

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**COBERTURA VEGETAL E EROSÃO EM
ENTRESSULCOS SOB PASTAGEM IRRIGADA EM
UBERABA-MG**

Tomiko Yakabe Fantin
Professora de Matemática

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**COBERTURA VEGETAL E EROSÃO EM
ENTRESSULCOS SOB PASTAGEM IRRIGADA EM
UBERABA-MG**

Tomiko Yakabe Fantin

Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho

Coorientador: Prof. Dr. José Carlos Barbosa

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

2012

Fantim, Tomiko Yakabe
F199c Cobertura vegetal e erosão em entressulcos sob pastagem irrigada em Uberaba-MG. / Tomiko Yakabe Fantim. -- Jaboticabal, 2012
xii, 67 f. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho
Banca examinadora: Zigomar Menezes de Souza, Renato Farias do Valle Júnior, Gener Tadeu Pereira, José Marques Júnior
Bibliografia

1. Chuva simulada. 2. Infiltração. 3. Modelagem. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.459:633.2(815.1)

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: COBERTURA VEGETAL E EROÇÃO EM ENTRESSULCOS SOB PASTAGEM IRRIGADA EM UBERABA-MG

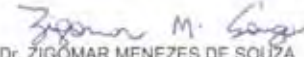
AUTORA: TOMIKO YAKABE FANTIN

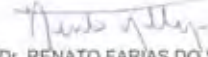
ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO


CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE CARLOS BARBOSA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ZIGÔMAR MENEZES DE SOUZA
Universidade Estadual de Campinas / Departamento de Água e Solo / Campinas/SP


Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG


Prof. Dr. GÊNER TÁDEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 20 de dezembro de 2012.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

TOMIKO YAKABE FANTIN, nascida em Piacatu-SP em 25 de novembro de 1955, graduou-se em Licenciatura Plena em Matemática em 20 de janeiro de 1978 na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras “Ministro Tarso Dutra”, em Dracena – SP. Em 06 de outubro de 1994 concluiu o curso de Especialização Lato Sensu, em Ciências Exatas no Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) em Belo Horizonte MG. Em 12 de julho de 1994 concluiu o curso de Especialização Lato Sensu em Formação de Professores em EAD na Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba-PR. Em 18 de julho de 2005 concluiu o Mestrado em Educação Profissional Agrícola na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro-RJ. Atuou como professora de Matemática nos níveis básico, técnico e superior nos Estados de Mato Grosso, Rondônia, Bahia e atualmente em Minas Gerais. Além da carreira docente desempenhou cargos administrativos tais como: Vice-diretora da EEPSC Carlos Gomes em Cacoal-RO; Coordenadora da Supervisão Pedagógica na Escola Agrotécnica Federal em Catu-BA; Diretora do Departamento de Pedagogia e Apoio Didático e Diretora Geral Pro Tempore na Escola Agrotécnica Federal Antônio José Teixeira em Guanambi-BA, Coordenadora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico na Pro Reitoria de Ensino do Instituto Federal Triângulo Mineiro/Reitoria em Uberaba-MG e Coordenadora Geral do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC) na Pro Reitoria de Extensão do IFTM/ Reitoria.

A meu marido, por ter sido uma extensão de minhas pernas quando era impossível me locomover e desenvolver este trabalho.

DEDICO

A minhas filhas Michelle e Patrícia por acreditarem que eu realizaria mais este sonho.

OFEREÇO

A Deus, pela oportunidade de estudo, pelas experiências, por todos os momentos, pela vida,

AGRADEÇO SEMPRE

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço por tudo.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba, em especial ao Programa de Pós-Graduação Doutorado Interinstitucional (DINTER), em Agronomia/Ciência do Solo, pela oportunidade oferecida.

A CAPES, pela concessão da bolsa durante o transcurso do doutorado, sem a qual seria bastante difícil a realização do projeto de pesquisa.

Ao Professor Dr. Marcílio Vieira Martins Filho pela paciência, incentivo, empenho pessoal e orientação, que tanto contribuíram para a minha formação profissional e aos Professores: Dr. Gener Tadeu Pereira, Dr. José Marques Junior, Renato Faria do Valle Junior, Rouverson Pereira da Silva e Zigomar Menezes de Souza, cujas sugestões muito contribuíram para a melhoria e finalização deste trabalho.

A todos os professores do programa DINTER, que de uma forma ou de outra contribuíram para a minha formação profissional, pelos ensinamentos, pelos incentivos e acreditarem que conseguiríamos atingir nossos objetivos.

A todos os meus familiares, em especial meus pais (*in memoriam*), cujos exemplos de luta e perseverança contribuíram para esta conquista, irmãos e parentes muitos dos quais não tiveram a oportunidade de prosseguir nos estudos por várias razões, mas que sempre me incentivaram nesta jornada.

Aos amigos, colegas do IFTM e especialmente a Adriano Elias, Humberto Marcondes Estevan, Jose Antônio Bessa, Lucas Arantes, Maria Amélia Campos Sousa, Mirian Tavares Dias Cardozo e Renato Farias do Valle Junior, parceiros de caminhada que torceram pelo meu sucesso, e nas horas difíceis e angustiantes suas palavras de incentivo, de conforto e amizade fizeram com que eu não esmorecesse e seguisse em frente.

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

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 Irrigação em pastagens	6
2.2 Degradação das pastagens.....	9
2.3 Erosão em entressulcos	11
2.4 Modelagem Matemática de processos erosivos.....	13
2.4.1 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ou USLE)	14
2.4.1.1 Erosividade da chuva (Fator R)	15
2.4.1.2 Erodibilidade do solo (Fator K)	17
2.4.1.3 Declividade do solo (Fator LS)	19
2.4.1.4 Cobertura e Manejo do Solo (FATOR C).....	20
2.4.1.5 Práticas Conservacionistas (FATOR P)	22
2.4.2 WEPP –Water Erosion Prediction Project.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Localização e característicasda área experimental	31
3.2 Preparo da área experimental	36
3.3 Simulação de Chuvas	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Características hidráulicas do escoamento e erodibilidade em entressulcos....	49
4.2 Taxa de enxurrada e erosão em entressulcos	51
4.3 Modelagem do fator cobertura e manejo do solo (C _i).....	54
4.4 Validação do modelo para estimativa do fator cobertura e manejo do solo (C _i)	55
5. CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
FIGURA 1. Capim Tifton-85. Fonte: Google. Acesso em 19/11/2012	28
FIGURA 2. Sistema de Pastejo Rotacionado de Tifton 85. Área de pastejo na propriedade do Sr. Antônio de Brito em Sidrolândia-MS - Foto: Eng.Agr. Mário Barbosa.....	29
FIGURA 3. Mapa do município de Uberaba-MG. Fonte: Uberaba em dados. Secretaria deDesenvolvimentoEconômico e Turismo-Prefeitura Municipal de Uberaba	31
FIGURA 4. Detalhe do local do experimento	37
FIGURA 5. Preparo das parcelas experimentais.....	38
FIGURA 6. Mapa de identificação dos pontos de simulação de chuva, IFTM, Campus Uberaba	39
FIGURA 7. Parte superior do simulador (detalhe).....	39
FIGURA 8. Parte inferior do simulador de chuva (calha coletora).....	40
FIGURA 9. Realização do CUC em parcela a ser submetida à simulação de chuva.	41
FIGURA 10. Coleta de solo para análise química e física.....	42
FIGURA 11. Processo de filtragem do material de coleta de enxurrada	43
FIGURA 12. Secagem do material do sedimento após filtragem	43
FIGURA 13. Taxa de infiltração de água no solo durante o tempo de duração da chuva.....	53
FIGURA 14. Fator cobertura vegetal e manejo do solo Ci em função da cobertura por Tifton – 85	55
FIGURA 15. Valores estimados em função de valores observados do fator cobertura e manejo do solo (Ci).	55

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
TABELA 1. Indicadores técnicos e econômicos da atividade de recria em pastagem irrigada por pivô central.....	7
TABELA 2. Dados climáticos do município de Uberaba (MG) - 2008	32
TABELA 3. Detalhamento das variações de temperatura e precipitação ocorridas durante o ano de 2008 no município de Uberaba(MG)	33
TABELA 4. Precipitação pluviométrica mensal (mm)	33
TABELA 5. Climatologia: – médias mensais – ultimas décadas	34
TABELA 6. Tabela 6. Temperaturas	34
TABELA 7. Valores médios dos atributos químicos do solo – profundidade. 0,00 - 0,20 m	34
TABELA 8. Características hidráulicas do fluxo de enxurrada em entressulcos	50
TABELA 9. Taxa de enxurrada e fatores da erosão em entressulcos	52
TABELA 10. Estatísticas da validação para estimativa do fator cobertura e manejo do solo (Ci)	56

COBERTURA VEGETAL E EROSÃO EM ENTRESSULCOS SOB PASTAGEM IRRIGADA EM UBERABA-MG

RESUMO – A modelagem de processos erosivos constitui uma ferramenta eficaz na implementação de planejamento agrícola, permitindo a análise do desempenho das práticas de manejo e prevenção de perdas de solo, água e nutrientes, além de favorecer a tomada de medidas de controle da erosão e degradação do solo. Objetivou-se com este trabalho modelar e validar a relação entre a cobertura vegetal e processo de erosão em entressulcos na área de pastagem irrigada mantida com pastejo rotacionado intensivo nas dependências da Unidade I do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), em Uberaba. O experimento foi realizado em Uberaba-MG, em Latossolo Vermelho em duas etapas: I) coleta de dados para modelar o fator de cobertura e manejo do solo (C_i) no processo de erosão entressulcos e, II) coleta de dados para validação do modelo para estimativas do fator C_i . Nas etapas I e II, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos (0%, 25%, 50% e 100% de cobertura vegetal). Na fase I foram realizadas seis repetições, totalizando 24 parcelas, e na fase II três repetições, totalizando 12 parcelas. Todas as 36 parcelas experimentais com 0,50 m de largura e 0,75 m de comprimento foram submetidas a intensidade de chuva simulada média de 60 mm h^{-1} , por 60 minutos. A presença de gramínea influenciou as características hidráulicas do fluxo superficial, garantindo regimes de escoamento laminar denominado subcrítico e reduções das taxas de erosão em entressulcos de até 98,84%. Os resultados também mostraram que as equações estimadas: $C_i = e^{-4,097SC/100}$ e $C_i = e^{-2,5SC/100}$ podem ser utilizadas para estimativas do fator cobertura do solo e manejo do solo, (C_i), em função da cobertura proporcionada ao solo (CS) por pastagem irrigada e cultivada com Tifton-85 na região de Uberaba-MG.

Palavras Chave: chuva simulada, infiltração, modelagem

COVER AND INTERRILL EROSION UNDER IRRIGATED PASTURE IN UBERABA-MG

ABSTRACT - The erosion modeling is an effective tool in implementing agricultural planning, allowing the analysis of performance management practices and prevention of soil loss, water and nutrients, and encourages the taking of measures to control erosion and soil degradation. The objective of this work was to model and validate the relationship between vegetation and interrill erosion process in irrigated pasture area with intensive rotational grazing on the premises of Unit I of Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM). The experiment was conducted in Uberaba-MG in Red Oxisol in two steps: i) data collection to model the coverage factor and soil management (C_i) in the process of interrill erosion and, II) data collection for validation estimates of factor C_i . In stages I and II, the experimental design was completely randomized (CRD) with four treatments (0%, 25%, 50% and 100% of vegetal cover). In phase I were performed six repetitions, totaling 24 parcels, and in phase II three repetitions, totaling 12 plots. All 36 plots with 0.50 m wide and 0.75 m long were subjected to simulated rain of intensity average of 60 mmh^{-1} for 60 minutes. The presence of grass influenced the hydraulic characteristics of the flow surface, ensuring laminar flow regimes called subcritical and reductions in the rate of erosion in interrill up to 98.84%. The results also showed that the estimated equations: $C_i = e^{-4.097SC/100}$ and $C_i = e^{-2.5SC/100}$ can be used to estimate the vegetal cover factor and soil management (C_i), depending on coverage proportionate to the soil (CS) in irrigated pasture cultivated with Tifton 85 in the region of Uberaba-MG.

Keywords: simulated rain, infiltration, modeling

1. INTRODUÇÃO

No Brasil as pastagens representam a forma mais prática e econômica para a sustentação da pecuária na alimentação de bovinos, apesar dos resultados econômicos com a produção de bovinos obtidos pela maioria dos pecuaristas serem considerados modestos, tendo em vista o nosso grande potencial, havendo a necessidade da obtenção de ganhos em produtividade que permitam tornar a pecuária mais rentável e competitiva frente a outras possibilidades de uso do solo.

A produção de bovinos em pastagens irrigadas é uma tecnologia que vem sendo adotada atualmente pelos pecuaristas, principalmente para aqueles que dispõem de um nível tecnológico elevado e que possuem também elevada capacidade gerencial e de investimentos, objetivando aumentar a produtividade da sua atividade, segundo Yassu *et al.*(1998) citados por Andrade (2000). Dessa forma os resultados que vêm sendo obtidos com a adoção desta técnica têm sido impressionantes. Elevadas taxas de lotação (até 10UA/ha) combinadas com ganhos de peso vivo na faixa de 1,0 kg/dia, inclusive durante o período seco do ano, tem levado os pecuaristas de algumas regiões brasileiras a adotarem a irrigação de pastagens durante o período seco para diminuir os prejuízos decorrentes da estacionalidade de produção de forrageiras.

Segundo Andrade (2000), dentre as diversas forrageiras adaptadas no Brasil as gramíneas do gênero *Cynodon*, em razão das vantagens nutricionais, do potencial produtivo, da resposta à fertilização, da adaptação a diferentes ambientes e da flexibilidade de uso vem despertando interesse pela pesquisa no Brasil, nesse gênero, tem-se destacado o grupo dos Tiftons. O aproveitamento dessas forrageiras como forma de aumentar a produtividade da atividade pecuária pode ser potencializado pela adoção de alternativas de tecnologia como, sistemas intensivos de pastejo rotacionado, irrigação, adubação e o seu manejo adequado, que está ligado às avaliações frequentes na pastagem e aos ajustes na taxa de lotação, de modo que se evite o sub ou superpastejo.

Em várias regiões do mundo, o manejo inadequado de áreas com pastagens tem sido um fator primordial para a degradação do solo com consequentes impactos nos ecossistemas naturais. Calcula-se que a metade das áreas de pastagens cultivadas no Brasil esteja degradada e o fato se torna mais preocupante quando está relacionado à erosão, seja ela causada pelo vento (eólica) ou causada pela chuva (pluvial), que é a mais prejudicial. Tanto uma como a outra são dependentes da cobertura vegetal e do manejo inadequado do terreno, e se o produtor não ficar atento, estes fatores poderão interferir na fertilidade do solo de sua propriedade.

Com a perda da qualidade do solo em termos físicos (compactação, encrostamento superficial e erosão) e químicos (diminuição da fertilidade, aumento da acidez potencial e do alumínio trocável), a pastagem diminui a sua capacidade de suporte e qualidade, fazendo com que os animais permaneçam mais tempo na propriedade devido ao baixo ganho de peso e o produtor fica descapitalizado, sem recursos para investir na melhoria do manejo e conservação do solo, no melhoramento genético do rebanho, nas adubações e correções da fertilidade e da acidez do solo (MACEDO, 2011).

