

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**EFEITOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO CONVENCIONAL,
MÍNIMO E DIRETO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NAS
PERDAS DE SOLO**

CARLOS ALBERTO ALVES VARELLA

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR MAURO FLÁVIO MEZA
MONTALVO

Tese submetida como requisito parcial para
obtenção do grau de *Magister Scientiae* em
Fitotecnia.

SEROPÉDICA
RIO DE JANEIRO – BRASIL
NOVEMBRO - 1999

**EFEITOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO CONVENCIONAL,
MÍNIMO E DIRETO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NAS
PERDAS DE SOLO**

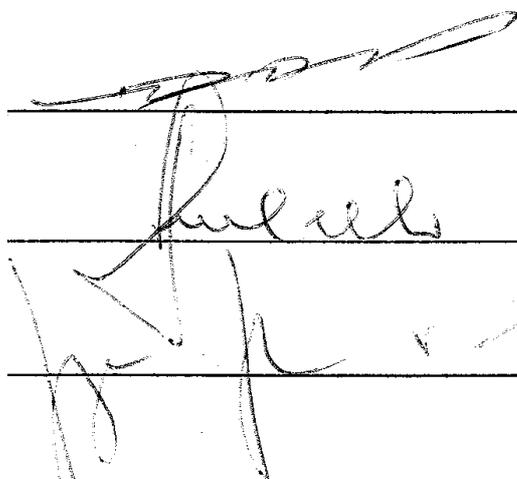
CARLOS ALBERTO ALVES VARELLA

APROVADA EM 10 de novembro de 1999.

MAURO FLÁVIO MEZA MOLTALVO

JORGE LUIZ PIMENTA MELO

JORGE JACOB NETO



The image shows three handwritten signatures, each written on a horizontal line. The top signature is the most prominent and appears to be 'Mauro Flávio Meza Moltalvo'. The middle signature is less legible but appears to be 'Jorge Luiz Pimenta Melo'. The bottom signature is also less legible but appears to be 'Jorge Jacob Neto'.

À minha querida mãe Maria Aida,
por ter sido sempre uma incentivadora
de nossos estudos.

AGRADECIMENTO

A Deus, por ter iluminado meus caminhos e me dado forças para a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Mauro Flávio Meza Montalvo, pela orientação e viabilização do uso do simulador de chuva, obtido por meio de seus esforços junto ao convênio entre a Universidade de Maryland, USA, e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Ao Prof. Luiz Seja Moreira do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo apoio na instalação e condução do experimento no campo, e também por sua inestimável colaboração em todas as fases desse trabalho.

Ao Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela concessão da área e funcionários para a instalação e condução do experimento.

A Prof. Lúcia Helena Cunha dos Anjos do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo apoio dado para a realização das análises nos Laboratórios de seu Departamento.

A funcionária Maria Helena de Castro Soares do Laboratório de Física do Solo e ao funcionário Anselmo Eulacier Amorim Boechat do Laboratório de Gênese e Classificação de Solo, ambos do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela dedicação com que realizaram as análises da quantidade de solo presente no escoamento superficial para cada das 168 amostras.

Ao Prof. Jorge Jacob Neto, coordenador do Curso de Pós- Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo estímulo dado para a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Gilson Cândido Santana do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo seu empenho em viabilizar o equipamento "DataShow" para a apresentação da defesa de tese.

Ao Prof. Jorge Luiz Pimenta Mello do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo apoio, sugestões, confiança que demonstrou, e por sua inestimável colaboração para a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

CARLOS ALBERTO ALVES VARELLA, filho de José de Assumpção Varella Filho e Maria Aida Alves VareI/a, nasceu em Nova Iguaçu - RJ, em 11 de abril de 1955.

Em julho de 1983, formou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Em agosto de 1983, foi contratado como Professor Visitante pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, atuando no Departamento de Engenharia na área de Mecanização Agrícola.

Em janeiro de 1985, foi aprovado em concurso público pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, atuando como Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia na área de Mecanização Agrícola.

Em novembro de 1999, conclui o Curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, submetendo-se à defesa de tese em 10 de novembro de 1999.

Atualmente é Professor Assistente, atuando na área de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Atualmente é Professor Assistene da área de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

ÍNDICE

.....	
Características da chuva	13
Características do solo.....	16
Características da superfície do solo	17
Simuladores de chuva.....	18
Sistemas de cultivo.....	19
Práticas conservacionistas	21
Equipamentos utilizados	26
Sistemas de preparo do solo	26
Aplicação da chuva artificial.....	27
Cálculo do escoamento superficial.....	29
Avaliação da produtividade.....	31
Escoamento superficial	32
Perdas de solo.....	36
Comparação entre a erosão dos sistemas de cultivo	39
Produção de milho verde.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Valores referentes à calibração do simulador de chuva	28
Quadro 2. Intensidade máxima da chuva (mm.h^{-1}) para um período de 10 anos (1984/1993), coletadas na estação experimental de Itaguaí/Pesagro-RJ. Coordenadas geográficas: Lat.22°45'S; Long.43°41'W ; Alt.33m	28
Quadro 3 - escoamento superficial ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo	32
Quadro 5 - Perdas de solo ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo.....	36
Quadro 6 - Teste de tukey para as perdas de solo (valores convertidos para a raiz).....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui do experimento no campo.....	25
Figura 2. Esquema para montagem do simulador de chuvas.	26
Figura 3 - Comportamento do escoamento superficial ao longo do tempo.	36
Figura 4 Perdas de solo acumuladas ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo estudados.	39
Figura 5 - Comparação gráfica entre o total das perdas de solo presente no escoamento superficial para cada sistema de cultivo	40

RESUMO

VARELLA, Carlos Alberto Alves, M.S., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, novembro de 1999. **Efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo.** Orientador: Mauro Flávio Meza Montalvo. Membros da banca: Jorge Luiz Pimenta Mello e Jorge Jacob Neto.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo decorrentes da erosão hídrica na cultura do milho, quando submetida a uma intensidade constante de 55 mm h⁻¹, durante 35 min, subdivididos em 7 intervalos de tempo consecutivos de 5 min. O experimento foi instalado em uma área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em um solo Podzólico vermelho amarelo (RAMOS, 1970), com 22% de areia, 20% de silte e 58% de argila, com declividade média de 5%. Os sistemas de cultivo de plantio direto e mínimo apresentaram menores perdas de solo que o sistema convencional. O sistema de preparo mínimo com enxada rotativa foi o que apresentou maior escoamento superficial. Comparando-se os valores do escoamento superficial e das perdas de solo para cada um dos sistemas de cultivo, ficou evidente a vantagem do sistema de plantio direto, que além de reduzir o impacto das gotas da chuva sobre o solo, também apresentou menor escoamento superficial que os demais sistemas na cultura do milho.

