



## PERDA DE SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PLANTIO POR MEIO DE CHUVAS SIMULADAS EM LISÍMETROS VOLUMÉTRICOS

Adilson Pinheiro<sup>1</sup>

Rafael Gotardo<sup>1</sup>

Gustavo Antonio Piazza<sup>1</sup>

Thiago Caique Alves<sup>1</sup>

Leandro Mazzuco de Aguida<sup>1</sup>

Vander Kaufmann<sup>1</sup>

Nilza Maria dos Reis Castro<sup>2</sup>

### RESUMO

A produção de sedimentos provocada pelo impacto das gotas da chuva e o seu transporte pelo escoamento superficial têm consequências diretas sobre a qualidade e a fertilidade do solo. O uso de simuladores de chuva e de lisímetros volumétricos vêm sendo utilizados para compreender os processos erosivos do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar a produção e o transporte de sedimentos em três formas de manejo de solo (plantio convencional sem e com mobilização do solo e plantio direto) a partir de chuvas simuladas em lisímetros volumétricos no município de Pejuçara - RS, Brasil. A erosividade da chuva apresentou correlação (0,97) com a energia cinética da chuva. O plantio direto apresentou menor concentração de sedimentos (0,18 a 0,37 mg L<sup>-1</sup>) e menor perda de solo (0,12 kg ha<sup>-1</sup>). O plantio convencional sem revolvimento apresentou concentração de sedimentos de 0,35 a 0,91 mg L<sup>-1</sup> e perda de solo de 0,25 kg ha<sup>-1</sup>. O plantio convencional com revolvimento apresentou as maiores concentrações de sedimentos (1,82 a 5,59 mg L<sup>-1</sup>) e perdas de solo (2,75 kg ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-chave:** Energia da Gota; Erosividade; Escoamento Superficial; Agricultura; Manejo.

### ABSTRACT

**Soil losses in different cropping systems thought simulated rain in volumetric lysimeters.** Sediment production by the rain drop impact and transport caused by runoff have direct

<sup>1</sup> PPG em Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau – FURB, Blumenau, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, RS, Brasil. E-mail para correspondência: nilza@iph.ufrgs.br

consequences on the quality and fertility of soils. Volumetric lysimeters and rain simulators have been used to understand soil erosion. This study aimed to evaluate processes of sediment production and transportation on three types of soil management (no-tillage, conventional tillage and conservation tillage) from simulated rainfall conditions and volumetric lysimeters in Pejuçara - RS, Brazil. The rain erosivity presented high correlation (0.97) with kinetic energy of the rain drops. The conservation tillage presented the lowest concentration of sediments (0.18 to 0.37 mg L<sup>-1</sup>) and lowest soil loss (0.12 kg ha<sup>-1</sup>). No-tillage presented 0.35 to 0.91 mg L<sup>-1</sup> concentration of sediments and 0.25 kg ha<sup>-1</sup> soil loss. Conventional tillage showed greater sediment concentration (1,82 a 5,59 mg L<sup>-1</sup>) and soils losses (2,75 kg ha<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Rain Drop Energy; Erosivity; Runoff; Agriculture; Management.

## INTRODUÇÃO

Erosão é um processo de degradação do solo que sofre influência de ações naturais e antrópicas (Carvalho, 2006). Sua principal consequência é a perda de fertilidade do solo e assoreamento de corpos de água (Pradhan e Lee, 2009). Parte expressiva do solo perdido pela erosão é devido ao manejo inadequado das áreas agrícolas (Amaral e Barbosa, 2008), como em sistemas de plantio convencional, que altera as características da interface água-solo. Este tipo de preparo corresponde ao preparo intensivo do solo, embasado no uso de aração e gradagem com incorporação dos restos culturais (Machado, 2005). Ao contrário, o sistema de plantio direto é uma alternativa conservacionista de manejo do solo, no qual os restos culturais permanecem na superfície, exercendo a função de proteção do solo. O principal objetivo do plantio direto é evitar as perdas de solo, água e nutrientes ocasionadas pelo escoamento superficial (Tormena *et al.*, 2007).

A precipitação juntamente com o escoamento superficial são os fatores preponderantes no processo erosivo (Carvalho, 2008). Segundo Nunes e Cassol (2008), a força erosiva das chuvas pode ser expressa pela energia cinética das gotas. A intensidade e a duração das chuvas combinadas com a distribuição, tamanho, velocidade, ângulo de impacto e a energia cinética da gota determinam os efeitos erosivos da chuva sobre o solo, representados pelo índice de erosividade da chuva (Kuhn *et al.*, 2003). Este índice de erosividade é contrabalanceado pela resistência imposta pelo solo (Santos *et al.*, 2002), que leva em conta características intrínsecas ao solo, como porosidade, umidade, gênese, estrutura, textura entre outros. Diversos estudos vêm sendo realizados a fim de avaliar a quantidade de solo perdido pela erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo (Leite *et al.*, 2004; Amaral e Barbosa, 2008; Carvalho *et al.*, 2009), assim como a aplicação de técnicas de chuva simulada para mensurar tais informações (Kinnel, 2006; Bertol *et al.*, 2007a; Bertol *et al.*, 2008, Maier *et al.*, 2013). Os simuladores de chuva têm sido utilizados em estudos hidrológicos para controlar e manipular as variáveis, como o tamanho, intensidade, velocidade terminal e a energia cinética das gotas (Leite *et al.*, 2004; Bertol *et al.*, 2007a; Oliveira *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2012a; Iserloh *et al.*, 2013). Por meio destes é possível simular cenários de

precipitação que podem estar relacionados com a perda de solo que ocorre em parcelas agrícolas. Segundo Bazzano *et al.* (2010), o conhecimento das chuvas, do escoamento e da resposta dos solos são variáveis importantes no desenvolvimento de técnicas de conservação do solo.