Dentro dos diversos tipos de erosão, encontra-se a hídrica, que por sua vez, subdivide-se em laminar (entressulcos), em sulcos ou ravinas, e em voçorocas. A erosão entressulcos pode ser entendida como a remoção de uma camada fina, onde o impacto das gotas de chuva é o fator responsável pela desagregação das partículas da massa de solo, desalojando grandes quantidades decorrentes da energia cinética das gotas e são transportadas por um fluxo laminar raso, o qual é auxiliado pela turbulência produzida, suspendendo e mantendo suspensas as partículas do solo, segundo Cassol e Lima (2003); Nunes *et al.* (2008); Oliveira *et al.* (2012); Freitas *et al.* (2008). Na erosão em entressulcos, segundo Oliveira *et al.* (2012), a erosão em entressulcos é um processo dependente não apenas das condições envolvidas na fase de desagregação mas, também, pela capacidade de transporte do escoamento difuso.

Na maioria dos casos, as perdas de solo causadas pela erosão reduzem a espessura do solo, diminuindo a capacidade de retenção e redistribuição da água no perfil gerando maiores escoamentos superficial e maiores taxas de erosão do solo, segundo Santos *et al.* (2010), assim, os sedimentos, fertilizantes e agroquímicos são

arrastados e provocam problemas ambientais de açoreamento e poluição na rede hidrográfica, diminuindo a vazão dos leitos dos rios e aumentando os riscos de enchentes comprometendo a perenidade dos cursos de água, além de agravar os problemas sociais dos grandes centros urbanos.

A cobertura vegetal ou resíduos culturais deixados na superfície do solo, bem como técnicas mecânicas e vegetativas de conservação do solo e da água, tais como adubação e calagem, eliminação das queimadas, plantio em nível, construção de terraço de canais escoadouros, bacias de contenção e controle de voçorocas têm ação direta e efetiva na redução da erosão, porque possibilitará um aumento da taxa de infiltração de água no solo e menor escoamento superficial da água da chuva, conseqüentemente diminuindo a capacidade erosiva da enxurrada. De acordo com Martins Filho (2009) e Leite et al. (2009), a manutenção de cobertura vegetal para a conservação do solo também aumenta a macroporosidade da camada superficial e protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva

O conhecimento das relações existentes entre os fatores que ocasionam as perdas de solo e as que permitem amenizá-las é de fundamental importância no estudo dos processos erosivos, permitindo o planejamento e tomada de decisões que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis e, dessa forma, evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

A demanda por modelos que permitam estimar a erosão hídrica causada pelo uso do solo é crescente. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1978), é considerada um dos mais eficientes modelos de estimativas de perdas de solo e a mais utilizada no mundo. Nesta equação, os fatores naturais mais importantes estão ligados ao clima, solo e morfologia do terreno, e os fatores antrópicos relacionam-se com a ocupação das terras e com as características de cada cultivo (AMORIM *et al.*, 2010; CHAVES, 2010).

Segundo Santos *et al.* (2010, na literatura encontram-se referências a um conjunto razoável de modelos para simulação da erosão hídrica do solo e conclui que em modelos que envolvam a ocorrência de precipitações, um dos grandes inconvenientes é a incapacidade que esses modelos apresentam de caracterizar as chuvas da forma como ocorrem, ignorando ou não distinguindo a variabilidade

espacial e temporal e que deficiências em dados e pesquisas com precipitação têm promovido a utilização de coeficientes obtidos com base em dados de regiões distintas daquelas nas quais são aplicados. Reforça que as características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência com que as chuvas ocorrem e a sua erosividade.

Vários trabalhos têm sido conduzidos para avaliar o desempenho dos modelos de predição de erosão, bem como validar esses modelos para diferentes condições de manejo e uso do solo segundo Amorim *et al.* (2010). Por exemplo, Tiwari *et al.* (2000), trabalhando com os modelos WEPP, USLE e RUSLE, verificaram que o modelo WEPP apresentou erro médio nas estimativas das perdas de solo quando se considera a média anual dos dados experimentais e os dados anuais isoladamente, e em geral, as eficiências dos modelos foram baixas em locais com baixos valores de perdas de solo, enquanto, em locais com elevadas perdas de solo, ocorreram melhores predições, sendo que os desempenhos dos modelos USLE e WEPP foram mais satisfatórios. As estimativas das perdas de solo médias anuais obtidas, utilizando-se do WEPP, foram melhores em 40% dos locais estudados quando comparadas com as estimativas obtidas com a USLE e RUSLE.

Neste contexto, é necessária a condução de pesquisas e melhor entendimento de como mudanças no uso do solo impactam a cobertura vegetal e determinam processos erosivos como a erosão em entressulcos.

OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho teve como objetivo modelar e validar a relação entre a cobertura vegetal e erosão em entressulcos, em área de pastagem irrigada cultivada com capim Tifton-85 (*Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis*), num latossolo vermelho textura média em Uberaba (MG), mantendo-se a área sob pastejo intensivo com lotação animal de três dias de ocupação e vinte e um dias de descanso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Determinar as características hidráulicas do fluxo de enxurrada em entressulcos (taxa de descarga, altura da lâmina de água, velocidade média do escoamento, número de Reynolds, número de Froude e coeficiente de rugosidade de Manning);

2) Quantificar os fatores da erosão em entressulcos (taxa de enxurrada, concentração de sedimentos, taxa de erosão em entressulcos, cobertura e manejo do solo e erodibilidade do solo);

3) Quantificar a taxa de infiltração de água no solo nos tratamentos com 0%, 25%, 50% e 100% de cobertura por gramínea;

4) Modelar o fator cobertura vegetal e manejo do solo em função de 25%, 50% e 100% de cobertura por Tifton-85,

5) Validar (estatisticamente) o modelo para estimativa do fator cobertura e manejo do solo.

HIPÓTESE

Para as condições de pastagens, com gramíneas não cespitosas (que não formam touceiras), cultivadas na bacia do Rio Uberaba (MG), desconhece-se o nível mínimo de cobertura da superfície do solo para um controle eficiente da erosão em entressulcos. Tal conhecimento é fundamental, para a previsão de processos erosivos futuros utilizando-se de modelos como a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e o Water Erosion Prediction Project (WEPP).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Irrigação em pastagens

Desde a década de 1970 os pesquisadores têm realizado muitos experimentos para avaliar a viabilidade da irrigação nas pastagens no período seco para resolver o problema da estacionalidade de produção de forrageiras nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, onde predominam temperaturas de inverno que não permitem que as forrageiras típicas se desenvolvam adequadamente nessa época do ano e os resultados obtidos foram pouco animadores gerando a crença de que a irrigação de pastagens durante o período seco não era viável. Atualmente com o avanço da atividade pecuária, principalmente a de corte para a região Centro-Oeste, a situação mudou e o uso da técnica de irrigação de pastagens vem se expandindo por toda região central do Brasil, inclusive para as regiões Sudeste e Nordeste.

A irrigação de pastagem é recurso conveniente e vantajoso para os pecuaristas contornarem os problemas de estacionalidade das plantas forrageiras sendo que as vantagens são mais acentuadas em regiões onde a água é o mais grave fator limitante da produção das forrageiras conforme simulação dos custos da exploração de pastagens irrigadas em três regiões brasileiras (Tabela 1) realizadas por Weigand *et al.* (1998) citados por Andrade (2000).

Em uma simulação da lucratividade das atividades de recria e engorda de bovinos de corte em pastagens irrigadas por pivô central, em diferentes regiões do país, em função das taxas de lotação Weigand *et al.* (1998) citados por Andrade (2000) mostra (Tabela 1), que a atividade de recria seria a mais lucrativa, pois esses animais fazem um melhor aproveitamento da proteína e energia fornecidas pelo pasto e também a obtenção de elevada produtividade de forragem, permitindo elevadas taxas de lotação para compensar os custos de produção deste sistema em comparação com pastagens de sequeiro, apesar de os cálculos terem sido feito considerando lotações nem sempre possíveis de serem atingidas em cada região, por exemplo, uma lotação de 6,0 UA/ha no Sudeste até pode ser conseguida, mas o

risco é muito grande. As faixas de lotação mais plausíveis para cada região, segundo o autor, são: sudeste: 3,0 a 5,0 UA/ha; centro oeste: 4,0 a 7,0 UA/ha e nordeste: 4,0 a 8,0 UA/ha.

TABELA 1. Indicadores técnicos e econômicos da atividade de recria em pastagem irrigada por pivô central

Região	SUDESTE	CENTRO-OESTE	NORDESTE
Premissas			
Preço de compra (US\$)	24,56	23,25	23,68
Preço de venda (US\$)	21,93	20,61	21,49
Peso vivo de entrada (kg)	165	160	1,55
Peso vido de saída (kg)	340	340	340
Pressão de pastejo	5,40%	5,20%	5,00%
Área de pastagem (ha)	90	90	90
Ganho de peso vivo esperado (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	0,90	0,95	1,00
Indicadores			
Tempo de recria (dias)	194,44	189,47	185,00
Lotação média (UA ha ⁻¹)	4,51	5,85	6,70
Ciclos do ano	1,88	1,93	1,97
Venda anuais de gado (receita)	1,351	1.818	2.151
Cabeças	335.790,00	424.682,00	524.000,00

Fonte: WEIGAND *et al.* (1998).

Em Coronel Pacheco-MG, Alvim *et al.* (1996) avaliaram a produção de leite de vacas holandesas em pastagens cultivadas com capim *coast-cross* irrigadas durante quatro meses com lamina de água de 25 a 30 mm de 15 em 15 dias e obtiveram elevadas produções de leite tanto no período chuvoso (17,3 a 20,5 kg vaca⁻¹ dia⁻¹), quanto no período seco do ano (16,5 a 19,5 vaca⁻¹ dia⁻¹). As taxas de lotação obtidas durante o período seco do ano foram de 3,0 a 3,7 (vaca ha⁻¹), porém, inferiores às obtidas durante o período chuvoso que foi de 5,9 a 6,4 (vaca ha⁻¹). Segundo os autores, as condições ambientais adversas, prevalecentes na região durante o período seco (baixas temperaturas e pouca luminosidade) reduzem a velocidade de crescimento do capim, apesar da irrigação.

Na região de Governador Valadares, nordeste de Minas Gerais, segundo Andrade (2000), muitos produtores de leite utilizam a irrigação de pastagem e de cana-de-açúcar com o sistema de aspersores de baixa pressão, que é de baixo

custo de implantação e manutenção e é mais apropriado para pequenas áreas para alimentação de vacas leiteiras. Com as pastagens irrigadas possibilitam a utilização de taxas de lotação de até 6 UA/ha, acima da média local que é de 0,3 a 0,5 UA/ha. No Triângulo Mineiro (Uberlândia), Benedetti *et al.* (2000) citados por Rassini (2003), a irrigação do capim Tanzânia evidenciou acúmulo de forragem na entressafra, de 57% do acúmulo da safra.

Segundo Andrade (2000) no Estado do Rio de Janeiro, Daher *et al.* (1997) verificaram acentuada estacionalidade de produção na produção de matéria seca de 17 clones de capim-elefante, sem o uso de irrigação e Maldonado *et al.* (1997) avaliaram o efeito da irrigação durante os períodos seco e chuvoso sobre a produção de matéria seca do capim-elefante na mesma área pesquisada concluindo que para as condições das regiões norte e noroeste desse Estado, cuja temperatura oscila de 22°C e 5,9 horas de insolação por dia, o capim-elefante apresenta uma resposta viável à irrigação, praticamente eliminando a estacionalidade de produção.

Na região Nordeste do Brasil, Leal *et al.* (1996) avaliaram o desempenho de vacas leiteiras em pastagem (capim-elefante, *P. maximum* BRA 8761 e BRA 8826) irrigada por aspersão durante a época seca, com lotação de 4 ou 5 vacas/ha em pastejo rotacionado e concluíram que a produção média de leite variou de 12,4 a 14,1 (kg vaca⁻¹ dia⁻¹), e de acordo com os autores, estas médias são consideradas elevadas por se tratar de produção exclusivamente a pasto (ANDRADE, 2000).

Em Goiás, resultados do desempenho de bovinos de corte nas atividades de engorda e recria/engorda, em pastagens de capim-mombaça irrigada por pivô central e para ambas as categorias os animais obtiveram elevados ganhos de peso vivo, superiores a 1,1 (kg/animal dia⁻¹) em média. Numa pastagem de sequeiro utilizada com lotação média anual de 1,0 UA/ha e possibilitando um ganho de peso vivo médio de 400 g/UA/dia, situação comum em nossa pecuária teria um ganho de peso vivo de 146 kg/ha/ano, valor que representa apenas 5% do obtido na pastagem irrigada. Estes dados mostram claramente a potencialidade da técnica de quatro meses com lâmina de água de 25 a 30 mm de 15 em 15 dias e obtiveram irrigação de pastagens para produção de bovinos de corte no nosso país (ANDRADE, 2000).

2.2 Degradação das pastagens

Na década de 1970 houve uma grande expansão da produção agropecuária devido ao baixo valor das terras, às ofertas de crédito e ao surgimento de espécies forrageiras com alta capacidade de adaptação ao clima e à baixa fertilidade dos solos. Atualmente, a atividade de pecuária bovina é responsável por mais de 44% do rebanho bovino nacional segundo Moreira e Assad (1977) citados por Peron e Evangelista (2004), e esse rebanho tem nas pastagens cultivadas a sua principal fonte alimentar.

A degradação das pastagens tem sido um grande problema para a pecuária brasileira por ser desenvolvida basicamente em pastos, afetando diretamente a sustentabilidade do sistema produtivo. Calcula-se que 80% de pastagens cultivadas no Brasil Central, responsável por mais de 55% da produção de carne nacional encontram-se em algum estado de degradação, ou seja, em processo evolutivo de perda de vigor conforme Macedo *et al.* (1993) e Macedo (1995) citados por Peron e Evangelista (2004) e Pereira *et al.* (2009), sem possibilidade de recuperação natural e incapazes de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, com baixa produtividade e capacidade de suporte, bem como de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras.

Essa degradação é consequência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, como preparo incorreto do solo, não aplicação de fertilizantes e corretivos nas quantidades recomendadas, escolha errada da espécie forrageira, uso de sementes de baixa qualidade, má formação inicial, manejo animal inadequado e, principalmente, em razão da não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, por exportação no corpo dos animais, erosão, lixiviação e volatilização ao longo dos anos, culminando na degradação do solo e dos recursos naturais, com prejuízos irrecuperáveis para toda a sociedade (PERON; EVANGELISTA, 2004; PEREIRA *et al.*, 2009).

Para cada tipo de solo, nível tecnológico utilizado e produtividade potencial esperada existem uma espécie ou cultivar mais indicada. A escolha da melhor espécie forrageira deve ser precedida de um diagnóstico, por meio do qual se considera o histórico da área, o tipo de solo e suas condições, bem como as

condições climáticas da região, que também são fatores importantes a se considerar (PERON; EVANGELISTA, 2004).

A região dos cerrados ocupa aproximadamente 20% do território nacional e tem se apresentado propícia para o aumento da fronteira agrícola brasileira, segundo Pereira *et al.* (2009), devido às características físicas dos solos e à topografia favorável ao cultivo intensivo, apesar dos solos dessa região apresentarem características físicas desfavoráveis, são ácidos, com reduzida disponibilidade de nutrientes, alta saturação por alumínio e elevada capacidade de adsorção de fósforo, rápida mineralização da matéria orgânica devido às elevadas temperaturas e umidade do solo durante boa parte do ano, dificultando a reposição de nutrientes nos sistemas convencionais de manejo dos solos e das culturas.

Para o sucesso da exploração agropecuária, Pereira *et al.* (2009), afirma que é necessária a adoção de técnicas apropriadas como uso de corretivos e fertilizantes e/ou introdução de espécies vegetais adaptadas às condições edafoclimáticas dessa região, pois do ponto de vista pedogenético e químico, os solos sob vegetação de cerrado são altamente intemperizados.