ABSTRACT

VARELLA, Carlos Alberto Alves, M.S., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, november 1999. **Conventional, minimum and no-tillage effects on runoff and soil losses.** Adviser: Mauro Flávio Meza Montalvo. Committee members: Jorge Luiz Pimenta Mello and Jorge Jacob Neto.

The objective of this present study was to evaluate the effects of conventional, minimum and no-tillage systems on runoff and soil losses caused by water erosion in corn crop, when submitted at a constant intensity of 55 mm h⁻¹, during 35 min, subdivided at

seven intervals of time of 5 min. The experiment was located in area of the Rural Federal University of Rio de Janeiro, in a soil yellow red Podzólico (RAMOS, 1970), 22% sand, 20% silt and 58% clay, with 5% average slope. The no-till and minimum system were that presented less soil losses than conventional system. The minimum tillage with rotovator show the largest runoff. Compared the values of the runoff and soil losses for each one of the tillages systems, it was evident the advantage of no-till system, that besides reducing the raindrops impact on the soil, presented less runoff than the others tillages in corn crop.

INTRODUÇÃO

Existem duas formas de erosão: a erosão geológica, a qual é oriunda de fenômenos naturais, atuando como agente benéfico para a formação do próprio solo; e a erosão acelerada, a qual é provocada pelo homem devido à destruição do equilíbrio das condições naturais, sendo comumente caracterizada como erosão. A erosão pode ser classificada quanto ao agente causador como eólica ou hídrica. No primeiro tipo, o principal agente responsável pelo desprendimento e transporte das partículas do solo é o vento e, no segundo tipo, é a água. No Brasil, indiscutivelmente, a erosão hídrica é mais importante, motivo pelo qual a presente abordagem será direcionada a essa forma de erosão.

Em atividades agrícolas, considera-se erosão hídrica a ação da água da chuva sobre o terreno de modo a transportar, aceleradamente, os constituintes minerais e orgânicos do solo para locais onde geralmente não podem ser aproveitados para explorações agropecuárias. Com isto, a erosão hídrica tem sido uma das principais causas de redução da produtividade das terras agrícolas, podendo, inclusive, resultar no abandono de áreas. Além disso, acarreta a elevação do custo de produção, uma vez que aumenta a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes, e reduz o rendimento operacional das máquinas agrícolas (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1990; PARANÁ, 1989; PARKER et al., 1995).

Quando a água da chuva cai sobre o terreno ocasiona um impacto sobre o mesmo, promovendo a desagregação das partículas do solo. Uma parte desta precipitação é perdida por- evaporação, outra parte se infiltra no solo e a outra escoia pela superfície do solo. É exatamente esta última parte a responsável pela erosão hídrica dos solos, que ocasiona uma série de transtornos. Os prejuízos decorrentes deste processo erosivo são resultantes da perda do solo agrícola, com a redução de sua fertilidade e de sua capacidade de retenção de umidade, e também do assoreamento e contaminação com fertilizantes químicos e agrotóxicos, de rios, canais e reservatórios, que pode resultar em inundações, redução de suas capacidades de armazenamento de água e também de danos à fauna e flora aquática, colocando em risco a qualidade da água para consumo doméstico e agrícola.

É de suma importância o conhecimento dos fatores que influem na ação erosiva da água da chuva em um terreno, que juntamente com a análise das condições locais poderão ser utilizados na programação das medidas que permitirão o controle do desgaste do solo e da perda de água.

No que se refere ao processo erosivo, os totais anuais precipitados tem pouco significado, sendo de maior importância, o conhecimento das características da chuva, tais como, distribuição do tamanho de gotas da chuva, velocidade de queda das gotas, número de gotas, energia cinética das gotas, bem como a intensidade, duração e frequência da chuva. O conjunto destas características é comumente conhecido como erosividade da chuva.

A erosividade da chuva tem sido usualmente expressa como uma função potencial da intensidade de precipitação (MEYER e WISCHMEIER, 1969; MEYER, 1981; PARK et al., 1983; GOFF et al., 1994). Os primeiros estudos no sentido de se obter uma equação para determinar a energia cinética das gotas de chuva foram realizados por WISCHMEIER e SMITH (1958), os quais propuseram um índice de erosividade da chuva denominado Ebo. O EI30 é o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos. Apesar do grande êxito obtido nos Estados Unidos e de ser bastante utilizada em outros países, a equação proposta por WISCHMEIER e SMITH (1958) para estimar a erosividade da chuva parece subestimar a energia cinética das gotas de chuva em regiões tropicais (ROTH et al., 1985). Entretanto, Lombardi Neto, citado por SOSA (1987), utilizando o método EI30 para o cálculo da erosividade, encontrou alta correlação ($r = 0,99$) entre o índice obtido e as perdas de solo no Brasil.

HUDSON (1977), trabalhando na África austral, observou que chuvas com intensidade inferiores a 25 mm h^{-1} não produzem perdas de solo significativas. Esse autor propôs que o índice mais adequado para estimar a erosividade em regiões tropicais seria o $KE > 25$, que representa a soma da energia cinética dos segmentos de chuva com intensidade superior a 25 mm h^{-1} . LAL (1988) constatou que, para chuvas tropicais de alta intensidade, os índices que melhor se correlacionam com as perdas de solo foram os do tipo PI_m , que representam o produto da quantidade de chuva precipitada pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de "x" minutos consecutivos.

MERMUT et al. (1997), estudando o efeito da intensidade de precipitação no desprendimento de partículas do solo, observaram que a mesma causa uma redução na velocidade de infiltração, e que a quantidade de sedimentos transportados pelo escoamento tem um aumento aproximadamente linear com o tempo da precipitação, principalmente para intensidade elevadas, o que evidencia a importância da duração da chuva no processo erosivo, quando associada ao efeito da intensidade da chuva.

O transporte de sedimentos é realizado por agentes erosivos, isto é, pelo impacto das gotas da chuva e pelo escoamento superficial. O domínio da energia de impacto das gotas da chuva ou do escoamento superficial no desprendimento e transporte de sedimentos depende se a erosão ocorre em sulcos ou em áreas entre sulcos.

A erosão em sulcos resulta da concentração do escoamento superficial produzido por uma chuva, ocasionando a formação de pequenos canais que podem ser facilmente desmanchados sob condições de práticas de cultivo. FOSTER (1982) define erosão em sulcos quando se tem a formação de sulco com uma profundidade máxima de 300 mm. Nas áreas de ocorrência da erosão em sulcos, ha um domínio da ação erosiva decorrente da energia associada ao escoamento, sendo a energia de impacto das gotas da chuva no desprendimento usualmente considerada desprezível. Além do seu papel no desprendimento de partículas de solo, o escoamento no sulco é também o principal agente de transporte. No que diz respeito ao impacto das gotas da chuva, diversos pesquisadores verificaram que este impacto não provoca o desprendimento de partículas de solo no sulco, entretanto, ainda não se definiu claramente se o mesmo contribui para o transporte de sedimentos (GUY et al., 1987; KINNELL, 1993).

