

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

**PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROSÃO  
HÍDRICA EM UMA VERTENTE COM PALHA DE CANA-  
DE-AÇÚCAR**

**Gasparino Batista de Sousa**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
Maio - 2011

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

**PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROSÃO  
HÍDRICA EM UMA VERTENTE COM PALHA DE CANA-  
DE-AÇÚCAR**

**Gasparino Batista de Sousa**

**Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho**

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).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Maio - 2011

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROÇÃO HÍDRICA EM UMA VERTENTE COM PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

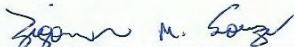
**AUTOR:** GASPARINO BATISTA DE SOUSA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO

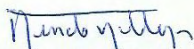
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



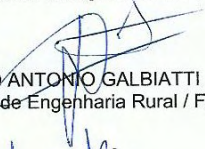
Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



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



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



Prof. Dr. JOAO ANTONIO GALBIATTI  
Departamento de Engenharia Rural / 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: 06 de maio de 2011.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Gasparino Batista de Sousa – nascido aos 06 de janeiro de 1962, em Bom Jesus – PI. Em março de 1992, ingressou no curso de Agronomia, no Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Piauí – PI. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em julho de 1997. Iniciou o Curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solos e Água do Centro de Ciências Agrárias, Câmpus de Areia - Universidade Federal da Paraíba em março de 2005, onde obteve o título de Mestre em novembro de 2006. Ingressou como professor efetivo da Universidade Estadual do Piauí – Câmpus de Corrente, em março de 2004. Antes, como professor substituto, foi coordenador do curso de agronomia no câmpus de Curimatá-PI, de março a dezembro de 2002. Foi diretor do câmpus de Bom Jesus-PI, de fevereiro de 2003 a janeiro de 2005. Iniciou, no ano de 2009, o Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista.

## DEDICO

*Aos meus pais,*

*Eduvirges Bispo de Sousa (in memoriam) e Joana Batista de Sousa (in memoriam);*

*À Minha querida e amada esposa,  
Sanderly Andrade.*

## OFEREÇO

A toda a minha família, pela compreensão e incentivo em todos esses anos que fiquei ausente.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter-me iluminado com seu espírito em todos os momentos difíceis e alegres que passei neste doutorado.

Ao Professor Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, pela compreensão e paciência durante o tempo de convivência.

Ao professor Vitório Barato Neto, pela correção gramatical, de acordo com a nova ortografia da língua portuguesa, da Academia Brasileira de Letras.

Aos Professores Carlos Eduardo Furlani, José Marques Júnior, Newton e Carolina, pela grande colaboração na correção do artigo da qualificação.

Aos amigos Sammy e Manoel, pela ajuda e companheirismo nas horas difíceis .

Aos novos amigos Lívia, Diego, Marcos, Ednei e todas as pessoas que passaram pela minha vida neste doutorado.

À Usina São Martinho, pela concessão da área de estudos e apoio logístico.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos Djair e Gomes, pela ajuda e apoio nas análises laboratoriais e trabalhos de campo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí, pela concessão da bolsa de estudos.

**SUMÁRIO**

LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. Introdução.....	1
2. Hipóteses.....	3
3. Revisão de literatura.....	4
3.1 Erosão em entressulcos.....	4
3.2 Fatores que afetam a erosão em entressulcos .....	5
3.3 Perdas de nutrientes por erosão hídrica.....	13
4. Material e Métodos.....	21
5. Resultados e Discussão.....	29
6. Conclusões.....	48
7. Referências .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo na profundidade 0,00 a 0,20m .....	21
Tabela 2. Atributos físicos do solo na profundidade 0,0 a 0,20m.....	21
Tabela 3. Atributos físicos do solo na profundidade 0,60 a 0,80m .....	22
Tabala4. Parâmetros hidráulicos dos escoamentos gerados por chuvas simuladas em posições topográficas com coberturas de palha de cana-de-açúcar.....	30
Tabela 5. Taxa de erosão em entressulcos em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.....	33
Tabela 6. Concentrações médias de sedimento (C) e MO,nos sedimentos erodidos .....	34
Tabela 7. Concentrações médias de P, K, Ca e Mg nos sedimentos transportados pela enxurrada .....	35
Tabela 8. Taxa de enriquecimento do sedimento (ER), matéria orgânica e nutrientes.....	38
Tabela 9. Taxa de enriquecimento (ER) em função da cobertura por palha de cana-de-açúcar de acordo com o modelo $ER = w e^{bcs}$ e % de cobertura necessária para ER igual a 1 (Cob.ER=1) .....	40
Tabela 10. Perdas de solo por erosão (A) e matéria orgânica .....	41
Tabela 11. Perdas de nutrientes em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.....	43
Tabela 12. Concentrações médias de K, Ca, Mg e Na na água de enxurrada nos diferentes percentuais de cobertura. ....	45
Tabela 13. Potencial hidrogeniônico da água de enxurrada em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.....	46
Tabela14. Perdas de água por erosão hídrica em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.....	47



**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. Perfil planialtimétrico do segmento de vertente trabalhado.....	22
FIGURA 2. Parcelas experimentais: a) sem cobertura e b) 100% de cobertura .....	24
FIGURA 3. Efeito da cobertura por resíduos de cana-de-açúcar nos números de Reynolds e de Froude, na taxa de descarga e na altura da lâmina d'água.....	31
FIGURA 4. Efeito da cobertura por resíduos de cana-de-açúcar na velocidade do escoamento (a) e no coeficiente de rugosidade de Manning (b). .....	32

## PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROSIÃO HÍDRICA EM UMA VERTENTE COM PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO:** O escoamento superficial da água provoca o transporte dos nutrientes do solo, quando este encontra-se com a superfície desprotegida de cobertura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as possíveis relações entre posições do relevo, erosão em entressulcos e seus reflexos nas perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes em área cultivada com a cultura de cana-de-açúcar submetida à colheita mecanizada. Parcelas experimentais foram submetidas à ação de uma chuva simulada com intensidade de  $60 \text{ mm h}^{-1}$ , durante 65 minutos. Foram feitas análises do sedimento erodido para determinar perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes. Houve maiores perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes no sedimento das parcelas com 0% e 25% de cobertura por palha de cana-de-açúcar. Em média, as perdas no sedimento erodido foram significativamente reduzidas nas parcelas com 75% e 100% de cobertura por resíduos de palha de cana-de-açúcar. Na perda de água, observou-se que houve diferenças estatísticas das médias dos níveis de cobertura 0% e 25% em relação aos demais (50%, 75% e 100%) em todas as posições da vertente. No topo, a diferença do maior valor ( $168.600 \text{ L ha}^{-1}$ ) para o menor valor ( $120.300 \text{ L ha}^{-1}$ ) foi de  $48.300 \text{ L ha}^{-1}$ . Os resultados permitem concluir que acima de 50% da cobertura com palhada, na área estudada, reduz a perda de solo e matéria orgânica, e a concentração de nutrientes no sedimento erodido.

**Palavras-Chave:** erosão em entressulcos, chuva simulada, palhada.

## **SOIL, WATER AND NUTRIENT LOSSES DUE TO EROSION IN SLOPE WITH SUGARCANE RESIDUES COVER**

**ABSTRACT:** The water superficial drainage provokes the transport of soil nutrients especially in unprotected surfaces. The present work had as objective to evaluate the possible relationship between positions in a relief and soil losses induced by erosion in an area cultivated with the sugarcane under mechanized harvest. The studied plots were submitted to simulate rain events with intensity of  $60 \text{ mm h}^{-1}$ , for 65 minutes. The analyses of eroded sediments in terms of volume, soil losses, organic matter and nutrients were conducted. There were larger sediment losses at plots with 0% and 25% of sugarcane crop residues cover. On average, the losses in the eroded sediment were significantly reduced in the portions with 75% and 100% surface residues covering. In terms of water loss it was also observed significant differences between 0% and 25% to the others (50%, 75% and 100%) in all positions in the slope. In the top the difference of the largest value  $168,600 \text{ L ha}^{-1}$  for the smallest value  $120,300 \text{ L ha}^{-1}$  it was of  $48,300 \text{ L ha}^{-1}$ . The results point that 50% of crop residues covering would reduce soil losses, including organic matter and nutrients.

**KEYWORDS:** interrill erosion, rainfall simulation, crop residue

## 1. INTRODUÇÃO

A constante redução da produtividade dos solos tem sido atribuída principalmente à erosão hídrica e ao manejo inadequado do solo. Outro aspecto de grande relevância é que o aporte de sedimentos oriundos de áreas que sofrem erosão promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática, principalmente pela eutrofização das águas.

A erosão hídrica é um dos critérios a serem considerados quando se avalia a sustentabilidade de ambientes do solo sob floresta. A quebra dos agregados do solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial do excesso de água sobre o solo são os agentes ativos, e o solo, o agente passivo no processo de erosão hídrica. A resistência dos solos à erosão hídrica apresenta grande amplitude resultante da variabilidade climática, que influi na capacidade das chuvas em causar erosão, na variação de classes de solos com atributos diferenciados e no manejo. Em sistemas agrícolas, autores têm obtido valores de perdas de solo e água em vários sistemas de manejo, culturas e classes de solo. Observações mostraram que em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo as perdas de solo são menores em relação ao plantio convencional.

A erosão em entressulcos é resultante do processo de desagregação das partículas do solo, pelo impacto das gotas de chuva, e do transporte das partículas desagregadas, pela delgada lâmina de escoamento. O impacto das gotas de chuva incrementa a capacidade de transporte da enxurrada. Na erosão em entressulcos, a presença de resíduos vegetais na superfície reduz a velocidade de escoamento, aumenta a rugosidade e diminui o impacto das gotas de chuva.

Até pouco tempo, o setor sucroalcooleiro dependia exclusivamente da mão-de-obra humana para realizar o corte da cana-de-açúcar. Nos últimos 15 anos, o processo de colheita de cana passa por um intenso processo de mecanização. Essa mudança de perfil, onde o homem está cedendo, gradualmente, lugar à máquina, faz a colheita nas lavouras de cana-de-açúcar ficar mais eficiente. A mecanização da colheita da cana-de-açúcar não só aumenta o rendimento operacional do procedimento como também reduz

seu impacto ambiental, por dispensar a queima de resíduos. A manutenção dos resíduos da palha da cana-de-açúcar na superfície do solo diminui o impacto das gotas de chuva, reduzindo dessa forma, a desagregação das partículas, e aumentando a estabilidade estrutural do solo.

Em sistema de cultivo da cana-de-açúcar, com a queima da palhada antes da colheita, as perdas de nutrientes por erosão são expressivas com o sedimento, e apresenta altas taxas de enriquecimento. No entanto, essas perdas foram reduzidas a partir da adoção da colheita da cana-de-açúcar crua.

A colheita mecanizada é não só economicamente mais interessante, como permite padronização, pré-processamento da matéria-prima e, principalmente, maior segurança para o processo produtivo, com melhor controle das atividades de corte e sua compatibilização com o ritmo da indústria. Assim, a mecanização é especialmente recomendável do ponto de vista de modernização, redução de custos de produção do setor e ambientalmente favorável à sustentabilidade do solo.

Superfícies geomórficas, conforme definição de DANIEL et al. (1994), são uma parte da superfície da terra que tem limites geográficos durante um dado espaço e tempo. Estes ambientes geomórficos podem ser considerados erosionais ou deposicionais e, em uma área, pode haver ocorrência de ambos ou apenas de um ambiente geomórfico. As superfícies geomórficas mais velhas são mais estáveis e normalmente são encontradas nos topos, estando associadas a ambientes deposicionais, enquanto as superfícies mais jovens ocorrem em áreas de maior declive, sendo mais variáveis e considerados ambientes erosionais. As variações das superfícies geomórficas e as formas do relevo têm influência direta nos processos de erosão e deposição de solos nas paisagens, fato associado principalmente à inclinação do declive. Entretanto, aspectos relacionados aos processos geomórficos e aos impactos humanos também interferem nos processos erosivos, provocando alterações (erosão e deposição) na paisagem. Apesar da importância do assunto, poucos trabalhos utilizam os conceitos de superfícies geomórficas com o enfoque nos estudos de taxas de erosão. Todavia, para que se entenda a evolução dos solos nas paisagens, faz-se necessária a compreensão dos processos erosivos, já que os mesmos são

responsáveis pelo próprio desenvolvimento do solo. Esses estudos fortalecem o entendimento do desenvolvimento da paisagem, assim como melhoram a compreensão do desempenho da produção agrícola.

Dentre os fatores da erosão, deve ser destacado o relevo ou fator topográfico como um dos principais responsáveis pelas perdas de solo que combinado com o comprimento da rampa e a declividade pode aumentar ou diminuir a erosão. Na posição topográfica existe a vertente, que é a unidade básica do relevo. Na vertente a posição topo é a parte mais plana. Na encosta predomina a maior declividade e pode ocorrer maior remoção de materiais do solo por erosão hídrica. O sopé é a região de deposição. Mas pode-se acrescentar que existe o sopé de transporte que antecede a deposição.

Apesar dos conhecimentos existentes sobre os tipos de erosão do solo e dos diversos sistemas de manejo, ainda há necessidade de aprofundar os estudos para se obter resultados que reduzam mais as perdas dos recursos naturais solo e água.

## **2. HIPÓTESES**

A variação da quantidade de palha da cana-de-açúcar na superfície do solo, com a colheita mecanizada, pode diminuir a erosão e as perdas de nutrientes adsorvidos ao sedimento erodido.

Independente da posição na vertente e da quantidade de cobertura vegetal, a declividade potencializa as perdas de solo, água e nutrientes.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Erosão em entressulcos**

Os nutrientes das plantas têm papel fundamental no desenvolvimento vegetal e no uso sustentável do solo em áreas agrícolas. Porém, o excesso de nutrientes pode tornar-se uma fonte de poluição para as águas superficiais e subterrâneas. Deste modo, torna-se fundamental o entendimento dos fatores que afetam a presença destes nutrientes nos corpos d'água, tais como o uso e o manejo do solo e a topografia.

A erosão do solo é reconhecida como um dos mais sérios problemas sociais e ambientais, por ser uma fonte difusa ou não pontual de poluição (NEARING et al., 2001; WEI et al., 2007; WANG et al., 2009).

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. No fluxo de enxurrada, poderá haver elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes essenciais às principais plantas cultivadas (NEARING et al., 2001). Segundo IZIDORIO et al. (2005), 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 maior concentração de contaminantes quando os produtos químicos são aplicados de forma concentrada e localizada no solo.

A erosão em entressulcos pode ser a forma dominante ou a de maior ocorrência em áreas agrícolas, com pastagens nativas ou em pousio, ou ainda naquelas caracterizadas por baixas declividades e comprimentos de rampa curtos (NEARING, 1994; MARTINS FILHO, 2007).