Como podemos observar, ações preventivas de manejo e conservação são muito importantes. Estas medidas envolvem um conjunto de ações conjugadas e igualmente relevantes e vão desde a escolha da forrageira, que deve ser adaptada ao tipo de solo e às condições climáticas locais, passando pela calagem e adubação adequada durante a implantação ou renovação da pastagem e, ainda, durante as diferentes épocas do ano como adubação de manutenção.

O manejo animal também é importante, a começar pela adequada lotação na pastagem, pela distribuição de bebedouros e saleiros nos piquetes, principalmente em áreas com acentuada declividade, divisão dos piquetes para introdução do pastejo rotacionado, evitando assim, o pastejo contínuo numa mesma área. A não observância dos preceitos apresentados anteriormente desencadeia um processo de degradação das pastagens, principalmente devido à erosão hídrica do solo.

2.3 Erosão em entressulcos

A erosão hídrica do solo é um processo físico de desagregação do solo e ocorre pela ação das gotas da chuva e seu escoamento superficial, promovendo o arraste de partículas do solo que é transportada de um local e depositada em outro local mais baixo, provocada, principalmente pela ação do homem quando efetuam ações de operações de preparo do solo mobilizando-o para cultivos através de suas práticas de preparo e plantio, correção do solo e adubação, entre outros.

Esse transporte é causado quando o solo está saturado e a quantidade de água das chuvas for superior à capacidade de infiltração de água no solo, e quanto mais a área fica exposta, mais frágil se torna o solo e maior será seu potencial de erosão, podendo culminar no aparecimento de voçorocas, implicando num alto grau de degradação do solo (INACIO *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2008; NUNES; CASSOL, 2008; CARVALHO *et al.*, 2009; KNAPEN *et al.*,2009; MARTINS FILHO *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2010; CARVALHO *et al.*, 2012; LICHNER *et al.*,2011; SOUSA *et al.*,2012).

A erosão se inicia quando o solo está descoberto, seja devido a desmatamento ou após operações de preparo do solo, em estágios iniciais de crescimento da cultura ou quando o solo se encontra em estado avançado de degradação. Nessa situação ocorre a desagregação das estruturas do solo com o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto, que promovem a destruição parcial dos agregados da superfície e a liberação de suas partículas. Parte dessas partículas dispersa pelos impactos das gotas entra em suspensão na água da chuva que ao penetrar no solo, é depositada nas paredes dos poros, entupindo-os. Uma vez entupidos, o impacto das gotas subsequentes causa a compactação da camada superficial, com a formação de uma crosta que reduz a infiltração da água no solo e contribui para o aumento do volume da enxurrada, que possui energia suficiente para promover o arraste do solo, ocasionando, assim, o processo erosivo (INACIO *et al.*, 2007; MARTINS FILHO *et al.*, 2009; KNAPEN *et al.*,2009; LICHNER *et al.*,2011; SOUSA *et al.*,2012).

A erosão pode se manifestar de modo distinto, de acordo com o local onde ela ocorre e o entendimento desse processo erosivo é facilitado separando-a em

erosão entressulcos e erosão em sulcos, com base nas características distintas do seu fluxo superficial, as quais controlam a mecânica do processo erosivo em cada uma dessas formas (MARTINS FILHO, 1999; BERTOL *et al.*, 2007; CARVALHO *et al.*, 2009).

Na erosão em sulcos o agente erosivo responsável pela desagregação e pelo transporte é o escoamento concentrado em que, sendo profundo o suficiente, protege a superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva e ocorre em locais onde um fluxo concentrado de água flui em canais efêmeros, que podem ter sido originados de processos erosivos anteriores, das feições da topografia local, da rugosidade do solo e das marcas ou traços de equipamentos de cultivo, grade, arado, aiveca e outros, conforme Martins Filho, (1999) e Oliveira *et al.* (2012). Dessa forma a erosão nas áreas entre os sulcos é chamada entressulcos

A erosão em entressulcos é desencadeada pelo impacto das gotas da chuva na superfície do solo promovendo a desagregação das suas partículas e a subsequente movimentação desse material, devido às ações do escoamento superficial. Neste caso, a precipitação pluvial é responsável pela desagregação e transporte das partículas da massa do solo, podendo desprender grandes quantidades de partículas decorrentes da energia cinética das gotas, sendo um processo dependente não apenas das condições envolvidas na fase de desagregação, mas, também, pela capacidade de transporte do escoamento difuso (BRANDÃO *et al.*, 2007; INACIO *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012).

Na erosão entressulcos, segundo Bertol *et al.* (2007), ocorre o transporte das partículas de menor diâmetro, onde se concentram os elementos minerais, e que são desprendidas dos agregados do solo, principalmente pelo impacto das gotas da chuva sendo as primeiras a serem transportadas, caracterizando dessa forma a seletividade desse tipo de processo erosivo.

Na etapa de desagregação a força erosiva é constituída pela energia cinética das gotas da chuva enquanto na resistência do solo atuam forças de natureza físico-química e biológica que está relacionada com fatores que conferem a estabilidade dos agregados do solo, tais como, teor de argila, qualidade e teor de matéria orgânica (BRANDÃO *et al.*, 2007; INACIO *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2008;

MARTINS FILHO *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012).

Dessa forma o processo erosivo é a principal causa de degradação dos solos causando danos ao processo produtivo dos solos utilizados na agricultura e prejuízos aos setores agrícolas e urbanos e ao meio ambiente, provocando perdas de solos, água e nutrientes com reflexos econômicos, ambientais e também sociais (BRANDÃO *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2008; LEITE *et al.*, 2009).

2.4 Modelagem Matemática de processos erosivos

Desde a década de 1950 diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados para prever a magnitude das perdas de solo por erosão, visando a implementar ferramentas que possibilitam avaliar as perdas de solo com propósitos de auxiliar no planejamento agrícola, principalmente onde as perdas de solo são superiores aos limites toleráveis. Os modelos de predição de erosão do solo evoluíram de modelos empíricos, tais como a Universal Soil Loss Equation (USLE) e a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) para modelos baseados em princípios teóricos, tais como o Water Erosion Prediction Project (WEPP) (AMORIM *et al.*, 2010).

A modelagem matemática de processos erosivos é uma importante ferramenta para a execução de planejamentos agrícolas, desenvolver avaliações para prever perdas de solo, água e/ou nutrientes do solo e, também para o planejamento de medidas de controle do fenômeno de erosão. O processo de modelagem é elaborado partindo de observações em campo do referido processo erosivo e de sua descrição matemática, cujo uso baseado em teorias do mecanismo de erosão, requer a obtenção de informações fundamentais sobre as relações entre erosão e o sistema de manejo das culturas (MARTINS FILHO *et al.*, 2004 ; AMORIM *et al.*, 2010).

Segundo Martins Filho (2007), separar o processo de erosão em sulcos e em entressulcos pode ajudar a identificar fontes potenciais de sedimentos, o que é extremamente importante na modelagem da distribuição de produtos químicos nas

áreas agrícolas, principalmente aqueles que são fortemente adsorvidos pelas partículas do solo.

A manutenção de resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo é uma das melhores e mais efetivas medidas de controle da erosão em entressulcos, dissipando a energia de impacto das gotas de chuva que constitui uma barreira física e impede o livre escoamento superficial da água, influenciando na diminuição da erosão em entressulcos (MARTINS FILHO *et al.*, 2009; KNAPEN *et al.*, 2009; LICHNER *et al.*, 2011; SOUSA *et al.*, 2012).

Os modelos de predição de erosão existentes (USLE E RUSLE) foram desenvolvidos e ajustados para condições de clima temperado, condições estas bem diferentes do clima tropical, tornando-se de fundamental importância a verificação da aplicabilidade destes modelos para as condições edafoclimáticas brasileiras antes de serem extensivamente utilizadas para a predição da erosão, pois esses modelos necessitam de grande quantidade de propriedades, a maioria obtida com o uso de chuva simulada em campo e, ou laboratório (AMORIM *et al.*, 2010; NUNES *et al.*, 2008; MARTINS FILHO *et al.*, 2004; CHAVES 2010).

2.4.1 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ou USLE)

Entre 1954 e 1965, mediante apoio de agências de pesquisa e extensão dos EUA, foi proposta a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), que é um modelo empírico, posteriormente revisado e atualizado por Wischmeier e Smith (1978) e tem sido amplamente utilizada como um método de predição das perdas médias anuais de solo por erosão (CHAVES, 2010).

A EUPS foi desenvolvida especificamente para condições americanas e permite determinações confiáveis das perdas médias anuais de solo por erosão, contudo ha exceção também quanto à confiabilidade em algumas regiões dos EUA. Isto permite um tratamento estatístico adequado a ponto de permitir predições bem confiáveis, com relação a fatores que têm comportamento cíclico como a erosividade. No Brasil, a aplicabilidade da EUPS suscita dúvidas que são decorrentes da falta de informações quanto aos parâmetros da EUPS para as nossas condições climáticas. Entretanto, ha muitas informações já geradas por

pesquisadores brasileiros, as quais têm permitido o uso da EUPS, em algumas localidades brasileiras, com relativo grau de confiabilidade (MARTINS FILHO *et al.*, 2004; NUNES; CASSOL, 2008; SILVA *et al.*, 2009; MARTINS FILHO, 2009; CHAVES, 2010; SANTOS *et al.*, 2010).

Segundo Martins Filho (2009), a EUPS permite estimar a perda média anual de solo provocada pelas erosões laminar e em sulcos, em $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, que poderá ocorrer em determinada área, objetivando a adoção de medidas preventivas e/ou mitigadoras para que a quantidade de perdas de solo esteja dentro dos limites toleráveis, na qual os cinco fatores que levam à erosão são expressos da seguinte forma:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

em que,

A é o índice que representa a perda de solo por unidade de área $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$;

R é o fator erosividade da chuva ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$);

K é o fator erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ha^{-1}\ MJ\ mm$);

LS é o fator topográfico (adimensional);

C é o fator cobertura e manejo (adimensional), e

P é o fator práticas de controle da erosão (adimensional).

2.4.1.1 Erosividade da chuva (Fator R)

Erosividade é a capacidade da chuva em causar erosão pela desagregação e transporte das partículas de solo, decorrentes do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície do solo e do escoamento superficial. Essa habilidade é atribuída à intensidade da chuva e à distribuição do tamanho de suas gotas, características que afetam a energia cinética com que ela promove a desagregação e o transporte das partículas do solo (VALLE JUNIOR, 2008; SANTOS *et al.*, 2010).

A determinação da erosividade da chuva envolve um trabalho exaustivo de seleção e leitura de uma série de registros pluviográficos, sendo esses dados

escassos e, muitas vezes, de difícil acesso e isso faz com que informações relativas à erosividade estejam disponíveis apenas para pequeno número de localidades no Brasil (SANTOS *et al.*, (2010).

Para determinar numericamente essa capacidade erosiva das chuvas nos Estados Unidos, Wischmeier e Smith (1958) desenvolveram um índice intitulado EI_{30} , que é o resultado do produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em qualquer período de 30 minutos consecutivos (VALLE JUNIOR, 2008). Tanto o impacto da gota de chuva, a turbulência e o escoamento superficial acham-se bem combinados neste índice, daí sua elevada correlação com as perdas de solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Segundo Martins Filho *et al.* (2009), o modelo apresentado por Wischmeier e Smith (1958) subestima os valores da energia cinética calculada das chuvas nas regiões tropicais, devido à existência de altas intensidades de precipitação, diferentes distribuições de gotas, aliados frequentemente com elevada velocidade dos ventos.

Para a obtenção de um fator R confiável, estima-se que sejam necessários 20 a 30 anos de coleta de dados, entretanto, dada a falta de registros pluviográficos e a necessidade de maior rapidez na obtenção de conhecimentos sobre a erosividade, trabalhos têm sido divulgados abrangendo um número inferior de anos (WISCHMEIER; SMITH, 1978; MARTINS FILHO *et al.*, 2009); SANTOS *et al.*, 2010).

Segundo Wischmeier e Smith (1978) e Almeida (2009), citados por Santos *et al.* (2010), as chuvas serão consideradas erosivas e individuais desde que sejam maiores ou iguais a 10 mm ou maiores ou iguais a 6,0 mm, desde que ocorram em, no máximo, 15 min e separadas entre si por um período de no mínimo 6 h com uma lâmina de chuva de 1,0 mm ou menos. A erosividade é considerada como o fator mais ativo da erosão hídrica e ao longo do ano é ela que define a melhor época para o estabelecimento das práticas de manejo e conservação do solo, servindo ainda, como parâmetro de suporte a trabalhos de extensão e assistência rural, pois permite definir épocas críticas quanto à ocorrência da erosão (SANTOS *et al.*, 2010).

2.4.1.2 Erodibilidade do solo (Fator K)

A erodibilidade do solo, representada pelo fator K da EUPS, consiste na suscetibilidade do solo à erosão hídrica. É um atributo intrínseco de cada solo e constitui um fator fundamental para a previsão de perdas de solo e planejamento de uso da terra. Entre os atributos do solo que, de forma integrada, afetam a erodibilidade, destacam-se a permeabilidade do solo à água, a capacidade de armazenamento de água, a textura (principalmente os teores de silte), a coesão, o grau e o tipo de estrutura, C orgânico, os teores de óxidos de Fe e de Al, e o tipo de mineral de argila (SILVA *et al.*, 2009).

Cada tipo de solo apresenta um comportamento diferenciado quanto à susceptibilidade à erosão, isto é, cada um apresenta maior ou menor facilidade de degradação causada pela chuva, levando-se em conta os demais fatores como manejo, cobertura do solo, entre outros. As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade estão relacionadas com a velocidade de infiltração de água, permeabilidade, capacidade de absorção de água e suas características que determinam a resistência à dispersão, salpicamento, atrito e forças de transporte da enxurrada. Para se evitar a erosão é fundamental que se mantenha o solo sempre com uma boa cobertura vegetal, bem como técnicas mecânicas e vegetativas de conservação do solo e da água como adubação e calagem, eliminação das queimadas, plantio em nível, construção de terraço de canais escoadouros, bacias de contenção e controle de voçorocas. Isso possibilitará um aumento da taxa de infiltração de água no solo e menor escoamento superficial da água da chuva (MARTINS FILHO, 2009).

Segundo Martins Filho (2009), a erodibilidade (fator K) é uma das variáveis da Equação Universal de Perdas de Solo que expressa, quantitativamente a susceptibilidade do solo à erosão hídrica. Este fator depende de atributos como capacidade de infiltração de água e resistência à desagregação e ao transporte de partículas e pequenos agregados. O fator K pode ser determinado diretamente no campo, com chuva natural ou simulada, o que demanda tempo e altos custos no caso de chuva natural. Também pode ser estimado por meio de modelos

matemáticos que utilizam, como variáveis, atributos relacionados direta ou indiretamente com a resistência do solo à erosão.

O cultivo intensivo e o sistema de manejo interferem nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, promovendo alterações desses atributos e influenciando na capacidade produtiva do solo, entre eles, destaca-se a agregação do solo. Por isso a estabilidade dos agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado. O tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos, ou seja, as gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados por apresentarem sistema radicular extenso e renovado constantemente (PEREIRA *et al.*, 2009).