A erosão entre sulcos é, também, referida como erosão laminar, e nesta abordagem será denominada simplesmente erosão. O processo é tal que finas camadas de solo são removidas da superfície do solo, uma após a outra, e a erosão não é claramente evidenciada por simples inspeção visual. Na erosão laminar, os mecanismos de impacto das gotas da chuva na superfície do solo e o escoamento superficial são, juntamente, os responsáveis pelo desprendimento e transporte de sedimentos.

BRADFORD et al. (1987), FOSTER (1982) e GILLEY et al. (1985) concluíram que, enquanto o desprendimento das partículas de solo é realizado principalmente pela energia de impacto das gotas da chuva, a força cisalhante do escoamento superficial é o principal agente de transporte, embora esses processos sejam muito interdependentes.

A erosão é um processo complexo e a intensidade com que ela ocorre depende, basicamente, de três fatores: características da chuva; características do solo; e características da superfície do solo (FOSTER, 1982; WATSON e LAFLEN, 1986).

Características da chuva

Diversos pesquisadores conduziram trabalhos em laboratório para avaliar o efeito da energia de impacto das gotas e da intensidade da precipitação no processo erosivo, verificando que ambos tem alta correlação com a erosão (BUBENZER e JONES, 1971; MEYER, 1981; MEYER e HARMON, 1992). MEYER (1981), trabalhando em condições de campo com aproximadamente 20 tipos de solos, observou que a erosão em pequenas encostas varia aproximadamente com o quadrado da intensidade de precipitação para solos de textura grossa, sendo ligeiramente menor para solos de textura fina. WATSON e LAFLEN (1986) em estudo semelhante, encontraram uma ampla faixa de variação para os valores do expoente da intensidade de precipitação. Resultados obtidos por TRUMAN e BRADFORD (1993) também mostraram que o valor do expoente da intensidade não se aproximou de 2, sugerindo que a suposição de que a perda de solo, varia com o quadrado da intensidade, não pode ser aplicada a todos os tipos de solos.

O efeito do impacto das gotas sobre a superfície do solo é, em geral, representado pela energia cinética da chuva. Baseando-se na relação entre intensidade da chuva e distribuição das gotas por tamanho, WISCHMEJER e SMITH (1958) estabeleceram a seguinte equação, modificada por FOSTER et al. (1981), para cálculo da energia cinética das chuvas naturais:

$$EC_{ws} = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I \quad (1)$$

em que,

EC_{ws}	=	energia cinética, MJ.ha ⁻¹ . min ⁻¹ ;
I	=	intensidade de precipitação, mm.h ⁻¹

A relação entre intensidade de precipitação e distribuição de gotas por tamanho é específica para cada local (KINNELL, 1981), o que levou HUDSON (1977) e WAGNER e MASSAMBANI (1988) a desenvolverem diferentes relações entre energia cinética e intensidade, as quais são, respectivamente:

$$EC_h = 0,298 - 1,275 \cdot I^{-1} \quad (2)$$

em que,

EC_h	=	energia cinética, MJ.ha ⁻¹ . min ⁻¹ ;
I	=	intensidade de precipitação, mm.h ⁻¹

$$EC_{wm} = 0,153 + 0,0645 \cdot \log I \quad (3)$$

em que,

EC_{wm}	=	energia cinética, MJ.ha ⁻¹ . min ⁻¹ ;
I	=	intensidade da chuva, mm.h ⁻¹

A equação 2 foi desenvolvida para as condições da África austral e a equação 3 para a região central do Estado de São Paulo.

De acordo com EIGEL e MOORE (1983), o método mais comum de determinação do conteúdo de energia de chuvas naturais e artificiais consiste em utilizar as propriedades físicas da gota de chuva. Para isto, torna-se necessário conhecer a velocidade, o tamanho e a distribuição das gotas de chuva. Assim, propuseram a seguinte equação para determinação da energia cinética da chuva:

$$EC = \frac{\rho \sum_{i=1}^n (d_i^3 \cdot v_i^2 \cdot N_i)}{2 \cdot \sum_{i=1}^n (d_i^3 \cdot N_i)} \quad (4)$$

em que,

EC	=	energia cinética por unidade de área, MT^{-2} ;
ρ	=	massa específica da água, ML^{-3} ;
N_i	=	número de gotas ou fração da chuva no intervalo de diâmetro de gotas d_i e caracterizada por diâmetro efetivo d_i (mm);
v_i	=	velocidade de impacto da gota de chuva, LT^{-1} ;
n	=	número de intervalos de diâmetros de gotas.

STILLMUNKES e JAMES, (1982), estudando a energia de impacto de gotas d'água provenientes de chuvas artificiais sobre o solo, estabeleceram que, a partir do conhecimento da lâmina média aplicada e da velocidade média do impacto das gotas no solo, a energia cinética por unidade de área pode ser calculada pela seguinte equação:

$$E_{c/a} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot L \cdot v^2 \quad (5)$$

em que,

$E_{c/a}$	=	energia cinética por unidade de área, MT^{-2} ;
ρ_w	=	massa específica da água, ML^{-3} ;
L	=	lâmina média de água aplicada pelos bocais, L;
v	=	velocidade de impacto das gotas de chuva, LT^{-1} .

Sendo que: $L = I \cdot t$ (6)

em que,

I	=	intensidade média de precipitação dos bocais, LT^{-1} ;
t	=	tempo de precipitação, T.

A velocidade de impacto das gotas no solo pode ser quantificada por técnicas fotográficas, conforme descrito por LAWS (1941), por espectrômetro óptico, conforme descrito por TOSSELL et al. (1990), além de poder ser estimada utilizando-se a equação do movimento. Além de trabalhosa, a técnica fotográfica pode ser utilizada para determinação da velocidade das gotas para apenas um bico, sendo, portanto, inadequada para medir a velocidade em condições de diversos bicos. O uso do espectrômetro óptico é limitado devido a seu elevado custo. A equação do movimento, descrita por LI e KAWANO (1995) e STILLMUNKES e JAMES (1982), tem sido a técnica mais utilizada para estimar a velocidade de gotas, principalmente pela facilidade com que pode ser implementada computacionalmente.

Para resolução das diversas equações e cálculo da velocidade de queda das gotas da chuva é necessário o conhecimento do coeficiente de arraste da gotas, o qual é estimado em função do diâmetro médio das gotas da chuva.

De acordo com EIGEL e MOORE (1983), os tamanhos de gotas de chuva tem sido estimados por vários pesquisadores desde meados de 1890, com a utilização dos seguintes métodos: método da mancha, método da farinha, método da imersão das gotas em óleo, método fotográfico e método do "momentum". Segundo esses autores, os dois últimos métodos não se prestam muito bem para estudos de distribuição de gotas por tamanho. O método da mancha considera que uma gota caindo sobre uma superfície absorvente e uniforme produz uma mancha cujo diâmetro é proporcional ao seu diâmetro. O tamanho da gota é obtido comparando-se o tamanho da mancha com aquela produzida por uma gota de diâmetro conhecido.

