

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

**PERDAS DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS POR EROÇÃO E  
SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

**Daniela Tolêdo de Paula**  
Química

**2015**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERDAS DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS POR EROSÃO  
E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

**Autora: Daniela Tolêdo de Paula**

**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 Doutora em Agronomia (Ciência do Solo)

**2015**

Paula, Daniela Tolêdo  
P324p Perdas de nutrientes e sedimentos por erosão e seus efeitos na  
qualidade da.... / Daniela Tolêdo de Paula. –  
Jaboticabal, 2015  
v, 53 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientador: Marcilio Vieira Martins Filho

Banca examinadora: Marcílio Vieira Martins Filho, Afonso Lopes,  
Fábio Olivieri de Nóbile, Rafael Montanari e José Renato Zanini

#### Bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Latossolo-sistemas de preparo. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:631.459

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.  
e-mail: [dani\\_mestra@hotmail.com](mailto:dani_mestra@hotmail.com)

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** PERDAS DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS POR EROÇÃO E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA ÁGUA

**AUTORA:** DANIELA TOLEDO DE PAULA

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

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



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



Prof. Dr. JOSE RENATO ZANINI  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. AFONSO LOPES  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. FÁBIO OLIVIERI DE NOBILE  
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos / Barretos/SP



Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 19 de janeiro de 2015.

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**DANIELA TOLÊDO DE PAULA-** Nascida em 25 de dezembro de 1977 em Frutal – MG, filha de Urbano José de Paula e Nicoleta Angela Tolêdo de Paula. Coursou Licenciatura em Química na Universidade Estadual de Londrina (UEL), concluído em 2000. Em 2001 ingressou no Mestrado em Química Analítica, área de concentração Eletroquímica e eletroanalítica, na Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Instituto de Química de Araraquara, finalizando em 2003. Iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, na área de Ciência do Solo, em março de 2011, na Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV). Desde 2001 é professora efetiva de Química no Estado de Minas Gerais. Desde 2010 é docente na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG).

“Se quer viver uma vida feliz,  
amarre-se à uma meta,  
não às pessoas nem às coisas.”

Albert Einstein

A Deus, pelo dom da vida;

Aos meus pais, pela educação, incentivo, apoio;

e pelo carinho em todos os momentos de minha vida;

Ao Marco Antônio, pelo apoio incondicional, compreensão, paciência;

e por estar sempre ao meu lado;

Aos meus irmãos, Grasiela e Rodrigo,

pelo incentivo, confiança e pela amizade em todos os momentos.

**DEDICO**

A todos que  
contribuíram, direta ou indiretamente  
para a realização de mais uma vitória em minha vida.

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida, serenidade, determinação na realização deste trabalho e por permitir a realização de mais um sonho.

Ao professor e orientador Marcílio Vieira Martins Filho, meu reconhecimento e gratidão pela orientação exemplar, atenção, paciência e incentivo.

À minha família pelo incentivo e apoio no decorrer desta etapa.

À UNESP por me proporcionar esta oportunidade.

Aos funcionários da seção de pós-graduação, por toda ajuda e disponibilidade.

À Usina São Martinho, por disponibilizar a área experimental.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste sonho.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	<b>ii</b>
ABSTRACT.....	<b>iii</b>
LISTA DE FIGURAS.....	<b>iv</b>
LISTA DE TABELAS.....	<b>v</b>
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	<b>1</b>
1.1 – Introdução e justificativa.....	<b>1</b>
1.1.1 – Nutrientes do solo.....	<b>1</b>
1.1.2 – Erosão hídrica.....	<b>3</b>
1.1.3 – Qualidade da água.....	<b>4</b>
1.1.4 – Controle dos processos erosivos.....	<b>5</b>
1.1.5 – Cultivo de cana-de-açúcar.....	<b>8</b>
1.2 – Hipótese.....	<b>10</b>
1.3 – Objetivos.....	<b>10</b>
1.4 – Referências.....	<b>11</b>
CAPÍTULO 2 – PERDAS DE ARGILA E FÓSFORO POR EROÇÃO EM ENTRESSULCOS DE UM LATOSSOLO COM RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	<b>16</b>
Resumo.....	<b>16</b>
2.1 – Introdução.....	<b>17</b>
2.2 – Material e métodos.....	<b>19</b>
2.3 – Resultados e discussão.....	<b>24</b>
2.3.1 – Erosão em entressulcos.....	<b>24</b>
2.3.2 – Perdas de argila, fósforo disponível e adsorvido no sedimento.....	<b>27</b>
2.4 – Conclusões.....	<b>30</b>
2.5 – Referências.....	<b>31</b>

<b>CAPÍTULO 3 – ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA POR PERDAS DE MO E NUTRIENTES EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>34</b>
Resumo.....	<b>34</b>
3.1 – Introdução.....	<b>35</b>
3.2 – Material e métodos.....	<b>37</b>
3.3 – Resultados e discussão.....	<b>43</b>
3.3.1 – Concentração e perdas de nutrientes na água de enxurrada	<b>43</b>
3.3.2 – Qualidade da água da enxurrada.....	<b>46</b>
3.3.3 – Concentração e perda de MO e nutrientes no sedimento.....	<b>48</b>
3.4 – Conclusões.....	<b>51</b>
3.5 – Referências.....	<b>52</b>

## PERDAS DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS POR EROSÃO E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE DA ÁGUA

**RESUMO** – O preparo do solo, a ausência ou presença de cobertura vegetal, bem como a percentagem de cobertura presente no solo, podem influenciar nas quantidades de matéria orgânica e nutrientes perdidos pela erosão, conseqüentemente na conservação da qualidade do solo e da água. Pelo exposto, este estudo teve como objetivo avaliar as perdas de nutrientes por erosão e seus efeitos na qualidade da água, em área com cultivo de cana-de-açúcar nos sistemas de manejo convencional e conservacionista. No experimento 1 a área experimental localiza-se em Guariba – SP, em solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado num esquema fatorial, 5 tratamentos com palha de cana-de-açúcar e 3 repetições, totalizando 15 parcelas. Nos tratamentos, a palha foi manualmente distribuída em toda a superfície do solo, nas quantidades de 0; 0,157; 0,35; 0,515 e 0,7 kg, proporcionando coberturas de 0% (CS<sub>0</sub>), 25% (CS<sub>25</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>), 75% (CS<sub>75</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>), respectivamente. As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidades médias de 60 mm h<sup>-1</sup>, durante 65 minutos. Observou-se que com o aumento das perdas de solo por erosão em entressulcos, há incremento no teor de argila do sedimento erodido. Tal fato está diretamente ligado à maior ou menor cobertura oferecida ao solo. Há a necessidade da cobertura do solo mínima de 42% para que não haja taxa de enriquecimento (ER) do sedimento erodido, por fósforo (P<sub>sed</sub> e P<sub>ads</sub>) e argila. A área experimental do experimento 2 localiza-se em Pradópolis – SP, em um Latossolo Vermelho eutrófico textura muito argilosa, a qual encontrava-se em época de renovação do cultivo de cana-de-açúcar. Foram utilizados três sistemas de preparo do solo. As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidade média em torno de 65 mm h<sup>-1</sup>, durante 75 minutos. No preparo localizado, como há maior cobertura do solo, a perda de solo por erosão foi significativamente menor em relação aos preparos convencional e no reduzido. O tratamento convencional apresentou maiores perdas de MO, P, K, Ca e Mg no sedimento erodido. As concentrações de K e P na água da enxurrada podem ser consideradas críticas para fins de irrigação e início de eutrofização da água.

**PALAVRAS-CHAVE:** cana-de-açúcar, latossolo, sistemas de preparo

## NUTRIENTS LOSSES AND SEDIMENTS FOR EROSION AND ITS EFFECTS ON WATER QUALITY

**ABSTRACT** – The preparation of the soil, the presence or absence of vegetation, as well as the proportion of this cover soil can influence the quantities of organic matter and nutrients lost by erosion, hence the preservation of the quality of soil and water. For the above, this study aimed to evaluate nutrient losses by erosion and its effects on water quality in area with cane sugar cultivation us conventional and conservation tillage systems. In experiment 1 the experimental area is located in Guariba - SP, the same soil was classified as red-yellow dystrophic oxisol. The experimental design was completely randomized in a factorial design, 5 treatments with straw cane sugar and 3 repetitions, totaling 15 plots . In the treatments , the straw was manually distributed across the surface of the soil in amounts of 0 ; 0.157 ; 0.35; 0.515 and 0.7 kg , providing roofing 0% (CS<sub>0</sub>), 25% (CS<sub>25</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>), 75% (CS<sub>75</sub>) and 100% (CS<sub>100</sub>), respectively. The experimental plots were subjected to simulated rain with average intensity of 60 mm h<sup>-1</sup> for 65 minutes. It was observed that with increasing soil erosion losses in rill, there is an increase in clay content of the sediment. This fact is directly linked to greater or lesser coverage provided to the soil. There is the need for minimum ground cover of 42 % so there is no enrichment rate (ER) of the sediment eroded by Psed, Pads and clay. The experiment experimental area 2 is located in Pradópolis - SP, in a soil oxisol clayey, which was in time of renewal of cane sugar cultivation. Three tillage systems were used. The experimental plots were subjected to simulated rain with medium intensity around 65 mm h<sup>-1</sup> for 75 minutes. In preparing located, as there is greater ground cover, soil loss is much lower than in conventional and reduced. Conventional treatment had higher losses of OM, P, K, Ca and Mg in the sediment. The concentrations of K and P in runoff water can be considered critical for purposes of irrigation and early eutrophication of water.

**KEYWORDS:** sugarcane, oxisol, tillage systems

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
<b>Capítulo 2</b>		
<b>Figura 1</b>	Taxa de erosão em entressulcos e da concentração de sedimentos em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar.....	<b>24</b>
<b>Figura 2</b>	Concentração de sedimentos em função do coeficiente de rugosidade de Manning.....	<b>25</b>
<b>Figura 3</b>	Número de Froude em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar.....	<b>26</b>
<b>Figura 4</b>	Teor de argila no sedimento em função da perda de solo em entressulcos.....	<b>27</b>
<b>Figura 5</b>	Teor de argila no sedimento erodido em função da cobertura da superfície do solo.....	<b>27</b>
<b>Figura 6</b>	Concentração de $P_{sed}$ e $P_{ads}$ em função do teor de argila no sedimento erodido.....	<b>28</b>
<b>Figura 7</b>	Taxas de enriquecimento do sedimento erodido em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar.....	<b>29</b>
<b>Capítulo 3</b>		
<b>Figura 1</b>	Vista geral das parcelas para quantidade de perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica, em três condições de sistemas de preparo do solo na cultura de cana-de-açúcar.....	<b>38</b>
<b>Figura 2</b>	Simulador de chuva de hastes rotativas do tipo Swanson.....	<b>40</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
<b>Capítulo 2</b>		
<b>Tabela 1</b>	Atributos físicos e químicos do solo na profundidade 0 a 0,20 m.....	<b>19</b>
<b>Capítulo 3</b>		
<b>Tabela 1</b>	Atributos químicos do LVef.....	<b>37</b>
<b>Tabela 2</b>	Cobertura por resíduos de palha de cana-de-açúcar, perdas de água e concentração de nutrientes na enxurrada em função do sistema de preparo do solo.....	<b>44</b>
<b>Tabela 3</b>	Perdas de nutrientes na água da enxurrada.....	<b>45</b>
<b>Tabela 4</b>	Atributos relativos à qualidade da água da enxurrada em função de três sistemas de preparo do solo para cultivo da cana-de-açúcar.....	<b>46</b>
<b>Tabela 5</b>	Concentração de sedimento, vazão da enxurrada e perdas de solo em função do sistema de preparo do solo.....	<b>48</b>
<b>Tabela 6</b>	Concentração de MO e sedimentos no sedimento erodido.....	<b>49</b>
<b>Tabela 7</b>	Taxa de enriquecimento (ER) no sedimento erodido por MO, P, K, Ca e Mg em função do sistema de preparo do solo.....	<b>49</b>
<b>Tabela 8</b>	Perdas de matéria orgânica e nutrientes no sedimento erodido.	<b>50</b>

## **CAPÍTULO 1 – Considerações gerais**

### **1.1 Introdução e justificativa**

#### **1.1.1 Nutrientes do solo**

O solo é um recurso natural (ROQUE et al., 2001) que é resultado da ação do clima, do relevo, do intemperismo, do tempo e dos organismos, sendo de suma importância na agricultura, uma vez que armazena água e nutrientes para o desenvolvimento dos vegetais.