Os solos diferem em termos de susceptibilidade à desagregação e ao desalojamento das suas partículas, os quais são função da ação do impacto das gotas de chuva e do fluxo de enxurrada. Esses dois processos são dependentes das inerentes e diferentes propriedades físicas, químicas e mineralógicas que um solo apresenta, por ser um processo dependente não apenas das condições envolvidas na fase de desagregação, mas, também, pela capacidade de transporte do escoamento difuso (MARTINS FILHO, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Vários atributos do solo reconhecidamente afetam a sua erodibilidade. Dentre esses atributos, incluem-se: teores de óxidos de Fe e Al, textura, matéria orgânica, estrutura, umidade, ligações eletroquímicas, estabilidade de agregados e permeabilidade do solo. Solos com alta taxa de infiltração, elevados teores de matéria orgânica, bem estruturados e permeáveis oferecem maior resistência à ação erosiva das gotas de chuva e do fluxo de enxurrada. Solos com textura arenosa, franco-arenosa e franca são aqueles com altos teores de silte e areia fina. A textura do solo é, portanto, um importante fator que afeta a sua erodibilidade, afeta a desagregação e o transporte das partículas do solo. As partículas maiores ou grosseiras resistem mais ao transporte e aquelas menores ou mais finas à desagregação (MARTINS FILHO, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Segundo Martins Filho (2009), as propriedades do solo são dinâmicas, logo, elas podem ser alteradas o tempo todo e a erodibilidade também varia no tempo. Com as práticas de preparo e cultivo intensivas há um decréscimo nos teores de

matéria orgânica do solo, com isso ocorre uma degradação da sua estrutura, o que conduz a um aumento da sua erodibilidade.

2.4.1.3 Declividade do solo (Fator LS)

O Fator LS exprime o efeito combinado do grau de inclinação e do comprimento do declive. É um valor adimensional, pois é a razão entre perdas de solo e pode ser analisado separadamente, considerando-se o efeito do comprimento do declive, portanto, L é a razão entre a perda de solo obtida em uma rampa com um comprimento qualquer para o valor obtido em rampa com 22,13 m (comprimento padrão) sendo mantidas idênticas as demais condições (R, K, d%, C e P) (MARTINS FILHO, 2009).

O fator L pode ser expresso pela equação:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (2)$$

em que,

λ é o comprimento da rampa em metros, e

m é um expoente variável com a declividade do terreno.

O Fator S é a razão de perda de solo entre uma rampa com um declive qualquer para aquela obtida em rampa com 9% de declive (declive padrão) e com as demais condições idênticas (R, K, λ , C e P). O efeito do grau de inclinação, S, pode ser expresso como na equação:

$$S = 65,41 \text{ sen}^2\theta + 4,56 \text{ sen } \theta + 0,065 \quad (3)$$

em que,

$\text{sen}\theta$ = seno do ângulo de inclinação da rampa, e

θ expresso em graus ou porcentagem.

Na natureza as feições de uma rampa nem sempre são as de um plano inclinado, mas sim uma combinação entre conformações côncavas, convexas e

planas. Isto leva ao surgimento das rampas com conformações complexas, as mais comuns na natureza. A equação do fator LS está baseada em planos inclinados.

O fator LS é problemático, porque quando se extrapolam dados de perdas de solo obtidos em parcelas padrão para condições topográficas diferentes, um valor incorreto de LS pode levar a estimativas errôneas de perda de solo (MARTINS FILHO, 2009).

2.4.1.4 Cobertura e Manejo do Solo (FATOR C)

A cobertura vegetal exerce papel importante no processo de erosão entressulcos, porque intercepta as gotas da chuva, dissipa a sua energia, evitando a desagregação das partículas porque diminui a velocidade das enxurradas com consequentes reduções da capacidade de desagregação e quantidade de material transportado.

No início da chuva, a descarga líquida é muito pequena devido a infiltração ser mais elevada e, assim, o fluxo superficial é relativamente pequeno, não tendo capacidade para transportar todo o material desagregado pela ação do impacto das gotas de chuva, por isso há um crescimento inicial das taxas de desagregação do solo, pois este está relacionado ao das taxas de descarga líquida. À medida que o fluxo cresce, com o transcorrer do tempo de chuva, se torna capaz de transportar todo o material desagregado instantaneamente, inclusive aquele remanescente do período inicial, quando havia limitação da capacidade de transporte (FREITAS *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2009; LEITE *et al.*, 2009; VALLE JUNIOR *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Para um controle eficiente da erosão em entressulcos é importante a manutenção de cobertura vegetal sobre a superfície do solo, segundo Martins Filho *et al.* (2009); Knapen *et al.* (2009); Lichner *et al.* (2011); Sousa *et al.* (2012), uma vez que a presença de vegetais e/ou de seus resíduos altera as características do escoamento superficial gerado pela chuva, evitando a desagregação das partículas e a formação de selo superficial, reduzindo a velocidade da enxurrada e, dessa forma, reduzindo a sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo.

O fator C e o manejo do solo variam ao longo do tempo ou ano agrícolas, sendo mais suscetível às mudanças impostas pelo agricultor no terreno. Num sistema de preparo convencional (aração e/ou gradagem) durante a fase de preparo do solo este não apresentara cobertura vegetal viva ou morta, que dependerá da existência ou não do manejo dos resíduos culturais após a colheita da cultura quando diferentes porcentagens de cobertura vegetal viva ou morta serão possibilitadas ao solo (MARTINS FILHO, 2009).

Além disso, em todas essas fases haverá também diferente distribuição do potencial erosivo das chuvas e a erosão resultante dependerá das diferentes combinações do potencial erosivo das chuvas e da cobertura e manejo do solo. Isso nos mostra que o fator C é complexo e dependente da cultura, do espaçamento entre plantas, do desenvolvimento da cultura, do tipo de preparo do solo, da distribuição do potencial erosivo das chuvas, etc.(MARTINS FILHO, 2009).

Segundo Martins Filho (2009), o fator C da EUPS, para um específico sistema de manejo, é computado a partir das razões entre perdas de solo por erosão em estágios ou estádios de desenvolvimento da cultura, nos quais os efeitos da cobertura e sistemas de manejo podem ser considerados uniformes. Os referidos estádios são:

1) **Preparo do solo (P)** – vai do período de aração até o período de gradagem;

2) **Plantio ou sementeira (S)** – final do período P (Plantio) até 10% de cobertura vegetal (C.V.) oferecida ao solo.

3) **Período 1** – Estabelecimento da cultura – 10% a 50% de C.V.;

4) **Período 2** – Desenvolvimento da cultura – 50% a 75% de C.V.;

5) **Período 3** – Maturação da cultura – final do período 2 até a colheita. Este período é avaliado em três níveis:

3a) 80-90% C.V.;

3b) 90 – 96% C.V. e,

3c) 96 – 100% de cobertura vegetal oferecida ao solo.

6) **Período 4** – Resíduo – este período vai da colheita até o novo período de preparo ou sementeira (caso de plantio direto).

2.4.1.5 Práticas Conservacionistas (FATOR P)

O fator P é uma razão de perdas de solo obtida entre uma área com uma prática em contorno, sulcos ou linhas de cultivo ou terraceamento para aquela rampa preparada no sentido do declive. Dessa forma, nas duas áreas R, K, LS e C da EUPS são iguais.

As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capina. Para áreas terraceadas, o comprimento do declive a usar na determinação do valor de LS na equação é o intervalo entre terraços e o valor de P para uma área terraceada deverá ser o mesmo do plantio em contorno, uma vez que, reduzindo o comprimento do declive, reduzem-se as perdas de solo (MARTINS FILHO, 2009).

Segundo Martins Filho (2009), a eficácia do fator práticas e manejo são difíceis de avaliar. Consequentemente, poucos dados estão disponíveis para este propósito. O fator P pode ser medido em rampas padrões nas quais se avaliam os efeitos das operações agrícolas realizadas em contorno. A análise do fator P dependerá de dados obtidos em parcelas padrões comparados com aqueles de parcelas semelhantes, exceto quanto ao cultivo em contorno.

2.4.2 WEPP –Water Erosion Prediction Project

Dada as limitações da USLE, Laflen *et al.* (1991) comentaram sobre a necessidade do desenvolvimento de uma nova técnica para estimar as perdas de solo por erosão. Foi proposto, então, um modelo de representação do processo de erosão com fundamentação física, o qual foi designado WEPP – **Water Erosion Prediction Project** (NEARING *et al.*, 1989).

O WEPP é um modelo dinâmico de simulação que incorpora conceitos de erosão em entressulcos e em sulcos segundo Lane *et al.* (1992). O WEPP permite a simulação dos processos que ocorrem em determinada área, como uma função das condições atuais de clima, solo, cobertura vegetal e resíduos culturais.

O WEPP oferece diversas aplicações além das apresentadas pela USLE segundo Lane *et al.* (1992) e Ranieri (2000): 1) localização do desalojamento de sedimentos em encostas, tanto para eventos isolados de precipitação quanto para valores médios anuais; (2) avaliação dos diversos sistemas de produção agrícola; (3) estudo do efeito da rugosidade do terreno na distribuição dos sedimentos; (4) possibilidade de avaliar em tempo real a estimativa da erosão num dado local, o que constitui uma das principais vantagens do WEPP para planejamento.

Com o WEPP é possível responder diversas questões, dentre elas:(1) qual o melhor manejo do solo para um controle eficiente da erosão; (2) em que local da encosta poderão ser instaladas práticas permanentes para determinada condição de clima, solo e topografia e (3) qual será o impacto da conservação do solo fora da propriedade agrícola, isto é, impactos ambientais (sedimentação dos cursos d'água e reservatórios) (LAFLEN;FLANAGAN, 1992; RANIERI *et al.*, 2002).

Segundo Ranieri *et al.* (2002), este último aspecto pode ser considerado como um grande avanço que pode impulsionar o início de uma nova visão com relação aos objetivos da conservação do solo. Isto permitirá que as tomadas de decisões, em nível de planejamento, considerem não somente os efeitos da erosão na produção agrícola, mas também na qualidade da água superficial.

No Brasil, poucos estudos têm sido realizados objetivando a avaliação e a validação de modelos de perdas de solo, principalmente WEPP e RUSLE, segundo Amorim *et al.* (2010), pois tendo em vista que os modelos de predição de erosão existentes foram desenvolvidos e ajustados para condições de clima temperado, diferentes do nosso clima tropical, é fundamental que haja a verificação da aplicabilidade destes modelos para as nossas condições antes de serem extensivamente utilizadas para a predição da erosão. Deste modo, é fundamental a condução de pesquisas que tenham por objetivo determinar e propor métodos para estimar, por exemplo, o subfator para a cobertura vegetal do solo.

A erosão do solo no WEPP (equação 4), é descrita em termos dos processos de erosão em entressulcos e em sulcos, considerando-se o desalojamento, a deposição, a tensão cisalhante, o escoamento nas áreas entressulcos e em sulcos, e a capacidade do fluxo de água transportar sedimentos (NEARING *et al.*, 1989).

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} = D_f + D_i \quad (4)$$

em que,

∂q_s - taxa de transporte de sedimento por unidade de largura ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$);

∂x - comprimento do declive;

D_f - taxa de erosão em sulcos ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$);

D_i - taxa de erosão em entressulcos ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$).

As taxas de erosão em entressulcos e em sulcos foram obtidas através das seguintes equações:

$$D_i = C_i K_i I^2 S_f G_e (R_s/w) \quad (5)$$

$$D_f = C_r K_r (\tau - \tau_{cr}) (1 - G/T_c) \quad (6)$$

em que,

G - carga de sedimento ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$);

C_i - parâmetro de cobertura do dossel nos entressulcos (adimensional);

K_i - parâmetro erodibilidade do solo entressulcos ($\text{kg m}^{-4} \text{ s}^{-1}$);

I - intensidade de chuva (m s^{-1});

S_f - fator declividade do entressulcos (adimensional);

G_e - cobertura efetiva da superfície do solo (adimensional);

R_s - espaçamento entre os sulcos (m);

w - largura dos sulcos (m);

C_r - parâmetro cobertura dos sulcos (adimensional);

K_r - erodibilidade do solo dos sulcos (s m^{-1});

τ - tensão cisalhante (Pa);

τ_{cr} - tensão cisalhante crítica (Pa); e

T_c - capacidade de transporte do escoamento ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$).

A equação 5 descreve a erosão entressulcos, a qual decorre da desagregação das partículas do solo pelo impacto das gotas d'água e que são transportadas para os sulcos.

A separação do processo de erosão em entressulcos e em sulcos pode ajudar a identificar fontes potenciais de sedimentos, o que é extremamente importante na modelagem da distribuição de produtos químicos nas áreas agrícolas, especialmente daqueles que são fortemente adsorvidos pelas partículas do solo (MARTINS FILHO, 2007).

Em áreas ou terras agricultáveis, a erosão do solo caracteriza-se como a principal fonte difusa ou não pontual de poluição. Segundo Nearing et al. (2001), no fluxo de enxurrada, poderá haver elevada concentração de matéria orgânica e nutriente essencial às principais plantas cultivadas. O sedimento das áreas em entressulcos pode carrear altas concentrações de contaminantes, quando produtos químicos são aplicados em superfície. Em contraste, o sedimento dos sulcos pode conter mais contaminante quando os produtos químicos são aplicados de forma localizada e concentrados.

Sistemas conservacionistas, como o cultivo mínimo e o plantio direto, podem reduzir substancialmente as perdas de solo por erosão, se comparado com os sistemas de preparo convencional, segundo Cogo et al. (2003). A colheita mecanizada da cana-de-açúcar, a denominada cana crua, caracterizada pela não-despalha, com o uso do fogo na pré-colheita, torna-se, nesse contexto, um sistema interessante visto que ha conservação do solo e da água. Segundo Walton et al. (2000), no sistema de cana crua, a erosão do solo é reduzida porque ha um menor número de operações de preparo e, também, pela presença de uma camada de resíduos que é deixada sobre a superfície do solo após a colheita.

Os resíduos vegetais, quando deixados ou mantidos em contato direto com a superfície do solo, são extremamente eficientes em controlar o processo de erosão em entressulcos (MARTINS FILHO et al., 2009; SILVA et al., 2012, SOUSA et al., 2012).

A relação entre taxa de desagregação e a presença de cobertura vegetal, no processo de erosão em entressulcos, pode ser modelada como (MARTINS FILHO et al., 2009):

$$D_i = K_i R I S_f C_i \quad (7)$$

em que,

D_i é a taxa de erosão em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

R é a taxa de enxurrada (m s^{-1});

I é a intensidade de chuva (m s^{-1});

K_i é a erodibilidade em entressulcos (kg s m^{-4});

S_f é o fator declividade, e

C_i é o coeficiente de cobertura do solo.

O coeficiente C_i é o produto de uma combinação de subfatores tal que (MARTINS FILHO *et al.*, 2009):

$$C_i = C_{ii} C_{iii} C_{iiii} \quad (8)$$

em que,

C_{ii} é o subfator relativo à cobertura vegetal oferecida pelo dossel ou copa da planta;

C_{iii} é o subfator relativo à cobertura por resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo, e

C_{iiii} é o subfator que expressa o efeito da incorporação de resíduos vegetais ao solo em função do seu uso e manejo.

Segundo MARTINS FILHO *et al.* (2009), quando a cobertura do solo é constituída, exclusivamente, por resíduos em contato com a superfície, o fator cobertura e manejo (C_i) do modelo (1) iguala-se ao subfator C_{iii} (efeito tipo II). Nessa condição, os subfatores C_{ii} e C_{iiii} assumem valores unitários.

Segundo Foster (1982) é possível estimar o efeito tipo II, a partir de parâmetros relativos à porcentagem de solo coberto por resíduos e das características hidráulicas do fluxo superficial, como:

$$C_{iii} = \zeta e^{0,21 [(Y_c/Y_d) - 1]} 1,18 \quad (9)$$

em que,

C_{iii} é o subfator cobertura do solo para resíduos em contato com a superfície;

ζ é a fração da superfície exposta ao impacto direto das gotas da chuva;

Y_c/Y_d é a razão da altura da lâmina da água na superfície com cobertura, e (Y_c) e sem cobertura (Y_d).