O método da farinha tem sido muito usado por demandar equipamentos facilmente disponíveis e apresentar grande praticidade. Descrito por CARTER et al. (1974), EIGEL e MOORE (1983) e por OLIVEIRA (1991), considera que a gota apresenta formato esférico. Consiste em expor uma bandeja contendo uma camada de farinha de trigo, peneirada e não compactada, à precipitação. Em contato com a farinha, as gotas irão produzir grânulos que, em seguida, serão secos ao ar, separados por peneiras de diferentes malhas e, posteriormente, secos em estufa. Os diâmetros das gotas são em função da massa dos grânulos formados. Usando uma curva de calibração previamente determinada, considerando que as gotas tem formato esférico. Este procedimento permite determinar o diâmetro volumétrico médio de gotas, ϕ_{50} , que segundo HUDSON (1977), é o índice que melhor representa a distribuição de gotas de uma precipitação.

Características do solo

Os solos, em geral, possuem uma variabilidade espacial muito grande das suas propriedades químicas, físicas e morfológicas.

Com isto, é esperado que o comportamento do mesmo em relação ao processo erosivo seja bastante diferenciado. Quanto menor for a estabilidade dos agregados do solo e a capacidade de infiltração de água, mais susceptível será esse solo à erosão. Solos ricos em silte e areia e pobres em matéria orgânica são muitos propensos ao processo erosivo, em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento e transporte de partículas durante a precipitação (PRUSKI, 1998).

Este comportamento do solo diante do processo erosivo é comumente referido na literatura como um fator de erodibilidade do solo. A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo escoamento superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo face aos processos erosivos (LAL, 1988). Nos modelos de predição da erosão, a erodibilidade do solo é, geralmente, representada por um fator K (perda de solo por unidade de erosividade da chuva para um solo característico) (WISCHMEIER e SMITH, 1958). Segundo alguns pesquisadores, para aumentar a praticidade e utilidade desse fator de erodibilidade, é necessário impor-lhe algumas restrições, principalmente no que concerne ao tamanho e condições das parcelas usadas para sua determinação (RENARD e FERREIRA, 1993; LOCK e POCKNEE, 1995).

No Brasil, um número considerável de solos já tem seu fator de erodibilidade determinado, principalmente com uso de simuladores de chuvas. Conforme levantamento feito por DENARDI N (1990), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico varia de 0,002 a 0,034 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, ao passo que a dos solos que possuem horizonte B textural fica entre

0,004 e 0,044 t h MJ⁻¹ mm⁻¹. Esses valores colocam os solos do primeiro grupamento nas classes de erodibilidade muito baixa e baixa e, os do segundo, nas classes de erodibilidade muito baixa, baixa e moderada (FOSTER et al. 1981).

GOFF et al. (1994), estudando a erodibilidade de dois tipos de solo sob condições naturais, obtiveram valores de erodibilidade cerca de 8,5 vezes maiores para o solo arenoso ($4,88 \times 10^5$ kg. s. m⁻⁴) quando comparado ao solo argiloso ($5,67 \times 10^4$ kg.s.m⁻⁴). Esses mesmos autores verificaram também que esses valores de erodibilidade, obtidos para condições naturais, foram cerca de uma a duas vezes menores quando comparados com os valores obtidos por MEYER (1981), UNE e MEYER (1989), e LAFLEN et al. (1991), em solos cultivados. Eles atribuíram parte dessas diferenças à forma de uso do solo, que mantém as condições de encrostamento e estrutura da superfície do solo bastantes diferenciadas.

A erodibilidade do solo é, geralmente, determinada empiricamente com base em dados de campo obtidos com o uso de simuladores de chuvas. As condições experimentais, tais como, características do simulador de chuva, qualidade da água da chuva, tamanho da parcela experimental e variabilidade espacial das propriedades do solo são de extrema importância na qualidade dos resultados e não são, frequentemente, as mesmas de um estudo para o outro. Outros métodos de determinação da erodibilidade do solo incluem o uso de modelos (ROSE et al., 1983; LIEBENOW et al., 1990) e dados de erosão obtidos em parcelas experimentais (KINNELL, 1991; BEN-HUR et al., 1992; MAY et al., 1992; MEYER e HARMON, 1992). A determinação de perdas de solo e erodibilidade em condições de laboratório permitem melhor controle, pois possibilita maior número de repetições e fornece resultados mais precisos quando comparado com dados obtidos em campo.

TRUMAN e BRADFORD (1995) avaliaram a perda e a erodibilidade do solo, aplicando as equações descritas por MEYER e HARMON (1989) e KINNELL (1991) aos dados obtidos segundo três métodos: 1) caixa de solo de 0,14 m², sob simulador de chuva, com tamanho de gotas constantes; 2) caixa de solo de 0,32 m², com área de solo para bordadura e sob simulador de chuva com bocal oscilante (tamanho médio das gotas de 2,3 mm); e 3) uma parcela de 1 m², em condições de campo. Esses autores concluíram que o primeiro método não deve ser utilizado para avaliar perda de solo ou a erodibilidade, em razão de apresentar valores de perda de solo maiores e não se correlacionarem com os valores obtidos com o segundo e terceiro métodos. No entanto, os valores de perda de solo obtidos no segundo e terceiro métodos apresentaram uma correlação considerável com valores de r oscilando de 0,56 a 0,79. Verificaram também que os valores de erodibilidade calculados em função do tempo, utilizando a equação de KINNELL (1991), foram consistentes com os princípios do mecanismo de erosão, o qual assume que a erosão é um processo dinâmico que muda rapidamente durante uma chuva devido à quebra dos agregados na superfície do solo e à formação do selamento superficial; e que a erodibilidade é função das propriedades do solo relacionadas ao desprendimento e transporte de sedimentos.

Características da superfície do solo

O processo de erosão é bastante afetado pelas condições da superfície do solo, tais como a existência de vegetação ou cobertura morta, (reduzem a energia de impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, o desprendimento das partículas de solo); as condições da microtopografia e/ou rugosidade da superfície do solo (reduz a velocidade e o volume de escoamento, diminuindo a capacidade de transporte do escoamento); e a declividade da superfície do solo.

Pouca importância tem sido dada ao efeito da declividade da superfície do solo na erosão, sendo prática comum relacionar a taxa de erosão como função do quadrado da intensidade de precipitação (KINNELL, 1993; LIEBENOW et al., 1990). No entanto, WATSON e LAFLEN (1986), afirmaram que o aumento da declividade da superfície do solo aumenta a erosão laminar, embora não seja com o mesmo grau que ocorre na erosão em sulcos. Esta

conclusão foi também obtida por diversos outros pesquisadores, entre os quais, ZINGG, 1940; SMITH e WISCHMEIER, 1957; VAN LIEW e SAXTON, 1983; e HAH N et al., 1985.