O presente trabalho avaliou os processos de perdas de solo em três formas de manejo do solo (plantio convencional sem mobilização do solo, plantio convencional com mobilização do solo e plantio direto) a partir de chuvas simuladas em lisímetros volumétricos, em Pejuçara (RS), Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na bacia do rio Potiribu, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A bacia está localizada sobre derrames basálticos da Formação da Serra Geral e seu relevo é caracterizado como ondulado suave, apresentando coxilhas de declividade entre 3 e 15%. O solo da região é composto por Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) e Nitossolo Vermelho Euférico (Nvef) com teor de argila acima de 60%, mas mesmo assim se apresentam bem drenados (Castro *et al.*, 1999). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfb, mesotérmico brando do tipo temperado superúmido, com estações do ano bem definidas e sem estação de seca. As precipitações são bem distribuídas entre os meses do ano, alcançando média anual de 1826 mm (Medeiros, 2004).

Os ensaios de simulação de chuva foram realizados em três séries de quatro ensaios. Os ensaios foram realizados em duplicata durante o inverno de 2009 (10-11-12-13 de agosto), verão de 2010 (27-28-29-30 de janeiro) e inverno de 2010 (13-14-15-16 de setembro), com um total de 12 simulações em cada um dos lisímetros volumétricos, totalizando 24 ensaios. O objetivo dos ensaios foi simular diferentes intensidades de precipitação: altas (mais de 80 mm h<sup>-1</sup>) para os ensaios 1, 2, 3, 4, 6 e 8; e moderadas a baixas (menos que 80 mm h<sup>-1</sup>) para os ensaios 5, 7, 9, 10, 11 e 12.

Os dois lisímetros foram instalados em áreas agrícolas, sob duas formas de plantio: o convencional e o direto. No lisímetro com plantio convencional foram feitas duas simulações, inicialmente sem revolvimento (SR) e, em seguida, com revolvimento (CR). Para o plantio direto, não foi executada nenhuma técnica de revolvimento. Os lisímetros volumétricos foram instalados um próximo ao outro, possuindo uma área superficial de 1 m<sup>2</sup> e um volume de 1 m<sup>3</sup>. A instalação foi realizada em um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf). Os lisímetros constituem amostra de solo indeformada alocada em uma caixa de acrílico, no qual se tem controle das variáveis de entrada e de saída de água (tubulações de coleta na parte superior). A instalação dos lisímetros foi descrita por Oliveira *et al.* (2010). Estes equipamentos são usualmente utilizados para medir a evapotranspiração, entretanto, mais recentemente, devido à capacidade de mensurar e controlar

variáveis do balanço hídrico, eles têm sido empregados na simulação da produção e no transporte de sedimentos (Kaufmann *et al.*, 2013). Nos lisímetros são reproduzidos os manejos do solo de plantio direto (sem revolvimento) e de plantio convencional (com revolvimento realizado com pás de corte, até a profundidade de 20 cm).

### Aplicação das Chuvas Simuladas

As chuvas foram simuladas utilizando-se um simulador de chuvas, semelhante ao descrito por Meyer e Harmon (1979). Todas as simulações foram realizadas sob condições similares, com altura do simulador de 2,45 m e sob pressão constante da bomba de 4,5 psi (41kPa). Para o controle do tamanho e distribuição de gotas, adotou-se um bico aspersor tipo Floodjet S.S.3/8K-45 com orifício de 5,51 mm de diâmetro. Sob os dois lisímetros, foram aplicadas chuvas simuladas com uma duração de aproximadamente 75 minutos. A calibração da intensidade de chuva foi realizada em cada um dos ensaios, através da coleta da chuva em uma caixa de metal de 1,21 m<sup>2</sup> e 5 cm de altura, durante de dois minutos.

### Cálculo da Carga

Após o início do escoamento foram coletadas amostras de água do escoamento superficial em frascos de polietileno de 920 ml em intervalos de 10 min, com objetivo de quantificar a carga e o volume de sedimento transportado, utilizado posteriormente para calcular a perda total de solo.

Com os valores da vazão escoada e da concentração de sedimento transportado em cada intervalo, determinou-se a carga transportada para cada tipo de manejo adotado. A carga transportada foi calculada pela Eq. 1:

$$Q_{ss} = C_i \times Q_i \quad (1)$$

onde,

$Q_{ss}$  é a carga sólida (mg s<sup>-1</sup>);

$C_i$  é a concentração média (mg L<sup>-1</sup>);

$Q_i$  é a vazão (L s<sup>-1</sup>).

## Determinação do Tamanho da Gota

Segundo Kuhn *et al.* (2003), uma das principais causas da desagregação das partículas do solo em um evento de chuva é o efeito combinado do tamanho da gota e sua intensidade. Para medir o tamanho das gotas foi utilizado um disdrômetro *JOSS-WALDVOGEL*, que mede o diâmetro médio  $D$  (mm), intensidade da chuva no tempo  $R$  (mm h<sup>-1</sup>) e o número de gotas de chuva no local de estudo  $No$  (m<sup>3</sup> mm<sup>-1</sup>). O instrumento tem como princípio a transformação do impulso vertical de uma gota em pulso elétrico, no qual a amplitude é dada em função do tamanho da gota. A área de amostragem do aparelho compreende 50 cm<sup>2</sup> e as medições são realizadas em intervalos de tempo de 1 min. Neste trabalho optou-se por utilizar o índice de distribuição do diâmetro médio, que varia de 0,3 a 5 mm, sendo cada uma das gotas classificada de acordo com a ocorrência no tempo.

## Tempo de Queda, Velocidade Terminal e Energia Cinética

Com a altura da queda da gota (altura do bocal até o solo de 2,45 m) foi determinado o tempo de queda e a velocidade terminal das classes das gotas (momento em que a gota atinge a superfície do solo), com as Eq. 2 e Eq. 3, propostas por Lima *et al.* (1993).

$$T = \arccos[\exp(Z \times C)] \times (g \times C)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$V = \left(\frac{g}{C}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \tan[T(g \cdot C)^{\frac{1}{2}}] \quad (3)$$

onde,

$T$  é o tempo de queda da gota (s);

$Z$  é a altura de queda da gota (m) (2,45 m);

$C$  é o coeficiente de atrito com o ar (adimensional);

$g$  é a aceleração da gravidade (9,81 m s<sup>-2</sup>);

$V$  é a velocidade terminal da gota (m s<sup>-1</sup>).