A disponibilidade de nutrientes no solo depende de diversos fatores (SALVADOR et al., 2011), tais como, capacidade do solo em disponibilizar nutrientes, quantidade de nutriente do solo que é disponibilizada para as plantas e da habilidade do solo de repor os nutrientes que a planta retira. Quanto maior a fertilidade do solo, maior será o tempo em que a concentração de nutriente será mantida.

Na superfície do solo, há nutrientes alcalinos que podem substituir outros, tais como:  $K^+$  substitui o  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$ . Além disso, há os nutrientes que são imprescindíveis, tais como carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, que são denominados de essenciais, pois funcionam como “vitaminas”, uma vez que, por fazerem parte do metabolismo da planta, são importantes para o seu desenvolvimento e contribuem para a fertilidade do solo. Os elementos essenciais são classificados em: 1) macronutrientes (carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), que a planta necessita em grande quantidade, e, 2) micronutrientes, presente em pequenas quantidades na planta (ferro, manganês, boro, zinco, cobre, molibdênio e cloro) (VONADA e BORGES, 2011).

Para que haja produtividade vegetal satisfatória, no solo deverá haver disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo e Cl, caso contrário, a produção será limitada pelo nutriente menos disponível. O nitrogênio é considerado fator limitante, em vários sistemas de cultivo, por ser o elemento mais importante e mais requerido no controle do crescimento das plantas. A sua deficiência atrofia o

desenvolvimento da planta. Como a disponibilidade de nitrogênio para as plantas depende do material orgânico e das condições climáticas, elevado estoque de nitrogênio no solo não representa elevada disponibilidade às culturas, pois é necessário que o mesmo seja liberado na forma de minerais ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) para que a planta o absorva (POLETTTO, 2004).

Outro elemento essencial, desde o estágio inicial do desenvolvimento da planta, é o fósforo, sendo de suma relevância nos processos metabólicos, desenvolvendo papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. O fósforo também faz parte da composição estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, bem como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. Além disso, é considerado o elemento limitante da eutrofização, cuja perda, pelo escoamento superficial, pode comprometer a qualidade da água (OLIVEIRA et al., 2010).

O potássio, absorvido como íon cátion monovalente ( $\text{K}^+$ ), é um nutriente que, na forma livre e em quantidade adequada, regula e participa de muitos processos essenciais como: controle da turgidez celular, fotossíntese, transpiração, abertura e fechamento de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese proteica. A carência de potássio pode acarretar reduções no crescimento do vegetal (KANO et al., 2010).

Ferreira (2012), ao realizar um estudo sobre os sintomas produzidos pela deficiência de macro e micronutrientes no milho híbrido, observou-se que as plantas com carência de potássio apresentaram diminuição acentuada no porte e, além disso, as folhas mais velhas desenvolveram necrose, a qual iniciou nas pontas e margens e evoluiu em direção à nervura central.

Oliveira et al. (2011), ao avaliarem o desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade, concluíram que a absorção de potássio pela berinjela foi maior do que de nitrogênio, entretanto, o aumento da salinidade minimizou a absorção de ambos.

Devido à retirada da cobertura vegetal para implantação da agricultura, o solo fica desprotegido. Quando há incidência de chuva sobre este solo, as partículas podem desagregar, selando-o e dificultando a infiltração de água, facilitando o escoamento superficial (run off). Entretanto, há o arraste e suspensão das partículas



superficiais do solo desagregadas, onde estão presentes matéria orgânica e os nutrientes essenciais ao solo e para produção agrícola (SILVA et al., 2012).

A degradação dos solos ocorre quando há a degeneração das suas características e dos atributos físicos, químicos e biológicos, comprometendo sua qualidade (ZUQUETTE et al., 2012). Essa degradação que é provocada por: práticas inadequadas de manejo agrícola, perdas e lixiviação de nutrientes, mudanças na estrutura, porosidade, permeabilidade e densidade do solo.

### **1.1.2 Erosão hídrica**

Erosão é um processo físico que consiste na desagregação e transporte das partículas do solo, pela água ou pelo vento, sendo o resultado do impacto sobre as propriedades físicas do solo, podendo degradar o meio ambiente (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010), pois afeta a estrutura do solo, levando os nutrientes e sais minerais existentes para as partes baixas do relevo.

Alguns fatores como: características da chuva, declividade do terreno e a densidade do terreno, também responsáveis pela erosão, podendo provocar o escoamento superficial (*run off*). Considerando o escoamento superficial, pode-se dizer que este inicia quando a intensidade de precipitação torna-se maior do que a taxa de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno for ultrapassada. O escoamento superficial carrega consigo sedimentos ricos em matéria orgânica e nutrientes essenciais ao solo, principalmente partículas pequenas, tais como: carbono orgânico do solo, fósforo, nitrogênio e argila, enriquecendo o sedimento erodido (HU et al., 2013).

Como a maior declividade do terreno acarreta no aumento do volume e da velocidade da enxurrada e a redução da infiltração de água no solo, há intensificação da capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada. Assim como sua capacidade em desagregar o solo, principalmente quando concentrada em sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno. Desse modo, a declividade é um fator que influencia fortemente as perdas de água e solo por erosão hídrica (PINHEIRO et al., 2010).

Quanto maior a intensidade e a frequência das precipitações pluviométricas, maior será o risco de ocorrência da erosão. Quando associadas às condições de

relevo movimentado, características físico-hídricas do solo adversas, uso e manejo inadequados do solo, maior será a probabilidade de erosão (SANTOS et al., 2010).

A erodibilidade é outro fator de suma relevância na caracterização da perda de solo, pois, representa os processos que regulam a infiltração de água e sua resistência à desagregação e o transporte de partículas (MIQUELONI e BUENO, 2011).

Além das partículas de solo em suspensão, são também transportados: sedimentos, fertilizantes, nutrientes, matéria orgânica, sementes e agroquímicos sendo responsáveis por causarem prejuízos diretos à produção agropecuária. Entretanto, acarretam problemas de assoreamento e poluição na rede hidrográfica, diminuindo a seção de vazão dos leitos dos rios e aumentando os riscos de cheias, o que compromete a perenidade dos cursos de água (SANTOS et al., 2010).

### **1.1.3 Qualidade da água**

De acordo com Agência Nacional de Águas - ANA e Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em 1997, dada à sua utilidade, a água é considerada um recurso finito e de grande valor econômico.

Com a intensificação das atividades agrícolas, para garantir a produção agrícola, principalmente em área canavieira, há a necessidade de grande utilização de fertilizantes fosfatados e potássicos. Contudo, com o aumento dos níveis de nutrientes na superfície do solo e, conseqüentemente, das suas concentrações no escoamento superficial, há alteração, de forma significativa, da dinâmica dos ecossistemas naturais (MARTINS FILHO et al., 2009).

Para O'Geen et al. (2010), as atividades agropecuárias, devido ao escoamento superficial produzido por elas, são as principais responsáveis pela poluição das águas, principalmente, quando associado a processos erosivos.

Os sedimentos, arrastados durante a erosão, causam a poluição dos rios, bem como o assoreamento dos mesmos. Além disso, diminui a fertilidade do solo e provoca o acúmulo de resíduos e defensivos químicos, prejudicando a flora e a fauna aquática (RAMOS et al., 2012).

Para manter a qualidade da água é necessário reduzir o fluxo de nutrientes para o rio, principalmente os oriundos da produção agrícola como o nitrogênio e o

fósforo. Pois, pelo escoamento superficial, esses elementos químicos são transportados para os cursos d'água enriquecendo o meio e favorecendo o crescimento excessivo de plantas aquáticas (ZANINI, 2009). Desse modo, a melhor alternativa é o controle efetivo dos fatores e processos que favorecem a erosão.

#### **1.1.4 Controle dos processos erosivos**

A erosão, resultante das práticas deficientes de gestão do uso do solo, pode acarretar o aumento da carga de sedimentos nos rios, na medida em que solos e sedimentos são arrastados durante fortes e persistentes chuvas.

O controle dos processos erosivos é fundamentado no controle do impacto das gotas de chuva, dentre os quais, a utilização de sistemas conservacionistas, com o manejo dos resíduos na superfície e o não-preparo do solo (TRUMAN et al., 2009).

Com a presença de cobertura na superfície do solo as taxas de desagregação do solo são diminuídas e há intensificação da resistência devido ao aumento das forças viscosas e gravitacionais (CANTALICE et al., 2009).

A matéria orgânica, por ter grande capacidade para absorver água, é considerada a principal proteção à ação da erosão causada pela água, importante na formação e na estabilidade das partículas do solo.

Em solos onde há matéria orgânica, haverá maior infiltração de água, reduzindo a vulnerabilidade do solo à compactação, desse modo, a aeração e a umidade do mesmo serão maiores, deixando-o mais estruturado.

O solo estruturado fica mais resistente à erosão, com melhor percolação de água por meio do perfil e com menos perdas (BRAGA, 2010). Assim sendo, os processos relacionados à matéria orgânica na química do solo são de suma importância para compreender a fertilidade e disponibilidade de nutrientes para as plantas (SILVA et al., 2012).

Devido à relação entre matéria orgânica e atributos físicos, biológicos e químicos do solo, esta pode ser considerada como indicadora da capacidade produtiva do solo, sendo suma importância para sustentabilidade da agricultura.

Quanto maior o teor de matéria orgânica, melhor será a fertilidade do solo, uma vez que é considerada como fonte de nutrientes no solo (SOUZA, 2013), dentre esses nutrientes, destaca-se o fósforo, elemento essencial à produtividade do solo, para esse elemento, a MO é primordial porque aumenta a quantidade do mesmo no solo (RAMOS et al., 2010).

A MO também tem a capacidade de reter outros nutrientes, como o potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ), atuando como reservatório de nitrogênio (N), fósforo (P) enxofre (S) e boro (B) (CHIODINI et al., 2013).

A quantidade de MO é influenciada pela textura do solo, clima, umidade, microbiota do solo e condicionamento físico do solo (KHORRAMDEL et al., 2013).

A escolha do sistema de plantio direto, por interferir na taxa de deposição e decomposição, minimiza as perdas de matéria orgânica (MO) no solo por decomposição, sendo relevante no estoque desta no solo (COSTA et al., 2013). Além de aumentar a taxa de MO, esse método de plantio, também promove incremento na concentração de potássio e fósforo no solo.

Em práticas de manejo inadequadas, há a redução de MO, diminuindo a fertilidade do solo, pois além de reduzir as quantidades de nutrientes, afetam a capacidade de trocas de cátions (CTC) (FONTANA et al., 2011).

Adotar sistemas de manejo conservacionistas, os quais mantêm a cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, melhora a estrutura do mesmo, minimizando os efeitos provocados pelos processos erosivos (GUTH, 2010).

Para Cardoso et al. (2012), a presença da cobertura vegetal viva ou morta acima da superfície do solo, intercepta o impacto das gotas d'água da chuva sobre o solo, protegendo-o. Por conseguinte, há a redução da formação do selo superficial e da desagregação do solo, preservando as propriedades físicas do solo, controlando as perdas por erosão de forma mais eficiente (PANACHUKI et al., 2011)

Sousa et al. (2012) ao realizarem estudos utilizando palha de cana-de-açúcar na cobertura do solo observaram que ao aumentar a quantidade de palha, independentemente da posição da vertente ser topo, encosta ou sopé, as perdas de solo foram reduzidas, bem como a concentração de matéria orgânica e nutrientes no sedimento erodido.

Segundo Cardoso et al. (2012), o escoamento superficial e a erosão podem ser minimizados por plantas que possuem elevado índice de cobertura e alta produtividade em fitomassa.

Thomazini et al. (2012), ao realizarem estudos avaliando perdas de solo, bem como água e nutrientes, em sistemas conservacionistas e convencionais da cultura de café no estado do Espírito Santo, observaram que essas perdas, foram superiores nos sistemas convencionais em comparação aos sistemas conservacionistas.

Martins Filho et al. (2009) desenvolveram estudos utilizando diferentes condições de cobertura em área cultivada com cana-de-açúcar, mantendo a palhada na superfície do solo. Concluíram que as infiltrações de água no solo foram maiores nas áreas com 50% e 100% de cobertura por resíduos vegetais, pois, nestas percentagens, houve redução da erosão do solo de 68% e 89%, respectivamente, em relação ao solo descoberto.