O fenômeno de erosão em entressulcos é resultante da atuação de processos como a desagregação pelo impacto das gotas de chuva, o salpico e o transporte por um

fino fluxo superficial das partículas do solo (FOSTER, 1982; ROSE et al., 1983). Esses processos são dependentes de fatores como (ISSA et al., 2006): as características da chuva (tamanho de gotas, quantidade e intensidade de precipitação); propriedades do solo (textura, estabilidade de agregados, densidade, umidade etc); condições superficiais (declividade, rugosidade superficial, cobertura vegetal, extensão e tipo de encrostamento etc).

### **3.2. Fatores que afetam a erosão em entressulcos**

As características da chuva determinam a ação erosiva das gotas da chuva e do fluxo superficial, enquanto as propriedades e condições superficiais do solo afetam a desagregação e o transporte das suas partículas. As interações chuva-enxurrada e propriedades do solo afetam a formação de crostas no solo, a qual afeta a profundidade, a velocidade e a distribuição espacial do fluxo em uma área (ISSA et al., 2006).

A energia do impacto das gotas da chuva e o umedecimento induzem a quebra dos agregados e a formação de um selamento superficial no solo (KUHN, 2007). Com o rompimento dos agregados as partículas que o compunham passam a se depositar na superfície do solo, reduzindo a sua porosidade. Com isso há uma diminuição da velocidade de infiltração de água no solo, com subsequente aumento do escoamento superficial que, em regiões tropicais, é o grande causador de erosão dos solos. Esse impacto das gotas de chuva ao solo desnudo causando a desintegração da estrutura do mesmo é chamado de erosão por salpico e a redução da infiltração devido à obstrução dos poros da superfície do solo é conhecida como selamento superficial devido à formação de crostas superficiais ou encrostamentos (VALENTIM & BRESSON, 1992; ASSOULINE, 2004).

O encrostamento é resultante de processos complexos e dinâmicos, com os quais as partículas do solo são rearranjadas e consolidadas em uma estrutura superficial coesa, cuja espessura pode variar de 0,1 mm até valores superiores a 50 mm (VALENTIN E BRESSON, 1992). Apesar de sua espessura relativamente pequena,



suas propriedades físicas são restritivas à passagem da água para dentro do perfil do solo.

Práticas conservacionistas como plantio direto e cultivo mínimo podem reduzir o processo físico de formação do selamento e de encrostamento superficiais, protegendo os agregados da ação direta do impacto das gotas d água da chuva (ZHANG et al., 1998). 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 (AGASSI & BEN-HUR, 1992; BRANDÃO, 2003).

A suscetibilidade que um solo apresenta à sua desagregação e transporte pelo impacto das gotas de chuva e por um fluxo superficial de água, tem sido definida como erodibilidade em entressulcos. Diversos atributos do solo influenciam na erodibilidade em entressulcos. Dentre eles é possível mencionar a textura, o teor de matéria orgânica, a estabilidade de agregados, o teor de óxidos de Fe e Al, as ligações eletroquímicas, a resistência do solo à penetração, o teor de matéria orgânica, a estabilidade de agregados, o teor de água do solo e a sua mineralogia (BAJRACHARYA et al., 1992; SILVA, 1994; MARTINS FILHO, 1999, KUHN, 2007).

Na modelagem do processo de erosão em entressulcos, MEYER (1981) já havia expressado as perdas de solo, para tal fenômeno, como uma função de dois fatores: 1) a energia da chuva representada pela sua intensidade e 2) a erodibilidade do solo. A expressão proposta por Meyer (1981) foi:

$$D_i = K_i I^p \quad (1)$$

em que,  $D_i$  é a taxa de erosão em entressulcos ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $K_i$  é a erodibilidade em entressulcos ( $\text{kg s m}^{-4}$ );  $I$  é a intensidade da chuva ( $\text{m s}^{-1}$ ), e  $p$  é um expoente com valor próximo a 2,0 e invariável com o teor de argila.

Tradicionalmente, considera-se que a erosão aumenta com o aumento da declividade do terreno (ARMSTRONG et al., 2011). De acordo com BIGARELLA & MAZUCHOWSKI (1985) a intensidade do escoamento superficial está relacionada com a sua velocidade, que é variável, por vários fatores, dentre eles a morfologia do terreno. Em vertentes de maior gradiente, a força gravitacional potencializa o processo, sendo

justamente a velocidade das águas do escoamento, que depende a capacidade e a quantidade de sedimentos a ser transportados.

O grau de declive afeta características hidráulicas como a tensão cisalhante e a velocidade do fluxo, os quais determinam a erosividade do escoamento superficial (NEARING1991). Independentemente do gradiente de declive a erosão em entressulcos tem sido diretamente relacionada com a velocidade da enxurrada (KINNELL, 1990).

Várias expressões foram apresentadas na literatura para expressar o efeito da declividade do solo no processo de erosão em entressulcos. BRADFORD & FOSTER (1996) propuseram avaliar o mencionado efeito por um fator declividade em entressulcos ( $S_f$ ), como uma função do ângulo do declive ( $\theta$ ) tal que:

$$S_f = 2,96 (\text{sen}\theta)^{0,79} + 0,56 \quad (2)$$

Já Liebenow et al. (1990), após análise de uma coleção de dados de erosão em entressulcos, propôs a seguinte equação para  $S_f$  como:

$$S_f = 1,05 - 0,85 e^{-4\text{sen}\theta} \quad (3)$$

Foi incorporada por FLANAGAN & LIVINGSTON (1995) a equação (3) no WEPP e a taxa de erosão em entressulcos passou a ser expressa como:

$$D_i = K_i I^2 S_f \quad (4)$$

O declive afeta a tensão cisalhante e a velocidade do fluxo, os quais determinam a erosividade da enxurrada (NEARING et al., 1990).

A equação (4), segundo KINNELL & CUMINGS (1993), relaciona o efeito do gradiente do declive na taxa de erosão em entressulcos ( $D_i$ ) com o quadrado da intensidade da chuva (MEYER, 1981; LIEBENOW et al., 1990). Logo, exceto para solos impermeáveis, essa relação empírica não permite avaliar o efeito do fluxo na erosão em entressulcos (MARTINS FILHO, 2007).

O transporte de sedimentos pelo fluxo superficial é o principal mecanismo de erosão nas áreas entressulcos. A taxa de descarga de sedimentos ( $q_{si}$ ) por unidade de largura do fluxo pode ser expressa como:

$$q_{si} = q_w C_i \quad (5)$$

em que,  $q_{si}$  é a descarga de sedimentos ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ );  $q_w$  é a descarga de água ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), e  $C_i$  é a concentração de sedimentos no fluxo entressulcos ( $\text{kg kg}^{-1}$ ).

Deste modo,  $D_i$  relaciona-se com  $q_{si}$  como:

$$D_i = q_{si} L^{-1} \quad (6)$$

em que,  $L$  é o comprimento da superfície em entressulcos no sentido do declive (m).

A infiltração de água no solo afeta as relações entre declive e erosão em entressulcos por controlar a taxa de descarga. Existem resultados contraditórios sobre a influência do ângulo e declive ( $q$ ) na infiltração: a taxa de infiltração aumenta, diminui ou permanece a mesma com aumento de  $q$  (CHENG et al., 2008). A infiltração, a produção de enxurrada e as perdas de solo são três processos interdependentes. Deste modo, para considerar os efeitos da enxurrada e da infiltração no transporte de sedimentos, nas áreas entressulcos, considerando-se trabalhos de KINNELL & CUMMINGS (1993), GHIDEY & ALBERTS (1997) e BRADFORD & FOSTER (1996) pode-se propor que:

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

em que,  $D_i$  é a taxa de erosão entressulcos ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $K_i$  é a erodibilidade entressulcos ( $\text{kg s m}^{-4}$ );  $R$  é a taxa de enxurrada ( $\text{m s}^{-1}$ );  $I$  é a intensidade de chuva ( $\text{m s}^{-1}$ );  $S_f$  é o fator declividade como proposto por LIEBENOW et al. (1990).

Para MARTINS FILHO (2007), modelos desenvolvidos com base apenas nas características da chuva, como a equação (1), podem produzir resultados satisfatórios somente em condições de estado de equilíbrio dinâmico. Isto ocorrerá, segundo ZHANG et al. (1998), uma vez que, nas condições citadas, a intensidade da chuva se correlacionará com a taxa de enxurrada. Logo, tais modelos não poderão prever adequadamente a erosão para condições de não-equilíbrio dinâmico (MARTINS FILHO, 2007). Essa inadequação é função da não-explicitação do transporte devido a um fino fluxo impactado pelas gotas de água da chuva e, ainda, dos efeitos da infiltração no aporte de sedimentos.

Considerando o exposto, ZHANG et al. (1998) propuseram avaliar a taxa de erosão em entressulcos como:

$$D_i = K_{iq} I q^c S^{2/3} \quad (8)$$

em que,  $q$  é a taxa de descarga, e  $c$  é um coeficiente de regressão que irá variar em função do solo e das interações declive-enxurrada,  $S$  é a declividade.

Utilizando-se da equação (8), ZHANG et al. (1998) concluíram que a taxa de descarga de enxurrada, a intensidade da chuva, o grau de inclinação e as suas interações afetam o aporte de sedimentos nas áreas entressulcos.

Nas equações 7 e 8 os parâmetros  $K_i$  e  $K_{iq}$  representam a erodibilidade em entressulcos, que tem sido correlacionada com atributos físicos e químicos do solo como: textura, estabilidade de agregados, teor de carbono orgânico. A partir de tais correlações, equações empíricas tem sido propostas para a determinação indireta de  $K_i$  e  $K_{iq}$ .

Utilizando equações empíricas (WEPP- $K_i$ ), para solos com teor de argila  $\leq 350$  g  $\text{kg}^{-1}$ , BAJRACHARYA et al. (1992) sugeriram não haver correlação entre valores medidos de  $K_i$  com a equação (7) e WEPP- $K_i$ . VALMIS et al. (2005) atribuíram tais resultados à ausência nos modelos de predição de erosão em entressulcos de um índice de medida para a instabilidade dos agregados do solo.

Práticas de manejo, como o preparo do solo e o manejo dos resíduos, fortemente afetam a estrutura e as substâncias responsáveis pela agregação e a proporção de macroagregados presentes no solo, bem como influenciam a decomposição de resíduos de plantas e processos associados (TISDALL & OADES, 1982; BONGIOVANNI & LOBARTINI, 2006; RIMAL & LAL, 2009). O preparo e o manejo influenciam as propriedades estruturais, a erodibilidade e a produtividade agrícola do solo (MALO et al., 2005).

Sistemas de cultivo conservacionistas, com o manejo dos resíduos na superfície e o não-preparo do solo, são eficientes em reduzir a enxurrada e a erosão (TRUMAN et al., 2009). Estes sistemas permitem o acúmulo de resíduos e carbono orgânico na superfície do solo ao longo do tempo, o que ajuda a dissipar a energia das gotas de chuva e do fluxo de enxurrada. Tais sistemas promovem o aumento de matéria orgânica na superfície do solo, o que aumenta a estabilidade dos seus agregados e a sua resistência mecânica. Com isso, há uma melhora na infiltração e uma diminuição na

desagregação do solo, no transporte de partículas e na quantidade de argila dispersa na água (TRUMAN et al., 2005).

Existem muitos processos relativos à interação solo-planta que afetam a erosão do solo, dentre eles incluem-se: 1. Ligações físicas do solo com o caule e as raízes das plantas; 2. Ligação eletroquímica e nutricional entre as raízes e o solo; 3. Detenção da enxurrada pelos caules e serrapilheira; 3. Infiltração de água ao longo de canais produzidos pelas raízes; 4. Maior incorporação de matéria orgânica dentro do solo, o que resulta em melhores qualidades estruturais e de armazenamento de água; 5. Aumenta da fauna e da atividade biológica, que propicia uma melhor estrutura ao solo.

A cobertura vegetal pode ser considerada como a melhor defesa natural de um solo contra a erosão. A atuação da cobertura sobre a erosão, além disso, segundo LEE (1980), melhora os processos de infiltração, percolação e armazenamento d'água, diminui o escoamento superficial e contribui para o escoamento subsuperficial. São os mencionados efeitos que em conjunção proporcionam a diminuição do processo erosivo.

Para TUCCI (1993) a cobertura vegetal é o fator isolado de maior influência no processo erosivo, pois evita o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo desnudo e a desagregação das partículas, aumenta a umidade na zona radicular, mantém a microflora, interfere no processo precipitação-vazão reduzindo as vazões máximas devido à atenuação do escoamento. A cobertura vegetal na superfície também reduz a velocidade do escoamento superficial, pelo aumento da rugosidade hidráulica (FOSTER et al., 2003).

No preparo e nos demais manejos do solo deve-se procurar manter a maior cobertura possível da superfície, para aumentar a capacidade de infiltração e assegurar a máxima rugosidade da superfície.

Para FARIAS et al. (2008) o rápido crescimento do dossel foliar da cana-de-açúcar previne a erosão, por impedir o impacto das gotas de chuva. Mas, caso haja algum colapso no dossel, essas gotas podem passar pela área desprotegida e desagregar o solo. Disto decorre a importância da presença de palhada em contato direto com a superfície do solo como apontado por MARTINS FILHO et al. (2010).

A aplicação de práticas 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 (LEITE et al., 2009). O tipo de operação de preparo influencia as condições superficiais do solo (LEYS et al., 2007). Em contraste ao preparo convencional, os preparos conservacionistas preservam os resíduos sobre a superfície do solo. Tais resíduos impedem a formação do selamento superficial, em consequência da atenuação do efeito do impacto das gotas da chuva. Isto poderá permitir considerável infiltração e armazenamento de água e aumento da rugosidade superficial do solo, reduzindo a velocidade da enxurrada (FINDELING et al., 2003; LEITE et al., 2009).

A adoção da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, caracterizada pela não-despalha pelo fogo, passa a ser uma importante prática conservacionista, tendo em vista a conservação do solo e da água e a não emissão de dióxido de carbono. FURLANI NETO (1994) ao comparar cana crua e cana queimada destaca como vantagens da primeira: maior proteção do solo contra erosão, redução do uso de herbicidas, melhor matéria-prima para indústria, maior incorporação de matéria orgânica ao solo, maior atividade microbiana do solo e redução da poluição ambiental.

Quando os resíduos vegetais são deixados ou mantidos em contato direto com a superfície do solo, são extremamente eficientes em controlar o processo de erosão em entressulcos (BRAIDA & CASSOL, 1999; MARTINS FILHO et al., 2004; CASSOL et al., 2004; BEZERRA & CANTALICE, 2006; MARTINS FILHO, 2007).