McCOOL et al. (1987), revisando o fator de declividade da encosta da USLE (Universal Soil Loss Equation) recomendaram um fator, desenvolvido por FOSTER (1982), para estimar a erosão laminar em comprimentos de encosta menor que 4 m. A equação relacionando o fator de declividade (S_t) ao ângulo da encosta (Q) é:

$$S_t = 3,0(\sin Q)^{0,8} + 0,56 \quad (7)$$

em que,

S_t	=	fator de declividade, adimensional;
Q	=	ângulo da encosta.

LIEBENOW et al. (1990) determinaram a erodibilidade de 18 solos, sob condições de cultivo, e com os dados de outros estudos desenvolveram o fator de declividade (S_r) para inclusão no modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project). Tal fator, juntamente com a erodibilidade do solo e a intensidade de precipitação, foi usado para prever a erosão laminar, sendo calculado pela equação:

$$S_r = 1,05 - 0,85 \exp(-4 \sin Q) \quad (8)$$

Através da Equação 8, obtém-se um fator de declividade de 0,2 para superfícies em nível e 1,0 para as que apresentem declividade de 100%, com pequeno aumento na erosão laminar em declividades superiores a 50%, embora poucos dados com declividades acima de 30% tenham sido usados no desenvolvimento desta equação.

GHADIRI e PAYNE (1988) verificaram que a energia cinética dos salpicos de uma massa de solo aumentou de 11 % da energia de impacto em superfície horizontal para 33% da energia de impacto em uma declividade de 58%. Isso indica que há aumento na energia cinética dos salpicos quando a declividade aumenta, o que pode proporcionar maior desprendimento de partículas de solo. Isto também foi mostrado por QUANSAH (1981) e MOSLEY (1973), que encontraram salpicamento de areia seis vezes maior, em uma declividade de 47%, do que o obtido em declividade zero. No entanto, POESEN (1985) e MORGAN (1978) não encontraram relação significativa entre desprendimento de partículas e declividade do solo.

Simuladores de chuva

O desenvolvimento dos simuladores de chuva surgiu da necessidade de se acelerar as pesquisas na avaliação das perdas de água e solo causadas por práticas de manejo e cultivo, e ainda da necessidade de se estudar os processos mecânicos de erosão. Estas avaliações quando feitas com chuva natural normalmente levam um período muito longo para apresentar resultados conclusivos, sendo que neste período práticas de manejo e cultivo podem em alguns casos serem abandonadas. Desta forma, a utilização dos simuladores de chuva visa acelerar a obtenção dos dados que, por meio de chuvas naturais, levariam mais de 10 anos para apresentar resultados conclusivos (BERTONI E LOMBARDI, 1990).

Com o uso de simuladores de chuva os resultados são intensamente acelerados e obtidos com maior eficiência, visto que o fator chuva é altamente controlado.

Simuladores de chuva de vários tipos e tamanhos vêm sendo desenvolvidos desde 1930. Durante a década de 30 vários estudos foram realizados por LOWDERMILK (1930), DULEY & HAYS (1932), NICHOLS & SEXTON (1932), HENDRICKSON (1934), DISEKER & YOOER (1936), WOODRUFF, SMITH & WHITT (1938), NEAL (1938) e BORST & WOODBURN (1938), citados por MEYER & McCUNE (1958). Na época desses estudos preliminares, haviam poucas informações disponíveis sobre os valores quantitativos das características da chuva natural. Ainda não se havia reconhecido a importância do impacto das gotas de chuva sobre o solo nas perdas por erosão.

LAWS (1941) realizou um estudo da influência do tamanho e da altura de queda das gotas sobre a velocidade das mesmas ao atingir o solo. A relação entre o tamanho das gotas e a intensidade da chuva foi estudado por LAWS & PARSONS (1943).

MEYER e HARMON (1992), estudando o efeito da intensidade e energia da precipitação, evidenciaram que precipitações artificiais de mesma intensidade e duração de 30 minutos, apresentaram perdas de solo cerca de três vezes menores quando a energia cinética da precipitação foi reduzida em torno de 57%. Estes autores evidenciaram ainda, a importância do conhecimento da energia cinética da precipitação aplicada por simuladores de chuvas, utilizados nos estudos do processo de erosão, visto que a taxa de erosão pode ser várias vezes maior para condições de chuva natural, quando comparadas às chuvas artificiais, caso a precipitação simulada possua características de tamanho de gotas, velocidade terminal de gotas e energia inferiores às chuvas naturais.

MEYER & McCUNE (1958) projetaram na Universidade de Purdue um simulador de chuva que utilizava bicos pressurizados do tipo veejet 80100 com vazão de $15,14 \text{ L min}^{-1}$ para uma pressão de operação de 40 kPa, pressão esta que propiciou uma velocidade de aproximadamente $6,71 \text{ m s}^{-1}$ às gotas lançadas de uma altura de 2,44 m. As intensidades das chuvas variaram de $63,50 \text{ mm h}^{-1}$ a $127,00 \text{ mm h}^{-1}$. Esta faixa de intensidade foi considerada pelos autores como sendo as que provocam sérios problemas de erosão ao solo. Concluíram que este simulador de chuva foi capaz de produzir uma energia cinética superior a 75% daquela produzida por uma chuva artificial de mesma intensidade. Consideraram o equipamento eficiente para a maioria dos estudos comparativos de erosão dos solos, não havendo diferença significativa entre a chuva natural e a simulada.

SWANSON (1965) projetou um simulador que reduzia grandemente o requerimento de mão-de-obra. A base de seu projeto foi um equipamento comercial de irrigação de braços rotativos. O simulador, montado num reboque, foi instalado entre as parcelas, operando em nível para manter a pressão uniforme em todos os bicos. O equipamento foi projetado para ser usado em pares de parcelas retangulares espaçadas de até 4m, e apresentando comprimento máximo de 12m.

HUDSON (1977) definiu 2 tipos de simuladores baseados no princípio de formação das gotas de chuva: os de gotas não pressurizadas e os simuladores de bicos pressurizados. Os simuladores de gotas não pressurizadas foram os primeiros a serem projetados e trabalham com água gotejando nas extremidades de fios de tecido ou tubos pendurados em estruturas de metal. Os simuladores de bicos pressurizados surgiram após o reconhecimento da importância da energia cinética da chuva. Nestes equipamentos as gotas deixam os bicos sob pressão, tendo assim maior probabilidade de atingir a velocidade terminal desejada.

Sistemas de cultivo

As operações agrícolas envolvidas em um sistema de cultivo, desde os mais remotos tempos, têm sido realizadas com a finalidade de oferecer melhores condições às sementes, que serão depositadas no solo, desta forma oferecendo melhores condições ao desenvolvimento da cultura à ser implantada.

Um sistema de cultivo pode ser definido como um conjunto de operações agrícolas visando a manipulação física, química e biológica do solo, com o objetivo de otimizar as condições para a germinação das sementes, a emergência das plântulas, bem como o estabelecimento e desenvolvimento das plantas cultivadas.