Sousa (2011), ao avaliar as perdas de solo, de matéria orgânica e de nutrientes, em área com a cultura de cana-de-açúcar, submetida à colheita mecanizada, utilizando parcelas com diferentes porcentagens de cobertura, por palhada de cana-de-açúcar, verificou que a perdas das condições analisadas no sedimento foram maiores nas parcelas com 0% e 25% de cobertura por palha de cana-de-açúcar. Já nas parcelas com 75% e 100% de cobertura por resíduos de palha de cana-de-açúcar, as perdas no sedimento erodido foram significativamente reduzidas, permitindo concluir ao utilizar acima de 50% da cobertura com palhada, na área estudada, as perdas de solo e de matéria orgânica são reduzidas, bem como a concentração de nutrientes no sedimento erodido.

O sistema de plantio direto foi avaliado como alternativa na produção hortaliças e, quando comparado ao sistema convencional, no plantio direto houve menor perda de solo e de fósforo e potássio (SOUZA, 2013).

Atucha et al. (2013) observaram que a cobertura vegetal nos pomares de abacate minimizou a erosão bem como outros impactos ambientais, reduzindo as perdas de nutrientes pelo escoamento superficial, as quais contribuíram com a diminuição da poluição da água .

Bertol et al. (2011), ao avaliarem a concentração dos nutrientes: potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e cobre (Cu), na enxurrada provocada por chuvas simuladas, verificaram que o sistema de plantio direto contribui para melhorias no solo, aumentando a concentração de nutrientes, principalmente na superfície do solo. Entretanto, devido a este aumento, há perdas de nutrientes pela enxurrada, o que resulta em danos econômicos e ambientais. Estes autores concluíram que há a necessidade da adoção de práticas conservacionistas complementares para a contenção da enxurrada, dentre elas o terraceamento é uma opção viável.

O terraceamento controla a erosão, diminuindo o comprimento do declive, pelo seccionamento das encostas. Assim sendo, quebram a velocidade da enxurrada, acumulando-a no canal do terraço facilitando a infiltração da água e sua permanência no solo.

Como a dinâmica da enxurrada pode ser controlada pelos terraços, há a redução da perda de nutrientes das lavouras bem como da degradação dos recursos naturais água e solo, contribuindo positivamente para os aspectos econômicos e ambientais das propriedades rurais e, conseqüentemente, da sociedade.

Uma forma de manter a qualidade da água é a preservação das matas ciliares, as quais são tolerantes a inundações periódicas e têm a capacidade de adaptação em terrenos com alto grau de declividade. A mata ciliar é de suma importância para a manutenção dos ecossistemas aquáticos, uma vez que auxilia na infiltração de água no solo, facilitando o abastecimento do lençol freático e conservando a qualidade da água. Além disso, dificulta o escoamento superficial de partículas e sedimentos responsáveis pela poluição e assoreamento dos recursos hídricos, fornece sombra, mantém a estabilidade térmica da água e ainda impede o impacto direto da chuva no solo, minimizando os processos erosivos (SALAMENE et al., 2011).

### **1.1.5 Cultivo da cana-de-açúcar**

No cenário econômico brasileiro a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) exerce um papel de suma importância, uma vez que representa uma boa parcela dos lucros no setor agropecuário. Embora o Brasil tenha o clima propício e essa

cultura seja de boa adaptação no solo brasileiro (GROFF, 2010), é importante adotar algumas medidas durante o preparo do solo, plantio e colheita, para que haja aumento da produtividade e obtenção de produto de qualidade, bem como, a preservação do meio ambiente e uma lucratividade satisfatória (MENEGUETTI et al., 2010).

Após a escolha da variedade da cana a ser cultivada, é essencial um estudo da área do plantio, pois, o clima, densidade, época do plantio, temperatura e disponibilidade de água e nutrientes no solo, assim como, suas características físicas, químicas e microbiológicas, interferem diretamente na qualidade da mesma (GROFF, 2010).

Antes do plantio, é necessário fazer um planejamento da área a ser cultivada, dos métodos de manejo utilizados, do risco de erosão e dos nutrientes disponíveis no solo, pois o plantio é uma das etapas essenciais na condução de qualquer cultura e para alcançar a produtividade esperada.

A produtividade da cana-de-açúcar, que é uma das principais atividades agrícolas do Brasil, também pode ser influenciada pelo tipo de colheita, a qual está deixando de ser efetuada de forma manual e com queima do canavial (cana queimada), sendo substituída pela colheita mecanizada e sem queima (cana crua).

Na colheita de cana crua, há uma cobertura vegetal, denominada de palhada, a qual é formada devido às folhas, bainhas e ponteiros que são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo. A palhada permanece sobre o solo em grande quantidade, promovendo modificações nos atributos físicos e químicos do solo por longo tempo (BARBIERE, 2011). Contudo, as perdas de MO e de nutrientes no sedimento erodido serão minimizadas (MARTINS FILHO et al., 2009).

Uma das desvantagens da cana queimada é a contribuição para o efeito estufa. A cana queimada reduz consideravelmente a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, além disso, diminui o teor de matéria orgânica (PANOSSO et al., 2011).

Garbiate et al. (2011), ao compararem as concentrações de sedimentos na enxurrada, resultantes da erosão entre sulcos, na colheita mecanizada de cana queimada e de cana crua, observaram que estas concentrações, assim como de

MO, P, K, Ca e Mg, foram superiores no sistema com colheita mecanizada de cana queimada.

No sistema de cana queimada com o tráfego de máquinas, o solo fica mais suscetível à compactação, alterando de forma negativa a qualidade física do mesmo.

Na colheita de cana crua, como os resíduos vegetais de colheita são distribuídos na superfície do solo, as perdas de nutrientes e de MO no sedimento são minimizadas. Além disso, o solo fica mais resistente à degradação física promovida pelo tráfego de máquinas na colheita mecanizada de cana.

## **1.2 Hipótese**

Os tratamentos de preparo do solo, a ausência ou presença de cobertura vegetal, bem como a percentagem de cobertura presente no solo, podem influenciar nas quantidades de matéria orgânica e nutrientes perdidos pela erosão, conseqüentemente na conservação da qualidade do solo e da água.

## **1.3 Objetivos**

1) quantificar as perdas de argila, P solúvel e adsorvido por erosão em entressulcos influenciadas pela presença de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo;

2) determinar o percentual mínimo de resíduos a serem mantidos sobre a superfície do solo para o não enriquecimento do sedimento erodido por argila e P solúvel e adsorvido;

3) avaliar a influência das perdas de nutrientes na qualidade da água.



#### 1. 4 Referências

- ATUCHA, A.; MERWIN, I. A.; BROWN, M. G.; GARDIAZABAL, F.; MENA, F.; ADRIAZOLA, C.; LEHMANN, J. Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea Americana Mill*) hillside orchard under different groundcover management systems. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 368, n. 1-2, p. 393-406, 2013.
- BARBIERI, D. M. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar**. 2011. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.
- BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FEY, E.; LANA, M. C. Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 11, p. 1914-1920, 2011.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010.
- BRAGA, G. N. M. **A matéria orgânica do solo**. [S.l.]: NA SALA COM GISMONTI: Assuntos sobre Agronomia, 20 jul. 2010. Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/07/materia-organica-do-solo.html#more>>. Acesso em: 23 jul. 2011.
- 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. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 68-74, 2009.
- CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 632–638, 2012.
- CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 1, p. 181-190, 2013.
- COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.
- FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@ambiente Online**, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BRITO, R. J.; BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.

GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T.; TOMASINI, B. A.; BERGAMIN, A. C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2145-2155, 2011.

GROFF, A. M. **Fatores de produção agropecuária**: apostila, transparências e notas de aulas. Campo Mourão: Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, 2010.

GUTH, P. L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HU, Y.; FISTER, W.; KUHN, N. Temporal variation of SOC enrichment from interrill erosion over prolonged rainfall simulations. **Agriculture**, Basel, v. 3, n. 4, p. 726-740, 2013. Doi:10.3390/agriculture3040726.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 3, p. 287-291, 2010.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHEKI, A.; MAHALLATI, M. N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, p. 25-31, 2013.

MARTINS FILHO, 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.

MENEGUETTI, C. C.; MEZAROBA, S.; GROFF, A. M. Fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGRO-INDUSTRIAL, 4., 2010, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão: FECILCAM, 2010.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2175-2182, 2011.

O'GEEEN, A. T.; BUDD, R.; GAN, J.; MAYNARD, J. J.; PARIKH, S. J.; DAHLGREN, R. A. Mitigating nonpoint source pollution in agriculture with constructed and restored wetlands. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in agronomy**. Amsterdam: Elsevier, 2010. v. 108, charp. 01, p. 1-76. (Book Series). Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211310080016>>. Acesso em: 01 dez. 2010.

OLIVEIRA, F. A; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, F. R. A; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; MELO, T. K. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 37-45, 2011.

OLIVEIRA, M. F. M.; FAVARETTO, N.; ROLOFF, G.; FERNANDES, C. V. S. Estimativa do potencial de perda de fósforo através da metodologia "P Index". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 276-273, 2010.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 1777-1785, 2011.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JUNIOR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JUNIOR, N. Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.111, n. 2, p. 190-196, 2011.

PINHEIRO, D. T. C.; COSTA, C. C.; MOTTA, L. L.; GODINHO, F. C.; SILVA, J. V. Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com Eucalyptus sp. em São João Evangelista – MG. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 2, n. 1, p. 57-65, 2010.

POLETTTO, N. **Nitrogênio no solo e na planta e o manejo da adubação nitrogenada em cevada no sistema de plantio direto**. 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 149-155, 2010.

RAMOS, Y. S.; RIBEIRO, G. N.; ROCHA, R. N. R. Erosão laminar e atributos físico-químicos de solos próximos a Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [Campina Grande], v. 8, n. 3, p. 74-84, 2012.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.147-156, 2001.

SALAMENE, S.; FRANCELINO, M. R.; VALCARCEL, R.; LANI, J. L.; FIRME SÁ, M. M. Estratificação e caracterização ambiental da área de preservação permanente do Rio Guandu/RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 221-231, 2011.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **A Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.

SANTOS, G. G; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2012. 69 p.

SOUSA, G. B. **Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente com palha de cana-de-açúcar**. Jaboticabal, 2011, 73p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.

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

SOUZA, R. F. **Frações da matéria orgânica e perdas de solo, água e nutrientes no cultivo de hortaliças sob sistemas de manejo**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; MENDONÇA, E. S. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 150-159, 2012.

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.

VONADA, R.; BORGES, B. Aprendendo sobre Serviços Ambientais. **Manual de orientação para o desenvolvimento dos subprogramas do Sistema de Incentivos a Serviços Ambientais (SISA) do Acre**. [S.l.]: Forest Trends - The Katoomba Group; Rio Branco: Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais do Estado do Acre, 2011.

ZANINI, H. L. H. T. **Caracterização limnológica e microbiológica do córrego rico que abastece Jaboticabal (SP)**. 2009. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

ZUQUETTE, L. V.; RODRIGUES, V. G. S.; PEJON, O. J. Recuperação de áreas degradadas. In: CALIJURI, M. do C. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. São Paulo: Ed. Campus/Elsevier, 2012. p. 589-619.

## **CAPÍTULO 2 – Perdas de argila e fósforo por erosão em entressulcos de um latossolo com resíduos de cana-de-açúcar**

**RESUMO** – Considerando a importância dos nutrientes presentes no solo para o desenvolvimento das plantas e para a conservação da qualidade do solo, bem como a relevância da quantificação dos mesmos para o manejo correto do solo, os objetivos do presente trabalho foram: quantificar as perdas de argila, P solúvel e adsorvido por erosão em entressulcos influenciadas pela presença de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo e determinar o percentual mínimo de resíduos a serem mantidos sobre a superfície do solo para o não enriquecimento do sedimento erodido por argila e P solúvel e adsorvido. A área experimental localiza-se em Guariba – SP, com solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado num esquema fatorial, 5 tratamentos com palha de cana-de-açúcar e 3 repetições, totalizando 15 parcelas. Nos tratamentos, a palha foi manualmente distribuída em toda a superfície do solo, nas quantidades de 0; 0,157; 0,35; 0,515 e 0,7 kg, proporcionando coberturas de 0% (CS<sub>0</sub>), 25% (CS<sub>25</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>), 75% (CS<sub>75</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>), respectivamente. A aplicação da palha foi realizada 2 horas antes da realização de chuva simulada e das avaliações de erosão e entressulcos. As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidades médias de 60 mm h<sup>-1</sup>, durante 65 minutos. Verificaram-se relações lineares entre concentração de P<sub>Sed</sub>, P<sub>ads</sub> e Arg<sub>Sed</sub> no sedimento erodido. Para que não haja taxa de enriquecimento (ER) do sedimento erodido por P<sub>sed</sub>, P<sub>ads</sub> e argila, é necessária cobertura da superfície do solo (CS) mínima de 42%.