Uma eficiente cobertura da superfície do solo o protege eficientemente do impacto das gotas da chuva e o seu manejo modifica a estabilidade dos agregados, o que afetando a erosão em entressulcos reduzindo-a. Os efeitos da cobertura vegetal, na erosão em entressulcos, podem ser divididos dentro de três classes: 1) efeitos do dossel; 2) efeitos dos resíduos em contato direto com a superfície do solo; 3) efeitos dos resíduos incorporados ao solo (WISCHMEIER, 1978). A relação entre a taxa de desagregação e a presença de cobertura vegetal, no processo de erosão em entressulcos, pode ser modelada como (BRADFORD & FOSTER, 1996):

$$D_i = K_i R I S_f C_i \quad (9)$$

em que,  $D_i$  é a taxa de erosão em entressulcos ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $R$  é a taxa de enxurrada ( $\text{m s}^{-1}$ );  $I$  é a intensidade de chuva ( $\text{m s}^{-1}$ );  $K_i$  é a erodibilidade em entressulcos ( $\text{kg s m}^{-4}$ );  $S_f$  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 (FOSTER, 1982):

$$C_i = C_{ii} C_{iii} C_{iiii} \quad (10)$$

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. (2004), 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.

O efeito tipo II, a partir de parâmetros relativos à porcentagem de solo coberto por resíduos e das características hidráulicas do fluxo superficial, pode ser obtido como (FOSTER, 1982):

$$C_{iii} = \zeta e^{(0,21 [(Y_c/Y_d) - 1] 1,18)} \quad (11)$$

em que,  $C_{iii}$  é o subfator cobertura do solo para resíduos em contato com a superfície;  $\zeta$  é a fração da superfície exposta ao impacto direto das gotas da chuva, e  $Y_c/Y_d$  é a razão da altura da lâmina da água na superfície com cobertura ( $Y_c$ ) e sem cobertura ( $Y_d$ ).

Outra expressão, porém, mais simples que a equação (11), foi proposta por LAFLEN et al. (1985) para estimar  $C_{iii}$  como:

$$C_{iii} = e^{-2,5 CS/100} \quad (12)$$

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.

As características hidráulicas do fluxo superficial como velocidade, profundidade e coeficientes de fricção têm sido amplamente estudados (HESSEL et al., 2003; PAN & SAHNGGUAN, 2006; BEZERRA & CANTALICE, 2006; KNAPEN et al., 2009; CANTALICE et al., 2009). Contudo, poucos estudos têm examinado as interações do fluxo em entressulcos com as condições de cobertura vegetal por resíduos de cana-de-açúcar. A cobertura vegetal modifica a hidrologia do fluxo superficial e altera o transporte e a deposição de sedimentos (NEAVE & ABRAHAMS, 2002; CASSOL et al. 2004; PAN & SHANGGUAN, 2006; KNAPEN et al., 2009).

Segundo CASSOL et al. (2004), a hidráulica do escoamento em entressulcos foi afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície, em um Argissolo Vermelho distrófico típico, implicando uma redução da velocidade e o aumento da resistência e da altura da lâmina do escoamento superficial. Os mesmos autores verificaram, ainda, que a interposição física dos resíduos ao escoamento reduz as taxas de desagregação por erosão em entressulcos.

Trabalhos realizados por BEZERRA & CANTALICE (2006) concluíram que os resíduos da cana-de-açúcar, em contato direto com o solo, propiciaram 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 a redução das taxas de erosão em entressulcos.

Como o processo de erosão em entressulcos é resultado de uma complexa interação de fatores, dentre os quais aqueles que alteram a hidráulica do fluxo superficial, é esperado que os resíduos vegetais quando mantidos em superfície reduzam as perdas de nutrientes associadas a este processo erosivo do solo.

### **3.3 Perdas de nutrientes por erosão hídrica**

As perdas e o transporte de fertilizantes, pesticidas e resíduos animais ou industriais na enxurrada têm sido objeto de estudo em vários trabalhos experimentais (THOMPSON et al., 2001; CASSOL & LIMA, 2003; MARTINS FILHO et al., 2009). Dois problemas prioritários devem merecer investigação: 1) o desenvolvimento de novas técnicas de manejo dos resíduos para uma redução mais efetiva da erosão hídrica,



relacionando práticas de produção com a cobertura residual; 2) o desenvolvimento de métodos mais eficientes de uso de fertilizantes, pesticidas e resíduos animais (IZIDÓRIO, 2004).

O transporte de solo pode ocorrer em terras cultivadas como resultado da interação de processos erosivos: erosão pelo preparo ou cultivo, hídrica e eólica. As perdas por algum desses processos erosivos resultam em um material modificado em relação às propriedades do solo original e reduzem a produção das culturas. O efeito da translocação do solo como uma combinação dos processos erosivos aumenta a variabilidade espacial das produções agrícolas, assim como a do declínio global da produtividade do solo. Muitos estudos têm relatado os efeitos detrimenais oriundos da erosão do solo na produtividade agrícola.

A erosão pode reduzir a produtividade na proporção de cerca de 4 vezes a cada 10 cm de solo perdido. As reduções da produtividade são possíveis, embora isto dependa do contraste entre propriedades da superfície e da subsuperfície em termos de textura, fertilidade e estágio do processo erosivo (BAKKER et al., 2004).

A concentração de nutrientes, na enxurrada, da erosão hídrica depende da concentração destes na camada mais superficial do solo, a qual é influenciada pela fertilidade natural e pela quantidade, pelo tipo e pela forma de aplicação dos fertilizantes e corretivos no solo (BERTOL et al., 2003; MARTÍNEZ-CASANOVAS & RAMOS, 2004). Assim, as perdas totais de nutrientes por erosão hídrica são resultantes da concentração destes no solo original e das quantidades totais de solo e água removidas no processo erosivo (BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN et al., 2005). Em geral, existe relação linear positiva entre a concentração de nutrientes no material erodido e aquela na camada de 0,0–2,5 m de profundidade do solo original (BERTOL et al., 2003).

As perdas de nutrientes por erosão hídrica são influenciadas pela sua concentração na água e nos sedimentos, e pela perda total de água e de sedimentos por erosão (FAVARETTO, 2002; GUADAGNIN, 2003; BERTOL et al., 2003). A concentração de nutrientes na água e nos sedimentos, por outro lado, varia com sua concentração no solo (DANIEL et al., 1994; FAVARETTO, 2002), a qual é influenciada

pelas adubações e pela cobertura e manejo do solo (SEGANFREDO et al., 1997; MELLO, 2002).

Os preparos de solo conservacionistas proporcionam a presença de maior rugosidade (exceto a semeadura direta) e cobertura superficial do que os convencionais (COGO, 1981; BERTOL, 1995). Assim, as perdas de água e de sedimentos são reduzidas nos sistemas conservacionistas, o que diminui as perdas totais de nutrientes por erosão nesses sistemas de manejo (KING et al., 1996). A aplicação de adubos nas lavouras, durante longo período de tempo, tende a aumentar a concentração de P e K na superfície do solo, especialmente na semeadura direta sem revolvimento do solo. Isto proporciona aumento das concentrações desses nutrientes tanto na água quanto nos sedimentos presentes na enxurrada (POTE et al., 1996; GUADAGNIN, 2003). BERTOL et al. (2010), aplicando 50 kg ha<sup>-1</sup> de P no cultivo da soja, obtiveram concentrações de 0,8 mg L<sup>-1</sup> do elemento na água da enxurrada, na semeadura direta, e de 0,5 mg L<sup>-1</sup> na água do cultivo mínimo, sob chuva simulada, nos primeiros 10 dias após a semeadura da cultura.

Os nutrientes das plantas, como P, K, Ca e Mg, perdidos por erosão hídrica, podem significar expressiva perda monetária, na forma de adubos e calcário que foram adicionados ao solo (PIMENTEL et al., 1995; MARTÍNEZ-CASANOVAS & RAMOS, 2004), com conseqüente aumento no custo de produção das culturas. Essas perdas são expressivamente diminuídas, em termos absolutos, na presença de sistemas de manejo conservacionista do solo, já que estes diminuem a erosão hídrica. As perdas de nutrientes por erosão hídrica podem constituir-se em importante causa de empobrecimento do solo no local de origem da erosão e, ainda, de contaminação do ambiente, especialmente as águas superficiais, fora do local de origem da erosão (PIMENTEL et al., 1995; IBÁÑEZ et al., 2004). Assim, quando mantidos dentro das lavouras, tais nutrientes podem representar importante economia em adubos e em calcário no sistema de produção vegetal.

Diversos estudos têm mostrado que sistemas de conservação do solo, como plantio direto e cultivo mínimo, diminuem a erosão (HANSEN et al., 2000) e as perdas de substâncias químicas adsorvidas ao sedimento (HERNANI et al., 1999). Contudo, as

perdas de produtos químicos em solução poderão ser consideravelmente elevadas. Isto ocorre porque, em sistemas conservacionistas como os mencionados, há grande utilização de agrotóxicos e herbicidas, os quais são aplicados e levemente incorporados na superfície do solo (BERTOL et al., 2004).

Para THOMPSON et al. (2001) as perdas de nutrientes em suspensão na enxurrada são pequenas, quando comparadas com as quantidades de fertilizantes aplicados ao solo. As perdas de nutrientes podem ocorrer associadas ao transporte pelo fluxo ou adsorvidas ao sedimento carregado pela enxurrada. É conhecido que, os sistemas de conservação do solo, como o plantio direto e o cultivo mínimo, podem reduzir as perdas por erosão, em comparação ao sistema convencional (MARTINS FILHO et al., 2009). Sendo assim, as perdas de nutrientes em sistemas que eliminam os resíduos culturais, como é o caso no cultivo da cultura de cana-de-açúcar, com a queima da palhada antes da colheita, devem ser reavaliadas, em relação a essas perdas.

A remoção das substâncias químicas em solução com a enxurrada, em áreas agrícolas, tem potencial para ser uma significativa fonte de perdas destas substâncias em sistemas de cultivo, como o plantio direto e com cobertura morta. Substâncias químicas podem ser transportadas pelo fluxo superficial em solução e/ou adsorvidas nos sedimentos suspensos no escoamento (WALTON et al., 2000).

Como em sistemas conservacionistas a incorporação de fertilizantes e adubo no solo é limitada e há formação de uma camada de acúmulo de P próximo à superfície do solo, aumenta o risco de liberação de P e posterior transporte via superfície pelo escoamento. ADDISCOTT & THOMAS (2000) recomendaram alternar o cultivo mínimo com plantio convencional a fim de diluir as concentrações de P na superfície do solo.

O preparo do solo é um fator importante que contribui para aumentar o risco de erosão do solo e as perdas de fósforo particulado (PP) com a água. O PP refere-se ao fósforo absorvido às frações finas do solo, que estão em suspensão na água da enxurrada. O cultivo afeta a mineralização e mobilização do P, dependendo, por exemplo, da susceptibilidade do solo à degradação estrutural (WITHERS et al., 2007).

Entretanto, o risco de transporte de partículas do solo e a perda de P particulado é dependente da declividade do terreno e da textura solo.

A erosão em entressulcos é um processo seletivo, tal que a matéria orgânica do solo (MOS) é, preferencialmente, removida pelo escoamento superficial, por ter uma baixa densidade e estar associada com as frações argila e silte, além de também encontrar-se concentrada nas proximidades da superfície do solo (LOWRANCE e WILLIAMS, 1988 ).

O processo de erosão em entressulcos, freqüentemente, está associado como enriquecimento do sedimento erodido por finas frações de baixa densidade como silte e argila, P e C. O enriquecimento por P dos sedimentos em entressulcos é atribuído à associação do fósforo com as mais finas frações do solo, que são preferencialmente transportados (KUHN et al., 2010).

É clara e bem documentada na literatura a ligação existente entre P, C, condição textural da superfície do solo e sedimento em entressulcos. Assim, enquanto medidas de conservação podem reduzir a erosão, esse efeito positivo é acompanhado por um aumento do carbono orgânico do solo (SOC). Atualmente, a tecnologia disponível inadequadamente prevê uma série de fatores interagindo, tais como rugosidade superficial, as propriedades texturais, desagregação, SOC, P e a importância relativa de diferentes intensidades de chuvas perdas por erosão em entressulcos ( KUHN et al., 2010). Contudo, há a necessidade premente de investigação do efeito do manejo do solo na quantidade e dinâmica de perdas de nutrientes e SOC por erosão em entressulcos.

O teor de água presente no solo antecedente a uma precipitação tem efeitos sobre a sua estrutura. Dependendo do teor de água presente no solo, este pode reduzir a infiltração e aumentar o escoamento superficial. O aumento de volume dos agregados, o qual é causado pela rápida entrada de água da chuva nas superfícies externas destes, leva-os à destruição e à quebra em partículas menores (KUHN et al., 2010).

Quando o solo apresenta alta concentração de matéria orgânica, esta fornece um revestimento hidrofóbico aos poros do solo, bem como aumenta a ligação

interpartículas, o que reduz a desagregação (KUHN et al., 2010). As práticas de manejo do solo dos resíduos vegetais afetam fortemente a estrutura e as substâncias orgânicas responsáveis pela agregação, bem como alteram proporção relativa de macroagregados, os quais são menos estáveis frente às ações da água e mecânicas da aração (BONGIOVANNI E LOBARTINI, 2006; KUHN et al., 2010).

O preparo do solo, segundo MALO et al. (2005), influencia as propriedades estruturais, a erodibilidade e a produtividade agrícola do solo, uma vez que este destrói os agregados, perturba as plantas e os organismos que influenciam a agregação, a capacidade de troca catiônica (CTC), as reservas de nutrientes e atividade microbiana. De acordo com MACIEL & OLIVEIRA (2007), 65 a 70% da água potável utilizada no Brasil e no mundo é direcionada para a agricultura, com a qual se observa um grande desperdício na prática.

A falta de planejamento na ocupação do meio rural e urbano contribui para a contaminação das águas por efluentes agrícolas, domésticos e industriais não tratados dada a precariedade do setor de saneamento básico; impermeabilizações do solo; intensificação dos processos erosivos, assoreamentos de cursos hídricos; queimadas indiscriminadas; desmatamentos; a construção de estradas, represas e obras de infraestrutura sem os cuidados previstos em lei ou sem autorização dos órgãos competentes; e ocupação desordenada de terras rurais e áreas de preservação ambiental (MACIEL & OLIVEIRA, 2007). Contudo dentre todos os efeitos impactantes a principal causa da degradação das terras e dos cursos d'água pelo assoreamento e eutrofização artificial, são os processos erosivos.