O coeficiente de atrito ( $C$ ) utilizado nas Eq. 2 e Eq. 3 foi calculado pela Eq. 4 (Hills, 1988):

$$C = \frac{(0,804 - 0,264D + 0,066D^2 - 0,004D^3)}{1,109D} \quad (4)$$

onde,

$C$  é o coeficiente de atrito com o ar (adimensional);

$D$  é o diâmetro da gota (mm).

A determinação da energia cinética da chuva simulada foi obtida em função do resultado da distribuição do tamanho de gotas (disdrômetro) e da velocidade terminal. A energia cinética da gota  $e_k$  (em  $J m^{-2} mm^{-1}$ ) é expressa pela Eq. 5, conforme Dijk (2002):

$$e_k = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^k f_i v_i^2 \quad (5)$$

onde,

$e_k$  é a energia cinética (J);

$f_i$  é a fração de massa (adimensional);

$v_i$  é a velocidade terminal de queda na classe de tamanho  $i$  ( $ms^{-1}$ );

$\rho$  é a densidade da gota de chuva ( $gcm^{-3}$ ).

Para o cálculo da energia cinética do evento associado à intensidade da chuva aplicada, foi utilizada a Eq. 6, proposta por Wischmeiere Smith (1958), posteriormente convertida para o Sistema Internacional de Unidades (SI), pela equação de Foster *et al.* (1981).

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (6)$$

onde,

$EC$  é a energia cinética da chuva ( $J ha^{-1} mm^{-1}$ );

$I$  é a intensidade de chuva em cada segmento com intensidade constante ( $mm h^{-1}$ );

### Índice de Erosividade ( $EI_{30}$ )

A capacidade erosiva da chuva pode ser representada pelo índice da erosividade ( $EI_{30}$ ), proposto por Wischmeier e Smith (1958). Este índice tem sido correntemente utilizado para representar a erosividade da chuva em condições brasileiras (Cassol *et al.*, 2008), pois leva em conta características físicas da chuva local (Bazzano *et al.*, 2010). Ele representa o produto da energia cinética com que a gota de chuva atinge o solo e sua intensidade máxima por um período de 30 min (Hudson, 1973). O índice de erosividade foi obtido pelo produto da energia cinética total da chuva ( $EC$ ) e a intensidade máxima em 30 min ( $I_{30}$ ), de acordo com a Eq. 7, proposta por Wischmeier e Smith (1958).

$$EI_{30} = EC \times I_{30} \quad (7)$$

onde,

EC é a energia cinética total ( $\text{J ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ );

$I_{30}$  é a intensidade máxima em 30 minutos ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

### Tratamento Estatístico

Os resultados foram submetidos ao teste F para comparar as variâncias e o teste T para comparar as médias. O objetivo dos testes utilizados foi determinar a ocorrência de diferenças estatísticas significativas, comparando as intensidades das simulações, escoamentos superficiais, energias cinéticas e erosividade a 95% de confiança.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Chuvras Simuladas

Os valores médios totais da intensidade dos eventos de chuva realizados nos ensaios de simulação foram similares para os diferentes sistemas de plantio, apresentando  $73,3 \text{ mm h}^{-1}$  para o convencional e  $74,5 \text{ mm h}^{-1}$  para o direto (Figura 1), não apresentando diferença significativa estatística entre as intensidades das chuvas simuladas, ou seja, as formas de plantio tiveram intensidades semelhantes em relação a todos os ensaios.

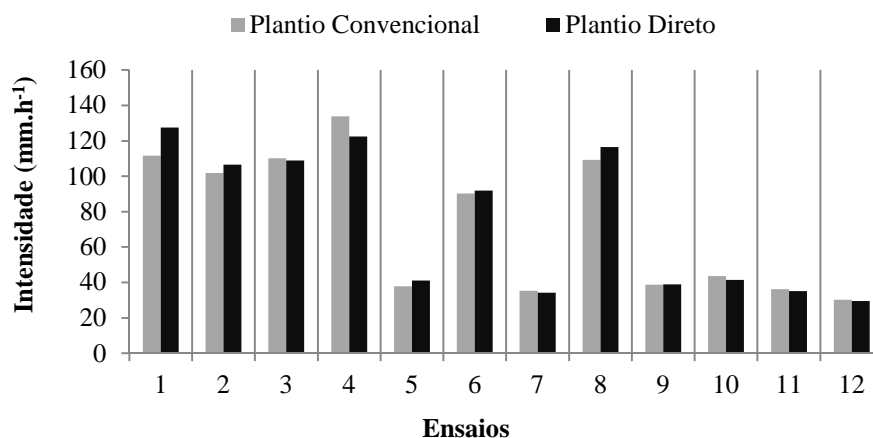


Figura 1. Intensidades de chuvas simuladas para os 12 ensaios, Pejuçara (RS).

## Vazões de Escoamento Superficial

As vazões de escoamento superficial foram medidas para todos os ensaios. Entretanto, nos ensaios realizados com baixa intensidade de chuva (ensaios 5, 7, 9, 10, 11 e 12) não foi gerado escoamento superficial. Nos ensaios 9, 10, 11 e 12, as vazões de escoamento superficial não ocorreram apenas no lisímetro com o sistema de plantio convencional, visto que o ensaio aconteceu em uma época de início de culturas (inverno), logo após o revolvimento, aumentando a porosidade no perfil de 0 a 20 cm e, conseqüentemente, na infiltração. Para o plantio direto, no mesmo período, o escoamento foi gerado, pois as características físicas e estruturais do solo não haviam sido alteradas, com isso, foi promovido o escoamento superficial.