**PALAVRAS-CHAVE:** nutrientes, qualidade do solo, manejo do solo

## 2.1 Introdução

A erosão, que é um processo de desprendimento e arraste das partículas do solo ocasionado pela água ou pelo vento, inicia-se com o impacto produzido pelo salpico das gotas de chuva sobre a superfície do solo desprotegido e continua com a formação de enxurrada resultando em sulcos. Sendo os seus principais responsáveis: a intensidade pluviométrica, a topografia, o baixo teor de matéria orgânica do solo e o tipo de cobertura vegetal (GUIMARÃES et al., 2012).

O uso de técnicas e práticas de cultivo inadequadas, alteração das condições hidrológicas, desmatamento (TERRANOVA et al., 2009), condições de relevo movimentado e características físico-hídricas adversas do solo (SANTOS et al., 2010) podem intensificar o fenômeno de erosão.

O manejo inadequado do solo pode acelerar o processo erosivo, facilitando as perdas do solo, alterando as propriedades físicas do solo, minimizando a produtividade das culturas (SILVA et al., 2012a)

O efeito do transporte de partículas do solo, com uma combinação dos processos erosivos, aumenta a variabilidade espacial das produções agrícolas, assim como o declínio global da capacidade produtiva do solo.

Para que haja um equilíbrio entre a máxima retenção de água das chuvas, a velocidade de infiltração e a capacidade de armazenamento de água no solo, objetivando melhor qualidade do solo para o desenvolvimento de culturas, a adoção de manejo adequado do solo é de suma importância (CARVALHO, 2009).

O sistema de manejo influencia no tamanho do sedimento arrastado pela enxurrada. O cultivo do solo com mobilização mecânica e a queima de resíduos vegetais aumentam a quantidade de sedimentos desagregados e disponíveis para o transporte pela enxurrada, modificam a distribuição de tamanho dos sedimentos presentes na enxurrada, normalmente, aumentam a quantidade de sedimentos grandes em relação aos pequenos.

As taxas de erosão podem ser reduzidas, com o aumento da cobertura vegetal, uma vez que a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo e reduz a velocidade do escoamento superficial (REIS et al., 2012), visto que a

cobertura é fundamental na dissipação da energia cinética das gotas da chuva (GUTH, 2010).

Os atributos químicos arrastados pela enxurrada podem ser reduzidos com a utilização da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar, isso ocorre porque, como neste sistema não há despalha pelo fogo, há a proteção dos resíduos que ficam na superfície após a colheita da cana (SOUSA et al., 2012).

Um aspecto relevante é que, com a cobertura vegetal, as propriedades físicas do solo são preservadas, contudo, impede a ocorrência do selamento superficial, facilitando a infiltração de água no solo (PANACHUKI et al., 2011).

No cultivo sem mobilização do solo, com manutenção de resíduos vegetais na superfície, há redução na quantidade de sedimentos, o que aumenta a proporção de sedimentos pequenos em relação aos grandes (BERTOL et al., 2010).

A presença da cobertura vegetal reduz o impacto das gotas de chuva no solo (CARDOSO et al., 2012), evitando o desprendimento das partículas. Por conseguinte, minimiza os efeitos da erosão produzidos pela enxurrada, evitando o arraste de nutrientes para os rios, lagos e açudes, reduzindo a contaminação da água.

A substituição de técnicas de cultivo convencionais por práticas conservacionistas, que mantêm resíduos vegetais sobre o solo, como acontece na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, visa a melhor estruturação do solo, bem como, suas características físicas, químicas e biológicas. Desse modo, a cobertura por resíduos culturais e a rugosidade superficial constituem as condições físicas de superfície do solo mais importantes do ponto de vista de redução da erosão hídrica.

No Brasil, em 2014, no contexto de produção de etanol de 2ª geração e cogeração de energia pelo uso da palha da cana-de-açúcar, há iminente preocupação com o quanto deixar de palha sobre a superfície do solo, para minimizar os efeitos adversos da erosão hídrica como as perdas de matéria orgânica e nutrientes.

A hipótese do trabalho é que o manejo adequado do solo e a percentagem de cobertura vegetal influenciam na manutenção dos nutrientes e na conservação da qualidade do solo. O presente estudo teve como objetivos: a quantificação das perdas de argila, P solúvel e adsorvido por erosão em entressulcos influenciadas



pela presença de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo e a determinação do percentual mínimo de resíduos a serem mantidos sobre a superfície do solo para o não enriquecimento do sedimento erodido por argila e P solúvel e adsorvido.

## 2.2 Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, no Município de Guariba. As coordenadas geográficas foram 21° 19' de latitude sul e 48° 13' de longitude oeste, com altitude média de 640 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Aw), com precipitação média de 1.400 mm. As chuvas são concentradas no período de novembro a fevereiro. A vegetação natural é constituída por floresta tropical subcaducifólia.

O solo da área foi classificada como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com valor de saturação por base (V%) 26% na profundidade de 0,6-0,8 m (LVAd) (EMBRAPA, 2013) sob cultivo de cana-de-açúcar. Os valores dos principais atributos físicos e químicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo na profundidade 0 a 0,2 m.

Argila	Silte	Areia	pH	MO	P (resina)	P(ads)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
-----	%	-----	CaCl <sub>2</sub>	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	%
63	7	30	5	23	47	385	2	32	9	1	35	43	79	63

ads = adsorvido.

Utilizou-se uma vertente caracterizada pelas seguintes posições: topo, meia encosta e sopé, cabe ressaltar que a área apresentava um histórico de mais de 20 anos consecutivos com cultivo de cana-de-açúcar.

A cobertura vegetal na área, na época da realização deste trabalho, foi constituída por resíduos de cana-de-açúcar, mantidos sobre a superfície, após a colheita mecânica da cultura.

As parcelas experimentais foram nas seguintes dimensões: 0,5 m de largura por 1 m de comprimento, com área total de 0,5 m<sup>2</sup>.

Para determinação do processo de erosão em entressulcos, foram utilizadas parcelas delimitadas com chapas metálicas nas suas laterais e na parte superior e na extremidade inferior, por uma calha convergente para saída de 0,1 m de diâmetro.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado num esquema fatorial, 5 tratamentos com palha de cana-de-açúcar e 3 repetições, totalizando 15 parcelas.

Nos tratamentos, a palha foi manualmente distribuída em toda a superfície do solo, nas quantidades de 0; 0,157; 0,35; 0,515 e 0,7 kg, proporcionando coberturas de 0% (CS<sub>0</sub>), 25% (CS<sub>25</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>), 75% (CS<sub>75</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>), 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<sub>0</sub>). Para chegar ao valor de 100% de cobertura, pesaram-se várias amostras em áreas de 1 m<sup>2</sup> 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 e entressulcos.

As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidades médias de 60 mm h<sup>-1</sup>, 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 descrito por Martins Filho et al. (2009).

Trinta e três pluviômetros, alinhados no sentido do declive, na área de ação do simulador de chuvas, 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.

As amostras foram coletadas em recipientes de plástico com capacidade de 1 L, 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 precisão de 0,01 g. 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. Posteriormente, submetido à análise para determinação de P, K, Ca e Mg, seguindo método da EMBRAPA (1979).

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. Cada um dos volumes de solução obtida foi dividido 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, as taxas de erosão (A) e de enxurrada (R) foram determinadas dividindo-se cada um dos valores obtidos pela área de cada parcela.

As amostras deformadas foram coletadas nas bordaduras das parcelas entressulcos, com o auxílio de um trado, na 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  $\text{g g}^{-1}$  e, posteriormente, convertida em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , 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 Silva et al. (2012b), a qual é dada pelo produto da velocidade máxima por um fator de ajuste  $\alpha=2/3$ .

A velocidade média do escoamento ( $v$ ) foi determinada, para os tratamentos com 25%, 50%, 75% e 100% de cobertura, 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  $\text{CaCl}_2$  0,01 M.

Os resultados de adsorção de P foram obtidos de acordo com o método descrito por Casagrande e Camargo (1997).

A concentração de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo foi adicionada a amostras de solos. A quantidade de P adsorvido foi calculada subtraindo-se o valor determinado em solução do valor total adicionado.

Os resultados foram submetidos à análise da variância segundo o delineamento inteiramente casualizado. Para as comparações múltiplas das médias, utilizou-se o teste de Duncan a 5%.

Análises estatísticas e de regressões foram obtidas com o programa Statistica (STATSOFT, 1994).

As taxas de desagregação do solo em entressulcos ( $D_i$ ,  $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foram determinadas conforme equação 2.1:

$$D_i = \frac{ms}{tA} \quad (2.1)$$

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 2.2:

$$PS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i C_i t)}{A} \quad (2.2)$$

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.

Para a avaliação de algumas características hidráulicas do escoamento superficial em entressulcos foi medida a temperatura da água de escoamento.

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

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (2.3)$$

em que,  $g$  é a aceleração da gravidade ( $m\ s^{-2}$ ), e  $h$  é a altura da lâmina d'água (m).

A rugosidade hidráulica ao escoamento superficial foi obtida determinando-se o coeficiente de rugosidade de Manning:

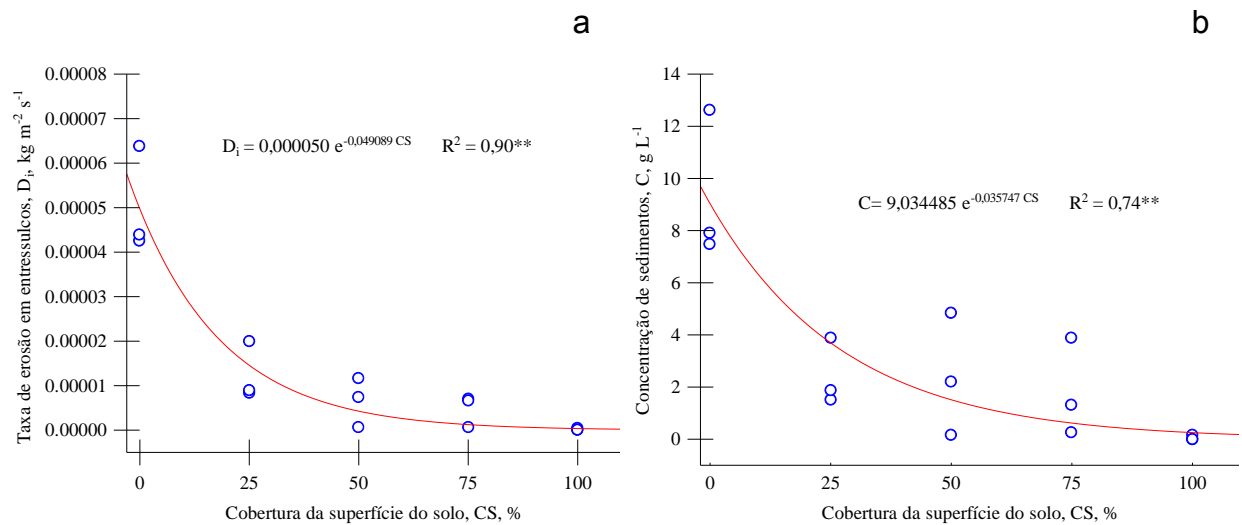
$$n = \frac{1}{v} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (2.4)$$

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

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Erosão em Entressulcos

Na Figura 1 é possível observar a influência da cobertura do solo por resíduos de cana-de-açúcar em superfície na taxa de erosão (a) e na concentração de sedimentos em entressulcos (b).



**Figura 1.** Taxa de erosão em entressulcos e da concentração de sedimentos em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar: a) erosão em entressulcos; b) concentração de sedimentos do solo na água da enxurrada.

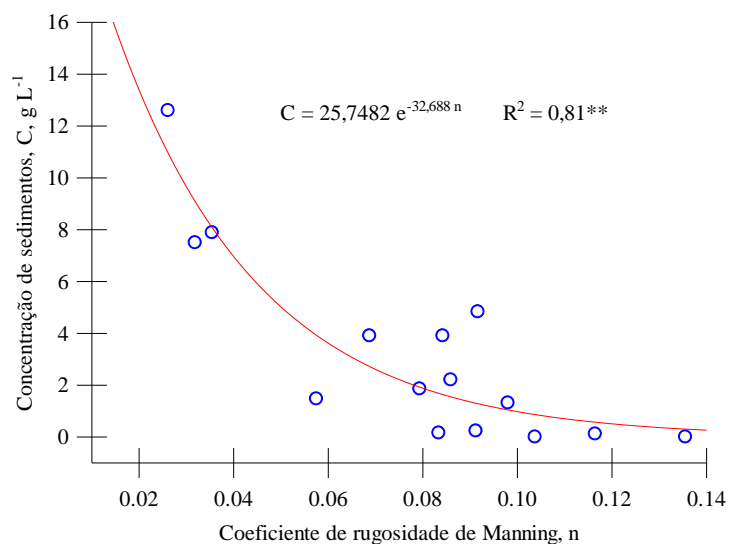
A análise da Figura 1a permitiu observar que a cobertura da superfície do solo promoveu um decréscimo exponencial significativo tanto da taxa de erosão em entressulcos que, com 100% de cobertura houve decréscimo de até 99,2% em relação à ausência de cobertura, quanto da concentração de sedimentos (Figura 1b). Com 100% de cobertura, havia 0,25 g de sedimentos do solo sendo transportados por litro de enxurrada, enquanto no solo descoberto eram arrastados 9,03  $\text{g L}^{-1}$ .