O uso da mecanização, mais intenso nas fases de plantio e tratos culturais, é ainda pequeno no corte da cana-de-açúcar, mas vem sendo implementado de modo irreversível, especialmente na região Centro-Sul. Em São Paulo, a área colhida com máquinas foi de 47% em 2007 e deve aumentar a cada safra. A mecanização da colheita da cana-de-açúcar não só aumenta o rendimento operacional do procedimento como também reduz seu impacto ambiental, por dispensar a queima de resíduos. Contudo, há poucas pesquisas direcionadas a comprovar e entender como tal sistema

de manejo atua no controle das perdas de matéria orgânica e nutrientes associados à água e ao sedimento erodido.

Nutrientes de plantas como o P, K, Ca e Mg perdidos por erosão hídrica poderão significar expressiva perda monetária na forma de fertilizantes e corretivos (BERTOL et al., 2007; SANTOS et al., 2007). É reconhecido que a água da enxurrada transporta nutrientes advindos da calagem, adubação, decomposição de resíduos culturais, matéria orgânica e agroquímicos (VOLK et al., 2004). Uma parcela destes nutrientes está associada aos sedimentos e outra constituída por nutrientes dissolvidos na água.

Foi estimado por ANDRADE (2009) que uma área com cana queimada perde mais nutrientes por erosão em todos os cortes, o que representa um maior custo médio de reposição de nutrientes da ordem de R\$ 33,93 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> contra R\$ 21,12 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a cana crua. Ele concluiu que a cana crua apresentou o melhor retorno técnico e econômico em virtude de proporcionar melhor conservação do solo e da água, a qual foi valorada pelo custo de reposição de nutrientes perdidos por erosão.

A valoração econômica das perdas de nutrientes por erosão apresenta-se como uma valiosa ferramenta para a avaliação e análise dos sistemas de cana crua e queimada, por permitir dimensionar os impactos decorrentes de determinada atividade e possibilitar a tomada de decisões no planejamento de uso agrícola dos solos (ANDRADE, 2009).

As concentrações de N, P, K, Ca e Mg na água perdida por erosão são significativamente influenciadas pelo manejo do solo (BERTOL et al., 2003). Tais concentrações aumentam com um maior número de aplicações de fertilizantes e intensidade de revolvimento do solo.

Com a aplicação de fertilizantes em áreas agrícolas há uma tendência de uma maior concentração de P e K na superfície do solo, o que pode acarretar no aumento das concentrações desses nutrientes na enxurrada (COSTA, 2004). Tal tendência poderá ocorrer em áreas de cultivo de cana-de-açúcar sob sistema de colheita mecanizada (cana crua), devido à manutenção de palha na superfície e ao não revolvimento do solo.

O excesso de P na forma particulada ou solúvel pode causar a eutrofização de corpos d'água, com subsequente aumento da população de fitoplânctons e algas e morte de organismos aquáticos. As perdas de fósforo por erosão ocorrem de dois modos: 1) adsorvido às partículas; 2) dissolvido na água. O fósforo dissolvido na água é composto principalmente por ortofosfato, cuja absorção é imediata pelas algas. Já o fósforo adsorvido às partículas representará uma fonte de P de longo prazo, no corpo d'água em que os sedimentos erodidos forem depositados.

Decorrente do exposto, claramente se percebe a necessidade da utilização de práticas de manejo do solo que visem a minimizar sua perda física por erosão e também a perda de água da chuva na forma de enxurrada e, junto com ela, os nutrientes, reduzindo os custos de sua reposição por meio das adubações, o que irá refletir em maior lucratividade da lavoura. De fato, o conhecimento da perda de solo, de água e de nutrientes por erosão constitui uma necessidade básica e permanente na agricultura, uma vez que ele possibilitará a elaboração de planejamentos de uso do solo na propriedade agrícola de forma quantitativa e mais bem sustentada, em base verdadeiramente conservacionista, propiciando melhorias na capacidade produtiva do solo para as culturas e resultando em melhor preservação do ambiente. Resultarão desses fatos, inquestionavelmente, melhor qualidade de vida para todos, mas principalmente para o agricultor e sua família.

Deste modo justifica-se a necessidade da condução de pesquisas para avaliar as perdas de solo, água e nutrientes em vertentes cultivadas com cana-de-açúcar e submetidas à colheita mecanizada, uma vez que a taxa e a quantidade de água perdida pelo escoamento superficial são parâmetros fundamentais no planejamento de uso e manejo do solo em bases conservacionistas. Tais parâmetros são imprescindíveis no planejamento e dimensionamento de sistemas de terraços agrícolas nas lavouras, por exemplo.

#### 4.MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, no Município de Guariba, na fazenda São Bento, da Usina São Martinho. As coordenadas geográficas são 21° 19' de latitude sul e 48° 13' de longitude oeste, com altitude média de 640 m acima do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Aw), com precipitação média de 1.400 mm, com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. A vegetação natural é constituída por floresta tropical subcaducifólia .

O solo da área foi classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com valor de saturação por base (V%) 26% na profundidade de 0,60-0,80m (LVAd) (EMBRAPA, 2006) sob cultivo de cana-de-açúcar, cujos valores dos principais atributos químicos e físicos são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Atributos químicos do solo na profundidade 0,00 a 0,20m.

Posição	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----			%
Topo	24,0	36,0	1,0	31,0	9,0	37,0	42,0	79	53
Encosta	29,4	33,2	1,5	30,5	9,0	33,6	41,0	76	53
Sopé	19,4	21,6	1,2	18,4	5,2	36,2	24,8	70	40,5

TABELA 2. Atributos físicos do solo na profundidade 0,00 a 0,20m.

Posição	Argila	Silte	AT	AG	AF
	-----%				
Topo	30	6	64	38	26
Encosta	26	7	67	34	33
Sopé	34	8	58	48	10

AT – Areia total; AG – Areia grossa e AF – Areia fina



TABELA 3. Atributos físicos do solo na profundidade 0,60 a 0,80m.

	Argila	Silte	AT	AG	AF
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Vertente	41	6	55	33	22

AT – Areia total; AG – Areia grossa e AF – Areia fina.

Utilizou-se uma vertente caracterizada pelas seguintes posições: topo, meia encosta e sopé (Figura 1). Cumpre ressaltar que a área apresenta um histórico de mais de 20 anos consecutivos com cultivo de cana-de-açúcar. Deste modo, a cobertura vegetal na área, na época da realização deste trabalho, foi constituída por resíduos de cana-de-açúcar, que foram mantidos sobre a superfície após a colheita mecânica da cultura.

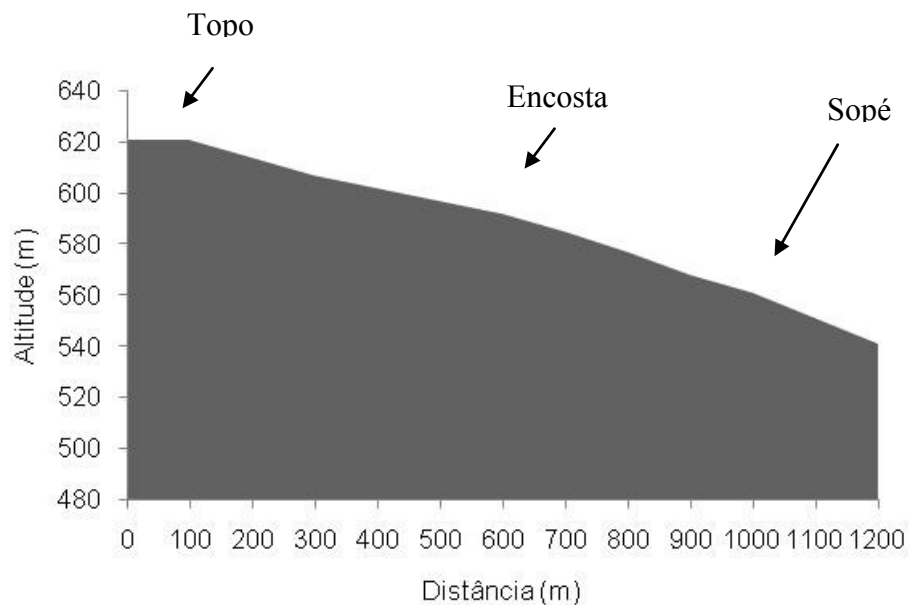


Figura 1. Perfil planialtimétrico do segmento de vertente trabalhado.

Parcelas experimentais (Figura 2) com as dimensões de 0,50 m de largura por 1,0 m de comprimento (0,5 m<sup>2</sup>) e delimitadas com chapas metálicas nas suas laterais e na parte superior e na extremidade inferior, por uma calha convergente para uma saída

de 0,10 m de diâmetro, foram utilizadas para a determinação do processo de erosão em entressulcos.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado num esquema fatorial, com: 3 posições na vertente (topo com declividade de  $0,025 \text{ m m}^{-1}$ , meia encosta com declividade de  $0,05 \text{ m m}^{-1}$  e sopé com  $0,07 \text{ m m}^{-1}$ ), 5 tratamentos com palha de cana-de-açúcar e 4 repetições, totalizando 60 parcelas. Nos tratamentos, a palha foi manualmente distribuída em toda a superfície do solo, nas quantidades de 0,0; 0,157; 0,350; 0,515 e 0,700 kg, proporcionando coberturas de 0% ( $CS_0$ ), 25% ( $CS_{25}$ ), 50% ( $CS_{50}$ ), 75% ( $CS_{75}$ ) e 100% ( $CS_{100}$ ), respectivamente. As percentagens de coberturas por palha de cana foram determinadas analisando-se imagens fotográficas das parcelas experimentais com o programa SisCob (EMBRAPA, 2010). As parcelas testemunhas foram consideradas aquelas sem cobertura por palha ( $CS_0$ ). Para chegar ao valor de 100% de cobertura, pesaram-se várias amostras em áreas de  $1 \text{ m}^2$  de palha após a colheita e determinou-se a média das amostras. A aplicação da palha foi realizada 2 horas antes da realização de chuva simulada e das avaliações de erosão em entressulcos.



Figura 2. Parcelas experimentais: a) sem cobertura e b) 100% de cobertura.

As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidades médias de  $60 \text{ mm h}^{-1}$ , durante 65 minutos. Utilizou-se um simulador de chuva de hastes rotativas do tipo Swanson, com bicos veejet 80-100, previamente

calibrado e nivelado no terreno, como proposto por SWANSON (1965). Trinta e três pluviômetros, alinhados no sentido do declive, na área de ação do simulador de chuvas, como descrito por MARTINS FILHO (1999), foram utilizados para determinar as intensidades das precipitações produzidas pelo simulador, nas áreas ocupadas pelas parcelas experimentais.

Amostragens para medidas de vazões dos escoamentos superficiais e das concentrações de sedimentos foram realizadas no quinto minuto após o início da enxurrada e, a partir daí, a cada cinco minutos. Amostras foram coletadas em recipientes de plástico com capacidade de 1L, cronometrando-se o tempo de coleta. Logo após as coletas, os recipientes foram fechados e conduzidos ao laboratório, para quantificação da concentração de sedimentos e volume de solução e, conseqüente, determinação das taxas de perdas de solo e água.

Os volumes de solução coletados foram avaliados gravimetricamente, em balança com resolução de 0,01 g e, em seguida, as amostras deixadas em repouso por 24 horas para a deposição dos sedimentos. Após o período de repouso de 24 horas, o sobrenadante foi filtrado e submetido à análise direta de determinação de P, K, Ca e Mg, seguindo método da EMBRAPA (1979). Já o material decantado foi levado à estufa a 60° C até secagem completa. Após secagem, as amostras foram pesadas, determinando-se o peso do sedimento de cada uma. A concentração de sedimentos foi obtida considerando-se o volume da solução, a densidade da água e do sedimento na solução conforme descrito por VANONI (1975). Cada um dos volumes de solução obtidos foram divididos pelo tempo de coleta, obtendo-se a vazão de enxurrada em cada intervalo de coleta.

Uma vez quantificado o sedimento erodido em  $\text{kg s}^{-1}$  e a vazão em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , para cada amostragem realizada, a taxa de erosão (A) e a de enxurrada (R) foram determinadas dividindo-se cada um dos valores obtidos pela área de cada parcela. Amostras deformadas foram coletadas nas bordaduras das parcelas entressulcos, com o auxílio de um trado, no intervalo de profundidade de 0 - 0,15 m, para determinação da umidade do solo. A umidade do solo foi determinada gravimetricamente, a partir de amostras coletadas no campo. No laboratório, as amostras foram pesadas e secas em

estufa sob circulação forçada, a 105°C, por 24 horas, e pesadas novamente. A umidade gravimétrica foi expressa em  $g\ g^{-1}$  e, posteriormente, convertida em  $m^3\ m^{-3}$ , utilizando-se da densidade do solo.

A velocidade do escoamento superficial foi obtida pela medição do tempo gasto para um corante (azul de metileno a 0,25%) percorrer uma distância conhecida na parcela experimental. Tais medidas foram feitas a cada cinco minutos, durante o tempo de duração das chuvas simuladas. A velocidade determinada como descrito é considerada como a velocidade máxima do escoamento. Estabeleceu-se a velocidade média do escoamento conforme FARENHOST & BRYAN (1995), a qual é dada pelo produto da velocidade máxima por um fator de ajuste  $\alpha=2/3$ . A velocidade média do escoamento ( $v$ ) para os tratamentos com 25%, 50%, 75% e 100% de cobertura foi determinada a partir do ajuste de  $v$  em função da vazão ( $Q$ ) obtida nas parcelas sem cobertura, conforme descrito por KNAPEN et al. (2008).

Para a caracterização química do solo e do sedimento erodido, o cálcio, o magnésio, o potássio e o fósforo foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987). O carbono orgânico (C%) foi determinado seguindo metodologia da EMBRAPA (1979). O pH foi determinado potenciométricamente em solução de  $CaCl_2$  0,01 M. A água foi analisada no laboratório da ESALQ/Piracicaba seguindo a metodologia descrita por CATANI E PAIVA NETO (1949). A determinação do potássio e do sódio foi por espectrofotometria de chama, leitura direta da amostra. Cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

Os resultados foram submetidos à análise da variância segundo o delineamento fatorial, 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. Todos os resultados das análises estatísticas foram obtidos com o programa Statistica (STATSOFT, 1994).

As taxas de desagregação do solo em entressulos ( $D_i$ ,  $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) foram determinadas conforme equação 13:

$$D_i = \frac{ms}{tA} \quad (13)$$

em que,  $m_s$  = massa de solo desagregado (kg);  $t$  é o tempo de coleta (s), e  $A$  é a área da parcela ( $m^2$ ).