Outra expressão, porém, mais simples que a equação (9), foi proposta por Laflen *et al.* (1985) para estimar C_{iii} como:

$$C_{III} = e^{-2,5 CS/100} \quad (10)$$

em que,

C_{III} é o subfator cobertura do solo para resíduos em contato com a superfície, e

CS é a porcentagem da superfície entressulcos coberta por resíduos.

Os autores Bezerra e Cantalice (2006) e Silva *et al.* (2012) concluíram que os resíduos da cana-de-açúcar em contato direto com o solo propiciaram um aumento da rugosidade hidráulica, enquanto o dossel, pela interceptação da chuva, retardou o início do escoamento superficial, com o subsequente aumento das taxas de infiltração de água no solo e redução das taxas de erosão em entressulcos.

2.5 O Capim Tifton 85

De acordo com Pereira *et al.* (2009), estima-se que na região de cerrados a maioria das pastagens existentes na região, mais da metade estejam ocupados com *Brachiaria decumbens*. No Estado de Goiás, os Latossolos são cultivados com gramíneas do gênero *Brachiaria* e, dentre elas, pode-se destacar o braquiarião, uma das espécies mais cultivadas, pois essas espécies são menos exigentes em termos nutricionais e são tolerantes à acidez do solo. Segundo esse autor, o capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. *Tanzânia*), originado da África é outra cultivar muito utilizada na região, possuindo boa altura média, boa produção de massa verde e protege bem o solo quando adubado e manejado de forma adequada.

O capim Tifton-85 é um híbrido do gênero *Cynodon*, resultante de trabalhos de melhoramento genético realizados nas Universidades da Geórgia e Flórida, nos Estados Unidos, fruto do trabalho da equipe do professor Dr. Glenn W. Burton. A *Cynodon spp. cv. Tifton 85 – Bermudagrass* é o resultado do cruzamento do *Tifton 68* com a introdução *PI 290884*, proveniente da África do Sul, foram registradas e liberadas para plantio nos Estados Unidos em 1992, portanto, de lançamento recente e considerado até o momento o melhor híbrido do gênero *Cynodon* para formação de pastagens (PEREIRA *et al.*, 2012).

As primeiras áreas desta cultivar foram implantadas no Brasil provavelmente em 1993. Os dados preliminares de pesquisa demonstram um grande potencial desta planta forrageira, que concilia diversas características desejáveis a uma planta forrageira, tais como: alta produtividade, grande participação de folhas na massa total, alta densidade populacional garantindo uma grande ocupação do terreno; rápida formação do estande inicial da pastagem, em função do vigoroso crescimento dos rizomas e estolões, ocupando rapidamente o solo o que dificulta a ocorrência de erosões e o aparecimento de plantas invasoras (Figura 1). É bastante tolerante ao fogo em função da presença dos rizomas; grande flexibilidade de uso, podendo ser empregado tanto para pastejo como para conservação de forragem; baixa susceptibilidade a doenças e razoável tolerância à cigarrinha das pastagens; adaptação a variados tipos de solos (textura) e a uma grande diversidade de climas e alta capacidade de resposta a fertilizações (AZAR, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012).



FIGURA 1. Capim Tifton-85. Fonte: Google. Acesso em 19/11/2012

Essa gramínea é resistente ao frio, porém não é produtiva em condições de baixa temperatura. Nas nossas condições climáticas este padrão de comportamento já vem sendo explorado, porque nos meses de inverno é realizado sobre plantio de forrageiras hibernais (aveia, azevém e outras) para pastejo ou corte, possibilitando o aproveitamento integral destas áreas em todo o ano sem comprometer o estande de Tifton 85, que após a utilização das culturas anuais rebrota e retoma seu ciclo normal. Segundo esses autores, o capim Tifton 85 tem alto valor alimentício em

função de apresentar elevados níveis nutricionais e uma boa digestibilidade (55 a 60%) em relação a outras forrageiras tropicais. Tem maior custo inicial devido a sua implantação ser realizada apenas por mudas (Figura 2). Não difere muito de outras forrageiras quanto à sazonalidade de produção (76% concentra-se em seis meses do ano) limitando a sua utilização em determinadas épocas (AZAR, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012).



FIGURA 2. Sistema de Pastejo Rotacionado de Tifton 85. Área de pastejo na propriedade do Sr. Antônio de Brito em Sidrolândia-MS - Foto: Eng.Agr. Mário Barbosa

A Embrapa Gado de Leite tem desenvolvido pesquisas com o intuito de definir o melhor manejo para esta gramínea, considerando a produção intensiva de leite com animais de elevado potencial produtivo e os resultados obtidos têm sido promissores com taxas de lotação de 5 a 7 vacas/ha, com produções diárias de leite de até 104 kg/ha, e permitem inferir que a produção de leite em pastagens de forma intensiva e racional é mais lucrativa que a produção em modelos exclusivamente de confinamento.

O primeiro trabalho conduzido na Embrapa Gado de Leite comparou um grupo de vacas mantidas em pastagem de *coast-cross* recebendo três kg/vaca/dia de concentrado, com um segundo grupo mantido estabulado, recebendo dieta completa com cerca de seis kg/vaca/dia de concentrado nessa mistura. O grupo mantido em confinamento produziu em média 5.768 kg de leite/vaca, em 280 dias,

enquanto o grupo a pasto produziu 4.648 kg/vaca, no mesmo período – uma redução de 19,4% na produção de leite. A margem bruta obtida com o grupo a pasto, no entanto, foi 34,4% superior àquela margem obtida com o grupo confinado, em função da redução de 55,3% nos custos de produção. Os modelos de produção com forrageiras do gênero *Cynodon*, têm revelado alta capacidade para reduzir custos e aumentar os lucros da atividade. A redução no custo, associada ao aumento da escala de produção de leite deve ser o caminho para obtenção de maior lucro e permanência na atividade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

A área experimental localiza-se nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) e situa-se no município de Uberaba-MG (Figura 3), nas coordenadas geográficas de 19° 39' 19" latitude sul e 47° 57' 27" longitude oeste a 795 metros de altitude em média. A topografia do município faz parte do Planalto Arenito Basáltico da Bacia do Paraná e o relevo varia de plano ligeiramente ondulado na maioria absoluta da área até fortemente ondulado em pequenas manchas de solos podzólicos, sendo 60% de relevo ondulado e 40% de relevo plano. Geologicamente é formada por rochas sedimentares (arenito) do período cretáceo de formação Bauru e os solos são em sua maioria classificados como latossolo roxo distrófico e latossolo vermelho amarelo textura média e LVA-textura argilosa, conforme informações da Prefeitura Municipal de Uberaba (Uberaba em Dados-2008). O solo da área experimental foi classificado, segundo Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho textura média.



FIGURA 3. Mapa do município de Uberaba-MG. Fonte: Uberaba em dados. Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo-Prefeitura Municipal de Uberaba

Uberaba está submetida a um clima tropical chuvoso, climas de monção seco com inverno seco e verão úmido, Aw, segundo a classificação de Köppen e as estações são climaticamente definidas apresentando estação fria e estação quente como características marcantes (Tabela 2).

TABELA 2. Dados climáticos do município de Uberaba (MG) - 2008

Clima	Quantidade
Temperatura média anual	23,2º C
Temperatura média – das máximas	30,2º C
Temperatura média – das máximas dos meses mais quentes (Jan.,Fev.,Mar.,Abr.,Set.,Out.,Nov.,Dez.)	31,4º C
Temperatura média – das mínimas	17,6º C
Temperatura média – das mínimas dos meses mais frios (Mai/Jun/Jul)	13,6º C
Temperatura mínima absoluta (ocorrida no dia 02/05/2009)	7,0º C
Precipitação pluviométrica (Total)	2.181 mm
Precipitação pluviométrica – mês mais seco (Julho)	0 mm
Precipitação pluviométrica mês mais chuvoso (Dezembro)	468 mm
Número de dias de chuva	118
Quantidade máxima de água/dia (ocorrida no dia 16/12/2008)	75 mm

Fonte: SAGRI – junho/2009 – (Prefeitura Municipal de Uberaba)

A Estação Climatológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) se localiza nas coordenadas geográficas 19º 44' 13,3851 latitude sul com um erro de mais ou menos 0,009381, e 47º 56' 59,065095" longitude oeste com um erro de mais ou menos 0,0024146 e altitude de 738,1429 m com um erro de mais ou menos 0,05572 segundo informações EPAMIG 2008. Detalhamos mês a mês os dados climáticos (Tabela 3), as variações da temperatura e precipitação pluviométrica (Tabela 4) ocorridas durante todo o ano de 2008, dados de climatologia (Tabela 5) e dados de temperatura (Tabela 6) do município de Uberaba, conforme informações prestadas pela EPAMIG através da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo da Prefeitura Municipal de Uberaba.

TABELA 3. Detalhamento das variações de temperatura e precipitação ocorridas durante o ano de 2008 no município de Uberaba(MG)

Meses	Tm (°C)	T23,1x (°C)19,9	Tx abs. (°C)	Tn (°C)	Tnabs (°C)	P.pluvial (mm)	Ppx (mm)	Dias chuvas (nº.)	U.R. (%)
Jan.	23,5	29,5	34,0	19,5	17,6	341,9	48,3	21	78,6
Fev.	23,3	30,2	34,0	19,5	17,6	385,3	128,6	18	80,3
Mar.	23,5	30,5	34,5	18,9	16,2	321,4	73,0	15	76,0
Abr.	23,1	29,5	34,0	19,0	15,0	236,0	47,0	13	76,9
Mai.	19,9	27,7	30,5	14,6	8,0	113,0	4,5	19	71,6
Jun.	20,1	28,4	30,1	15,1	9,4	0,0	0,0	0	66,5
Jul.	19,4	28,5	31,3	12,0	8,4	0,0	0,0	0	52,4
Ago.	22,5	30,9	33,9	16,0	13,8	18,8	9,2	2	48,4
Set.	23,1	32,6	36,9	15,9	7,2	40,2	25,0	3	52,2
Outu.	25,4	32,0	38,9	20,2	16,6	68,8	19,2	5	57,8
Nov.	24,4	31,0	35,5	19,9	17,8	110,4	28,8	10	67,0
Dez.	23,5	29,9	33,9	19,4	13,2	444,4	96,0	17	74,5

Em que: **Tm** é a temperatura média diária nomes; **Tx** é a temperatura média das máximas; **Txabs** é a temperatura máxima nomes; **Tn** é a temperatura média das mínimas, **Tnabs** é a temperatura mínima nomes, **P.pluvial** é a precipitação total mensal, **Ppx** é a precipitação pluvial máxima em 24 horas e **U.R.** é a umidade relativa média diária no mês.

Fonte: EPAMIG 2008.

TABELA 4. Precipitação pluviométrica mensal (mm)

Mês/ Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2001	175,0	147,0	174,0	27,5	28,5	0,4	24,0	74,0	30,0	95,0	212,0	243,0	1.230,4
2002	309,0	354,0	126,0	9,0	65,0	0	12,0	1,0	97,0	105,0	255,0	290,0	1.626,0
2003	721,0	250,5	370,0	158,5	85,5	0	4,0	15,5	71,0	144,5	208,5	275,0	2.304,0
2004	306,5	469,0	217,5	207,5	60,5	46,0	36,0	0	15,0	226,5	168,6	562,5	2.315,6
2005	395,2	110,3	258,6	32,7	101,4	0	5,5	38,6	73,7	144,2	217,6	297,5	1.675,3
2006	317,0	359,5	363,0	87,0	35,5	4	0	35,0	74,0	307,5	201,5	354,0	2.138,0
2007	467,5	232,0	100,5	106,0	25,0	0	21,0	0	40,0	154,0	266,0	441,0	1.853,0
2008	468,0	362,0	300,0	244,0	67,0	5	0	21,0	42,0	95,0	146,0	430,0	2.180,0
2009	335,0	338,0	246,0	61,0	44,0								

Fonte: SAGRI – Junho/2009.

TABELA 5. Climatologia: – médias mensais – últimas décadas

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Nº dias chuva 1961-1994	19	16	15	8	4	2	2	2	6	11	14	19
Chuvas (mm) 1914-1994	272	228	193	100	50	18	14	11	56	145	198	276
(%) Umidade Relativa 1931-1994	79	79	78	76	73	70	64	58	60	68	74	79

Fonte: 5º DISME, EPAMIG/MG/SAGRI/SAI Rural

TABELA 6. Tabela 6. Temperaturas

Ano	Médias	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2005	Mínima	21,0	19,4	24,6	19,1	16,1	15,0	13,3	14,5	17,6	20,2	19,8	19,7
	Média	24,5	25,0	24,6	24,5	21,5	20,2	19,3	21,5	22,9	24,5	23,9	23,3
	Máxima	30,2	32,4	31,7	32,0	29,1	27,9	27,4	31,1	30,4	33,7	30,5	28,7
2006	Mínima	19,7	30,2	20,4	17,7	11,6	12,9	12,9	14,7	16,6	18,7	19,3	20,5
	Média	24,5	24,2	24,2	23,1	19,0	19,0	19,9	22,3	22,7	23,6	23,6	24,3
	Máxima	31,1	31,1	31,0	30,7	28,7	27,8	29,8	31,7	30,6	30,3	29,6	30,2
2007	Mínima	20,7	20,0	19,3	18,5	14,1	12,4	12,5	13,4	17,9	19,6	19,4	20,1
	Média	23,4	24,7	24,8	23,7	20,2	19,4	19,4	21,6	25,2	25,8	24,1	24,2
	Máxima	30,4	31,6	32,5	31,5	28,4	28,6	28,8	31,0	34,1	34,1	30,6	30,6
2008	Mínima	19,5	19,5	18,9	19,0	14,6	15,1	12,0	16,0	15,9	20,2	19,9	19,4
	Média	23,5	23,3	23,5	23,1	19,9	20,1	19,4	22,5	23,1	25,4	24,4	23,5
	Máxima	34,0	30,2	30,5	29,5	27,7	28,4	28,5	30,9	32,6	38,9	31,0	29,9

Fonte: EPAMIG – 2008.

O solo da área experimental apresenta 220 g kg⁻¹ de argila, 730g kg⁻¹ de areia e 50 g kg⁻¹ de silte até a profundidade de 40 cm. A fração areia é composta por 1% de areia grossa, 21% de areia média, 37% de areia fina e 14% de areia muito fina. Os atributos químicos são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7. Valores médios dos atributos químicos do solo – profundidade. 0,00 - 0,20 m

pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	g dm ⁻³	mg ₃ dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%
5,04	23,2	31,66	0,19	1,87	0,36	2,42	4,85	50,11

A vegetação natural é constituída por cerrado e por cultivo de culturas agrícolas e o relevo é predominantemente suave ondulado com declividade média variando de 2 a 8%. A área experimental está sob cultivo de pastagem.

Para a realização dos trabalhos, foi efetuado o mapeamento e georreferenciamento de uma área de 5 (cinco) hectares irrigados pelo sistema de aspersão em malha que é cultivada com capim Tifton-85 (*Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis*), implantada em 2003 e 2004, que apresenta um histórico de ocupação anterior em pastagem por mais de 10 anos consecutivos por pastagem com a gramínea *Brachiaria decumbens*.

O histórico da área apresenta uma ocupação originariamente por cerrados e posteriormente por pastagem com a gramínea Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em condição de elevado estágio de degradação, até que em 1984, a gramínea foi erradicada e iniciado um sistema de plantio alternado entre milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) até meados de 1993. No final de 1993 foi implantado na área pastagem com *Brachiaria decumbens*, que se manteve até meados de 2002. No final do ano de 2002 e início de 2003 a braquiária foi erradicada e substituída, por meio de mudas, pela forrageira tifton-85.