Quando 50% de palha foram mantidos na superfície do solo, a  $D_i$  foi reduzida em 91,4% quando comparada ao valor para o solo desnudo. Estes resultados são superiores aos verificados por Silva et al. (2012b) para erosão em entressulcos, na

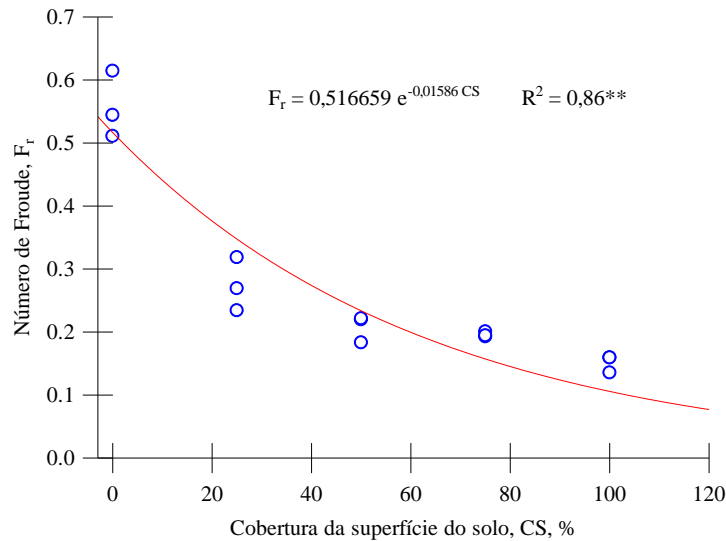
presença de 50% de cobertura por resíduos de cana-de-açúcar, que relataram 85% de redução de  $D_i$  nesta condição.

Quanto à redução das concentrações de sedimento diminuirão com o aumento da cobertura da superfície do solo com palha de cana-de-açúcar, estas são concordantes com resultados obtidos por Sousa et al. (2012).

Com o aumento da cobertura do solo, houve um proporcional aumento na resistência ao escoamento devido à rugosidade superficial reduzindo a concentração de sedimentos (Figura 2), aumentando as forças viscosas e as relacionadas à gravidade, diminuindo o número de Froude (Figura 3), como observado por CANTALICE et al. (2009).



**Figura 2.** Concentração de sedimentos em função do coeficiente de rugosidade de Manning.



**Figura 3.** Número de Froude em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar.

Estes resultados corroboraram com os obtidos por Martins Filho et al. (2009), que desenvolveram estudos utilizando diferentes condições de cobertura em área cultivada com cana-de-açúcar, mantendo a palhada na superfície do solo, e concluíram que, ao utilizar cobertura da superfície do solo, a erosão do solo foi reduzida em relação ao solo descoberto.

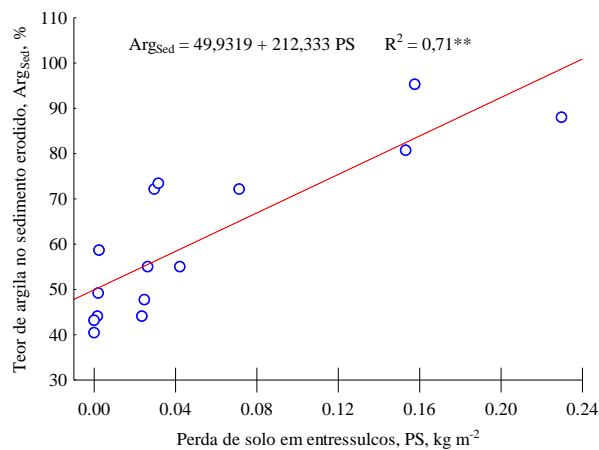
A efetividade da cobertura do solo na redução da erosão foi também observada por Sousa et al. (2012). Ao avaliarem as perdas de solo, de matéria orgânica e de nutrientes, em área com a cultura de cana-de-açúcar, submetida à colheita mecanizada, utilizando parcelas com diferentes porcentagens de cobertura, por palha de cana-de-açúcar, verificaram que nas parcelas com 75% e 100% de cobertura por resíduos de palha de cana-de-açúcar, as perdas no sedimento erodido foram significativamente reduzidas. Concluíram que, ao utilizar acima de 50% da cobertura com palha, na área estudada, as perdas de solo e de matéria orgânica foram reduzidas, assim como a concentração de nutrientes no sedimento erodido.

A influência da cobertura vegetal na taxa de erosão foi também estudada por Atucha et al. (2013) que observaram que a cobertura vegetal nos pomares de abacate minimizou a erosão bem como outros impactos ambientais, reduzindo as perdas de nutrientes pelo escoamento superficial.

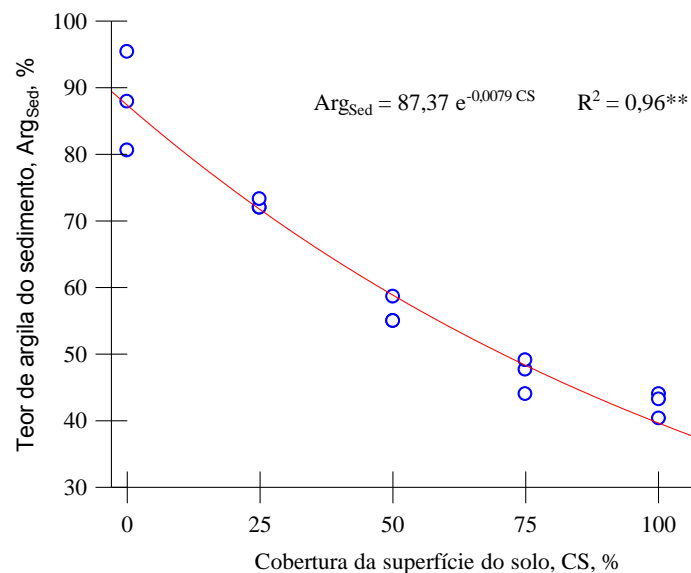


### 2.3.2 Perdas de argila, fósforo disponível e adsorvido no sedimento

Na Figura 4 observou-se um incremento no teor de argila do sedimento erodido com o aumento das perdas de solo por erosão em entressulcos. Tal fato está diretamente ligado à maior ou menor cobertura oferecida ao solo, o que pode ser compreendido pelos resultados expressos na Figura 5.



**Figura 4.** Teor de argila no sedimento em função da perda de solo em entressulcos.

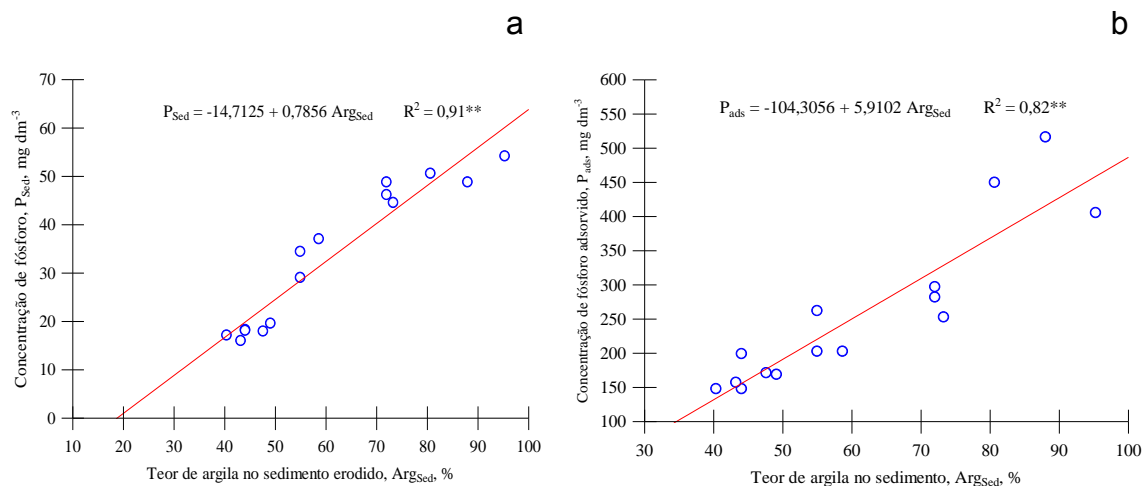


**Figura 5.** Teor de argila no sedimento erodido em função da cobertura da superfície do solo.

Na Figura 6, verificou-se que a quantidade de fósforo disponível e adsorvido ao sedimento erodido aumenta linearmente com o aumento do teor de argila presente no sedimento.

As taxas de enriquecimento do sedimento erodido por fósforo e argila são, provavelmente, consequências de uma forte erosão seletiva, que transporta preferencialmente as partículas de menor diâmetro e de baixa densidade, o que é comum em processos erosivos em entressulcos (MARTINS FILHO et al., 2009). Contudo, estão relacionados com o enriquecimento do sedimento erodido por finas frações de baixa densidade como silte, argila, fósforo, nitrogênio e carbono orgânico do solo (HU et al., 2013).

O enriquecimento por fósforo nos sedimentos em entressulcos, pode ser atribuído à associação do fósforo com as mais finas frações do solo, que são preferencialmente arrastadas (KUHN et al., 2012).



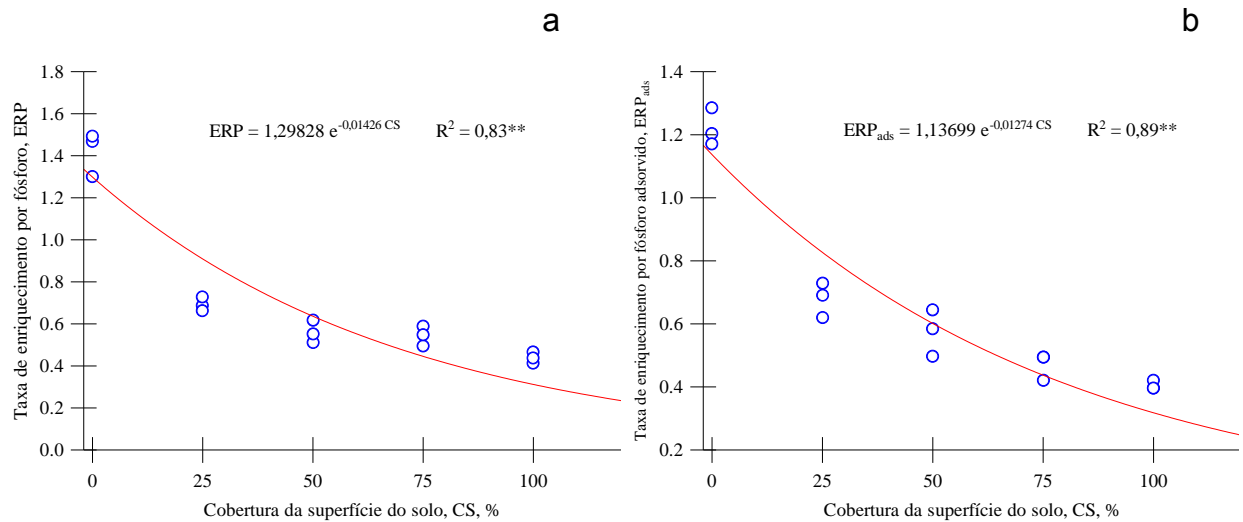
**Figura 6.** Concentração de  $P_{sed}$  e de  $P_{ads}$  em função teor de argila no sedimento: a) concentração de fósforo disponível; b) concentração de fósforo adsorvido.

A ER nas Figuras 7a e 7b é a relação entre a concentração de P solúvel e P adsorvido no sedimento erodido 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. (2012b), as taxas de enriquecimento maiores do que 1 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 em entressulcos. Há o transporte principalmente das partículas mais finas, das frações mais reativas do solo e, conseqüentemente, com maior capacidade de carrear carbono orgânico e nutrientes.