A figura 2 mostra os comportamentos erosivos dos três manejos de solo: plantio direto, plantio convencional sem revolvimento (SR) e plantio convencional com revolvimento (CR). Os manejos apresentaram diferença estatística ( $\alpha = 0,05$ ) em relação à vazão do escoamento superficial.

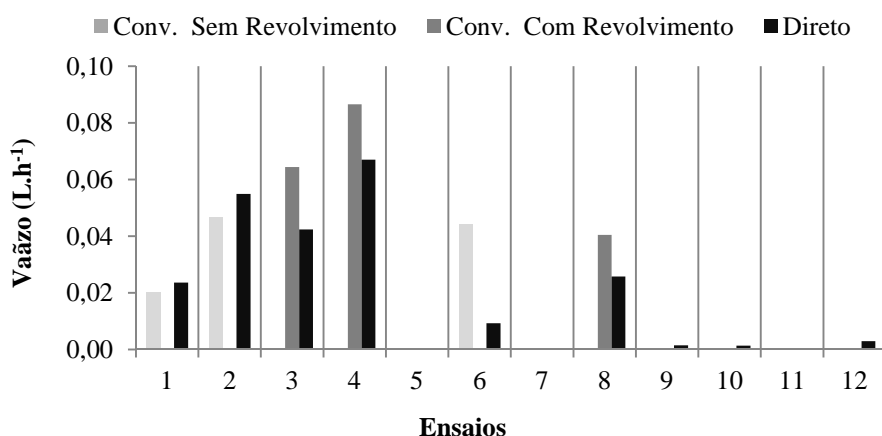


Figura 2. Vazões de escoamento superficial para os 12 ensaios de simulação, Pejuçara (RS).

Nos ensaios sob o sistema de plantio convencional SR, os valores de escoamento superficial foram inferiores ( $0,020$  a  $0,046$  L h<sup>-1</sup>) ao plantio direto ( $0,023$  a  $0,055$  L h<sup>-1</sup>). Entretanto, para o ensaio 6 (verão), houve a geração do escoamento superficial no plantio convencional SR com valores superiores ao plantio direto. Isto pode ser justificado devido ao selamento superficial, provocado pela chuva no período anterior à simulação, já que não havia presença de restos culturais no período. O selamento superficial é o entupimento dos poros causado pelo impacto das gotas de



chuva, onde as partículas desagregadas de solo se deslocam verticalmente junto com a água infiltrada, depositando-se nos poros do solo nas camadas superficiais reduzindo a infiltração de água e aumentando a taxa do escoamento superficial (Ferreira *et al.*, 2010). Guadagnin *et al.* (2005) relatam que em áreas descobertas ou com manejos convencionais a erosão hídrica ocorre geralmente devido ao selamento superficial. Em um de seus estudos com chuva simulada Brandão *et al.* (2010), concluíram que o aumento das perdas de solo é dado pela redução da infiltração devido ao selamento superficial ao longo do tempo.

Para o plantio convencional CR, os valores de vazão do escoamento superficial foram superiores (0,040 à 0,086 L h<sup>-1</sup>) em todos os ensaios em relação ao plantio direto (0,025 à 0,067 L h<sup>-1</sup>). Assim, pode-se enfatizar que a presença de restos culturais reduz a ação da chuva sobre o solo e, conseqüentemente, na geração do escoamento superficial. Santos *et al.* (2009) tiveram um resultado similar utilizando um simulador de chuvas sob intensidade de precipitação de 60 mm h<sup>-1</sup>, verificando que em solos descobertos (plantio convencional), as perdas de água chegaram a 90% da lâmina aplicada. Para Bertol *et al.* (2008), a intensidade de simulação de chuva de 64 mm h<sup>-1</sup>, promoveu a geração do escoamento superficial de forma mais rápida e intensa no plantio convencional, em relação ao sistema plantio direto.

O sistema de plantio direto apresentou baixo escoamento superficial (Figura 2), pois os aspectos físicos do solo permaneceram intactos devido ao não revolvimento, assim, facilitando a infiltração da água. Este fato concorda com Raczkowski *et al.* (2009), que concluíram que o plantio direto reduz o escoamento superficial e otimiza a infiltração de água no solo. Estudos como o de Lanillo *et al.* (2006), Zwirtes *et al.* (2011) e Cunha *et al.* (2015) têm evidenciado maiores taxas de infiltração em áreas que adotam o sistema de plantio direto.

### **Concentrações e Cargas Transportadas**

Na figura 3 são apresentados os valores médios de concentração de sedimentos transportados nos lisímetros com sistema de plantio convencional e plantio direto. O lisímetro com

plantio convencional CR apresentou valores superiores ( $1,82$  a  $5,59 \text{ mg L}^{-1}$ ) de concentração de sedimentos em relação ao plantio direto ( $0,16$  a  $1,40 \text{ mg L}^{-1}$ ) e ao plantio convencional SR ( $0,35$  a  $0,91 \text{ mg L}^{-1}$ ). De acordo com Leite *et al.* (2009), em sistemas de plantio direto, onde os resíduos culturais são mantidos na superfície do solo, a desagregação das partículas do solo é reduzida. De acordo com Ferreira *et al.* (2010), a presença de cobertura vegetal (presente no plantio direto e no convencional sem revolvimento), serve como barreira de proteção do solo contra o impacto da gota de chuva, que dissipa a energia e impede a desagregação e a produção de sedimento.