As perdas totais de solo foram determinadas pela equação 2:

$$PS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i C_i t)}{A} \quad (14)$$

em que,  $PS$  é a perda total de solo em entressulcos ( $kg\ m^{-2}$ );  $Q_i$  é a vazão ( $L\ s^{-1}$ );  $C_i$  é a concentração de sedimentos ( $kg\ L^{-1}$ );  $t$  é o intervalo entre as coletas (300 s);  $A$  é a área da parcela ( $m^2$ ), e  $n$  é o número total de amostras coletadas.

Parâmetros referentes à hidráulica do escoamento superficial, como altura do fluxo superficial, número de Reynolds, número de Froude e coeficiente de rugosidade de Manning, serão determinados como descrito na seqüência. Para a avaliação de algumas características hidráulicas do escoamento superficial em entressulcos será medida a temperatura da água de escoamento.

A altura do fluxo superficial ( $y$ ) foi obtida como descrito por COCHRANE e FLANAGAN (1997):

$$y = \frac{q}{v} \quad (15)$$

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 ( $R_e$ ) foi obtido conforme expressão apresentada por GILLEY E DORAN (1998):

$$R_e = \frac{q}{\nu} \quad (16)$$

em que,  $q$  é a descarga líquida por unidade de largura ( $m^2\ s^{-1}$ ), e  $\nu$  é a viscosidade cinemática da água ( $m^2\ s^{-1}$ ).

A viscosidade cinemática da água foi determinada, segundo JULIEN (1998), com base na temperatura ( $^{\circ}C$ ) obtida por meio de um termômetro em cada teste, como:

$$\nu = [1,14 - 0,031 (T - 15) + 0,00068 (T - 15)^2] \times 10^{-6} \quad (17)$$

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

Quando  $Re < 500$ ,  $Re > 500$  e  $Re > 2.000$ , o fluxo foi considerado laminar, turbulento transicional e completamente turbulento, respectivamente (EVANS et al., 1997; LOWE, 2003).

Para obter o número de Froude (Fr), foi utilizada a seguinte expressão (CHANSON, 2004):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (18)$$

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 foi denominado de supercrítico e, no caso contrário, de subcrítico.

A rugosidade hidráulica ao escoamento superficial foi obtida determinando-se o coeficiente de rugosidade de Manning (CHOW, 1959):

$$n = \frac{1}{v} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (19)$$

em que,  $Rh$  é o raio hidráulico (m), e  $S$  é a razão de inclinação do declive ( $m\ m^{-1}$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos números de Reynolds ( $Re$ )  $< 500$  e Froude ( $Fr$ )  $< 1$  permitem classificar que o escoamento, em todos os tratamentos, foi do tipo laminar lento ou subcrítico (Tabela 4), de acordo os dados obtidos por MARTINS FILHO (2007) e CANTALICE et al. (2009). Os valores de taxa de descarga ( $q$ ) da ordem de  $10^{-6}$  e alturas de lâmina d'água ( $y$ ) da ordem de  $10^{-4}$ , associadas aos resultados de  $Re$  e  $Fr$ , caracterizam o escoamento típico da erosão em entressulcos, ou seja, o laminar. As ordens de grandezas obtidas, no presente trabalho, para  $q$  e  $y$  foram inferiores às estabelecidas por CANTALICE et al. (2009), em um Espodossolo Carbico, com doses de resíduos de cana-de-açúcar, em superfície de 0, 0,4 e 0,6  $kg\ m^{-2}$ , que foram de  $10^{-5}$  e  $10^{-3}$ , respectivamente.

É possível observar, na Tabela 4, que com o aumento das porcentagens de cobertura por palha houve uma diminuição da velocidade do escoamento ( $v$ ), aumento da altura da lâmina d'água ( $y$ ) e do coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ).

Pode-se observar que o aumento na porcentagem de cobertura, independentemente da posição topográfica, reduziu significativamente os valores dos números de Reynolds e Froude e a taxa de descarga, além de aumentar também de modo significativo a altura da lâmina d'água (Tabela 4; Figuras 3a, 3b, 3c e 3d). A presença de resíduos em superfície promoveu significativa redução da velocidade do escoamento e aumento da rugosidade superficial (Figuras 4a e 4b), 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. Resultados semelhantes a estes foram obtidos por BEZERRA & CANTALICE (2006), MARTINS FILHO (2007) e CANTALICE et al. (2009).



TABELA 4. Parâmetros hidráulicos dos escoamentos gerados por chuvas simuladas em posições topográficas com coberturas de palha de cana-de-açúcar.

	Cobertura	Topo	Encosta	Sopé
Re	0	3,83 aA	5,17 aA	4,94 aA
	25	4,13 aA	4,94 abA	3,09 abA
	50	4,17 aA	3,89 abA	3,51 abA
	75	4,12 aA	3,03 bA	3,88 abA
	100	2,31 aA	1,85 bA	2,80 bA
Fr	0	0,55 aA	1,03 aA	0,90 aA
	25	0,64 aA	0,99 aA	0,39 aA
	50	0,66 aA	0,69 aA	0,46 aA
	75	0,70 aA	0,43 aA	0,58 aA
	100	0,22 aA	0,15 bA	0,31 aA
$q \times 10^6$	0	3,44 aA	4,65 aA	4,44 aA
	25	3,70 aA	4,44 abA	2,78 aA
	50	3,74 aA	3,49 abA	3,16 aA
	75	3,70 aA	2,72 bcA	3,48 aA
	100	2,08 aA	1,66 cA	2,51 bA
$y \times 10^4$	0	1,62 aA	1,36 bA	1,36 aA
	25	1,55 aA	1,42 bA	1,95 aA
	50	1,54 aA	1,96 bA	1,70 aA
	75	1,56 aA	2,25 bA	1,63 aA
	100	2,36 aA	2,90 aA	2,09 aA
v	0	0,022 aA	0,036 aA	0,033 aA
	25	0,025 aA	0,035 aA	0,016 aA
	50	0,025 aA	0,025 aA	0,019 aA
	75	0,026 aA	0,017 bA	0,022 aA
	100	0,010 aA	0,007 bA	0,013 aA
n	0	0,023 aA	0,020 bA	0,022 aA
	25	0,020 aA	0,023 bA	0,076 aA
	50	0,020 aA	0,069 bA	0,044 aA
	75	0,023 aA	0,148 abA	0,041 aA
	100	0,085 aB	0,265 aA	0,103 aB

Re é o número de Reynolds; Fr é o número de Froude; q é a taxa de descarga; y é altura da lâmina d'água, v é a velocidade média do escoamento superficial; n é o coeficiente de rugosidade de Manning. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

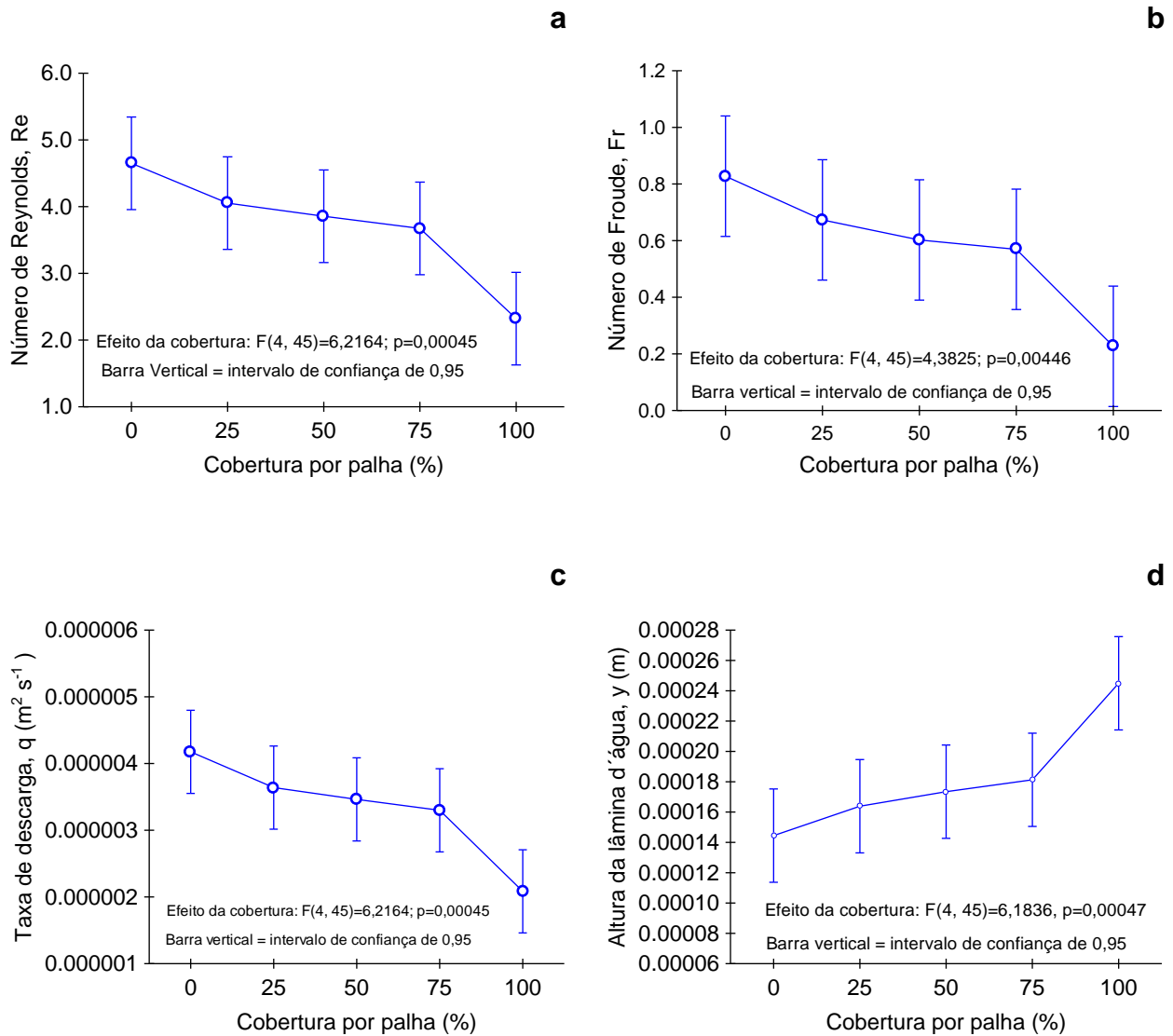


FIGURA 3. Efeito da cobertura por resíduos de cana-de-açúcar nos números de Reynolds (a) e de Froude (b), na taxa de descarga (c) e na altura da lâmina d'água (d).

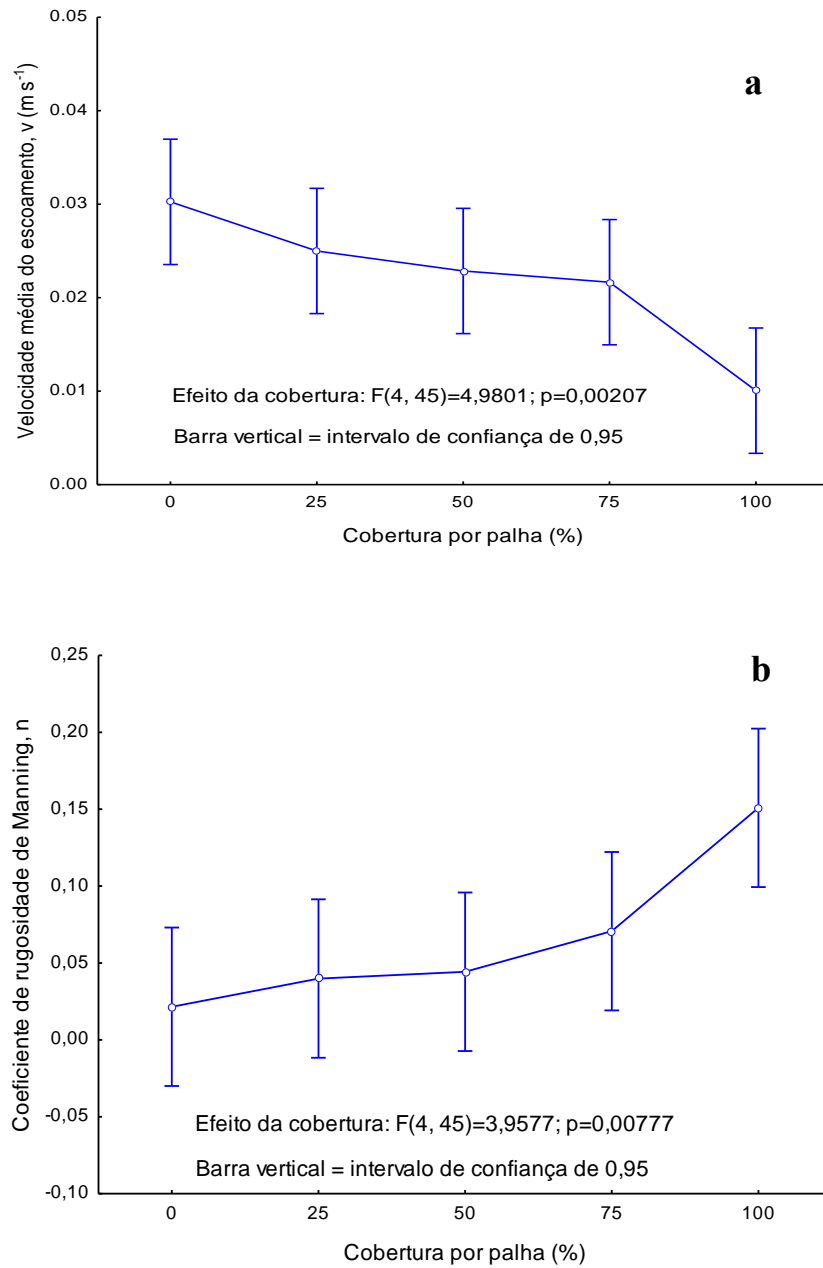


FIGURA 4. Efeito da cobertura por resíduos de cana-de-açúcar na velocidade do escoamento (a) e no coeficiente de rugosidade de Manning (b).

A taxa de erosão em entressulcos, presente na Tabela 5, apresentou valores significativamente diferentes entre as posições da vertente constituídas pelo topo, encosta e sopé, nos percentuais de cobertura de 0,0% e 25%. Isto pode ser um reflexo da razão de inclinação de 0,025 m m<sup>-1</sup>, 0,05 m m<sup>-1</sup> e 0,07 m m<sup>-1</sup> para topo, encosta e sopé, respectivamente.

TABELA 5. Taxa de erosão em entressulcos (D<sub>i</sub>) em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.