Informações até 2002 sobre o preparo de solo, práticas de conservação do solo, correção e adubação da área não possuem registros. Para a implantação do tifton-85, em 2003, a área foi corrigida com calcário dolomítico e adubada com superfosfato triplo, sem informações das dosagens. O tifton foi implantado por meio de mudas após uma aração e duas gradagens, sendo que a segunda gradagem foi adotada para incorporar as mudas ao solo. Posteriormente à implantação do tifton-85 a área foi submetida a uma adubação “pesada” com farinha de ossos e com “cama de frango”, sem registros de época e dosagens.

A adubação, com registros de 2007 até 2009, realizada na área experimental foi de 360 Kg N ha⁻¹, na forma de uréia, aplicados em superfície manualmente, em 6 doses iguais ao ano; 46 Kg P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹, na forma de superfosfato simples, aplicados em superfície, por meio de um distribuidor de calcário, em uma única vez, no início da estação das águas, juntamente com 60 Kg de micronutrientes (FTE) e, 340 Kg de K₂O ha⁻¹ ano⁻¹, na forma de cloreto de potássio, aplicados em superfície por meio de um distribuidor de calcário, duas vezes iguais, sendo uma em janeiro e a outra em dezembro.

3.2 Preparo da área experimental

Para a execução dos trabalhos foi utilizada a área de 5 hectares com mais de 10 anos de manejo consecutivos de pastagens cultivadas com capim Tifton-85, que foi dividida em três baterias de 8 piquetes cada e delimitadas com arame energizado (Figura 2). O manejo animal adotado foi o de pastejo rotacionado, com três dias de ocupação e 21 dias de descanso.

A área é ocupada com a criação de bovinos leiteiros da raça girolando com lotação animal rotacionada dentro dos piquetes de três dias de ocupação e vinte e um dias de descanso para a recuperação das forrageiras no período das águas e de cinco dias de ocupação e trinta e cinco dias de descanso na época da seca, uma vez que o clima seco reduz a taxa de crescimento da forrageira.

No dia anterior à entrada dos animais no piquete foi feita uma estimativa da matéria seca disponível para determinar a quantidade de lotação animal (UA/ha) a serem inseridos dentro do piquete. Para estimar a produção de matéria seca por piquete utilizou-se amostras da matéria verde acima da altura de corte recomendada para o Tifton (10 cm), cortadas manualmente com o auxílio de um cutelo e secas em estufa a 105° C por 24 horas. Na época das águas a oferta de forragem foi de 5% do peso vivo médio e na época da seca de 7% do peso vivo médio dos animais.

Os animais entram nos piquetes números "1" e após o consumo da forragem disponível, estabelecido pelo período de ocupação (três dias), são transferidos para os piquetes subsequentes por igual período e assim sucessivamente até retornarem ao piquete número "1" (Figura 4).



FIGURA 4. Detalhe do local do experimento

Nos piquetes foram estabelecidos os 36 pontos de simulação de chuva com ajuda de equipamento de posicionamento global (GPS). Para definir os tratamentos (0%, 25%, 50% e 100% de cobertura de Tifton-85) foi realizado um sorteio utilizando-se um quadro metálico com as dimensões internas do simulador de chuvas subdivididas em oito partes iguais chamadas de células. Em seguida, sorteou-se a qual parcela de cobertura vegetal do solo ou tratamento se referia: sem cobertura (0%) e com cobertura vegetal de (25%, 50% e 100%). Por exemplo, com a remoção integral da vegetação, correspondente a 8, 6, 4 e 0 células obteve-se, nesta ordem, as percentagens de cobertura de solo iguais a 0%, 25%, 50% e 100%.

Em seguida foi realizado o preparo do local antes da instalação do simulador de chuva, com uso de enxadão para a retirada da cobertura vegetal, sacho para a retirada dos estolões e raízes superficiais e rastelo de mão para escarificação do solo no sentido da declividade do terreno, conforme Figura 5.



FIGURA 5. Preparo das parcelas experimentais

Logo, o experimento foi conduzido em duas etapas: I) coleta de dados para modelar o fator cobertura e manejo do solo (C_i) no processo de erosão em entressulcos e, II) coleta de dados para validação de modelo para estimativas do fator C_i .

Na etapa I o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos de 0%, 25%, 50% e 100% de cobertura vegetal e seis repetições, totalizando 24 parcelas. Na etapa II foi utilizado um DIC com quatro tratamentos (0%, 25%, 50% e 100% de cobertura vegetal) e três repetições, totalizando 12 parcelas.

3.3 Simulação de Chuvas

Para avaliar o processo de erosão em entressulcos as 36 parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidade média de 60 mm h^{-1} durante 60 minutos nos pontos de simulação de chuvas georreferenciados e distribuídos conforme apresentamos no mapa da Figura 6.

Cada lateral da malha do simulador de chuva foi composta por três microaspersores (Figura 7), cuja disposição e diâmetro de seus bocais foram selecionados objetivando uma lâmina de aplicação próxima a 60 mm h^{-1} , conforme Bertol *et al.* (2007). Para isto convencionou-se a utilização do microaspersor marca Naandam modelo HEADR 7110, com dois bocais de 1 mm de diâmetro, dispostos nas extremidades de cada lateral e o terceiro bocal, no centro da lateral, com 1,6 mm de diâmetro.

Contornando a base do simulador (Figura 8) foi instalada uma chapa de aço com 0,40 m de altura e 4 mm de espessura com a finalidade de delimitar a parcela e ser cravada no solo a uma profundidade de 15 cm no momento de sua instalação e na lateral inferior, no sentido da declividade do terreno foi feita uma abertura de 0,10 m por onde se realizou a coleta de enxurrada.



FIGURA 8. Parte inferior do simulador de chuva (calha coletora)

Para determinar a uniformidade de distribuição de água dos microaspersores, foi utilizada a Equação (11), analisando 20 recipientes dispostos na área útil do simulador, (Figura 9), devidamente testados e calibrados obtendo-se uma uniformidade média aproximada de 60 mm h^{-1} , conforme metodologia proposta por Christiansen (1942).

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \quad (11)$$

em que,

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, (%);

n = Número de observações;

X_i = Lâmina de água aplicada em cada coletor, (mm h⁻¹);

\bar{X} = Lâmina média aplicada, (mm h⁻¹).



FIGURA 9. Realização do CUC em parcela a ser submetida à simulação de chuva.

A água utilizada para a simulação das chuvas foi armazenada próximo ao experimento em um reservatório com capacidade para 300 m³, que é utilizado para irrigar os cinco hectares relativos à área irrigada da pastagem.

3.4 Coleta de dados

A coleta de dados teve início em setembro de 2009 com a demarcação de pontos da área experimental utilizando-se de equipamento de sistema de posicionamento global (GPS) para obtenção de uma malha regular da área (Figura 6) e a coleta de amostras em cada um destes pontos iniciou-se em abril de 2010.

Nos piquetes referentes às épocas 1 e 2 partindo dos pontos georreferenciados foram demarcados dois pontos em sentidos opostos, com 5 metros de distância do referido ponto, para a realização da simulação das chuvas.

Ao lado do ponto de simulação foram efetuadas as coletas de solo nas profundidades de 0-0,10m e 0,10m-0,20m (Figura 10), para determinação de densidade, umidade e fertilidade do solo, em seguida foi efetuada a coleta de matéria verde para posterior determinação da matéria seca em laboratório, além de levantamento de dados para o cálculo da declividade do terreno.

Foi coletada, também, em três pontos ao lado de cada simulação de chuva, com o auxílio de um quadro metálico de 1 m², a matéria verde (MV) acima da altura recomendada para a saída dos animais dos piquetes (10 cm). A MV foi cortada manualmente com o auxílio de um cutelo e pesada para estimativa da produção de MV na área. Amostras da MV foram pesadas e embaladas em sacos de papel e secas em estufa a 105° C por 24 horas para determinação dos teores médios de matéria seca (MS) da forrageira, os quais foram 26,69%, nos piquetes da época “1” e de 31% nos piquetes da época “2”.

As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidade de 60 mm h⁻¹ durante 60 minutos. Em todas as ocasiões em que a velocidade do vento era superior a 2 m s⁻¹, os trabalhos eram interrompidos, isto é, abortava-se a simulação de chuva e os dados até então coletados eram descartados, porque nesses casos as gotas de chuva caíam fora da parcela experimental interferindo nos resultados.



FIGURA 10. Coleta de solo para análise química e física.

Durante cinco minutos promoveu-se uma chuva de umedecimento inicial para dar ao solo condição de umidade uniforme em todas as parcelas e, em seguida, foram realizadas amostragens para medidas de vazão dos escoamentos superficiais e das concentrações de sedimentos que foram realizadas no 5º. minuto após o início da enxurrada, e a partir daí, as amostras foram coletadas em recipientes de plástico

com capacidade de 1 Litro a cada 5 minutos, devidamente cronometrados até totalizar 1 hora e após identificadas, foram conduzidas ao laboratório para quantificação da concentração de sedimentos, volume de solução e a determinação do peso seco do solo.

Os volumes da solução coletada foram deixados em repouso por 24 horas para a deposição dos sedimentos e em seguida passaram pelo processo de filtragem e secagem em estufa de circulação de ar a 105°C durante 24 horas (Figuras 11 e 12).

Nos laboratórios, foram utilizados filtros de papel tamanho 103 e Becker com capacidade de 50 ml que foram devidamente identificados. Tanto os papéis-filtro como o Becker foram submetidos à secagem em estufa para se evitar que a umidade do ar interferisse no seu peso e, após dessecação, foram pesados em balança com resolução mínima de 0,0001 g para a obtenção da tara de cada um.



FIGURA 11. Processo de filtragem do material de coleta de enxurrada



FIGURA 12. Secagem do material do sedimento após filtragem

Após a filtragem (Figura 11), coletou-se 20 ml desse material no Becker e em seguida, tanto os filtros como Becker devidamente identificados contendo os sedimentos foram deixados em repouso por 24 horas para escorrer o líquido contido nos filtros, e em seguida submetido ao processo de secagem em estufa (Figura 12). Após a secagem, os papéis filtro e Beckers foram novamente pesados, determinando-se o peso seco de solo contido em cada um.

A concentração de sedimentos foi obtida considerando-se o volume da suspensão, a densidade da água e do sedimento na suspensão, conforme descrito por Martins Filho *et al.*,(2009).

As taxas de desagregação do solo em entressulcos D_i ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram determinadas conforme a equação 12:

$$D_i = \frac{m_s}{At} \quad (12)$$

em que,

m_s = massa de solo desagregado (kg);

t = tempo de coleta, s, e

A = área da parcela, m^2 .

Os valores de D_i foram normalizados para o valor de intensidade de chuva planejado de 60 mm h^{-1} de acordo com a equação 13:

$$D_{in} = \left(\frac{I_p}{I_o} \right)^2 \quad (13)$$

em que,

D_{in} é a taxa de desagregação do solo em entressulcos normalizadas, ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

D_i é a taxa de erosão em entressulcos observadas, ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

I_p é a intensidade de chuva planejada, (mm h^{-1}), e

I_o é a intensidade de chuva observada, (mm h^{-1}).

A taxa de infiltração de água no solo foi determinada como sendo a diferença entre a intensidade da chuva e a taxa de enxurrada.

O efeito da cobertura do solo por gramínea, fator C_i , foi determinado com o modelo da equação 14:

$$C_i = \frac{D_i}{(K_i I R S_f)} \quad (14)$$

em que,

D_i é a taxa média de erosão entressulcos, observada nas parcelas sem coberturas do solo, obtida nos 15 últimos minutos das amostragens de enxurrada, $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$;

K_i é a erodibilidade do solo, $\text{kg m}^{-4} \text{s}^{-1}$;

I é a intensidade de chuva, $m s^{-1}$;

R é a taxa de enxurrada, $m s^{-1}$ e,

S_f é o fator declividade.

Os valores de D_i obtidos nas parcelas sem cobertura, nos últimos 15 minutos das amostragens de enxurrada foram utilizados para se estabelecer a erodibilidade em entressulcos K_i ($kg s m^{-4}$). O fator declividade (S_f) foi determinado conforme a equação 15:

$$S_f = 1,05 - 0,85 e^{-4\text{sen}\theta} \quad (15)$$

em que,

e é a base do logaritmo natural e ,

θ é o ângulo do declive em graus.

O valor da altura do fluxo superficial, y (m) foi obtida como descrito por CANTALICE *et al.*,(2009) na equação 16:

$$y = \frac{q}{v} \quad (16)$$

em que,

q é a descarga líquida por unidade de largura, $m^2 s^{-1}$, e

v é a velocidade média do escoamento, $m s^{-1}$.

O número de Reynolds (R_e , adimensional) foi obtido conforme a equação 17:

$$R_e = \frac{q}{v} \quad (17)$$

em que,

q é a descarga líquida por unidade de largura, ($m^2 s^{-1}$), e

v é a viscosidade cinemática da água, ($m^2 s^{-1}$).

Os valores da viscosidade cinemática da água foram determinados pela equação 18:

$$v = [1,14 - 0,031 (T - 15) + 0,00068 (T - 15)^2] \times 10^{-6} \quad (18)$$

em que,

T é a temperatura da água em $^{\circ}C$.

Segundo resultados apresentados por Lowe, (2003), quando $Re < 500$, $Re > 500$ e $Re > 2.000$, o fluxo foi considerado laminar, turbulento transicional e completamente turbulento, respectivamente.

Para obter o valor de Froude (Fr , adimensional), foi utilizada a seguinte expressão:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (19)$$

em que,

g é a aceleração da gravidade, ($m s^{-2}$) e

h é a altura do fluxo superficial, (m).

Conforme Grant (1997), quando $Fr > 1$, o fluxo é denominado de supercrítico e, no caso contrário, de subcrítico.

Os valores da rugosidade hidráulica ao escoamento superficial foram obtidos determinando-se o coeficiente de rugosidade de Manning (SILVA *et al.*, 2012):

$$n = \frac{1}{v} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (20)$$

em que,

Rh é o raio hidráulico, (m), e

S é a razão de inclinação do declive, ($m m^{-1}$).

Para a validação dos modelos, foram utilizadas as medidas de bondade de ajuste propostos por Loague e Green (1991) e Lengnick e Fox (1994), tais como:

Erro padrão da estimativa normalizado (RMSE),

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \left(\frac{100}{O} \right) \quad (21)$$

Coefficiente de determinação (CD),

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{I=1}^N (P_i - \bar{O})^2} \quad (22)$$

Eficiência do modelo (EF),

$$EF = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (23)$$

Diferença média (MD),

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (24)$$

em que,

O_i é o valor observado;

P_i é o valor predito;

I é o índice de 0 a n ;

n é o espaço amostral; e

\bar{O} é a média dos valores observados.

As medidas RMSE e CD têm limite inferior igual a zero. O RMSE é semelhante ao coeficiente de variação e foi utilizado para comparar a acurácia da simulação da chuva para os tratamentos. O máximo valor para EF é a unidade. Para os casos em que EF foi menor que 1, considerou-se que o modelo prediz valores piores que o simples uso da média dos valores observados. O CD foi utilizado como uma medida da proporção da variância total explicada pelos dados preditos. Quando o MD apresentou sinal (+) ou (-) foi assumido que os valores preditos, em média, superestimavam ou subestimavam os valores observados, respectivamente.