Apesar dos sistemas de cultivo propiciarem condições favoráveis ao crescimento e produção das plantas cultivadas, a mobilização intensiva do solo e o movimento de veículos e máquinas, geralmente pesados, durante a instalação da cultura, têm contribuído para a formação de camadas compactadas do solo, que torna-se um fator negativo à produtividade agrícola (LANÇAS, 1988). SILVEIRA (1988) afirma que em muitas regiões, é necessário substituir os sistemas de cultivo com excessiva manipulação mecânica do solo, por sistemas que visem um mínimo de mobilização e que propiciem o máximo de resíduos vegetais na superfície do solo, garantindo melhor infiltração e retenção de água, melhor estruturação do solo, porosidade, conteúdo e distribuição de matéria orgânica.

BALASTREIRE (1987), divide o preparo do solo em inicial e periódico, sendo que o primeiro é compreendido pelo desmatamento, destoca, enleiramento e sistematização, e o segundo representado pelas operações realizadas antes da implantação de cada cultura, especialmente as anuais. Subdivide o preparo periódico em primário e secundário, sendo que o primário objetiva movimentação maior do solo, como a aração e a escarificação, enquanto que o secundário tem como objetivo a preparação do leito de semeadura, principalmente com o uso de grades.

O preparo primário tem como objetivo descompactar o solo, enquanto que o secundário visa produzir uma camada superficial suficientemente destorroada, de aproximadamente 10 cm de profundidade (leito de semeadura), o que deve ser atingido, sempre que possível, através de uma única operação agrícola.

Os sistemas de cultivo são classificados em convencional, mínimo e direto. O sistema convencional consiste no preparo primário mediante uma ou duas arações, seguido do preparo secundário por meio, de no mínimo, duas gradagens. As arações são realizadas com a utilização de arados de discos ou de aivecas, sendo que o arado de discos é mais difundido em nosso País, devido apresentar maior versatilidade nas regulagens e maior robustez, desta forma podendo atender as necessidades de aração em diferentes tipos e condições de solo com maior facilidade de operação. As gradagens são realizadas com a utilização de grades de dentes, molas ou de discos, sendo esta última a mais utilizada, devido a facilidade que o disco apresenta para cortar resíduos vegetais.

O sistema de cultivo mínimo tem como objetivo a redução das operações agrícolas necessárias ao preparo do solo para a semeadura. A redução das operações visa a diminuição da compactação causada pelo tráfego de máquinas e, o gasto com combustível, reparos e manutenção, os quais serão tanto menores, quanto menor for o número de máquinas envolvidas nas operações agrícolas de preparo do solo. Existem basicamente 3 variações do sistema de cultivo mínimo: escarificação, gradagem pesada e o preparo com enxada rotativa. Na escarificação o solo fica preparado sem inversão, e mantém em média 70% de cobertura vegetal sobre o mesmo. Além disso, as perdas de solo e água são reduzidas devido a existência de uma superfície rugosa ou superfície condicionada, como camalhões ou sulcos (MIRANDA, 1986).

A gradagem pesada consiste no preparo do solo com a utilização de grades de discos equipadas com discos de 601 mm (24") de diâmetro. Nesta variação do preparo mínimo, o solo é invertido e a vegetação é picada e incorporada ao mesmo.

O sistema de cultivo mínimo com enxada rotativa consiste em cortar o solo em pequenas frações por meio de lâminas rotativas. Causa alta mobilização do solo, implicando na destruição da estrutura e pulverização do mesmo. A superfície do solo fica com pouca ou nenhuma vegetação favorecendo a formação de crosta superficial.

O sistema de plantio direto consiste na semeadura em solo com presença de vegetação anterior triturada, sem prévia mobilização (NOLLA, 1982). DERPSCH (1984) define plantio direto como sendo um sistema de cultivo no qual a semente é colocada diretamente no solo não revolvido, usando-se para tal, semeadoras específicas para operar sobre a palha da vegetação anterior.

Somente é aberto um sulco de profundidade e largura suficiente para garantir a cobertura e o contato das sementes com o solo, e não mais que 25 a 30% da superfície do solo é mobilizada.

HILL (1993) encontrou diferença significativa entre quantidades de resíduos vegetais presentes na superfície do solo, na cultura do milho, quando mantida durante 14 anos consecutivos sob os sistemas de plantio de direto e convencional. Verificou que o sistema de plantio direto apresentou 90,4% de cobertura morta, enquanto que o sistema de cultivo convencional apresentou apenas 3,1 %. HUSSAIN et al. (1998) verificaram que a cultura da soja mantida sob o sistema de plantio direto durante 8 anos consecutivos apresentou 91 % de cobertura morta, enquanto que sob o sistema de cultivo convencional esta porcentagem foi de 6%. VIERA (1981) ressalta que no plantio direto o solo é submetido a menor tráfego de máquinas, porém, não é revolvido no processo agrícola. Em função disso, ha uma tendência ao adensamento na parte sub-superficial do solo. O adensamento tem sido verificado por meio do aumento da densidade e da diminuição da macroporosidade do solo (SIDIRAS et al., 1984). HUSSAIN et al. (1998) usaram um penetrômetro para comparar o adensamento do solo causado pelo sistema de plantio e pelo sistema de cultivo convencional, concluíram que o adensamento foi maior no sistema de plantio direto. Contudo o valor registrado no penetrômetro ficou abaixo do prejudicial ao desenvolvimento das raízes. Concluíram que o maior adensamento do solo causado pelo plantio direto não foi prejudicial ao desenvolvimento das culturas.

Práticas conservacionistas

As práticas conservacionistas são técnicas utilizadas visando aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo. Estas podem ser divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas, segundo se utilize a própria vegetação, se trate de modificações nos sistemas de cultivo, ou se recorra a estruturas artificiais construídas mediante a remoção ou disposição adequada de porções de terra. Essas medidas visam reduzir a atuação erosiva da chuva e que deverão permitir um aumento da infiltração da água no solo, indispensável para a manutenção da umidade necessária ao desenvolvimento e à produção das culturas.

Considerando-se os fatores de uso e manejo do terreno, os diferentes sistemas de cultivo propiciam diferentes condições finais de exposição do solo aos agentes erosivos, visto que promovem diferentes graus de mobilização e rugosidade da superfície do solo, e ainda grandes variações da porcentagem de cobertura do terreno pelos resíduos vegetais, com isto promovendo diferentes graus de proteção contra as perdas de água e solo. A porcentagem de solo coberta pelos resíduos vegetais das culturas tem efeito significativo no potencial de erosão (LAFLEN et al., 1978;

WISCHMEIER e SMITH, 1978; LAFLEN e COLVIN, 1981; HILL, 1993). Desta forma, os sistemas de cultivo assumem fundamental importância, visto que a quantidade perdida de solo e água dependem principalmente de como este está exposto a erosão.

