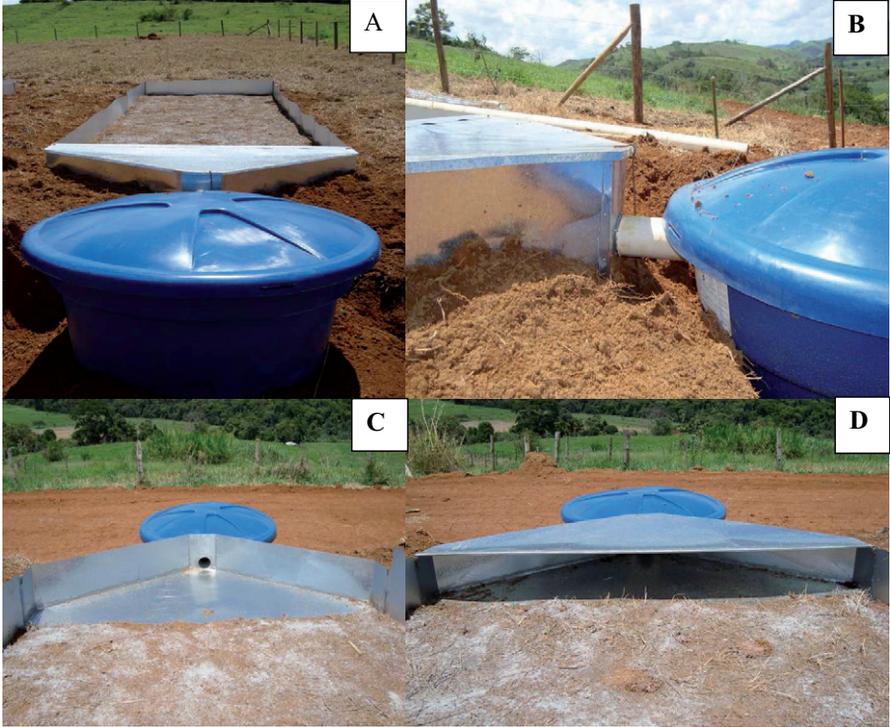
## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A



Parcela experimental de 2 x 5m, instalada no sentido do declive para aplicação de estudos de perda de solo e água.

## APÊNDICE B



Estruturas das parcelas experimentais. Autor: CARVALHO, A. C. B.

## APÊNDICE C



Parcelas experimentais no campo. Autor: CARVALHO, A. C. B.

## APÊNDICE D



Coleta de água. Autor: CARVALHO, A.C.B.

## APÊNDICE E



Retirada dos sedimentos das caixas de polietileno. Autores: CANTARINO, M.A. e CARVALHO, A. C. B.

## APÊNDICE F



Sulcos formados no plantio do milho. Autor: CARVALHO, A. C. B.





**More  
Books!** 



**yes**  
**i want morebooks!**

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at

**[www.get-morebooks.com](http://www.get-morebooks.com)**

---

Compre os seus livros mais rápido e diretamente na internet, em uma das livrarias on-line com o maior crescimento no mundo! Produção que protege o meio ambiente através das tecnologias de impressão sob demanda.

Compre os seus livros on-line em

**[www.morebooks.es](http://www.morebooks.es)**