Como um padrão para a validação de modelos, considerou-se, quando os valores preditos e observados são os mesmos, que os parâmetros estatísticos RMSE, CD, EF e MD assumem valores iguais a 0, 1, 1 e 0, respectivamente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância segundo o delineamento inteiramente casualizados (DIC), sendo que para as comparações múltiplas das médias utilizou-se o teste de Duncan a 5%. Diferenças com nível

mínimo de significância inferior a 5% foram consideradas significativas. Análises de regressão também foram realizadas entre taxa de erosão e parâmetros físicos do solo. Todos os resultados das análises estatísticas foram obtidos com o programa Statistica (STATSOFT, 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características hidráulicas do escoamento e erodibilidade em entressulcos

As maiores alturas de lâmina de escoamento superficial (y) foram observadas em solo totalmente coberto por capim Tifton (100%) atribuídas as sobre-elevações das lâminas de água causadas pelas maiores quantidades de resíduos sobre a superfície do solo. Observa-se também, (Tabela 1), que nos tratamentos com 50% e 100% de cobertura sobre a superfície do solo não há diferença significativa relacionada à taxa de descarga (q), velocidade média do escoamento (v), número de Reynolds (Re) e número de Froude (Fr). Por consequência da interação da lâmina de escoamento rasa com os efeitos viscosos aumentados pela cobertura vegetal, os valores de Re e Fr em todos os tratamentos com cobertura vegetal conferem o regime de escoamento laminar, estando em concordância com resultados obtidos por Freitas *et al.* (2008).

A taxa de descarga (q) apresentou redução com o aumento da cobertura da superfície do solo por gramínea (Tabela 8). As ordens de grandezas obtidas, neste trabalho, para q e y foram compatíveis com as obtidas por Sousa *et al.* (2012) e inferiores às obtidas por Cantalice *et al.* (2009), os quais trabalharam com resíduos de cana-de-açúcar em superfície.

Pode-se observar que o aumento na porcentagem de cobertura por gramínea reduziu significativamente os números de Reynolds e Froude e a taxa de descarga, além de aumentar também de modo significativo a altura da lâmina d'água (y) (Tabela 8). A presença da gramínea em superfície promoveu significativa redução da velocidade do escoamento (v) e aumento da rugosidade superficial (n), o que aumenta a ação das forças viscosas e a altura da lâmina d'água, com subsequente aumento das forças gravitacionais, que diminui o número de Froude, como observados por Freitas *et al.* (2008); Cantalice *et al.* (2009) e Sousa *et al.* (2012).

TABELA 8. Características hidráulicas do fluxo de enxurrada em entressulcos

Cobertura (%)	$q (\times 10^{-6})$ ($m^2 s^{-1}$)	$y (\times 10^{-5})$ (m)	v ($m s^{-1}$)	Re	F_r	N
0	2,64 a	4,37 b	0,059 a	2,94 a	2,91 a	0,005 c
25	1,58 b	7,35 b	0,022 b	1,76 b	0,86 b	0,058 c
50	0,39 c	8,08 b	0,004 c	0,43 c	0,15 c	0,122 b
100	0,08 c	9,07 a	0,001 c	0,09 c	0,03 c	0,633 a

q é a taxa de descarga; y é a altura da lâmina de água; v é velocidade média do escoamento; Re é o número de Reynolds; F_r é o número de Froude e n é o coeficiente de rugosidade de Manning. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) para cobertura vegetal do solo.

Segundo Castro *et al.* (2006) em pesquisa para avaliar as alterações ocorridas na rugosidade superficial do solo pelas ações de preparo e manejo do solo e da chuva na ausência e presença de cobertura morta relacionados à erosão, constatou redução relativa nos valores médios do índice de rugosidade superficial do solo em 44, 18 e 34%, respectivamente observados nos tratamentos com aração, aração e duas gradagens e sem preparo, a que submeteu o solo durante seu experimento. De acordo com esses autores, a presença de rugosidade superficial no solo induzida por métodos de seu preparo é sempre desejável nas lavouras agrícolas, especialmente no que se refere à possibilidade real de conseguir maiores retenção e infiltração superficiais de água da chuva, redução da velocidade e volume do escoamento superficial, bem como maior aprisionamento dos sedimentos da erosão nas microdepressões formadas por ela, confirmando também, resultados obtidos por Mello *et al.* (2003) que constatou que a rugosidade superficial foi, em média, cerca de 1,6 vezes maior nos tratamentos com semeadura de soja, semeadura direta de soja sobre o campo natural dessecado e queimado e semeadura direta de soja sobre o campo natural antes dos testes de chuva, explicada pela presença de ondulações naturais no terreno e escarificação inicial realizada no solo.

Quanto ao regime do escoamento em entressulcos verificou-se que o mesmo pode ser classificado de laminar supercrítico para 0% de cobertura (Re < 500 e $F_r > 1,00$, Tabela 8) e de laminar subcrítico para os demais tratamentos (Re < 500 e $F_r < 1,00$). Tais resultados caracterizam o escoamento típico do processo de erosão em entressulcos, ou seja, o laminar. Os mesmos resultados confirmam também, no

mesmo sentido, outros obtidos por Freitas *et al.* (2008); Martins Filho *et al.*(2009); Oliveira *et al.* (2012) e Sousa *et al.*(2012), quanto à ocorrência de escoamento laminar para erosão em entressulcos.

4.2 Taxa de enxurrada e erosão em entressulcos

A taxa de enxurrada apresentou diferenças variadas de 12,66 a 0,37 mm h⁻¹ com cobertura da superfície do solo de 0% a 100% por gramínea. A presença da cobertura por gramínea reduziu a taxa de enxurrada de 40,00% a 97,08%, em relação à ausência de cobertura (Tabela 9). Tais resultados são concordantes com Albuquerque *et al.* (2002) e Pan e Shangguan (2011).

As diferenças entre taxas de enxurrada foram menores na presença de cobertura do solo por gramínea (Tabela 9). Isto pode ser devido ao fato da presença de cobertura vegetal viva ou morta reduzir o efeito do impacto das gotas de água, dissipando a energia cinética das gotas da chuva e diminuir a desagregação do solo, prevenir o selamento superficial e reduzir a taxa de enxurrada. Conseqüentemente aumentando o represamento e a taxa de infiltração de água, e ainda, manter os agregados devido à presença do seu sistema radicular (BRANDÃO *et al.*, 2007; INACIO *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2008; NUNES e CASSOL, 2008; KNAPEN *et al.*,2009; LEITE *et al.*, 2009; MARTINS FILHO *et al.*,2009; LICHNER *et al.*,2011; PODWOJEWSKI *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*; 2012).

A presença de cobertura por gramíneas reduziu a erosão em entressulcos (D_i), na faixa de 57,51 a 98,84% comparativamente ao solo descoberto (Tabela 9). Pan e Shangguan (2011) determinaram na presença de cobertura vegetal por gramínea redução de D_i da ordem de 94%. Resultados semelhantes foram encontrados por Inácio *et al.* (2007) e Cassol e Lima (2003).

Para a intensidade de chuva simulada semelhante à desta pesquisa (60 mm h⁻¹), Silva *et al.*(2005), observou redução da taxa de erosão em 99% em média com a elevação da porcentagem de cobertura de 0 para 80%, e que com a utilização de apenas 20% de cobertura resultou uma redução de 48% em relação à parcela sem cobertura.

TABELA 9. Taxa de enxurrada e fatores da erosão em entressulcos

Cobertura (%)	R	C _s	D _i	C _i	K _i ($\times 10^5$)	Redução (%)		
	(mm h ⁻¹)	(kg m ⁻³)	(kg s ⁻¹ m ⁻⁴)		(kg s ⁻¹ m ⁻⁴)	R	C _s	D _i
0	12,66 a	2,41 a	8,61 a	1,000 a	3,95 a			
25	7,60 a	1,70 a	3,66 ab	0,417 b	1,64 b	40,00	29,59	57,51
50	1,86 c	0,68 a	0,46 b	0,052 c	0,21 c	85,33	71,61	94,60
100	0,37 c	1,04 a	0,10 b	0,011 c	0,04 c	97,08	56,99	98,84

R é a taxa de enxurrada; C_s é concentração de sedimento; D_i é a taxa de erosão em entressulcos; C_i é o fator cobertura e manejo do solo; K_i é a erodibilidade em entressulcos do solo.

Neste estudo, a erodibilidade em entressulcos foi determinada como sendo de $3,95 \times 10^5$ kg s m⁻⁴ (Tabela 9). Pode-se afirmar que apesar da ampla variação nas características dos solos utilizados em outros estudos, para condições experimentais semelhantes às deste trabalho, verificou-se que os valores de erodibilidade em entressulcos são similares aos encontrados por Nunes e Cassol (2008); quando determinou o fator de erodibilidade em entressulcos em três latossolos no Rio Grande do Sul; Inácio *et al.* (2007) quando avaliou a erodibilidade do solo na região sul da Bahia sob chuva simulada, encontrando o valor de $1,48 \times 10^5$ kg s m⁻⁴ no Chernossolo Argilúvico órtico típico estudado e Cassol e Lima(2003) em Argissolo Vermelho distroférico na ordem de $2,83 \times 10^6$ kg s m⁻⁴. Entretanto, Silva *et al.* (2009), encontraram valores de erodibilidade de 0,0355 e 0,0032 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ quando determinaram a erodibilidade de Cambissolo Haplico Tb distrófico típico e Latossolo Vermelho distroférico típico, respectivamente, sob chuva natural, em Lavras (MG).

Em pesquisa realizada no Rio Grande do Sul relacionada ao plantio direto do fumo e erodibilidade do solo, Oliveira *et al.* (2012) constatam que em situações em que os agregados superficiais resistem a desagregação, é criada uma condição de maior rugosidade superficial que, por sua vez, altera a hidráulica do escoamento no sentido de diminuir a capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento. Então, na análise da maior ou menor suscetibilidade ao processo erosivo em entressulcos não devem ser examinados só os fatores intrínsecos do solo, mas, sim, todos os fatores capazes de contemplar as duas etapas do processo erosivo que são a desagregação e o transporte. Vale ressaltar que em Santa Maria- RS, Braid e Cassol (1996) obtiveram valor de $K_i = 5,10 \times 10^6$ kg s m⁻⁴ para a erodibilidade em

entressulcos quando trabalharam com dois experimentos de campo realizados num podzólico vermelho-escuro franco-arenoso.

Observa-se que a taxa de infiltração de água no solo foi praticamente constante com 100% de solo coberto por gramínea (Figura 13). Veena e Tambe (2010) relataram que não há completa proteção da superfície do solo se a cobertura for inferior a 90% e que a taxa de infiltração de água é alta em áreas cobertas por resíduos das culturas. Deste modo, os resultados evidenciam que a gramínea exerce um controle na dinâmica infiltração/enxurrada, devido a interações diretas com a qualidade do solo e características superficiais. Verifica-se que com 0%, 25% e 50% de cobertura da superfície do solo por gramínea há um gradual declínio da taxa de infiltração de água.

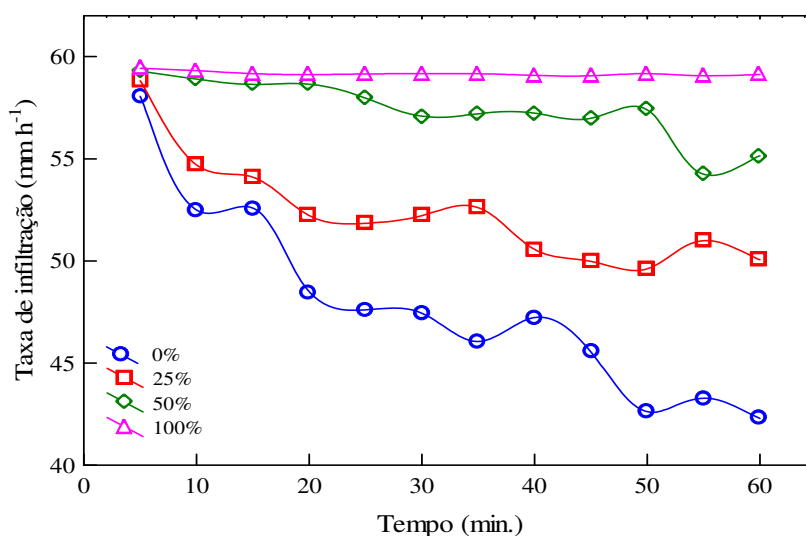


FIGURA 13. Taxa de infiltração de água no solo durante o tempo de duração da chuva

Os resultados deste trabalho confirmam, a exemplo do observado por Inácio *et al.* (2007); Martins Filho *et al.* (2009); Veena e Tambe (2010), que com a diminuição da cobertura há decréscimo da taxa de infiltração e aumento nas perdas de solo. Resultados de Chartier *et al.* (2011) indicaram que a cobertura vegetal e a

taxa de infiltração de água no solo são completamente relacionados. Os resultados no presente estudo indicam que as condições superficiais iniciais do solo, presença ou ausência de cobertura vegetal, são um importante fator determinando a infiltração e uma efetiva redução da erosão como verificado por Leite *et al.* (2009) e Smets e Poesen (2009).

4.3 Modelagem do fator cobertura e manejo do solo (C_i)

O efeito da presença de cobertura no processo de erosão em entressulcos é expresso pelo fator C_i (Tabela 10 e Figura 14). É possível notar que com o aumento da cobertura vegetal há notório decréscimo no fator C_i , o qual explica a redução na taxa de erosão em entressulcos para 25%, 50% e 100% de cobertura vegetal em relação à sua ausência, visto que a taxa de erosão em entressulcos é diretamente proporcional a C_i (equação 25). Tais resultados são concordantes com os obtidos por Martins Filho *et al.* (2004); Martins Filho *et al.* (2009); Leite *et al.* (2009); Amorim *et al.* (2010) e Pan e Shangquan (2011).

Os resultados obtidos permitiram modelar a relação entre a relativa erosão em entressulcos (C_i), fator cobertura e manejo do solo, em função da fração da superfície do solo coberta por gramínea (C_s), neste caso, pelo capim Tifton-85, utilizando-se da equação:

$$C_i = e^{-4,087 C_s/100} \quad (25)$$

Contudo, outras pesquisas são necessárias para permitir a possibilidade de extrapolar tais resultados para outras áreas, quanto aos efeitos da cobertura vegetal por gramínea na erosão em entressulcos. Porém, estes resultados podem ser utilizados para incorporar ou melhorar os efeitos das condições superficiais relativos à efetividade da cobertura vegetal em reduzir as taxas de enxurrada e a erosão em modelos de previsão de processos erosivos do solo.

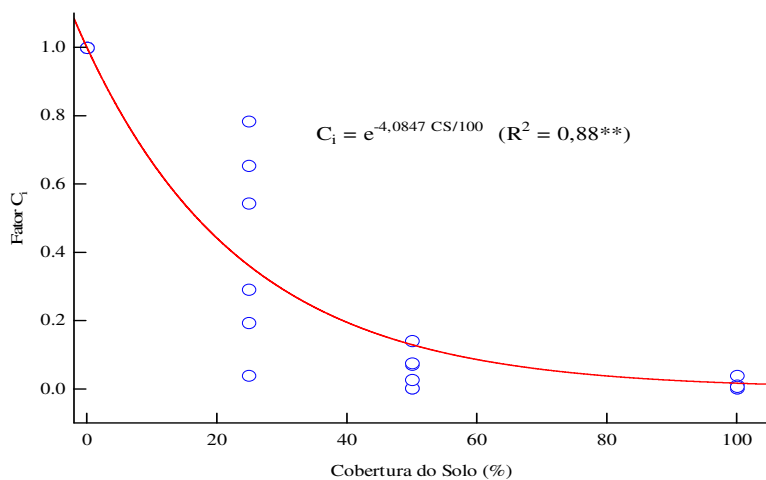


FIGURA 14. Fator cobertura vegetal e manejo do solo C_i em função da cobertura por Tifton – 85

4.4 Validação do modelo para estimativa do fator cobertura e manejo do solo (C_i)

Resultados independentes de C_i , obtidos na etapa 2 deste trabalho, quando comparados com valores estimados com a equação 25, em função do coeficiente de determinação de $0,93^*$, permitem pressupor que a extrapolação de dados para áreas semelhantes ao deste trabalho são válidas (Figura 15).