HUDSON (1957) em um experimento comparativo concluiu que as perdas de solo em condições completamente desprotegidas é mais de 100 vezes maior do que em solos cultivados com a cultura do milho.

MEYER e MANNERING (1961) realizaram um experimento com o objetivo de comparar a infiltração e as perdas de solo entre 6 diferentes sistemas de cultivo, sendo 1 sistema de

cultivo convencional e os demais, 5 variações do cultivo mínimo, na cultura do milho, utilizando chuva natural e simulada.

O experimento foi instalado numa área com declividade de aproximadamente 5%. Cada parcela apresentava uma área de 3 m² (1 m x 3 m) . Foram feitas duas repetições para cada sistema de cultivo. A intensidade da chuva simulada foi de 66 mm h⁻¹ ao longo de 30 minutos, sendo aplicada em 3 períodos diferentes. A primeira aplicação foi realizada entre a segunda e a terceira semana após o plantio, quando as plantas apresentavam uma altura inferior a 30 em, a segunda após o primeiro cultivo para eliminação das ervas daninhas, quando as plantas apresentavam uma altura de aproximadamente 60 em, e a terceira após a colheita.

Os resultados apresentados referem-se ao *primeiro* ano de cultivo e foram obtidos por meio da chuva simulada. Segundo os autores, devido a baixa precipitação ocorrida no período das medições, não foi possível avaliar a infiltração nem as perdas de solo, neste primeiro ano, causados pela chuva natural.

Os autores não encontraram diferença significativa entre os 5 diferentes sistemas de cultivo mínimo. Desta forma, agruparam os valores da infiltração e das perdas de solo desses sistemas para comparação com os valores verificados no sistema de cultivo convencional.

Os resultados obtidos foram apresentados em separado para os 3 diferentes períodos de aplicação da chuva. Como resultado, foi concluído que para as chuvas simuladas logo após o plantio, a quantidade de água infiltrada e a taxa de infiltração, foram muito maiores nos sistemas de cultivo mínimo do que no sistema de cultivo convencional. Os autores atribuíram este fato a menor compactação do solo e as condições de maior rugosidade da superfície do terreno nos sistemas de cultivo mínimo. De uma precipitação total aplicada de 132 mm, a infiltração foi de 56 mm no sistema de cultivo convencional e de 83 mm nos sistemas de cultivo mínimo, e o escoamento superficial de 76 mm e 49 mm, respectivamente. Os autores verificaram que as perdas de solo ocorridas no sistema de cultivo convencional foram aproximadamente 2 vezes maiores que as verificadas nos sistemas de cultivo mínimo. A quantidade de solo perdida no sistema de cultivo convencional foi de 41,27 t ha⁻¹ ano no sistema de cultivo convencional e de 21,5 t ha⁻¹ ano no sistema de cultivo mínimo. A diferença relativa das perdas de solo e da infiltração entre os sistemas de cultivo decrescem ao longo do tempo, devido ao aumento da umidade e da compactação do solo pelas sucessivas chuvas simuladas. Após a aplicação da primeira série de chuvas simuladas, foram realizadas capinas mecânicas nas parcelas sob o sistema de cultivo convencional e nas parcelas sob 2 diferentes sistemas de cultivo mínimo. Nas demais parcelas, sob os outros 3 diferentes sistemas de cultivo mínimo, não houve nenhum tipo de trato cultural. Os autores concluíram que a infiltração aumentou consideravelmente nas parcelas onde houve as capinas mecânicas. Atribuíram este fato a eliminação da crosta superficial do solo, formada pela aplicação das chuvas após o plantio, por meio das capinas mecânicas. Observaram que o solo das demais parcelas apresentava crosta superficial. Concluíram ainda, que mesmo após a capina mecânica, o sistema de cultivo mínimo apresentou maior infiltração que o sistema de cultivo convencional. Após a realização das capinas mecânicas, a perda de solo no sistema de cultivo mínimo, ainda manteve-se muito menor do que no sistema de cultivo convencional. A quantidade de solo perdida, onde houve capina mecânica, foi de 25,7 t ha⁻¹ ano no sistema de cultivo convencional, 16,31 t ha⁻¹ ano no sistema de cultivo mínimo. No sistema de cultivo mínimo onde não foi realizado capina a quantidade de solo perdida foi de 36,82 t ha⁻¹ ano. Após a colheita da cultura foi realizada a terceira aplicação de chuva simulada. Os colmos da cultura de milho foram quebrados a uma altura de 60 em do solo a fim de simular a colheita mecanizada. Os autores verificaram que a infiltração das parcelas cultivadas, ainda manteve-se maior do que a infiltração das parcelas que não foram cultivadas e que, nas parcelas onde houve as capinas mecânicas, a quantidade e a taxa de infiltração no sistema de cultivo mínimo foram maiores do que no

sistema de cultivo convencional, e ainda que a taxa de infiltração decresceu ao longo do tempo. A quantidade total de água infiltrada, nos tratamentos onde houve capina mecânica, foi de 86 mm no sistema de cultivo convencional e de 96 mm no sistema de cultivo mínimo. No sistema de cultivo mínimo onde não houve capina mecânica foi de 71 mm. O escoamento superficial foi de 46 mm, 36 mm e 61 mm, respectivamente. As menores perdas de solo continuaram sendo verificadas no sistema de cultivo mínimo onde houve capina mecânica. A quantidade total de solo perdida, nos tratamentos onde houve capina mecânica, foi de 5,93 t ha⁻¹ ano no sistema de cultivo convencional e de 2,96 t ha⁻¹ ano no sistema de cultivo mínimo. No sistema de cultivo mínimo onde não houve capina foi de 2,72 t ha⁻¹ ano. Os autores concluíram que as perdas de solo verificadas nesta terceira aplicação da chuva simulada, foram menores que nas outras duas aplicações anteriores. Atribuíram este fato a grande redução da quantidade de solo presente no escoamento superficial desta última aplicação, devido a presença de grande quantidade de massa verde nas entrelinhas da cultura no sistema de cultivo mínimo, onde não foram realizadas capinas mecânicas, o que propiciou maior proteção às perdas de solo. Nos tratamentos onde foram realizadas capinas mecânicas, os colmos da cultura do milho foram a única proteção contra as perdas de solo. Devido a estas condições, o sistema de cultivo mínimo sem capinas, apresentou menores perdas de solo nesta última aplicação da chuva que nas outras duas aplicações anteriores. Como resultado final das 3 aplicações da chuva simulada, os autores concluíram que o cultivo mínimo e as capinas mecânicas apresentaram efeito significativo no aumento da infiltração da água no solo.