**Figura 7.** Taxas de enriquecimento do sedimento erodido em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar: a) fósforo disponível (ERP) e b) fósforo adsorvido ( $ERP_{ads}$ ).

Considerando-se as taxas de enriquecimento (ER) do sedimento erodido por  $P_{Sed}$  e  $P_{ads}$  (Figura 7a e 7b), foi possível verificar a necessidade de cobertura do solo (CS) mínima de 18% e 10%, para que ER fosse igual a 1, ou seja, para não haver enriquecimento do sedimento erodido com fósforo disponível e adsorvido, respectivamente. Tais coberturas, contudo, não garantem a ausência de enriquecimento do sedimento com argila e/ou outros nutrientes em teores capazes de conduzir a uma  $ER \leq 1$ . Além disso, elas são inferiores ao determinado por Silva et al. (2012b), os quais avaliaram para  $ERP \leq 1$  haver a necessidade de uma  $CS \geq 25\%$ .

No caso específico da taxa de enriquecimento do sedimento por argila ( $ER_{Arg}$ ), em função da cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar, obteve-se a seguinte relação linear:  $ER_{Arg} = 1,39021 e^{-0,00788 CS}$  ( $R^2 = 0,95^{**}$ ). Deste modo, para uma  $ER_{Arg} \leq 1$  será necessário uma  $CS \geq 42\%$ .

## 2.4 Conclusões

As perdas de argila e fósforo disponível e adsorvido no sedimento erodido diminuem com o aumento da cobertura da superfície do solo.

Há relações lineares entre as concentrações de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e o teor de argila ( $\text{Arg}_{\text{Sed}}$ , %) no sedimento erodido.

São necessárias coberturas de superfície do solo (CS) mínimas de 42% para que não haja taxa de enriquecimento (ER) do sedimento erodido, por fósforo disponível e adsorvido e argila.

## 2.5 Referências

- ATUCHA, A.; MERWIN, I. A.; BROWN, M. G.; GARDIAZABAL, F.; MENA, F.; ADRIAZOLA, C.; LEHMANN, J. Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea Americana Mill*) hillside orchard under different groundcover management systems. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 368, n. 1-2, p. 393-406, 2013.
- 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, MG, v. 34, n. 1, p. 245-252, 2010.
- 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. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 68-74, 2009.
- CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 632–638, 2012.
- CARVALHO, M. A. R. **Efeito da cobertura do solo e de práticas de controle de erosão nas perdas de água e solo por escoamento superficial**. 2009. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácido validada por um modelo de complexação de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.353-360, 1997.
- 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). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **SisCob**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agrícola, [2010?]. Disponível em: <<http://www.cnpdia.embrapa.br/labimagem/siscob.html>>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

GUIMARÃES, J. C. C.; ALMEIDA, W. F.; PAIS, P. S. M.; ANDRADE, M. L. C. Abordagem de práticas conservacionistas na recuperação de voçorocas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 977–989, 2012.

GUTH, P. L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HU, Y.; FISTER, W.; KUHN, N. Temporal variation of SOC enrichment from interrill erosion over prolonged rainfall simulations. **Agriculture**, Basel, v. 3, n. 4, p. 726-740, 2013. Doi:10.3390/agriculture3040726.

KNAPEN, A.; POESEN, J.; GOUVERS, G.; BAETS, S. The affect of conservation tillage on runoff erosivity and soil erodibility during concentrated flow. **Hydrological Processes**, Berlim, v. 22, n. 10, p. 1499-1508, 2008.

KUHN, N. J.; ARMSTRONG, E. K.; LING, A. C.; CONNOLLY, K. L, HECKRATH, G. Interrill erosion of carbon and phosphorus from conventionally and organically farmed devon silts soils. **Catena**, Amsterdam, v.91, p.94 103, 2012.

MARTINS FILHO, 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.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 1777-1785, 2011.

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.

REIS, P. E.; PARIZZI, M. G.; MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A. C. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, Bacia do Ribeirão Arrudas. **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 31-46, 2012.

SANTOS, G. G; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

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

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In : MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2012a. 69 p.

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

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

TERRANOVA, O.; ANTORNICO, L.; COSCARELLI, R.; IANQUITA, P. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (Southern Italy). **Geomorphology**, Amsterdam, v. 112, n. 3-4, p. 228-245, 2009.

### **CAPÍTULO 3 – Perdas de matéria orgânica e nutrientes em área de cana-de-açúcar e seus efeitos na qualidade da água**

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo a quantificação do teor matéria orgânica, sedimentos e nutrientes transportados pela erosão hídrica, bem como seus efeitos na qualidade da água em área de renovação do cultivo de cana-de-açúcar. A área experimental localiza-se no município de Pradópolis – SP. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico textura muito argilosa. A quantificação das perdas de solo e água por erosão, sob condições de chuva artificial, foi realizada em três condições de sistemas de preparo do solo (convencional, reduzido e localizado) para cultivo de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido num delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com: 3 sistemas de preparo e 4 repetições, totalizando 12 parcelas. Verificou-se que a presença de resíduos de cana-de-açúcar reduz as perdas MO, P e K. As concentrações de K e P na água da enxurrada podem ser consideradas críticas para fins de irrigação e início de eutrofização da água. O maior valor de turbidez da água da enxurrada foi obtido para o cultivo convencional (PC). Considerando a razão de saturação por sódio (RAS), condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), turbidez e pH é possível afirmar que a água proveniente da enxurrada, devido a processo de erosão em entressulcos, enquadra-se nos limites da Resolução Conama nº 375/2005 para corpos de água doce de Classe I.

**Palavras-chave:** enxurrada, preparo do solo, sedimento



### 3.1 Introdução

A desagregação dos agregados de solo em frações menores faz com que estas, ao se acomodarem junto à superfície, obstruam os poros, resultando em baixos valores de infiltração, facilitando o transporte de solo pela enxurrada. Devido à quebra da estrutura do solo, por meio do escoamento superficial (*run off*), há o arraste de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos (LOBATO et al., 2009).

A erosão hídrica, por ser seletiva, preferencialmente transporta os sedimentos de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo de coloides minerais e orgânicos (GUTH, 2010).

O transporte das partículas, normalmente, é provocado pelo escoamento superficial da água. A deposição das partículas culmina nos corpos de água, acarretando o assoreamento dos leitos dos rios.

Como a perda de nutrientes está relacionada com sua quantidade no solo, a qual é influenciada pelo manejo adequado ou não, os rios podem receber grandes quantidades de nutrientes, principalmente, em regiões de solos desprotegidos.

Juntamente com as partículas arrastadas pela enxurrada, durante o escoamento superficial ou em outros processos erosivos, os nutrientes presentes na superfície do solo são perdidos das áreas agrícolas e atuarão como contaminantes da água.

A produção de sedimentos pela erosão hídrica dos solos tem provocado muita preocupação em relação à gestão do uso do solo e da água. O escoamento superficial acarreta problemas de assoreamento e poluição na rede hidrográfica, reduzindo a seção de vazão dos leitos dos rios e aumentando os riscos de cheias, o que compromete a perenidade dos cursos de água (SANTOS et al., 2010). Além disso, prejudica a qualidade da água, alterando a vida aquática, pois há a redução da concentração de  $O_2$  na água, caracterizando um fenômeno denominado eutrofização (CABRAL et al., 2010).

A eutrofização ocasiona a proliferação de macrófitas aquáticas e algas que podem produzir substâncias tóxicas nocivas à saúde, alterando a qualidade da água (BARRETO et al., 2013).

A eutrofização também acarreta aumento do seu nível de turbidez, o qual é atribuído principalmente às partículas sólidas em suspensão, que diminuem a

claridade e reduzem a transmissão da luz no meio. Esse fenômeno pode também ser provocado por plâncton, algas, e o aporte de sedimentos minerais e orgânicos, resultantes do processo de erosão ou adição de despejos domésticos ou industriais (QUIMIOAMBIENTAL, 2011).

Considerando que a qualidade da água é de extrema importância para infinitas aplicações industriais, afetando diretamente a economia brasileira, é necessário desenvolver processos que reduzam os impactos ambientais na água e no solo.

Os métodos de prevenção da erosão têm como princípio evitar o impacto das gotas da chuva com o solo, minimizando o escoamento superficial, propiciando condições para a infiltração de água no solo.

Segundo Gonçalves e Moraes (2012), a semeadura direta, além de melhorar a estrutura do solo, facilita a infiltração de água no solo, por ser constituída de cavidades e canais biológicos, denominados de bioporos, que exercem a atividade biológica.

Em geral, com o controle da erosão, o solo fica mais estruturado, como a estrutura do solo tem efeito pronunciado na retenção, infiltração, armazenamento de água e na permeabilidade no solo, há redução do escoamento superficial, e, conseqüentemente, redução da poluição e contaminação dos cursos de água, melhorando a qualidade da água.

O presente estudo teve como hipótese que o tratamento utilizado no preparo do solo influencia diretamente na diminuição do teor de matéria orgânica e nutrientes pela enxurrada, alterando a qualidade da água.

O objetivo deste trabalho foi a quantificação do teor de matéria orgânica, sedimentos e nutrientes transportados pela erosão hídrica e determinar a influência destes na qualidade da água em solo sob cultivo de cana-de-açúcar.

### 3.2 Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, no município de Pradópolis - SP. As coordenadas geográficas são 21°19' de latitude sul e 48°06' de longitude oeste, com altitude média de 530 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa), precipitação média de 1.300 mm e chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro.

A vegetação natural era constituída por floresta tropical subcaducifólia, e relevo predominantemente suave ondulado, com declividades médias de 4%.

A área experimental está sob cultivo de cana-de-açúcar há mais de 30 anos, e 15 anos de colheita mecanizada sem queima. Desse modo, a cobertura vegetal da área, na época da realização deste trabalho, foi constituída por resíduos de cana-de-açúcar, os quais foram mantidos sobre a superfície após a colheita mecânica da cultura.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico textura muito argilosa (LVef) (EMBRAPA, 1999), cujos valores dos principais atributos químicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do LVef.

Profundidade	MO	P	K	Ca	Mg
M	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
0,0-0,20	28,3	140,3	0,8	24,3	6,0

A quantificação das perdas de solo e água por erosão, sob condições de chuva artificial, foi realizada em três sistemas de preparo do solo para cultivo de cana-de-açúcar (Figura 1) como descrito por Marcari (2010):

O preparo de solo convencional (PC), para a cultura da cana-de-açúcar, foi realizado após a destruição das soqueiras por grade aradora. Este equipamento realizou o arranque e destruição da touceira. Em seguida usou-se uma grade niveladora para que o nível do terreno fosse minimizado, posteriormente foi realizada uma operação de aração profunda (0,5 m) com arado de aivecas, revolvendo as camadas do solo e incorporando o material orgânico (palhada) ao

solo. Posteriormente, a grade niveladora foi novamente utilizada para corrigir o micro relevo do solo, pulverizando a sua camada superior.



**Preparo Convencional (PC)**



**Preparo Reduzido (PR)**



**Preparo Localizado (PL)**

**Figura 1.** Vista geral de parcelas para quantificação de perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica, em três condições de sistemas de preparo do solo, no cultivo de cana-de-açúcar. Fotos: Martins Filho (2010).

O preparo de solo reduzido (PR), para a cultura da cana-de-açúcar, foi realizado após a destruição das soqueiras pelo eliminador mecânico, que arrancou e picou a touceira da cana-de-açúcar, provocando uma pequena mobilização de solo somente na linha da cana. Já que a destruição mecânica com o uso do eliminador provocou ondulações no nível do terreno, foi necessário o uso da grade intermediária, para que o nível do terreno fosse minimizado e favorecesse a próxima operação, sem que houvesse a pulverização do solo. Em seguida foi realizada uma operação de subsolagem em área total com hastes espaçadas em 0,5 m e a 0,45 m de profundidade, trabalhando com diferencial de 45 graus em relação a linha de cana existente, para que não ocorresse uma parada do equipamento por obstrução ocasionada pelos restos vegetais. Nesta modalidade de preparo, parte dos restos culturais permaneceu na superfície do solo.

O preparo de solo localizado (PL) para a cultura da cana-de-açúcar foi realizado após a destruição das soqueiras pelo eliminador mecânico. Em seguida foi usada a grade intermediária, e a operação de subsolagem ocorreu no sentido das linhas, com hastes espaçadas em 0,5 m e 0,45 m de profundidade em metade da área, ou seja, a cada 1,5 m duas hastes. A cada passagem da barra porta ferramenta com quatro hastes, duas linhas foram preparadas. Nesta modalidade de preparo, em metade da área não ocorre mobilização do solo, então não ocorre a

parada do equipamento por obstrução de restos vegetais que também permanecem em parte na superfície do solo e auxiliam na redução dos efeitos da erosão.