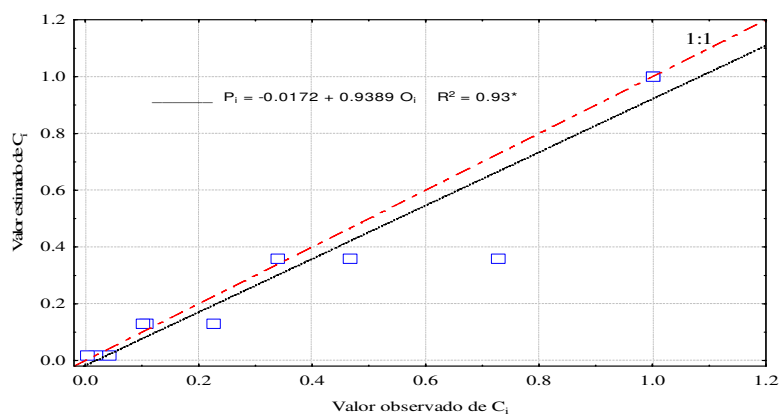


FIGURA 15. Valores estimados em função de valores observados do fator cobertura e manejo do solo (C_i).

Na bibliografia Laflen *et al.*(1985) e Martins Filho *et al.*(2004) propuseram, a semelhança da equação 25 deste trabalho, equações para estimativas de C_i em função da porcentagem de superfície coberta por resíduos de culturas anuais como milho e trigo. Para declives semelhantes ao desta pesquisa, em torno de 5%, Martins Filho *et al.*(2004) obtiveram valores de RMSE de 21,7% a 27%. Segundo critérios de Jamieson *et al.* (1991): Quando RMSE < 10% simulação excelente; boa entre 10% e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior que 30%.

O valor desejável para CD é 1,0 quando se obtém um ajuste perfeito entre valores observados e estimados. Todos os valores das equações testadas foram pouco superiores a 1,0. Como o CD permite avaliar a proporção dos valores observados explicados pelos estimados, é possível inferir que as equações testadas permitem boas estimativas de C_i .

TABELA 10. Estatísticas da validação para estimativa do fator cobertura e manejo do solo (C_i)

Modelo	RMSE	CD	EF	MD
$C_i = e^{-4,087 CS/100}$ (Equação 25)	27	1,037	0,914	-0,043 †
$C_i = e^{-2,500 CS/100}$ (Equação 10, LAFLEN <i>et al.</i> , 1985)	28	1,262	0,912	0,057 †
$C_i = e^{-2,238 CS/100}$ (Equação 26, MARTINS FILHO <i>et al.</i> ,2004)	32	1,304	0,880	0,082

CS é a porcentagem de cobertura do solo; RMSE é a raiz do erro quadrático médio; CD é o coeficiente de determinação; EF é a eficiência do modelo e MD é a diferença média.

Com relação ao valor da EF pode-se inferir que não ha diferença, pelo teste t, entre as equações 10 e 25 (Tabela 10). Como o EF, não avalia apenas a linearidade dos valores observados, mas também as diferenças relativas entre valores observados e estimados, logo quando EF é igual a 1,0 tem-se um modelo perfeito. Portanto, os resultados de EF expressos na Tabela 10 não corroboram com a ideia de que os modelos testados são perfeitos. Deste modo, conforme observaram Lengnick e Fox (1994) e Martins Filho *et al.*(2004), os sinais negativo e positivo para MD sugerem, em média, nesta ordem, que os valores estimados subestimam e superestimam os observados.

O valor de MD é igual a zero quando apresenta o seu valor ideal (Tabela 10). As equações 10 e 25, não diferiram de 0,0 pelo teste t. Disto é possível inferir que a equação 26 deve ser preterida em relação às outras duas testadas. Deste modo, em face ao exposto, e considerando-se os valores de RMSE, sugere-se a adoção das equações 25 e a de Laflen *et al.*(1985) para estimativas de C_i . Tal indicativo justifica-se, visto que, um menor RMSE indica maior acuracidade dos valores simulados em relação aos observados (WANG *et al.*,2002; GERTNER, 2003).

5. CONCLUSÕES

Para as condições deste experimento, concluímos que:

1) A equação $C_i = e^{-4,087 \text{ CS}/100}$ pode ser utilizada, para estimativas do fator cobertura e manejo do solo, em função da cobertura oferecida ao solo (CS) por pastagem irrigada e cultivada com Tifton-85.

2) O manejo adotado na pastagem irrigada, com capim Tifton-85 (*Cynodon dactylon x cynodon nlemfuensis*), sob pastejo intensivo e rotacionado, com três dias de ocupação e vinte e um (21) dias de descanso, é eficiente para o controle do processo de erosão em entressulcos.

3) Para as condições de pastagens, com gramíneas não cespitosas (que não formam touceiras), cultivadas na bacia do Rio Uberaba (MG), o nível mínimo de cobertura da superfície do solo para um controle eficiente da erosão em entressulcos é da ordem de 50% de cobertura.

6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé-PB. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 6, n. 1, Campina Grande, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662002000100024&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 jan. 2013.

ANDRADE, C. M. S. de. **Produção de bovino em pastagem irrigada.** Informativo Técnico, Viçosa, julho, 2000. Disponível em: <<http://www.agroquima.com.br/informativos-interna.php?id=5211>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

AMORIM, R. S. S.; DA SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Eng. Agríc.** v. 30 n. 6 Jaboticabal, dez. 2010. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000600006>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

AZAR, G. S. **Avaliação de cultivares de *Cynodon* nos períodos seco e chuvoso, na região norte do Piauí.** 48f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal - Produção animal de interesse econômico) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROFOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade de escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em áreas cultivadas sob semeadura direta e submetida as adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos de um podzólico vermelho-escuro franco-arenoso. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 20:127-134, 1996.

BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D. D. da.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, E. O. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v. 27 n.1, jan./abr. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/SO100-69162007000100006>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. de. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2., p. 68-74, 2009.

CARVALHO, D. F. de; CRUZ, E. S. da; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 13 n. 1 Campina Grande jan./fev.2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100001>>. Acesso em: 13 nov. 2012.

CARVALHO, D. F. de; SOUZA, W. de J.; PINTO, M. F.; OLIVEIRA, J. R. de; GUERRA, J. G. M. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 708-717, jul./ago.2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/SO100-69162012000400010>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesq. agropec. bras.** v. 38, n. 1, p. 117-124, Brasília jan. 2003.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. DA S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 2, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000200014>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

CHARTIER, M. P.; ROSTAGNO, C. M.; PAZOS, G. E. Effects of soil degradation on infiltration rates in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. **Journal of Arid Environments**, London, v.75, n. 7, p. 656-661, 2011.

CHAVES, H. M. L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34 n. 6, Nov./Dec.2010. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600026>>. Acesso em: 13 nov. 2012.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Gado de Leite. Núcleo Regional Sul. Rod. Carlos João Strass – Distrito de Warta, Cx. postal 231, fone: (43) 3371-6259. Londrina, PR, CEP. 86001-970. MATOS, L. L. Produção de leite a pasto ou em confinamento? Disponível em: <<http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos-producao-leite-pasto-confinamento.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

EUCLIDES, V. P. B.; FILHO, K. E.; ARRUDA, J. Z.; FIGUEIREDO, G. R. **Alternativas de suplementação para redução da idade de abate de bovinos em pastagem de *Brachiaria decumbens***. n. 25. Campo Grande: EMBRAPA – CNPQC, 1997. 25 p. (Circular Técnica, 25).

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. **Hydrologic modelin of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982, p. 296-380. (Monograph, 5).

FREITAS, F. J. de; CANTALICE, J. R.B.; BEZERRA, S. A.; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1743-1751, 2008. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180214233038>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

GERTNER, G. Assessment of computationally intensive spatial statistical methods for generating inputs for spatially explicit error budgets. **Forest Biometry, Modelling and Information Sciences**, Greenwich, v. 1, p. 27-34, 2003. Disponível em: <http://www.fbmis.info/A/3_1_GertnerG_1>. Acesso em: 29 nov. 2010.

GRANT, G. E. Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams: a new hypothesis. **Water Resources Research**, Washington, v.33, n. 2, p.349-358, 1997.

INÁCIO, E. dos S.B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R. de; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **rev. bras. eng. agric. ambiental**, 2007., v. 11. n. 4, p. 355-360, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000400002>>. Acesso m: 16 nov.2012.

JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; WILSON, D. R. Atest of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 4, p. 337-350, 1991.

KNAPEN, A.; SMETS, T.; POESEN, J. Flow-retarding effects of vegetation and geotextiles on soil detachment during concentrated flow. **Hydrological Processes**, Hoboken, v. 23, n. 17, p. 2427-2437, 2009.

LAFLEN, J. M.; FOSTER, G. R., ONSTAD, C. Simulation of individual storm soil losses for modeling the impact of soil erosion on cropland productivity. In: EL-SWAFY, MULDENHAUER AND LO (ed.). Soil Erosion and Conservation. **Ankeny: SCSA**, 1985. p. 285-295.

LAFLEN, J. M.; LANE, L. J.; FOSTER, G. R. WEPP: a new generation of erosion prediction technology. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 46, n. 1, p. 34-38, Jan./Feb., 1991.

LAFLEN, J. M.; FLANAGAN, D. C. A powerful tool. **Agricultural Engineering**, v. 73, n. 4, p. 28-29, 1992.

LANE, L. J.; RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; LAFLEN, J. M. Development and application of modern soil erosion prediction technology. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, n. 6, p. 893-912, 1992.

LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L. da; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num latossolo vermelho amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de prepare e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33 n. 3, March./June. 2009. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300021>>. Acesso em: 13nov./2012.

LENGNICK, L. L.; FOX, R. H. Simulation by NCSWAP of seasonal nitrogen dynamics in corn: I. soil nitrate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 1. p. 167-75, 1994.

LICHNER, L.; ELDRIDGE, D. J.; SCHACHT, K.; ZHUKOVA, N.; HOLKO, L.; SÍR, M.; PECHO, J. Grass cover influences hydrophysical parameters and heterogeneity of water flow in a sandy soil. **Pedosphere**, Beijing, v. 21, n. 6, p. 719-729, 2011.

LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 51-73, Jan. 1991.

LOWE, S. A. Omission of critical Reynolds number for open channel flows in many textbooks. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, Reston, v. 129, n. 1, p. 58-59, 2003.

MACEDO, R. J. **Erosão em pastagens**. In: Portal Dia de Campo em 09/02/2011. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br>>. Acesso em: 24jun2011.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em latossolos de Jaboticabal-SP**. 1999. 140f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MARTINS FILHO, M. V.; ENGLER, M. P. C.; IZIDORIO, R.; COTRIN, F. B.; SERRA, E. A.; AMARAL, N. S.; SOUZA, Z. M. Modelos para a estimativa do subfator cobertura-manejo (C_{III}) relativo à erosão entressulcos. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 603-611, 2004.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 2007. 121 f. Tese (Livre docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

MARTINS FILHO, M. V. **Apostila de Equação Universal de Perdas de Solo**. Disciplina: Conservação do Solo. UNESP, Jaboticabal (SP), 48P. 2009.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo haplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27 n. 5, set/out. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500015>>. Acesso em: 13 nov./2012.

NEARING, M.A.; FOSTER, G.R.; LANE, L.J.; FINKNER, S.C. A process-based soil erosion model for USDA-Water erosion prediction project technology. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 32, n. 5, p.1587-1593, 1989.

NEARING, M.A.; NORTON, D.L., ZHANG, X. Soil erosion and sedimentation. In: RITTER, W.F. and SHIRMOHAMMADI, A. (Eds.). *Agricultural no point source pollution*. **Lewis Publishers**, Boca Raton, p. 29-58, 2001.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de latossolos do Rio Grando do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. spe, Oct./Dec. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.159/SO0100-0683008000700030>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

OLIVEIRA, F. P. de; BUARQUE, D. C.; VIERO, A. C.; MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 4, p. 337-346, 2012. Campina Grande, PB. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 13 nov. 2012.

PAN, L. M. C., SHANGGUAN, A. D. Z. Determining the sediment trapping capacity of grass filter strips. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 405, n. 1-2, p. 209-216, 2011.

PEREIRA, A. L.; CAMPOS, M. C. C.; SOUSA, Z. M. de; CAVALCANTE, I. H. L.; SILVA, V. A. da; MARTINS FILHO, M. V. Atributos do solo sob pastagens em sistema de sequeiro e irrigado. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 377-384, mar./abr., 2009.

PEREIRA, O. G.; ROVETTA, R.; RIBEIRO, K. G.; SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. da; CECON, P. R. Crescimento do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e altura de corte. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 30-35, Jan. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000100005>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 3, May/June, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000300023>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

PODWOJEWSKI, P.; JANEAU, J. L.; GRELLIER, S.; VALENTIN, C.; LORENTZ, S.; CHAPLOT, V. Influence of grass soil cover on water runoff and soil detachment under rainfall simulation in a sub-humid South African degraded rangeland. **Earth Surface Processes and Land forms**, Hoboken, v. 36, n. 7, p. 911-922, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. **Uberaba em Dados, 2008**. Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo. Disponível em: <<http://www.uberabaemdados>>. Acesso em: 08 jan 2013.

RANIERI, S.B.L. **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLI e WEPP**. 2000. 95f. Tese (Doutorado – Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RANIERI, S.B.L.; VAN LIER, Q.J.; SPAROVEK, G.; FLANAGAN, D.C. Erosion database interface (EDI): a computer program for georeferenced application of erosion prediction models. **Computers & Geosciences**, Amsterdam, v. 28, n. 5, p. 661-668, 2002.

RASSINI, J. B. Criação de bovinos de corte na região sudeste. **Embrapa Pecuária Sudeste**. Sistemas de Produção, 2. ISSN 1679-1495 - Versão Eletrônica, Jul/2003.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 12 ago 2011.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-069162005000200014>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

SILVA, G. R. V., SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Soil, water and nutriente losses by interrill erosion from Green cane cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 963-970, 2012.

SILVA, A. M. da; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33 n.6, Nov./Dec. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

SMETS, T.; POESEN, J. Impacts of soil tith on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.103, n. 2, p. 356-363, 2009.

SOUSA, G. B.; MARTINS FILHO, M. V. ; MATIAS, S. S. R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba - SP. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.32, n. 3, p. 490-500, 2012.

STATSOFT, Inc. HILL, T. & LEWICKI, P. **Statistics: Methods and Applications**. Tulsa, OK, USA: StatSoft, 2007.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F. do; GALBIATTI, J. A.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, T. C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908, 2010.

VEENA, U. J.; TAMBE, D. T. Estimation of infiltration rate, run-off and sediment yield under simulated rainfall experiments in upper Pravara Basin, India: Effect of slope angle and grass-cover. **Journal of Earth System**, Bangalore, v.119, n. 6, p. 763–773, 2010.

WALTON, R. S.; VOLKER, R. E; BRISTOW, K. L.; SMETTEM, K. R. J. Experimental examination of solute transport by surface runoff from low-angle slopes. **Journal of Hydrology**, v. 233, p. 19-36, 2000.

WANG, G.; GERTNER, G.; SINGH, V.; SHINKAREVA, S.; PARYSOW, P.; ANDERSON, A. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall – runoff erosivity R factor. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.152, n. 1-2, p. 143-155, 2002.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

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

WEIGAND, R.; STAMATO NETO, J.; COELHO, R.D. Pasto irrigado produz mais. In: ANUALPEC98:**anúário da pecuária brasileira**. São Paulo: Argos, 1998. p. 45-50.