Parâmetro	Cobertura	Vertente		
		Topo	Encosta	Sopé
D <sub>i</sub> kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	0%	0,000015 aB	0,00002 aAB	0,000030 aA
	25%	0,000006 abB	0,000013 abAB	0,000002 aA
	50%	0,000002 bA	0,000011 bA	0,000003 bA
	75%	0,000001 bA	0,000002 bA	0,0000011 bA
	100%	0,0000003 bA	0,0000009 bA	0,0000003 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

Os dados obtidos comprovam o efeito favorável que a palhada tem no controle da erosão do solo, o que também foi verificado por CASSOL & LIMA (2003) e MARTINS FILHO et al. (2009).

Podemos observar que houve diferença significativa (P<0,05) para os valores médios de concentração de sedimento entre os percentuais de cobertura de 0,0%, 25% e 50% (Tabela 6). Entre os demais valores (75% e 100%), não houve diferença estatística. Observa-se que as concentrações de sedimento diminuem quando aumenta o percentual da palhada. Esses valores estão de acordo com os resultados obtidos por MARTINS FILHO et al. (2004) e LEITE et al. (2004), que verificaram que o aumento da quantidade de palha sobre o solo resultou em maior proteção contra o impacto direto das gotas de chuva. As concentrações de matéria orgânica tiveram valores diferentes

em todos os percentuais de cobertura, mesmo assim, observou – se decréscimo quando se aumentou o percentual de cobertura do solo.

TABELA 6. Valores médios das concentrações de sedimento (C) e matéria orgânica (MO) nos sedimentos erodidos.

Parâmetros	Vertente						
	Cobertura		Topo		Encosta		Sopé
C g L <sup>-1</sup>	0	3,30	aA	3,36	aA	3,93	aA
	25	1,31	bA	2,47	abA	2,92	abA
	50	0,57	bB	3,03	aA	1,05	bcB
	75	0,55	bA	0,79	bA	0,28	cA
	100	0,17	bA	0,48	bA	0,08	cA
C g L <sup>-1</sup>	0	47,25	aA	34,24	aA	42,75	aA
	25	33,22	abA	31,75	aA	17,75	abA
	50	33,25	abA	15,00	aB	22,00	abAB
	75	24,00	abA	12,00	aA	11,50	bA
	100	27,25	aA	22,00	aA	0,00	bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

As diferenças dos valores médios de concentração dos nutrientes nos sedimentos transportados pela enxurrada, para cada nível de cobertura por palha sobre a superfície do solo, são apresentadas na Tabela 7.

TABELA 7. Concentrações médias de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no sedimento erodido.

Parâmetros	Vertente							
	Cobertura		Topo		Encosta		Sopé	
P mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0%		72,75	aA	70,25	aA	47,50	aA
	25%		66,75	aA	50,75	abAB	14,75	aB
	50%		65,75	aA	19,00	abA	27,75	aA
	75%		50,25	aA	19,00	abA	22,25	aA
	100%		0,00	bA	15,25	bA	26,00	aA
K mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0%		2,92	abB	6,10	aA	2,55	aB
	25%		3,20	aA	4,42	abA	1,37	aA
	50%		3,12	aA	1,55	bA	1,35	aA
	75%		1,85	bA	1,25	bA	1,50	aA
	100%		0,00	cA	1,40	bA	1,52	aA
Ca mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0%		56,72	aA	43,28	aA	46,65	aA
	25%		1,92	aA	38,38	abA	0,00	bB
	50%		0,00	bA	6,00	bA	12,45	bA
	75%		4,25	bA	5,00	bA	11,18	bA
	100%		3,00	bA	5,00	bA	10,00	bA
Mg mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0%		22,67	aA	16,77	aA	19,12	aA
	25%		19,27	aA	15,65	aA	7,00	bB
	50%		4,00	bA	0,00	bA	5,32	bA
	75%		3,75	bA	0,00	bA	4,30	bA
	100%		0,00	bA	0,00	bA	3,75	bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

Verificou-se decréscimo significativo das concentrações de nutrientes, quando a porcentagem de cobertura por palha de cana-de-açúcar foi superior a 50% no topo e encosta, com exceção do P e K no sopé e Ca e Mg superior a 25% de cobertura, sendo bastante expressiva esta redução na cobertura de 100%. Isto ocorreu em consequência da não desagregação do solo pelo impacto direto das gotas da chuva, a exemplo do verificado por BRAIDA & CASSOL (1999) para palhadas de milho e trigo mantidas em contato direto com a superfície do solo.

As concentrações de P, Ca e Mg (Tabela 7) nos sedimentos transportados foram maiores na cobertura do solo sem palha na posição topo o que concorda com os trabalhos de (SCHICK et al., 2000 e BERTOL et al., 2003) ao estudarem perdas de nutrientes em erosão hídrica.

No caso dos percentuais de cobertura do solo com palha, as concentrações de P mantiveram-se, em média, iguais para os percentuais de 25%, 50% e 75%, em todas posições e para K, Ca e Mg as médias mantiveram-se iguais no sopé (Tabela 7). As menores concentrações para P, K, Ca e Mg foram observadas com a cobertura do solo de 100%. As maiores concentrações de P, Ca e Mg, nos sedimentos das parcelas sem cobertura, podem ser atribuídas à maior concentração desses nutrientes na superfície do solo, de acordo resultados obtidos por IZIDORO (2004), ao analisar perdas de nutrientes e sua distribuição espacial. Os efeitos da cobertura do solo, na concentração de nutrientes, para as parcelas com cobertura de 0% e 25% de palha de cana-de-açúcar em contato direto com a superfície do Latossolo Vermelho, que constam na Tabela 7, estão de acordo com os resultados de BEZERRA E CANTALICE (2006), que verificaram maior proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, quando se aumentou a quantidade de palha de cana-de-açúcar na superfície do solo. Como consequência dessa proteção, há menor selamento superficial e maior infiltração da água no solo. Além disso, os resíduos na superfície do solo reduzem a velocidade do escoamento superficial.

Resultados diferentes foram observados na concentração de K, que ao contrário do P, Ca e Mg, os valores de concentração foram maiores nos tratamentos com 25% e

50% de palha, na posição topo e 25% na encosta (Tabela 7). Isto é explicado pela maior concentração desse elemento na palhada e menor perda de solo pela proteção da cobertura.

Para as superfícies topo com declividade de  $0,025 \text{ m m}^{-1}$ , encosta com declividade de  $0,05 \text{ m m}^{-1}$  e sopé com declividade de  $0,07 \text{ m m}^{-1}$  (Tabela 7), houve diferença significativa entre as concentrações de nutrientes para as três superfícies, principalmente para P e K nas coberturas de 0% e 25%. Isto pode ser explicado pela diferença de relevo entre as superfícies que ocasionam maior velocidade de escoamento superficial e conseqüentemente, maior transporte de sedimento.

As taxas de enriquecimento do sedimento erodido (ER), de matéria orgânica (MO) e de nutrientes (P, K, Ca e Mg) são apresentadas na Tabela 8. A ER é a relação entre a concentração de MO e/ou nutrientes no sedimento erodido (Tabela 8) e no solo original (Tabela 1). Quando ER é maior que 1 significa que o sedimento se encontra enriquecido por matéria orgânica ou nutrientes do solo (MARTINS FILHO et al., 2009). Para SILVA et al (2005), as taxas de enriquecimento maiores do que 1,0 indicam que a concentração no sedimento erodido foi maior do que no solo original, caracterizando a seletividade de arraste de material no processo da erosão hídrica, que transporta principalmente as partículas mais finas, as frações mais reativas do solo e, conseqüentemente, com maior capacidade de carrear nutrientes e carbono orgânico. Segundo NEARING et al. (2001), considerável enriquecimento pode ocorrer durante os processos de transporte e deposição.

Os dados da Tabela 8 mostram que houve enriquecimento da matéria orgânica em todas as superfícies da vertente, com maiores valores onde o solo tinha 0% de cobertura. Os menores valores de enriquecimento foram nas coberturas de 100% e 75%. Desta mesma forma, ocorreu para os nutrientes P, Ca e Mg. Para o K, o ER foi maior que 1 em todos os percentuais de cobertura e superfícies, com exceção do percentual de 100% nas superfícies topo e encosta e 75% na encosta. Esses valores estão de acordo com CASSOL et al. (2002) e MARTINS FILHO et al. (2009), que confirmaram o aumento da ER conforme diminui o percentual de cobertura do solo.



TABELA 8. Taxa de enriquecimento do sedimento (ER) por matéria orgânica e nutrientes.

Parâmetros	Vertente			
	Cobertura	Topo	Encosta	Sopé
Matéria orgânica	0%	2, 17 a A	1,16 a A	2,20 a A
	25%	1,50a A	1,08 a A	0,91 ab A
	50%	1,37 a A	0,00 a A	1,13 ab A
	75%	1,01a A	0,41a A	0,59 b A
	100%	0,39 b A	0,75 a A	0,00 b A
Fósforo	0%	0,57 a B	2,12 a A	2,20 a A
	25%	0,23 a A	1,53 ab A	0,68 b A
	50%	0,09 a A	0,57 b A	1,28 a A
	75%	0,04 a A	0,57 ab A	1,03 a A
	100%	0,00 a A	0,46 b A	1,20 a A
Potássio	0%	2,34 a A	3,98 a A	2,21 a A
	25%	2,42 a A	2,89 ab A	1,19 a A
	50%	1,96 a A	1,01 b A	1,17 a A
	75%	2,36 a A	0,81 b A	1,30 a A
	100%	0,61 a A	0,91 b A	1,32 a A
Cálcio	0%	2,09 a A	1,41 a A	2,53a A
	25%	1,32 ab A	1,25 ab AB	0,00 b B
	50%	0,43 b A	0,00 b A	0,67 b A
	75%	0,51 b A	0,00 b A	0,60 bA
	100%	0,00 b A	0,00 b A	0,63 b A
Magnésio	0%	2,94 a A	1,86 a A	3,67 a B
	25%	1,67 ab A	1,73 ab A	0,00 b B
	50%	0,63 b A	0,00 b A	1,02 b A
	75%	0,69 b A	0,00 b A	0,82 b A
	100%	0,00 b A	0,00 b A	0,92 b A

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

Os dados demonstram que as coberturas de 100% e 75% mostram-se eficientes, apresentando valores da ER abaixo de 1. Ocorreram algumas exceções para os nutrientes P e K na superfície topo e sopé. Esta ocorrência pode ser em função do maior percentual de declive e área de deposição no sopé.

Estudando ER num Latossolo Vermelho (LV), em uma encosta com declividade de  $0,08 \text{ m m}^{-1}$ , sob cultivo de cana-de-açúcar, despalhada com uso do fogo, IZIDORO et al., (2005) determinaram, com o solo descoberto, taxas de enriquecimento por MO, P, K, Ca e Mg na ordem de 1,62; 3,87; 0,73; 1,27 e 1,24, respectivamente.

Observando a Tabela 8 do presente trabalho, as taxas de ER de maiores valores foram 2,21 (MO); 2,20 (P); 2,53 (Ca) e 3,67 (Mg) no sopé e 3,98 (K) na encosta com  $0,07 \text{ m m}^{-1}$  e  $0,05 \text{ m m}^{-1}$  de declividade, respectivamente. As diferenças entre os valores das taxas de ER apresentados acima e os valores encontrados por IZIDORO et al. (2005), provavelmente, são devidas as diferenças de níveis na vertente, sendo o sopé a área de deposição.

Na Tabela 9 é possível observar que, em termos médios para a vertente estudada, uma cobertura da ordem de 36,07% por palha de cana-de-açúcar, em superfície, poderá proporcionar uma ER igual ou inferior a 1 para MO, P, Ca e Mg. No caso do K, uma  $ER \leq 1$  só será possível com uma porcentagem de resíduos superior a 96,77%. Tal percentual elevado deve-se, provavelmente, ao manejo da área com o qual há aplicação constante de vinhaça. Disto decorre a elevada concentração de K no sedimento e a necessidade de alta cobertura da superfície do solo, para se evitar perdas significativas de K no sedimento erodido. Numa outra análise da Tabela 9, é possível verificar que conforme a posição na vertente os percentuais de resíduos necessários para  $ER \leq 1$  devem ser superiores ao valor médio de 36,07%, exceto para K e Ca. Portanto, para MO no topo, P no sopé e Mg no topo tais percentuais deverão ser de 64,27%, 83,07% e 42,40%, respectivamente.

Para os resultados apresentados (Tabela 9), não ocorreu enriquecimento significativo ( $P < 0,05$ ) do sedimento, para as coberturas de solo de 75% e 100%, o que demonstra a eficiência da palha de cana-de-açúcar, na redução da concentração de material orgânico e nutrientes no solo erodido. Esses resultados obtidos são concordantes aos de MARTINS FILHO et al. (2009), quando determinaram as perdas de solo e nutrientes em um Argissolo com palha de cana-de-açúcar em superfície.

TABELA 9. Taxa de enriquecimento (ER) em função da cobertura por palha de cana-de-açúcar (CS) de acordo com o modelo  $ER = w e^{b CS}$  e % de cobertura necessária para ER igual a 1 (% Cob. ER=1).

Atributo (Y)	Parâmetros	Topo	Encosta	Sopé	Média	Geral
MO	W	2,18	1,61	2,12		1,97
	B	-0,01	-0,03	-0,02		-0,02
	% Cob. ER=1	64,27	16,40	36,81	39,16	36,07
P	W	0,57	1,57	1,71		1,29
	B	-0,04	-0,02	-0,01		-0,01
	% Cob. ER=1	-15,56	21,40	83,07	52,23	18,00
K	W	2,61	4,07	1,86		2,81
	B	-0,01	-0,02	-0,01		-0,01
	% Cob. ER=1	151,85	70,93	112,32	111,70	96,77
Ca	W	2,14	1,56	2,53		1,98
	B	-0,02	-0,03	-0,32		-0,03
	% Cob. ER=1	31,00	15,14	2,90	16,35	23,04
Mg	W	2,97	2,06	3,68		2,77
	B	-0,03	-0,03	-0,31		-0,03
	% Cob. ER=1	42,40	25,50	4,26	24,05	33,72

w e b são constantes; e é a base do logaritmo natural.

A erosão do solo (A) decresceu com o aumento da percentagem de cobertura oferecida ao solo com palha de cana (0,0%; 25%; 50%; 75% e 100%) (Tabela 10).

Tal aspecto reforça o efeito favorável que a palhada tem no controle da erosão do solo, o que também foi verificado por CASSOL & LIMA (2003) e MARTINS FILHO et al. (2009).

Houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para as perdas de solo (A) (Tabela 10) nas posições topo, encosta e sopé, notadamente nos percentuais de cobertura de 0,0% e 25%, em relação às outras coberturas. Verifica-se um decréscimo importante nos valores a medida que aumentam os percentuais de cobertura. Para a superfície encosta houve diferença ( $P < 0,05$ ) das coberturas de 0,0% e 25% para 50%; 75% e 100%, em que a cobertura de 0,0% teve perdas de  $0,0636 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto as coberturas de 75%

e 100% apresentaram perdas de 0,0332, 0,0061 e 0,0027 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A exemplo do verificado por BRAIDA & CASSOL (1999) em solo coberto com palhada de milho e trigo, a redução da erosão pode ter ocorrido pelo controle do escoamento.

TABELA 10. Perdas de solo por erosão (A) e matéria orgânica (MO).

Parâmetros	Cobertura	Vertente					
		Topo	Encosta	Sopé			
A t ha <sup>-1</sup>	0%	0,0460	aB	0,0636	aAB	0,0959	aA
	25%	0,0186	abB	0,0393	abAB	0,0660	aA
	50%	0,0086	bA	0,0332	abA	0,0097	aA
	75%	0,0033	bA	0,0061	bA	0,0033	bA
	100%	0,0010	bA	0,0027	bA	0,0011	bA
	MO kg ha <sup>-1</sup>	0%	216,30	aB	169,67	aB	391,42
	25%	67,16	bA	83,29	abA	83,47	bA
	50%	32,81	bA	0,00	bA	13,88	bA
	75%	8,39	bA	3,06	bA	2,71	bA
	100%	4,06	bA	3,57	bA	0,00	bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

Para matéria orgânica (MO), as perdas foram significativas em relação às coberturas e às superfícies da vertente (Tabela 10), sendo os maiores valores na cobertura de 0%. Essas perdas ocorreram de forma decrescente, ou seja, à medida que a cobertura por palha aumentou menores foram às perdas de MO. Resultados semelhantes foram encontrados por FREITAS et al., (2008) ao verificarem que houve redução na perda de MO em solos cobertos com palhada de feijão-guandu e batata-doce.

Quanto às perdas de nutrientes (Tabela 11) o fósforo (P) apresentou diferença significativa em relação aos percentuais de cobertura de 0% e 25%, em relação às demais coberturas, tanto no topo como na encosta e no sopé. Já o potássio (K)

apresentou comportamento diferente, pois diferenças significativas somente ocorreram nas posições encosta e sopé para 0% e 25%. Ressalta-se que as perdas de K decresceram com o aumento do percentual de palhada na superfície do solo. BERTOL et al. (2004) explicaram que as perdas decrescentes de P e K ocorreram com o decréscimo da perda de solo (Tabela 7), já que a concentração desses elementos é maior no solo do que na água. BERTOL et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes ao estudar perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em inceptisol.

As perdas de Ca e magnésio (Mg) tiveram comportamentos semelhantes, conforme a Tabela 11. Tanto o Ca como o Mg apresentaram perdas significativas nas coberturas de 0% e 25%. Não houve perdas significativas nas coberturas com 50%, 75% e 100%, em todas as superfícies da vertente. Não ocorreu diferença significativa entre as superfícies topo, encosta e sopé para as perdas de Ca e Mg. Os valores de perdas de Ca por erosão foram  $0,0130 \text{ Kg ha}^{-1}$  no topo;  $0,0165 \text{ Kg ha}^{-1}$  na encosta e  $0,0203 \text{ Kg ha}^{-1}$  no sopé, no percentual de cobertura 0%. Para as perdas de Mg por erosão os valores obtidos foram  $0,0037 \text{ Kg ha}^{-1}$ ;  $0,0045 \text{ Kg ha}^{-1}$  e  $0,0059 \text{ Kg ha}^{-1}$  no topo, encosta e sopé, respectivamente, com 0% de cobertura com palha de cana-de-açúcar. Essas diferenças de perdas podem ter ocorrido em função da declividade de cada superfície. Comportamento semelhante foi encontrado por HERNANI et al. (1999) ao verificarem valores diferentes ao pesquisarem sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão em função da declividade.

Os resultados apresentados (Tabela 11) são concordantes com CASTRO et al. (1986); BEZERRA & CANTALICE (2006) e MARTINS FILHO et al. (2009), que observaram que as perdas de matéria orgânica e nutrientes têm significativa correlação com as perdas de solo.

TABELA 11. Perdas de nutrientes em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.

Parâmetros	Vertente			
	Cobertura	Topo	Encosta	Sopé
P kg ha <sup>-1</sup>	0%	0,0012 aA	0,0011 aA	0,0016 aA
	25%	0,0004 abA	0,0002 bA	0,0003 bA
	50%	0,0002 bA	0,0000 bA	0,00006 b A
	75%	0,00007 bA	0,00001bA	0,00002 bA
	100%	0,0000 bA	0,0000 bA	0,00001 bA
K kg ha <sup>-1</sup>	0%	0,0011 aA	0,0028 aA	0,0018 a A
	25%	0,0004 aA	0,0014 bA	0,0007 bA
	50%	0,0002 aA	0,0001 cA	0,00006 bA
	75%	0,0000 aA	0,0000 cA	0,00003 bA
	100%	0,0000 aA	0,0000 cA	0,00001 bA
Ca kg ha <sup>-1</sup>	0%	0,0130 a A	0,01656 aA	0,0203 aA
	25%	0,0046 b A	0,0088a bA	0,0000 bA
	50%	0,0000 bA	0,0000 bA	0,0002 bA
	75%	0,00008 bA	0,0000 bA	0,0001 bA
	100%	0,0000 bA	0,0000 bA	0,00009 bA
Mg kg ha <sup>-1</sup>	0%	0,0037 aA	0,0045 aA	0,0059 aA
	25%	0,0012 bA	0,0025 bA	0,0000 bA
	50%	0,0000 bA	0,0000 bA	0,00006 bA
	75%	0,00005 bA	0,0000 bA	0,00003 bA
	100%	0,0000 bA	0,0000 bA	0,00002 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

Os valores médios das concentrações dos nutrientes (K, Ca, Mg e Na) na água transportada pela enxurrada, para cada nível de cobertura por palha sobre a superfície do solo, são apresentados na Tabela 12. O potássio (K) não apresentou concentrações significativamente diferentes para os níveis de cobertura 0% e 75% por resíduos de cana, nos três segmentos da vertente, com exceção para 100% em relação às demais, na posição topo. Esses resultados divergem de BERTOL et al. (2004), que, ao estudarem a concentração e a perda de K na água de enxurrada, obtiveram valores

decrecentes à medida que aumentou o percentual de palhada. De forma geral, as concentrações de K foram baixas e observou-se que os valores foram mais reduzidos na posição sopé, em relação ao topo e à encosta. Isto, possivelmente, pode ter ocorrido por ser o sopé área de maior acúmulo de palha, e o nutriente ter maior retenção na palhada.

A concentração de cálcio (Ca) apresentou diferenças significativas na posição topo, sendo o seu maior valor na cobertura com 0% de palha. Nas demais posições, não houve diferença significativa para a concentração de Ca. Dentre as posições da vertente, o sopé foi a que apresentou os menores valores de concentração de Ca em relação às demais posições. Isto pode ter ocorrido tendo em vista que o sopé tem maior desnível ( $0,07 \text{ m m}^{-1}$ ), o topo tem  $0,025 \text{ m m}^{-1}$  e a encosta,  $0,5 \text{ m m}^{-1}$ , e a maior concentração do nutriente tenha ficado no sedimento. Esses resultados para Ca estão de acordo com GILLES et al. (2009), que obtiveram também variações significativas da concentração de Ca, ao estudarem perdas de água e nutrientes por erosão hídrica, com chuva simulada na cultura do milho.

Verificou-se decréscimo significativo das concentrações de Mg, quando a porcentagem de cobertura por palha de cana-de-açúcar foi superior a 50%, nas posições encosta e sopé, com exceção da posição topo que essa diferença foi maior na cobertura de 100% a exemplo do verificado por BRAIDA & CASSOL (1999), em que as palhadas de milho e trigo mantidas em contato direto com a superfície do solo controlaram o escoamento. Esses resultados também corroboram BERTOL et al. (2004), os quais explicaram que a perda decrescente do Mg se dá conforme há o decréscimo da perda em solução, visto que a concentração desse elemento é maior no sedimento erodido do que na água.

TABELA 12. Concentrações médias de K, Ca, Mg e Na na água de enxurrada nos diferentes percentuais de cobertura.

Parâmetros	Vertente			
	Cobertura	Topo	Encosta	Sopé
K mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0%	0,157 aB	0,325 aA	0,122 aB
	25%	0,197 aA	0,252 abA	0,102 aB
	50%	0,227 aA	0,290 aA	0,100 aB
	75%	0,187 aB	0,307 aA	0,137 aC
	100%	0,122 bB	0,325 aA	0,147 aB
Ca mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0%	0,147 abA	0,142 aA	0,085 aB
	25%	0,130 aA	0,137 aA	0,092 aB
	50%	0,152 bA	0,137 aA	0,077 aB
	75%	0,140 abA	0,145 aA	0,075 aB
	100%	0,132 abA	0,152 aA	0,075 aB
Mg mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0%	0,132 aA	0,125 aA	0,085 aB
	25%	0,125 aA	0,107 abA	0,070 bB
	50%	0,135 aA	0,105 bB	0,065 bC
	75%	0,130 aA	0,110 abB	0,067 bC
	100%	0,105 bA	0,115 abA	0,069 bB
Na mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0%	0,117 aA	0,055 aB	0,060 aB
	25%	0,135 aA	0,047 aB	0,055 aB
	50%	0,125 aA	0,085 aA	0,057 aA
	75%	0,147 aA	0,060 aB	0,180 bA
	100%	0,152 aA	0,055 aB	0,048 aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

As concentrações de sódio (Na) apresentadas na Tabela 12 diferiram entre si no que se refere aos percentuais de cobertura. Contudo, os resultados apresentaram diferenças significativas em relação às posições na vertente. Houve decréscimo das concentrações de Na nas posições encosta e sopé em relação ao topo. Isto pode ter ocorrido em função dos maiores desníveis da encosta e do sopé em relação ao topo, e



também pelo fato de a maior concentração do nutriente estar no sedimento e não na água. De maneira geral, os valores foram muito baixos e não ocorreu mudança no caráter sódico da água. Esses dados estão de acordo com BECKMANN et al. (2008) e SOUSA et al. (2008), que observaram a não mudança do caráter sódico da água analisada na irrigação de feijão e maracujazeiro.

Os valores de pH (Tabela 13) apresentaram variações significativas nas posições topo e sopé para coberturas com 0%, 25% e 50% em relação a 75% e 100%. Na posição encosta, não ocorreu diferença significativa para o pH entre as diferentes coberturas por palha de cana-de-açúcar. Também ocorreram diferenças significativas entre as posições encosta e sopé em relação ao topo. Mesmo sendo o maior valor 6,35 e o menor 6,07 pode-se afirmar que não houve diferença na classificação da acidez, sendo esta, para todos os valores observados, considerada fraca. Esta classificação está de acordo com AYERS & WESTCOT (1999); ABDEL (2005) e SOUSA et al. (2008).

TABELA 13. Potencial hidrogeniônico (pH) da água de enxurrada em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.

Parâmetros	Vertente			
	Cobertura	Topo	Encosta	Sopé
Ph	0%	6,32 aA	6,15 aB	6,12 aB
	25%	6,25 aA	6,20 aA	6,07 aB
	50%	6,20 aA	6,15 aA	6,22 aA
	75%	6,10 bA	6,15 aA	6,25 bA
	100%	6,17 bA	6,17 aA	6,35 bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

Os resultados de perdas de água mostrados na Tabela 14 apresentam decréscimo conforme aumenta o percentual da cobertura da palhada. Os dados obtidos comprovam

o efeito favorável que a palhada tem no controle da erosão do solo, o que também foi verificado por CASSOL & LIMA (2003) e MARTINS FILHO et al. (2009).

Observou-se que houve diferença significativa, quanto às perdas de água em entressulcos, para os níveis de cobertura com 0% e 25% em relação aos demais (50%, 75% e 100%) para todas as posições da vertente. No topo, a diferença do maior valor (168.600 L ha<sup>-1</sup>) para o menor valor (120.300 L ha<sup>-1</sup>) foi de 48.300 L ha<sup>-1</sup>. Esse comportamento pode ser observado nas demais posições da vertente (encosta e sopé). Já entre as posições da vertente, praticamente não houve diferença significativa entre os valores de perdas de água, com exceção apenas para a cobertura com 50% de palha de cana-de-açúcar.

De forma geral, os resultados demonstram a eficiência da cobertura de palha na proteção contra o impacto das gotas de chuva e movimento de transporte pela enxurrada. Os resultados concordam com FREITAS et al.(2008), quando verificaram uma redução na perda de água em solos cobertos com palhada de feijão-guandu e batata-doce. Os resultados do presente trabalho demonstram que a redução das perdas de água é um indicador significativo do aumento da infiltração de água no solo, com o aumento da cobertura em superfície pela palha da cana-de-açúcar. Resultados semelhantes também foram encontrados por BEZERRA e CANTALICE (2006) ao estudarem erosão em entressulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar.

TABELA 14. Perdas de água por erosão hídrica em diferentes percentuais de cobertura por palha de cana-de-açúcar.

Parâmetros	Vertentes			
	Cobertura	Topo	Encosta	Sopé
L ha <sup>-1</sup>	0%	168,600 aA	144,700 aA	189,600 aA
	25%	176,000 aA	170,800 aA	157,500 aA
	50%	163,800 abA	58,208 bB	92,782 bB
	75%	118,000 bA	88,018 bA	97,328 bA
	100%	120,300 bA	70,653 bA	97,681 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, para tipos de cobertura e segmentos de vertente.

## 6. CONCLUSÕES

As perdas de solo, água e nutrientes diminuíram com o aumento da quantidade de palha de cana-de-açúcar na superfície do solo. Isto demonstra que houve resposta positiva do manejo aplicado, em que a manutenção da palha no solo diminuiu as perdas de solo, água e nutrientes por erosão em entressulcos.

Em todas as posições da vertente, independente da quantidade de cobertura de palha de cana-de-açúcar, ocorreram perdas de solo, água e nutrientes.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABDEL. G. The effects of saline water management and salt tomato varieties. **Agricultural water management**, Damasco, v.78, p. 39-53, 2005.
- ADDISCOTT, T.M.; THOMAS, D. Tillage mineralization and leaching: phosphate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p.255-273, 2000.
- AGASSI, M.; BEM-HUR, M. Stabilizing steep slopes with soil conditioners and plants. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 5, n. 3, p. 249-256, 1992.
- ANDRADE, N.S.F. **Valoração econômica das perdas de nutrientes por erosão em cana-de-açúcar**. 2009. 83p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- ARMSTRONG, A.; QUINTON, J. N.; HENG, B. C. P.; CHANDLER, J. H. Variability of interrill erosion at low slopes. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sydney, v. 36, n.2, p.97-106, 2011.