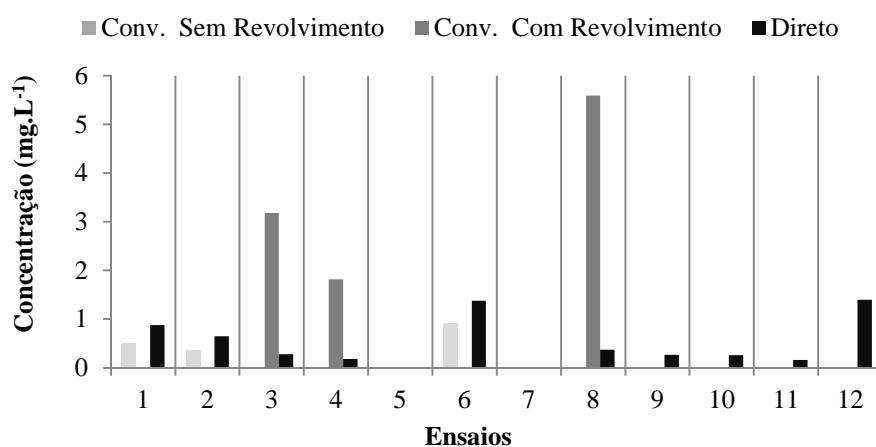


Figura 3. Concentrações de sedimentos provenientes do escoamento superficial, Pejuçara (RS).

Na figura 4 são apresentados os valores calculados das cargas para os 12 ensaios, no qual observa-se que o sistema de plantio convencional CR do solo apresentou valores superiores de vazão e concentração para os eventos de alta intensidade de precipitação e valores mais elevados de carga transportada ( $0,15$  a  $0,22 \text{ mg h}^{-1}$ ) em relação às outras formas de plantio estudadas. Isto indica que o plantio convencional CR é o sistema mais propício a produzir sedimentos (via perda de solo) em eventos de chuvas intensas, devido à mobilização e desestruturação da camada superficial do solo. Para Bertol *et al.* (2010), alto valor de vazão de escoamento superficial acarreta maior capacidade de transporte de sedimentos e perdas de solo, principalmente nas condições sem cultivo do solo.

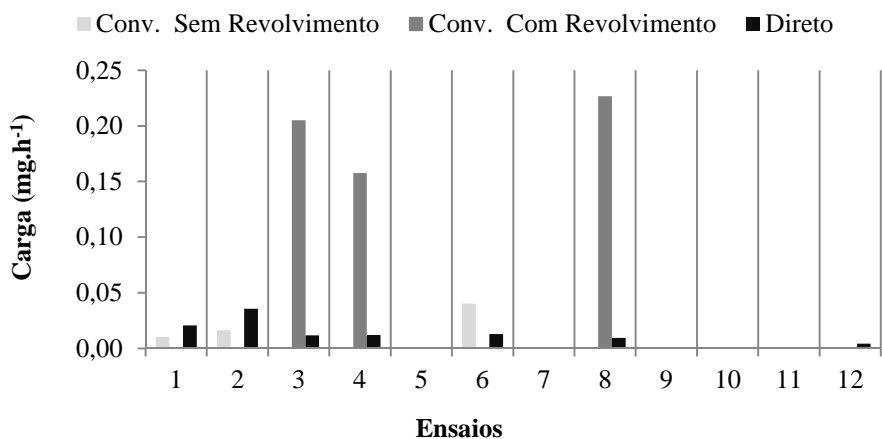


Figura 4. Cargas transportadas provenientes do escoamento superficial, Pejuçara (RS).

### Distribuição das Gotas de Chuva

Eventos de chuva de alta intensidade (média de 116,5 mm h<sup>-1</sup>), em intervalos de tempo de 30 segundos, apresentaram a tendência de formarem gotas de maior diâmetro (até 4,06 mm) (Figura 5).

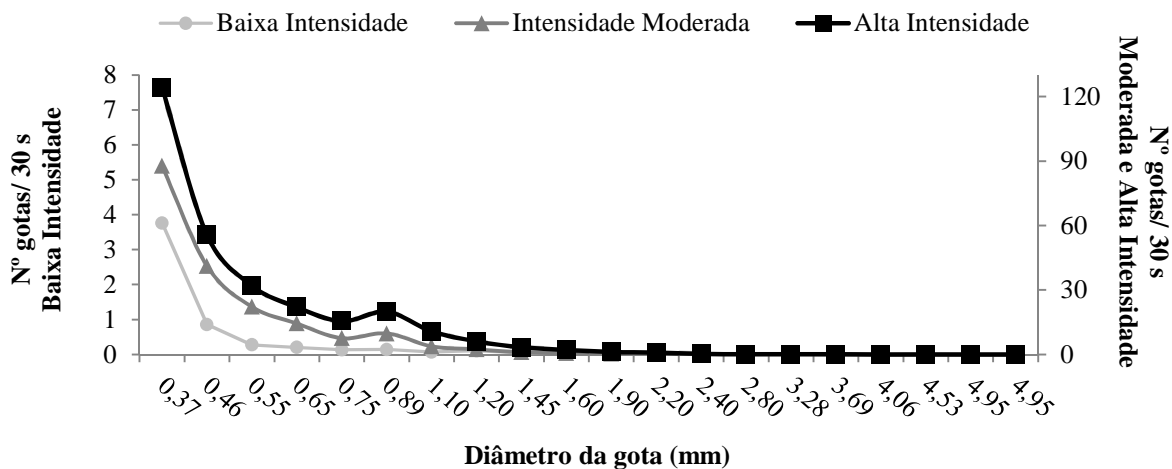


Figura 5. Distribuição das gotas de chuva em 30s em função da intensidade de chuva simulada, Pejuçara (RS).

Comportamentos similares foram encontrados por Jayawardena e Rezaur (2000), que estudando a distribuição das gotas em uma tempestade natural em Hong Kong, encontraram para baixa intensidade de chuva (20 mm h<sup>-1</sup>) o diâmetro médio menor que 2,25 mm e para alta intensidade (90 mm h<sup>-1</sup>) o diâmetro médio das gotas acima de 3,25 mm. Assim, nota-se que quanto maior a intensidade da chuva, seja ela simulada ou natural, maior é a ocorrência de diferentes

tamanhos de gotas, tanto de classe inferior quanto superior. Para eventos de baixas e moderadas intensidades de chuva, não houve a ocorrência de classes de gotas superiores ou apareceram em menor quantidade. Para eventos de chuvas com intensidade moderada (média de  $92 \text{ mm h}^{-1}$ ) foram observados diâmetros médios de gotas de até  $3,28 \text{ mm}$  e para chuvas de baixa intensidade (média de  $30 \text{ mm h}^{-1}$ ) foram observados diâmetros médios de até  $2,40 \text{ mm}$  de diâmetro.