O experimento foi conduzido num delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com: 3 sistemas de preparo e 4 repetições, totalizando 12 parcelas.

Parcelas experimentais, com 3,5 m de largura e 11 m de comprimento, com área total de 38,5 m<sup>2</sup>, foram delimitadas com chapas metálicas nas laterais e parte superior, e por calhas coletoras metálicas em seus limites inferiores.

As calhas coletoras, com 3,5 m de largura, convergiam para uma saída lateral de 0,065 m de diâmetro. Amostras de enxurrada foram coletadas nestas calhas para quantificar as perdas de solo e água.

Todas as parcelas foram alinhadas no sentido da declividade do terreno, a qual, em média, foi de 0,034 m m<sup>-1</sup>. O preparo do solo também foi realizado em contorno cortando o sentido do declive.

As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidade média em torno de 65 mm h<sup>-1</sup> (I), durante 75 minutos.

Utilizou-se, para realizar as referidas precipitações, um simulador de chuvas de hastes rotativas do tipo Swanson (Figura 2), com bicos **Veejet** 80-100, previamente calibrado e nivelado no terreno, como proposto por Swanson (1965).

Trinta e seis pluviômetros, alinhados na direção do declive, na área de ação do simulador de chuvas, como descrito por Martins Filho et al. (2009), foram utilizados para determinar as intensidades das precipitações produzidas pelo simulador, nas áreas ocupadas pelas parcelas experimentais.



**Figura 2.** Simulador de chuva de hastes rotativas do tipo Swanson.

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.

As amostras foram coletadas em recipientes de vidro com capacidade de 1 L, cronometrando-se o tempo de coleta.

Logo após as coletas, os recipientes foram fechados e conduzidos ao laboratório para a quantificação da concentração de sedimentos e volume de solução, e consequente 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. Em seguida, as amostras foram deixadas em repouso por 24 horas para a deposição de sedimentos.

Após o período de repouso de 24 horas, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C até secagem completa. Após secagem, as amostras foram pesadas, determinando-se o peso de 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).

As perdas totais de solo foram determinadas como:

$$PS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i C_i t)}{A} \quad (3.1)$$

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

Os valores de PS foram normalizados para o valor de intensidade de chuva planejado de  $65 \text{ mm h}^{-1}$ , tal que:

$$PS_{in} = PS_i \left( \frac{I_p}{I_o} \right)^2 \quad (3.2)$$

em que,  $PS_{in}$  são as perdas do solo por erosão normalizadas ( $\text{kg m}^{-2}$ );  $PS_i$  são as taxas de erosão observadas ( $\text{kg m}^{-2}$ );  $I_p$  é a intensidade de chuva planejada ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e  $I_o$  é a intensidade de chuva observada ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Nas análises químicas do solo, 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 foi determinado seguindo metodologia da EMBRAPA (1979).

O pH foi determinado potenciométricamente em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M.

A água foi analisada 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 volumes de solução coletados foram avaliados gravimetricamente, em balança com resolução de 0,01 g e, em seguida, as amostras foram agitadas.

O sobrenadante foi coletado (200 mL) em garrafa plástica e encaminhado para análise.

Para as análises das perdas de nutrientes, 20 mL da suspensão da enxurrada foram pipetados para tubos de digestão e evaporados até 5 mL em blocos de digestão.

A solução resultante sofreu ataque com uma mistura de HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub>. Neste extrato, foram determinados teores de P e K total, por fotometria de chama, e Ca e Mg total, por espectrofotometria de absorção atômica.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) foi determinada como descrito por Eaton et al. (2005).

O pH e a condutividade elétrica foram medidos a partir das amostras de enxurrada “in-situ”, utilizando-se um peagâmetro e um condutivímetro, de acordo com Eaton et al. (2005).

A turbidez da água da enxurrada foi avaliada com um Turbidímetro digital Polilab/AP-1000 com limite de detecção de 0,1 NTU.

Com os valores obtidos para Ca, Mg e Na, quantificaram-se os valores RAS de acordo com a equação 3.3.

$$\text{RAS} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2} \quad (3.3)$$

em que, RAS = Razão de Adsorção de Sódio; Na = Concentração de sódio em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Ca = Concentração de cálcio em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Mg = Concentração de magnésio em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>.

O restante das amostras iniciais foi deixado em repouso por 24 horas para a deposição dos sedimentos.

Após o período de repouso de 24 horas, 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. Cada um dos volumes de solução foi dividido pelo tempo de coleta, obtendo-se a vazão de enxurrada em cada intervalo de coleta e a taxa de descarga de enxurrada.

O teor de matéria orgânica e nutrientes no sedimento erodido foram determinados como descrito por Martins Filho et al. (2009).

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação em alta rotação (12.000 rpm).

As frações granulométricas foram separadas com base na classificação proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.



Os resultados foram submetidos à análise da variância, segundo um DIC, sendo que, para as comparações múltiplas das médias, utilizou-se o teste de Duncan, a 5%.

Análises de regressão também foram conduzidas entre taxa de infiltração de água e tempo de duração, e perdas de solo e porcentagem de cobertura por resíduos.

Todos os resultados das análises estatísticas foram obtidos com o programa Statistica (STATSOFT, 1994).

### **3.3 Resultados e discussão**

#### **3.3.1 Concentrações e perdas de nutrientes na água da enxurrada**

Observa-se na Tabela 2 que o aumento da presença de resíduos remanescentes na superfície do solo não reduziu as perdas de água, o que não concorda com trabalhos de Lichner et al. (2011) e Silva et al. (2012). Estes autores avaliaram o efeito dos resíduos culturais mantidos sobre a superfície do solo no controle da erosão hídrica do solo. Já no contexto do presente trabalho, considerou-se também o efeito dos sistemas de preparo do solo.

É notório o aumento das perdas de água com os sistemas PR e PL. Tal fato pode ser explicado pela intensa mecanização dos canaviais, com consequente aumento no tráfego de rodados sobre o solo, o que reduz a infiltração de água e aumenta o escoamento superficial. Este aspecto fica bem evidente nos sistemas PR e PL, mesmo com significativa diferença de porcentagem de cobertura por palha entre eles e destes em relação ao PC, no qual houve menor perda de água.

A menor mobilização para preparo do solo nos sistemas PR e PL, mantém provavelmente áreas com maior resistência mecânica e com menor porosidade em decorrência de tráfego intenso durante o cultivo de cana-de-açúcar.

Tabela 2. Cobertura por resíduos de palha de cana-de-açúcar, perdas de água ( $P_{\text{água}}$ ) e concentrações de nutrientes na enxurrada em função do sistema de preparo do solo.

Tratamento	Cob	$P_{\text{água}}$	P	K	Ca	Mg	Na
	%	$L\ ha^{-1}$	$mg\ L^{-1}$	$mg\ L^{-1}$	$mg\ L^{-1}$	$mg\ L^{-1}$	$mg\ L^{-1}$
PC	5,4 c	22.906 b	0,02 c	5,1 a	3,7 a	2,2 a	2,1 a
PR	22,8 b	162.100 a	0,03 b	5,2 a	3,2 a	1,8 a	0,6 a
PL	44,8 a	161.900 a	0,05 a	5,5 a	3,2 a	1,8 a	1,0 a

PC – preparo convencional; PR – preparo reduzido; PL – preparo localizado; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5%.

Em todos os sistemas de preparo as concentrações de P na água da enxurrada foram baixas (Tabela 2). Os resultados obtidos apresentaram a mesma ordem de grandeza dos apresentados por Bertol et al. (2004) em Nitossolo Háplico em sistemas de manejo (solo sem cultivo, preparo convencional, semeadura direta) no cultivo de feijão e milho. Além de serem concordantes também com valores de Farias (2013) obtidos em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, com resíduos de cana-de-açúcar em superfície.

Observou-se que a maior concentração de P ocorreu com PL. Isto pode ser explicado pelo manejo com a manutenção da palha após a colheita, a qual em parte mineralizou disponibilizando P para o transporte pela enxurrada e, também, pela aplicação de adubo fosfatado na superfície do solo. Tais resultados também são corroborados pelos de Bertol et al. (2004) e Farias (2013).

As concentrações de P na água da enxurrada excedeu, segundo critérios da USEPA (2011), o nível crítico de P total de  $0,025\ mg\ L^{-1}$  nos sistemas PR e PL, para efeitos de eutrofização.

É conhecido, segundo Klein e Agne (2012), que as transferências de P pelo escoamento superficial ocorrem devido a vários fatores, dentre eles o principal é a água que pode transportar materiais orgânicos, inorgânicos e partículas em suspensão. As concentrações de K, Ca e Mg na água da enxurrada não apresentaram diferenças significativas entre os níveis de cobertura do solo por resíduos de cana-de-açúcar. Esses resultados são concordantes com os obtidos por Farias (2013).

Quanto ao potássio, esses resultados divergem de Bertol et al. (2004), que, ao estudarem concentração e a perda de K na água de enxurrada, obtiveram valores

decrecentes à medida que aumentou o percentual de palhada. Contudo, os resultados são semelhantes aos de Sousa et al. (2012) obtidos com as mesmas percentagens de resíduos de cana-de-açúcar.

Em relação ao K, a concentração na água da enxurrada foi relativamente alta (Tabela 3), em todos os tratamentos concordando com Bertol et al. (2004), os quais obtiveram para milho, no sistema de semeadura direta sobre resíduos dessecados, valores de  $8,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de K.

Considera-se que concentração de K superior a  $2 \text{ mg L}^{-1}$  presente na água é crítica para fins de irrigação (ALMEIDA, 2010). Deste modo, a água da enxurrada para todos os tratamentos apresentaram concentrações superiores ao referido valor, os quais variaram de  $5,1 \text{ mg L}^{-1}$  a  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ , conforme a Tabela 2.

As concentrações de Ca, Mg e Na estão na faixa aceitável para água de irrigação segundo Almeida (2010): 0 a  $200 \text{ mmol}_e/\text{L}$  de Ca; 0 a  $50 \text{ mmol}_e/\text{L}$  de Mg; 0 a  $400 \text{ mmol}_e/\text{L}$  de Na. Com as concentrações de Ca + Mg inferiores a  $5,0 \text{ mmol}_e/\text{L}$  e Na inferiores a  $3 \text{ mmol}_e/\text{L}$ , a água pode ser classificada como sem restrição para irrigação.

As perdas de K na água da enxurrada foram relativamente altas, variando de  $115,4$  a  $877,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , como podem ser observadas na Tabela 3, as quais corroboram resultados de Bertol et al. (2004). As perdas de potássio no PC foram muito inferiores quando comparadas aos demais preparos utilizados.

Tabela 3. Perdas de nutrientes na água da enxurrada.

Tratamento	$\text{P} \times 10^{-3}$ $\text{kg ha}^{-1}$	$\text{K} \times 10^{-3}$ $\text{kg ha}^{-1}$	$\text{Ca} \times 10^{-3}$ $\text{kg ha}^{-1}$	$\text{Mg} \times 10^{-3}$ $\text{kg ha}^{-1}$	$\text{Na} \times 10^{-3}$ $\text{kg ha}^{-1}$
PC	0,41 c	115,4 b	83,0 b	47,7 b	47,1 a
PR	5,48 b	815,9 a	517,2 a	300,3 a	103,6 a
PL	7,71 a	877,0 a	517,7 a	284,5 a	158,0 a

PC – preparo convencional; PR – preparo reduzido; PL – preparo localizado; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5%.

No caso das perdas de Ca e Mg, na água da enxurrada, estas no PC foram bem mais baixas do que nos PR e PL, mas para todos tratamentos, as perdas desses nutrientes foram inferiores às obtidas por Bertol et al. (2004) na água da

enxurrada em solo descoberto ( $\text{Ca} = 321 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $\text{Mg} = 254 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e sob plantio direto com palhada dessecada ( $\text{Ca} = 674 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $\text{Mg} = 428 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

### 3.3.2 Qualidade da água da enxurrada

Quanto à razão de adsorção de sódio (RAS) não houve diferença significativa entre os tratamentos CC, RD e PL (Tabela 4). Pode-se afirmar que a água da enxurrada em todos os casos não apresentou toxidez específica para Na, uma vez que a RAS foi inferior a  $3 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ , em todos os sistemas de preparo do solo, visto ser este valor de RAS considerado crítico (ALMEIDA, 2010), para a água ser classificada como não restritiva para fins de irrigação.

Tabela 4. Atributos relativos à qualidade da água da enxurrada em função de três sistemas de preparo do solo para cultivo de cana-de-açúcar.