ASSOULINE, S. Rainfall-induced soil surface sealing: A critical review of observations, conceptual models, and solutions. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.3, n.2, p.570-591, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução por H. R. Gheuy; J. F. de Medeiros.; F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, Revisão).

BAJRACHARYA, R. M.; ELLIOT, W. J.; LAL, R. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.5, p.1560-1565, 1992.

BAKKER, M.M., GOVERS,G., ROUNSEVELL, M.D.A. The crop productivity- erosion relationship: an analysis based on experimental work. **Catena**, Amsterdam, v.57, n.1, p.55-76.2004.

BECHEMANN, M. Z.; CAVALCANTE, I. H.; SOUSA, G.B. SANTOS, J.B. Crescimento e consumo de água de duas espécies de feijão sob irrigação com água salina. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9 n. 3, p.349-355, 2008.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.3, p.581-586, 2003.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.485-494, 2004.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A.P.; VÁZQUEZ, E.V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42:103- 110, 2007.

BERTOL, I; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, 2010.

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.

BIGARELLA, J. J.; MAZZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Maringá, 1985. p.01-19; 93-121.

BONGIOVANNI, M. D.; LOBARTINI, JUAN C. particulate organic matter, carbohydrates, humic acids in soil macro and micro aggregates affected by culture, **Geoderma**, Amsterdam, v.136,n.3, p.660-665, 2006.

BRADFORD, J. M.; FOSTER, G. R. Interrill soil erosion and slope steepness factors. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.5, p.909-915, 1996.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduos vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23,n.3, p.711-721, 1999.

BRANDÃO, V. S. **Infiltração de água em solos sujeitos a encrostamento**. Viçosa, MG: U F V, 2003. 68f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.705-712, 2002.

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

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

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

CATANI, R. A.; PAIVA NETO, J. K. Dosagem de P e Na pelo fotômetro de chama: sua aplicação em análise de solo. **Bragantia**, Campinas, v.9, n.9, p.175-183, 1949.

CHANSON, H. **The hydraulics of open channel flow**. London: Butterworth-Heinemann, 2004. 488p.

CHENG, Q.; WENJUM, M. QIANGGUO, C. The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: a case study in the hille areas of the loess plateau, north china, **Geo Journal**, Oklahoma, v.71, n.2, p.117-125, 2008.

CHOW, V. T. **Open – channel hydraulics**. Mc Graw-hil, New York, 1959. Arquivos do AcademicJournals.Online, disponível em <[http// WWW. 4pdf.net](http://WWW.4pdf.net)>. Acessado em 11/04/2011.

COCHRANE, T.A.; FLANAGAN, D. C.. Detachment in a Simulated Rill. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.40, n.1, p.111-119, 1997.

COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters**. West Lafayette, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Doutorado) – Purdue University.

COSTA M. H. Effects of large scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins river, vAmazonia. **Journal of Hydrology**, San Diego, v.283, n.4, p.206-217, 2004.

DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A.N.; EDWARDS, D.R.; WEDEPOHL, R.; LEMUNYON, J.L. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v.40, p.30- 38, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Serviço Nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. SisCob, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpdia.embrapa.br/labimagem/siscob.html>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

EVANS, J.; LIEPMANN, D.; PISANO, A.P. Planar laminar mixer. In: ANNUAL INTERNATIONAL WORKSHOP ON MICROELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, 10., 1997, Nagoya. **Proceedings...**Nagoya: IEEE, 1997. p.96-101.

FARENHOST, A.; BRYAN, R. B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. **Catena**, Amsterdam, v.25, n.2, p.47-62, 1995.

FARIAS, C. H.; FERNANDES, P. D.; NETO, J. D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigado e de sequeiro no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v,12, n.4, p.356-362, 2008.

FAVARETTO, N. **Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition**. West Lafayette, Purdue University, 2002.150p. (Tese de Doutorado) - Purdue University.

FINDELING, A.; RUY, S.; SCOPEL, E. Modelling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. **Journal of Hydrology**, San Diego, v.255, n.01, p.49-66, 2003.

FLANAGAN, D. C.; LIVINGSTON, S. J. **WEPP User Summary**. NSERL Report No. 11, W. Lafayette, IN: National Soil Erosion Research Laboratory.1995,131 p.

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

FOSTER, G. R.; YODER, D. C.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; MCGREGOR, K. C.; BINGNER, R. L. **User's Guide**: revised universal soil loss equation. Version, 2. Washington: USDA – Agricultural Research Service, 2003. 77p.



FREITAS, J. F.; CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; SILVA, M. D. R.; LIMA, P. A. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1743-1751, 2008

FURLANI NETO, V.L. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar **STAB**, Piracicaba, v.12, n.13, p.8-9, 1994.

GHIDEY, F.; ALBERTS, E. E. Runoff and soil losses as affected by corn and soybean tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.53, n.1, p.64-70, 1997.

GILLEY, J.E.; DORAN, J.W. Soil erosion potential former conservation reserve program sites. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.41, n.1, p.97-103, 1998.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.33, v.5, p.1427-1440, 2009.

GRANT, G. E. Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams: a new hypothesis. **Water Resources Research**, Washington, v.3, n.2, p.349-358, 1997.

GUADAGNIN, J.C. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 142p. (Tese de Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.277-286, 2005.

HANSEN, N.C.; GUPTA, S.C.; MONCRIEF, J.F. Snowmelt runoff, sediment, and phosphorous losses under three different tillage systems. **Soil&TillageResearch**, Amsterdam, v.57, p.93-100, 2000.

HERNANI, L. C.;KURIHARA, C. H; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23n.1, p.145-154, 1999.

HESSEL, R.; JETTEN, V.; GUANGLUI, Z. Estimating monnings for steep slopes. **Catena**, Amsterdam, v.54, n.2, p.77-91, 2003.

IBÁÑEZ, A.; MARTÍNEZ.C.; RAMOS, M.C.; MARTÍNEZCASANOVAS, J.A. Effects of composted cattle manure on erosion rates and nutrient losses. **EUROSOIL**, 2004. Freiburg, Germany. Abstracts. Freiburg,CD-ROOM.

ISSA, O. M.; LE BISSONNAIS, Y.; PLANACHON, O.; MORTLOC, D. F.; SILVEIRA, N. Soil detachment and transporton Field and laboratory scale interrill areas: erosion processes and the size selectivity of eroded sediment. **Earth Surface Processes andLandforms**, Sydiney, v.31, n.05, p.929-939, 2006

IZIDORIO, R. **Perdas de nutrientes e sua distribuição espacial num Latossolo Vermelho**. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p. 660-670, 2005.

JULIEN, P.Y. **Erosion and sedimentation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 280 p.

- KING, K.W.; RICHARDSON, C.W.; WILLIAMS, J.R. Simulation of sediment and nitrate loss on a Vertissol with conservation practices. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.6, p.2139- 2145, 1996.
- KINNEL, P. I.A. Rainfall energy in eastern Australia: intensity – kinetic energy relationship for Camberra, A.C.T. **Australian Journal of Soil Reseach**, Camberra, v.25, n.2. P.547-553, 1990.
- KINNEL, P. I. A.; CUMMINGS, D. soil/slope gradient interactions in erosion by rain-impacted flow. **Transactions of the American Society Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.36, n.2, p.381-387, 1993.
- KNAPEN, A.; POESEN, J.; GOUVERS, G.; BAETS, S. The affect of conservation tillage on runoff erosivity and soil erodibility during concentrated flow. **Hydrologycal Processes**, Berlim, v.22, n.10, p.1499-1508, 2008.
- KNAPEN, A.; SMETS, T.; POESEN, J. Flow-retarding effects of vegetation and geotextiles on soil detachment during concentrated flow. **Hydrological Processes**, Berlim, v.23, n.17, p.2427-2437, 2009.
- KUHN, N. J. Erodibility of soil and organic matter: independence of organic matter resistance to interrill erosion. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sydiney, v.32, n.5, p.794-808, 2007.
- KUHN, N. J.; ARMSTRONG, E. K.; LING, A. C.; CONNOLLY, K. L. Interril erosion of carbon and phosphorus from conventionally and organically farmed devon silts soils. **Catena**, Amsterdan, v.57, p.113-133, 2010
- 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, S. A.; MOLDENHAUER, W. C. and LO, A. (Ed.). **Soil erosion and conservation**. Ankeny: SCSA, 1985. p. 285-295.

LEE, R. **Forest hydrology**. Columbia: Columbia University Press, 1980. 349p.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 6, p.1033-1044, 2004.

LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S.; COSTA, E. L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo sob chuva natural, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.689-699, 2009.

LEYS, A.; GOVER, K.; GILLIJNS, K. POESEN, J. Conservation tillage on loamy soil: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. **European Journal of Soil Science**, Londres, v.28, n.01, 2007.

LIEBENOW, A. M.; ELLIOT, W. J.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K. D. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.33, n. 6, p.1882-1888, 1990.

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.

LOWRANCE, R.; WILLIAMS, R. G. Carbon movement in runoff and erosion under simulated rainfall. **Soil Science Society of Journal American Society**. Madison v.52, n.3, p.1445-1448, 1988.

MACIEL, M.S.; OLIVEIRA, V.P.S. Estudo de perdas de água e solo em uma microbacia do Paraíba do Sul. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes, v.1, n.2, p.129-149, 2007.

MALO, D.D.; SCUMACHER,; T. E. DOOLITTLE, J. J. Long-term impacts of cultivation on selected soil properties in the northern Great Plains, **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.81, p.277-290, 2005.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C. The cost of soil erosion in vineyard fields of the Penedès – Anoia Region (NE Spain). **EUROSOIL**, 2004, Freiburg. Abstracts. Freiburg,, 2004.CD-ROOM.

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

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

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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.603-611, 2004.

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

MEYER, L. D. Howrainintensityaffects interrill erosion. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.24, n.6, p.1472-1475, 1981.

MELLO, E.L. **Erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo sob chuva simulada**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2002. 88p. (Tese de Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina.

NEARING, M. A.; LANE, L. J.; ALBERTS, E. E.; LAFLEN, J. M. Prediction technology. A process-based soil erosion model for USDA-Water erosion prediction project technology for erosion by water: Status and research needs. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.6, p.1702-1711, 1990.

NEARING, M. A. A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.34, n.02, p.81-85, 1991.

NEARING, M. A. Detachment of soil by flowing water under turbulent and laminar conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.6, p.1612-1614, 1994.

NEARING, M. A.; NORTON, D. L., ZHANG, X. Soil erosion and sedimentation. In: RITTER, W. F. and SHIRMOHAMMADI, A. (Ed.) **Agricultural nonpoint source pollution**. Boca Raton: Lewis Publishers, p. 29-58, 2001.

NEAVE, M.; ABRAHANS, A. D. Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sydney, v.27, n.9, p.1011-1020, 2002.

PAN, C.; SHANGGUAN, L. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions, **Journal of Hydrology**, Tucson, v. 331, n.1-2, p.178-185, 2006

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; McNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Soil Science of America Journal**, Madison, v.267, n.1, p.117-1.123, 1995.

POTE, D.H.; DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.M. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.3, p.855-859, 1996.

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

RIMAL, B. K.; LAL, R. Soil and carbon losses from five different land management areas under simulated rainfall. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.106, n.01, p. 62-70, 2009.

ROSE, C. W.; WILLIAM, G. C.; SANDER, G. C. A mathematical model of soil erosion and deposition processes. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.47, n.1, p. 991-995, 1983.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A.A.; SILVA, E. F.; NETO, J. F. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em neossolo flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**, Recife, v.2, n.2, p.143-149, 2007.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT Jr., A.A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.437-447, 2000.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.1, p.287-291, 1997.

SILVA, M. L.N. **Erodibilidade e impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de latossolos sob cerrado**. 1994. 109f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

SILVA, A. M. DA; SILVA, M. L.; CURI, N.; LIMA, N. J.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, 2005.

SOUSA, G. B.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H.; NASCIMENTO, J. A. Salinidade do substrato contendo biofertilizante para formação de muda de maracujazeiro. **Caatinga**, Mossoró, v.21,n.2, p.172-178, 2008.

STATSOFT. **Statistica**: quick referente. Tulsa: StatSoft, 1994. 148 p.

SWANSON, N. P. Rotating-boom rainfall Simulator. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.8, n.1, p.71-72, 1965.

THOMPSON, A.L.; GHIDEY, F.; REDMI, T.P. Raindrop energy effects on chemical and sediment transport. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.44, n.4, p.835-841, 2001.

TISDALL, S. M.; OADES, S. M. Organic matter and water stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Adelaide, v.33, n.2, p.141-163, 1982.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade - BRH/EDUSP,1993, 943p.

TRUMAN, C. C.; SHAW, J. N.; REEVES, D. W. Tillage effects on rainfall partitioning and sediment yield from on ultisol in central Alabama. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 60, n. 2, p. 89-98, 2005.

TRUMAN, C. C.; SHAW, J. N.; FLANAGAN, D. C.; REEVES, D. W. Conservation tillage to effectively reduce interrill erodibility of highly weathered ultisols. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 64, n. 4, p. 265-275, 2009.

VALENTIN.C.; BRESSON, L. M. Morphology, genesis e classification of surface crusts in loamy and sandy soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.55, n.3-4, p.225-245, 1992.

VALMIS, S.; DIMOIANNIS, D.; DONALATOS, N. G. Assing interrill erosions rate from soil aggregate, instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils centalgreece. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.80, n.1-2, p.139-147, 2005.



VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. New York: The American Society of Civil Engineers, 1975. 745 p.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.763-774, 2004.

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

WANG, L.; TONG, L.; WANG, X. Effects of alley crop planting on soil and nutrient losses in citrus orchards of the three gorges region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 3, p. 243-250, 2009.

WEI, X.; SHAO, M. D.; GALE, M. A. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.91, n. 2, p.20-130, 2007.

WISCHMEIER, W. H. **Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning**. Washington: Department of Agriculture, 1978, 58 p.

WITHERS, P. J. A.; BARBERIS, E. PRESTA, M.; SISA, I. An environmental soil test to estimate the intrinsic risk of sediment and phosphorus mobilization from European soils. **British Society of Soil Science**, Londres, v. 23, n.1, p. 57-70, 2007.

ZHANG, X. C.; NEARING, M. A.; MILLER, W. P.; NORTON, L. D.; WEST, L. T. Modeling interrill sediment delivery. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.62, n.2, p.438-444, 1998.