### Energia Estimada pela Distribuição das Gotas e pela Intensidade da Chuva

O coeficiente de determinação para a relação entre a intensidade da chuva simulada e a energia cinética da gota (disdrômetro) foi de  $0,9869$  (Figura 6A). Segundo Fornis *et al.* (2005) e Petan *et al.* (2010), a intensidade da chuva e a energia cinética das gotas são as características que apresentam correlações positivas mais elevadas. Os eventos de chuvas de baixa intensidade, média de  $36 \text{ mm h}^{-1}$ , apresentaram baixos valores de energia cinética da gota ( $89,90$  a  $130,78 \text{ J}$ ). Os eventos de altas e moderadas intensidades, média de  $92 \text{ mm h}^{-1}$ , foram responsáveis por valores superiores de energia cinética ( $356,16$  a  $612,62 \text{ J}$ ). Segundo Boix-Faios *et al.* (2007), chuvas de alta intensidade são responsáveis pelas maiores energias cinéticas das gotas, causadores do processo de desprendimento de partículas do solo.

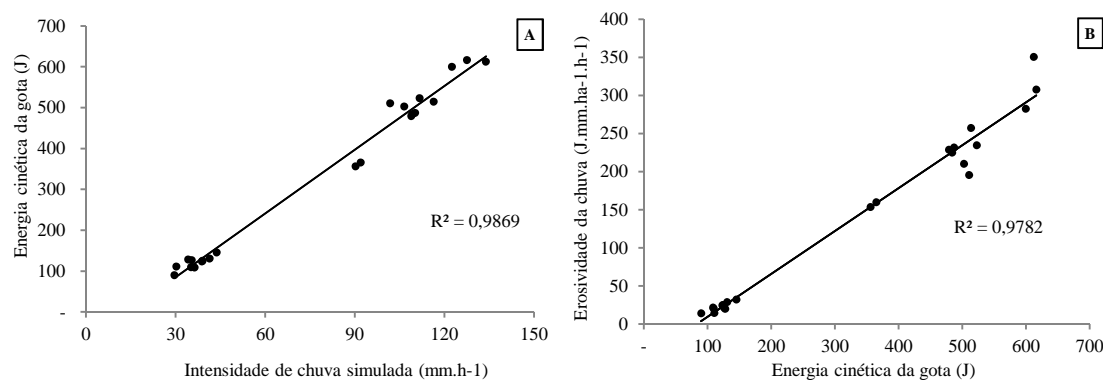


Figura 6. (A) Relação entre a intensidade de chuva simulada e a energia cinética da gota; e (B) energia cinética da gota e a erosividade da chuva, Pejuçara (RS).

Na figura 6B está representada a relação entre a energia cinética da gota da chuva e a erosividade da chuva, estimada pelo índice EI<sub>30</sub>. Os valores mais elevados de energia cinética da gota, provenientes das simulações de alta intensidade, são responsáveis pelos maiores índices de

erosividade. A energia cinética da chuva variou entre 89,90 J (intensidade de 29,6 mm h<sup>-1</sup>) e 612,62 J (intensidade 133,9 mm h<sup>-1</sup>), e os índices de erosividade entre 13,90 e 350 J mm ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A análise mostrou que as duas variáveis apresentam forte correlação (coeficiente de determinação de 0,9782). Estes resultados também concordam com Hassan (2011), que encontrou um comportamento semelhante do valor da EI<sub>30</sub> em relação à intensidade de chuva, sendo que houve um aumento de 25,1 J para 441,9 J de energia cinética, considerando o aumento de intensidade de chuva de 176,7 e 335,3 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na figura 7 está representada a relação entre as cargas transportadas e a energia cinética da gota, sendo esta última determinante sobre as cargas transportadas para os dois tipos de plantios. A partir de 300 J a resposta sobre as cargas transportadas foi evidenciada. A diferença ocorreu em escala, o plantio convencional apresentou valores de carga na ordem 0,2 mg h<sup>-1</sup> e o plantio direto 0,03 mg h<sup>-1</sup> (6x superior). Isso mostra que o sistema de plantio direto é mais conservador no que diz respeito à produção e ao transporte de sedimentos. Cogo *et al.*, (2003) e Leite *et al.* (2009) também obtiveram baixas perdas de solo em condições no qual houve pouco revolvimento do solo.