Tratamento	RAS	CE	DBO <sub>5</sub>	Turbidez	pH
	$(\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$	$\text{dS m}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$	NTU	
PC	0,30 a	0,1 a	0,69 a	4,1 a	6,1 a
PR	0,28 a	0,1 a	0,65 b	3,7 b	6,2 a
PL	0,26 a	0,1 a	0,61 c	3,3 c	6,2 a

PC – preparo convencional; PR – preparo reduzido; PL – preparo localizado; RAS - razão de adsorção de sódio; CE – condutividade elétrica, Demanda bioquímica de oxigênio aos 5 dias (DBO<sub>5</sub>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5%.

A salinidade da água proveniente dos tratamentos PC, PR e PL, considerando-se a CE, não há problema potencial para uso agrícola. Além do exposto, os valores de CE foram nas referidas condições inferiores a  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ , que é o valor que determina a classe sem restrição para uso da água na irrigação em função da condutividade elétrica. Tais resultados são concordantes com Farias (2013), que avaliou a qualidade da água proveniente de áreas em entressulcos com resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo.

Os resultados de DBO<sub>5</sub> demonstraram que houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre PC, PR e PL (Tabela 4). A concentração de DBO<sub>5</sub> variou de 0,69 a 0,61  $\text{mg L}^{-1}$  de O<sub>2</sub>. Tais valores encontram-se dentro do limite estabelecido pela

Resolução Conama nº 375/2005 para corpos de água doce de Classe I ( $3 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{O}_2$ ), para decompor a matéria orgânica existente na água num período de 5 dias.

O tratamento PL, em relação a PC e PR, foi o que resultou na menor  $\text{DBO}_5$ . Tais resultados são concordantes com Farias (2013), cujo trabalho demonstrou que a cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar teve significativo efeito na redução da  $\text{DBO}_5$  da água da enxurrada. É conhecido, como demonstrado por Martins Filho et al. (2009), Sousa et al. (2012) e Silva et al. (2012), que o aumento da percentagem de cobertura do solo por resíduos de cana-de-açúcar reduzem a concentração de matéria orgânica presente na enxurrada. Deste fato, justificam-se também os resultados obtidos para  $\text{DBO}_5$  apresentados na Tabela 4.

Os valores de turbidez variaram de 4,1 a 3,3 NTU (Tabela 4). Tais valores são inferiores ao limite estabelecido pela Resolução Conama nº 375/2005 para corpos de água doce de Classe I (40 NTU).

Verificou-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de turbidez da água da enxurrada entre os sistemas de preparo do solo (Tabela 4), tal que o maior valor foi obtido para o PC. Tal sistema de preparo foi o que apresentou o menor percentual de cobertura por resíduos de cana-de-açúcar (Tabela 2).

Farias (2013) determinou existir correlação linear significativa e negativa entre turbidez e percentagem de cobertura da superfície do solo por resíduos de cana-de-açúcar, o que corrobora os resultados obtidos no presente trabalho. Tais resultados também corroboram trabalhos de Sousa et al. (2012) e Silva et al. (2012), os quais demonstraram que o aumento da percentagem de cobertura do solo por resíduos de cana-de-açúcar reduz a concentração de sedimentos presentes na enxurrada.

Nos três sistemas de preparo do solo os valores de pH da água da enxurrada não apresentaram diferença significativa (Tabela 3). Os valores de pH obtidos estão dentro da faixa de amplitude considerada normal que é de 6,5 a 8,4 para uso da água na irrigação (AYERS e WESTCOT, 1999).

Quanto à classificação em termos de acidez da água, para todos os valores obtidos nos três sistemas de preparo do solo, esta pode ser considerada como fraca de acordo com Ayers e Westcot (1999).

Semelhantemente a Farias (2013) para o processo de erosão em entressulcos, quanto aos resultados apresentados para RAS, CE,  $\text{DBO}_5$ , turbidez e

pH, é possível avaliar que a água proveniente da enxurrada, devido a processo de erosão global, também enquadra-se nos limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 375/2005 para corpos de água doce de Classe I. Tal classe refere-se às águas que podem ser destinadas para o consumo humano após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas e recreação de contatos primários, tais como natação, esqui aquático e mergulho.

Os resultados obtidos permitem, ainda, ressaltar e concordar com resultados de Farias (2013), tal que as concentrações de K e P na água da enxurrada podem ser consideradas críticas para fins de irrigação e início de eutrofização da água.

No Brasil a legislação do CONAMA nº 375/2005 estabelece que o nível crítico de P total na água é de 0,020 – 0,025 mg L<sup>-1</sup> para corpos de água doce Classe I. Verifica-se, portanto, que em todos os sistemas de preparo os níveis de P presentes na água da enxurrada foram superiores à 0,02 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 2).

### 3.3.3. Concentração e perda de matéria orgânica e nutrientes no sedimento

A Tabela 5 apresenta a concentração de sedimentos, vazão de enxurrada e perdas de solo em função de três sistemas de preparo de solo.

Tabela 5. Concentração de sedimento (C), vazão da enxurrada (Q) e perdas de solo (OS) em função do sistema de preparo do solo.

Tratamento	Cobertura do Solo	C	Q	OS
	%	g L <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	kg m <sup>-2</sup>
PC	5,4 a	238,4 a	0,019 a	0,516 a
PR	22,8 b	5,6 b	0,136 b	0,082 b
PL	44,8 c	0,3 b	0,147 b	0,005 b

PC – preparo convencional; PR – preparo reduzido; PL – preparo localizado; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5%.

A análise da Tabela 5 permite observar que a perda de solo no PR foi bem inferior ao PC, pois, a maior cobertura do solo amortecia o impacto das gotas da chuva, diminuindo a energia cinética, havendo menor vazão de enxurrada e, conseqüentemente, o arraste de nutrientes será reduzido.

No PL, como há maior cobertura do solo que os demais preparos, a perda de solo é bem inferior. Estes resultados foram concordantes com Atucha et al. (2013),

que concluíram que a cobertura vegetal nos pomares de abacate reduziu as perdas de nutrientes pelo escoamento superficial, as quais contribuíram com a diminuição da poluição da água .

A Tabela 6 apresenta a concentração de MO, P, K, Ca e Mg nos diferentes preparos do solo.

Tabela 6. Concentração de matéria orgânica e nutrientes no sedimento erodido.

Tratamento	MO	P	K	Ca	Mg
	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
PC	42,6 a	68,9 a	3,2 a	77,2 a	49,7 a
PR	49,2 a	74,7 a	6,1 a	81,8 a	49,0 a
PL	47,5 a	78,8 a	5,6 a	85,9 a	49,7 a

PC – preparo convencional; PR – preparo reduzido; PL – preparo localizado; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5%.

Na Tabela 6 pode-se observar que a MO, bem como os nutrientes Ca, Mg, K e P não apresentaram alterações significativas entre os tratamentos utilizados.

Na Tabela 7 pode-se observar que não houve diferença significativa na taxa de enriquecimento para o teor de MO, bem como para P, Ca e Mg entre os sistemas de preparo do solo.

Tabela 7. Taxa de enriquecimento (ER) do sedimento erodido por matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) em função do sistema de preparo do solo.

Tratamento	ER <sub>MO</sub>	ER <sub>P</sub>	ER <sub>K</sub>	ER <sub>Ca</sub>	ER <sub>Mg</sub>
PC	1,5 a	0,5 a	4,0 b	3,2 a	8,3 a
PR	1,7 a	0,5 a	7,6 a	3,4 a	8,2 a
PL	1,7 a	0,6 a	6,9 b	3,5 a	8,3 a

PC – preparo convencional; PR – preparo reduzido; PL – preparo localizado; Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5%.

Na Tabela 8 observa-se que no PC, com um maior revolvimento do solo, desestruturando-o, há intensa remoção de MO, sendo o constituinte perdido em maior quantidade. Para todos os nutrientes estudados o tratamento CC foi o que apresentou as maiores e significativas perdas de nutrientes. Perdas de P, K, Ca e Mg obtidas por Izidorio et al. (2005), em Latossolo Vermelho eutroférrico, sob cultivo de cana-de-açúcar no sistema convencional (CC), foram da ordem de 1,07 kg ha<sup>-1</sup>;

1,59 kg ha<sup>-1</sup>; 10,24 kg ha<sup>-1</sup>, e 1,91 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No presente trabalho, no CC, tais perdas foram de 0,257 (P), 0,515 (K), 5,880 (Ca) e 2,264 (Mg). Apenas para o caso do Mg, as perdas não foram inferiores às aquelas obtidas por Izidorio et al. (2005).

Tabela 8. Perdas de matéria orgânica e nutrientes no sedimento erodido.

Tratamento	MO	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
PC	22.628 a	0,296 a	0,57 a	6,59 a	2,60 a
PR	4.098 b	0,051 b	0,17 b	1,07 b	0,40 b
PL	238 c	0,003 b	0,01 b	0,07 b	0,02 b

Pelos resultados apresentados na Tabela 8, observa-se que os sistemas de preparo do solo que mantêm os resíduos sobre a superfície do solo e a sua mínima mobilização, caso específico dos sistemas RD e PL, efetivamente controlam a erosão hídrica e as perdas de nutrientes relacionadas a este fenômeno como constataram Bezerra e Cantalice (2006), Bertol et al. (2007), Martins Filho et al. (2009), Sousa et al. (2012). Portanto, é possível afirmar que os sistemas de preparo do solo RD e PL utilizados na época da renovação de canaviais, os quais permitem a manutenção da palhada sobre a superfície do solo, reduzem significativamente as perdas de MO e de nutrientes no sedimento erodido.

Ao comparar as perdas de K, P, Ca e Mg no sedimento erodido às perdas na água da enxurrada (Tabela 3) observou-se que na enxurrada houve maior perda de todos os nutrientes. Resultados que corroboram com Hernani et al. (1999).



### 3.4 Conclusões

A água da enxurrada em todos os casos não apresentou toxidez específica para o sódio.

As concentrações de K e P na água da enxurrada podem ser consideradas críticas para fins de irrigação e início de eutrofização da água.

Em todos os tratamentos a concentração de cálcio é maior que dos demais nutrientes.

O maior valor de turbidez da água da enxurrada obtido ocorre no Preparo Convencional (PC).

No PC a quantidade MO no sedimento erodido é maior do que nos demais tratamentos.

Quanto à razão de adsorção de sódio (RAS), condutividade elétrica (CE), DBO<sub>5</sub>, turbidez e pH é possível afirmar que a água proveniente da enxurrada, devido ao processo de erosão em entressulcos, enquadra-se nos limites da Resolução Conama nº 375/2005 para corpos de água doce de Classe I.

### 3.5 Referências

- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 234 p.
- ATUCHA, A.; MERWIN, I. A.; BROWN, M. G.; GARDIAZABAL, F.; MENA, F.; ADRIAZOLA, C.; LEHMANN, J. Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea Americana Mill*) hillside orchard under different groundcover management systems. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 368, n. 1-2, p. 393-406, 2013.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução por H. R. Gheuy, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2167, 2013.
- 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, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.
- CABRAL, C. E. A.; AMORIM, R. S. S.; DORES, E. F. G. C.; SILVA, E. M. B. Estimativa de perdas de solo em sistemas de cultivo em lavouras de algodão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-8, 2010.
- 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.
- EATON, A. D.; GREENBERG, A. E.; FRANSON, M. A. H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 25. ed. Washington, DC: American Publish Health Association, 2005.
- 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). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FARIAS, V. L. S. M. **Concentração de nutrientes e qualidade da água de enxurrada em entressulcos**. 2013. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 337-345, 2012.

GUTH, P. L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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, MG, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

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

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente! **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavel, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.

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

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SANTOS, J. C. N.; LOPES, J. F. B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@ambiente Online**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul./dez. 2009.

MARCARI, M. A. **Perdas de nutrientes e solo por erosão em três sistemas de preparo de solo em cana-de-açúcar**. 2010. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Centro Universitário Moura Lacerda, Ribeirão Preto, 2010.

MARTINS FILHO, 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.

QUIMIOAMBIENTAL LABORATÓRIOS. **Parâmetros de qualidade de água**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.quimioambiental.com.br/parâmetros.htm>> Acesso em: 23 jul. 2011.

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.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 149-155, 2010.

SANTOS, G. G; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

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

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

STATSOFT. **Statistica**: quick referente. Tulsa, 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.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Recommended use of body weight<sup>3/4</sup> as the default method in derivation of the oral reference dose**. Washington, DC, [2011]. (EPA/100/R11/001 final). Disponível em: <<http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/recommended-use-of-bw34.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

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