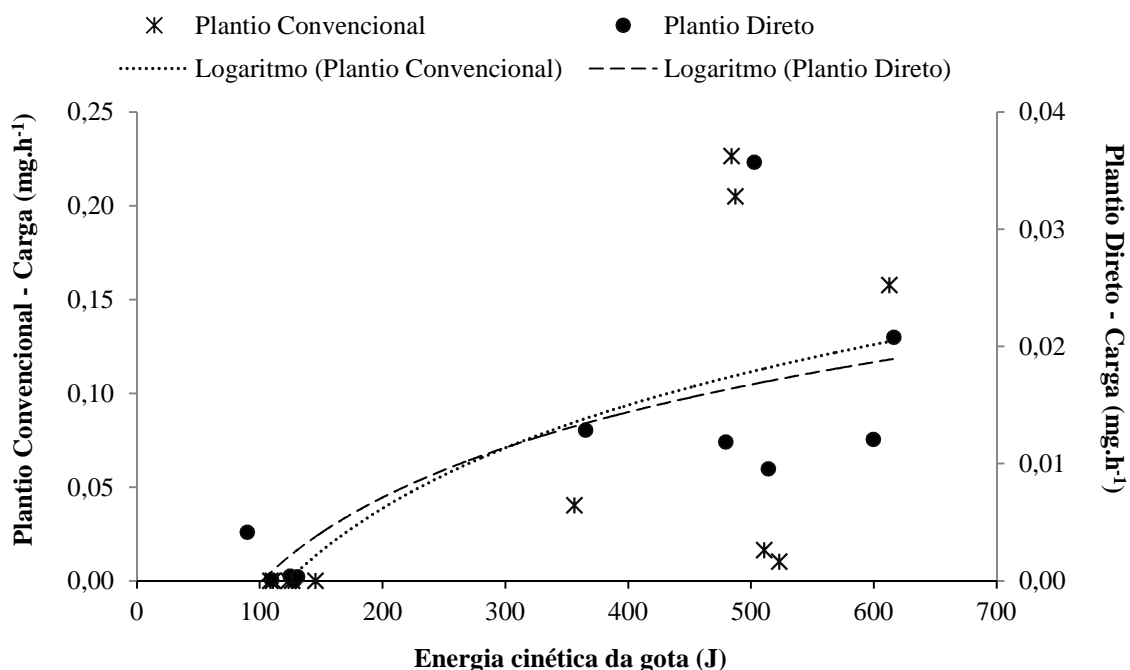


Figura 7. Energias cinéticas e cargas transportadas dos envaio, Pejuçara (RS).

A tabela 1 mostra os valores das perdas do solo pelo escoamento superficial em relação aos sistemas de plantio referente às estações do ano, intensidade simulada, energia cinética e erosividade ( $EI_{30}$ ).

Tabela 1. Intensidade, energia cinética, erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) e perda de solo por simulação de chuva, Pejuçara (RS).

	Estação	Manejo	Intensidade da chuva (mm/h)	Energia cinética da gota (J)	Erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) (J mm ha <sup>-1</sup> )	Perda de solo (kg ha <sup>-1</sup> )
Plantio Convencional - PC	Inverno	SR <sup>1</sup>	111,66	523,04	234,18	0,1151
		SR <sup>1</sup>	101,77	510,88	195,36	0,1920
		CR <sup>2</sup>	110,18	487,41	231,34	2,0873
		CR <sup>2</sup>	133,87	612,62	350,00	1,7774
	Verão	SR <sup>1</sup>	37,80	-	24,43	*
		SR <sup>1</sup>	90,20	356,16	153,04	0,4654
		CR <sup>2</sup>	35,38	126,38	20,66	*
		CR <sup>2</sup>	109,34	484,12	224,64	2,7598
	Inverno	SR <sup>1</sup>	38,80	123,51	24,22	*
		SR <sup>1</sup>	43,70	145,32	31,68	*
		CR <sup>2</sup>	36,30	108,48	21,27	*
		CR <sup>2</sup>	30,20	110,66	14,13	*
Plantio Direto - PD	Inverno	SR <sup>1</sup>	127,52	616,40	307,46	0,2347
		SR <sup>1</sup>	106,56	502,72	209,86	0,4030
		SR <sup>1</sup>	108,85	479,47	228,35	0,1466
		SR <sup>1</sup>	122,48	599,67	282,20	0,1382
	Verão	SR <sup>1</sup>	41,10	-	29,23	*
		SR <sup>1</sup>	92,00	365,33	159,62	0,1550
		SR <sup>1</sup>	34,18	127,91	19,43	*
		SR <sup>1</sup>	116,43	514,15	256,97	0,1260
	Inverno	SR <sup>1</sup>	39,00	124,77	24,49	0,0042
		SR <sup>1</sup>	41,40	130,78	28,21	0,0034
		SR <sup>1</sup>	35,20	109,62	19,91	0,0008
		SR <sup>1</sup>	29,60	89,90	13,90	0,0387

\*não foi gerado escoamento superficial; <sup>1</sup> sem revolvimento; <sup>2</sup> com revolvimento.

A maior quantidade de perda de solo (2,75 kg ha<sup>-1</sup>) ocorreu no sistema de plantio convencional com revolvimento, na época do verão, sob um evento de chuva de alta intensidade. Esse sistema apresentou também a maior média geral (2,20 kg ha<sup>-1</sup>), superior ao plantio convencional sem revolvimento (0,25 kg ha<sup>-1</sup>) e o plantio direto (0,12 kg ha<sup>-1</sup>). Oliveira *et al.*

(2012b) também verificaram uma média mais conservadora no plantio direto. O solo mais estruturado do plantio direto e o não revolvimento promove uma maior resistência ao desprendimento das partículas por meio das gotas de chuva, enquanto que em solos com revolvimento, a camada superficial do solo é desestruturada, ocorrendo uma predisposição à perda de solo. De acordo com Bertol *et al.* (2008), a concentração de sedimentos transportados proveniente da erosão hídrica sofre influência do tipo de manejo aplicado. Em seu estudo Cogo *et al.* (2003) também verificaram reduções de 50% na perda de solo com a utilização de sistemas conservacionistas.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho possibilitaram as seguintes conclusões:

- Gotas de maior diâmetro (3,28 a 4,06 mm) possuem maior energia cinética (523,04 a 612,62 J) e, conseqüentemente, maior erodibilidade ( $EI_{30}$ ) (234,18 a 350 J mm ha<sup>-1</sup>).
- O plantio direto proporcionou condições benéficas ao solo, aumentando a resistência à erosão, com perdas médias de solos inferiores a 0,10 kg ha<sup>-1</sup> quando comparadas ao sistema de plantio convencional, que variou de 2,20 a 0,25 kg ha<sup>-1</sup>.
- O plantio convencional sem revolvimento teve um bom desempenho em relação a processos de perda de solo (0,25 kg ha<sup>-1</sup>), no qual também manteve a estrutura do solo estabilizada, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e favorecendo o processo de infiltração de água no solo.
- O plantio convencional com revolvimento teve o pior desempenho em relação a processos de perda de solo, concentração de sedimentos e cargas transportadas.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. 2008. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **32**:2145-2155.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. 2010. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **34**:235-244.
- BERTOL, I. et al. 2010. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **34**:245-252.
- \_\_\_\_\_. 2008. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **2**:747-757.
- BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. 2007a. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **42**:103-110.
- \_\_\_\_\_. 2007b. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico Alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **31**:541-549.
- BISSONNAIS, Y. 1989. Analyse des processus de microfissuration des agregats à l'humectation. **Science du Sol**, **27**:187-199.
- BOIX-FAYOS, C. et al. 2007. Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. **Earth Surface Processes and Landforms**, **32**: 85-10.
- BRANDÃO, V. S. et al. 2010. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, **27**:129-138.
- CANTALICE, J. R. B. et al. 2005. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **29**:597-607.
- CARVALHO, D. F. et al. 2009. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **13**:3-9.



- CARVALHO, J. C. 2006. **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, 464p.
- CARVALHO, N. O. 2008. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 599p.
- CASSOL, E. A. et al. 2008. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, **32**:1239-1251.
- CASTRO, N. M. R. et al. 1999. Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. **Hydrological Processes**, **13**:1623-1628.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. 2003. Perdas de solo e água por erosões hídricas influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, **27**:743-753.
- CUNHA, J. L. X. L. et al. 2015. Taxa de infiltração de água no Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiente**, **19**:1021-1027.
- FERREIRA, A. O. et al. 2010. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, **5**: 182-190.
- FORNIS, R. L.; VERMEULENB, H. R.; NIEUWENHUISB, J. D. 2005. Kinetic energy-rainfall intensity relationship for Central Cebu, Philippines for soil erosion studies. **Journal of Hydrology**, **300**:20-32.
- FOSTER, G. R. et al. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, **36**:355-359.
- GUADAGNIN, J. C. et al. 2005. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **29**:277-286.
- HASSAN, K. F. 2011. Application of rainfall intensity - kinetic energy relationship for soil loss prediction. **Journal of Agriculture**, **39**:40-51.
- HUDSON, N. W. 1973. **Soil conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 320p.

- ISERLOH, T. et al. 2013. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. **Catena**, **110**:100-112.
- KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A.; CASTRO, N. M. R. 2013. Transporte de compostos de carbono, nitrogênio e fósforo pelo escoamento da água em solos agrícolas na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, **19**:75-86.
- KINNEL, P. I. A. 2006. Simulations demonstrating interaction between coarse and fine sediment loads in rain-impacted flow. **Earth Surface Processes**, **31**:355-367.
- KUHN, N. J.; BRYAN, R. B.; NAVAR, J. 2003. Seal formation and interrill erosion on smectite-rich Kastanozem from NE-Mexico. **Catena**, **52**:149-169.
- JAYAWARDENA, A. W.; REZAUR, R. B. 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. **Hydrological Processes**, **14**:1069-1082.
- LEITE, D. et al. 2004. Erosão hídrica em um Nitossolo Háptico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **28**:1033-1044.
- LEITE, M. H. S. et al. 2009. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico Típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **33**:689-699.
- LIMA, L. A. et al. 1993. O salpicamento de latossolos provocado por gotas de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. p. 161-162.
- LLANILLO, R. F. et al. 2006. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciência Agrárias**, **27**:205-220.
- MACHADO, P. L. A. O. 2005. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, **28**:329-334.
- MAEIR, C. et al. 2013. Efeito da crosta superficial e a erosão entressulcos de um Neossololítico submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, **18**:149-163.

- MEDEIROS, J. D. 2004. **Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo na bacia do Arroio Donato -RS**. Tese (Doutorado em Recursos hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 141p.
- MEYER, L. D. HARMON, W. C. 1979. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, **22**:100-103.
- MORGAN, R. P. C. 1995. **Soil Erosion e Conservation**. 2. ed. Harlow Essex, England: Ed. Longman, 198p.
- NORTON, L. D.; BROWN, L. C. 1992. Time-effect on water erosion for ridge tillage. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, **35**:473-478.
- NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. 2008. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **32**:2839-2845.
- OLIVEIRA, F. P. et al. 2012a. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, **16**:337-346.
- OLIVEIRA, J. R. et al. 2010. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **14**:140-147.
- OLIVEIRA, L. F. C.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F. 2005. Rotina computacional para a determinação da velocidade de sedimentação das partículas do solo em suspensão no escoamento superficial. **Engenharia Agrícola**, **25**:126-136.
- OLIVEIRA, M. F. et al. 2001. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **36**:37-41.
- OLIVEIRA, N. T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. 2012b. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, **15**:93-103.
- PETAN, S. et al. 2010. The rainfall kinetic energy-intensity relationship for rainfall erosivity estimation in the mediterranean part of Slovenia. **Journal of Hydrology**, **391** 314-321.

- PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, M. L.; RODRIGUES, S. C. 2008. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos. **Revista Sociedade & Natureza**, **2**:57-175.
- PRADHAN, B.; LEE, S. 2009. Landslide risk analysis using artificial neural network model focussing on different training sites. **International Journal of Physical Sciences**, **4**:1-15.
- RACZKOWSKI, C. W. et al. 2009. Comparison of conventional and no-tillage corn and soybean production on runoff and erosion in the southeastern US Piedmont. **Journal of Soil and Water Conservation**, **64**:53-60.
- ROBINSON, D. A.; WOODUN, J. K. 2008. An experimental study of crust development on chalk downland soils and their impact on runoff and erosion. **European Journal of Soil Science**, **59**:784-798.
- ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. 1985. A portable rainfall simulator to study factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, **12**:79-85.
- SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; NETO, A. L. C. 2002. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto-MG. **Revista Escola de Minas**, **55**:285-290.
- SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. 2009. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **13**:217-225.
- TORMENA, C. A. et al. 2007. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **31**:211-219.
- VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. 2009. Aggregate stability as affected by short and long-term tillage systems and nutrient sources of a Hapludox in Southern Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, **33**:767-777.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, **39**:285-291.

ZWIRTES A. L. et al. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos.

**Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, 4:51-66.**