McISAAC et al. (1987) realizaram um experimento usando simulador de chuvas de braços rotativos do tipo descrito por SWANSON (1965), aplicando uma intensidade de 64 mm h⁻¹, para avaliar as perdas de nutrientes e a erosão em 5 diferentes sistemas de cultivo, nas culturas do milho e da soja durante 2 anos consecutivos, entre 1984 e 1985. Em 1984 a soja foi plantada numa área onde havia sido cultivado milho no ano anterior. Em 1985 o milho foi plantado sobre os resíduos da soja. Foram feitas 4 repetições para cada sistema de cultivo no sentido da declividade e 4 repetições para cada sistema de cultivo seguindo as curvas de nível do terreno. O escoamento superficial, as perdas de solo, as perdas de nutrientes e a concentração de nutrientes foram significativamente diferentes para cada ano de cultivo, O escoamento superficial e as perdas de solo foram maiores no ano de 1985, quando o milho foi cultivado após a soja. Os autores atribuíram este resultado a menor quantidade de resíduos vegetais produzidos pela cultura da soja. Os sistemas de cultivo afetaram significativamente o escoamento superficial, as perdas de solo, as perdas de nutrientes e a concentração de nutrientes presentes no material erodido. O maior valor do escoamento superficial e de perdas de solo foi observado no sistema de cultivo convencional. A maior concentração de fósforo solúvel foi verificada no sistema de plantio direto. Os autores explicam este resultado ao fato do fertilizante não haver sido incorporado ao solo no sistema de plantio direto. A orientação das linhas da cultura afetaram significativamente o escoamento superficial, as perdas de solo e de nutrientes. As maiores perdas foram observadas nas parcelas onde as linhas seguiam o sentido da declividade do terreno.

DICK et al. (1991) realizaram um experimento na Universidade do Estado de Ohio com o objetivo de avaliar os efeitos no escoamento superficial, nas perdas de solo e na produção das culturas do milho e da soja mantidas por longos períodos sob o sistema de plantio direto. O experimento foi instalado em 4 locais diferentes no Estado de Ohio. Concluíram que houve diferença significativa entre as perdas de solo dos sistemas de cultivo, sendo que as parcelas cultivadas sob o sistema de cultivo convencional perderam aproximadamente mais de 53 kg ha⁻¹ ano do que as parcelas cultivadas sob o sistema de cultivo de plantio direto. Mesmo em terrenos com declividades moderadas (2-5%) houve diferença significativa quando cultivados por longos períodos (15-20 anos). Os autores concluíram que o escoamento superficial e as perdas de solo são significativamente diminuídos em solos cultivados por longos períodos com o sistema de plantio direto, e ainda que o plantio direto

nos primeiros anos de sua utilização apresentou produções menores que o cultivo convencional. Contudo, sua vantagem em relação ao cultivo convencional pode ser observada com o passar dos anos.

HILL (1993) realizou experimento em Maryland, em duas localidades diferentes, Piedmont region (localidade 1) e Costal Plain region (localidade 2) com o objetivo de determinar os efeitos do tráfego de máquinas e dos sistemas de cultivo convencional e de plantio direto, no escoamento superficial e nas perdas de solo na cultura do milho. Utilizou um simulador de chuva portátil similar ao descrito por MEYER e HARMON (1979), equipado com bicos veejet 80150 operando a pressão de 40 kPa. Foram aplicadas 3 intensidades de chuva (76, 94 e 120 mm h⁻¹) durante 30 minutos em uma área de 0,76 m² nas entrelinhas da cultura no interior das parcelas. Concluiu que houve diferença significativa entre os valores do escoamento superficial e das perdas de solo do sistema convencional quando comparados com os valores verificados no sistema de plantio direto em ambas localidades. O escoamento superficial no sistema de cultivo convencional foi consideravelmente maior que os valores verificados no sistema de plantio direto em ambas localidades. Houve pouca diferença entre os valores do escoamento superficial, verificados no sistema de cultivo convencional, nas duas diferentes localidades. O escoamento superficial no sistema de plantio direto verificado na localidade 2 foi muito próximo do escoamento superficial verificado no sistema de cultivo convencional na localidade 1. O escoamento superficial no sistema de plantio direto apresentou maiores valores na localidade 2 do que na localidade 1. A diferença entre os valores do escoamento superficial dos sistemas de cultivo na localidade 1 foram maiores que os valores verificados na localidade 2. O autor atribui estas diferenças tanto a diferença entre as texturas do solo das 2 localidades (25% areia e 24% argila na localidade 1 e 22% areia e 12% argila na localidade 2) quanto aos diferentes períodos de permanência das localidades nos sistemas de cultivo (3 anos na localidade 1 e 14 anos na localidade 2). O autor verificou que os valores das perdas de solo no sistema de cultivo convencional foram de 6 a 7 vezes maiores que os valores verificados no sistema de plantio direto. Ele ainda enfatiza a magnitude da diferença das perdas de solo entre os 2 sistemas de cultivo e a importância da cobertura morta na redução das perdas de solo causadas pela erosão. A porcentagem de cobertura morta foi de diferença significativa, tanto para o escoamento superficial como para as perdas de solo ao longo do tempo, nos 2 sistemas de cultivo, em ambas localidades, e ainda que houve diferença significativa, tanto para o escoamento superficial como para as perdas de solo entre a localidade 1 e a localidade 2. O autor considerou que esta diferença pode ser atribuída às diferenças entre as texturas dos solos das localidades, visto que a localidade 2 apresentou maiores perdas de solo e contém a metade da porcentagem de argila da localidade 1.

HUSSAIN et al. (1998) compararam os efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto nas perdas de solo e na produção da cultura do milho e da soja, mantidas sob os 3 diferentes sistemas de cultivo durante 8 anos consecutivos. O sistema convencional foi realizado com arado de aivecas, o sistema de cultivo mínimo com a utilização do escarificador e o plantio direto sem mobilização do solo. Calcularam as perdas de solo, médias das 2 culturas, por meio da USLE (Universal Soil Loss Equation) e concluíram que, houve diferença significativa entre as perdas de solo nos sistemas de cultivo, sendo que o sistema de cultivo convencional apresentou maiores perdas de solo (29,5 t ha⁻¹ ano), seguido do sistema de cultivo mínimo (21,1 t ha⁻¹ ano) e do sistema de plantio direto (7,9 t ha⁻¹ ano). Atribuíram as menores perdas de solo ocorridas no sistema de plantio direto a maior quantidade de resíduos vegetais presentes na superfície do solo neste sistema. Não encontraram diferença significativa entre os sistemas de cultivo nas produções, tanto para a cultura do milho quanto para a cultura da soja, mantidas durante 8 anos consecutivos sob os 3 sistemas de cultivo.

Considerando, portanto, que os sistemas de cultivo têm efeito significativo nas perdas de água e solo, e sendo o milho (*Zea mays* L.) cultivado em grandes áreas, é de interesse a

realização de estudos visando identificar o sistema de cultivo que melhor proteção poderá oferecer ao solo contra a erosão causada pelas chuvas nesta cultura. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo, decorrentes da erosão hídrica na cultura do milho, em condições de campo, com a cultura submetida a uma intensidade de chuva simulada e constante, durante intervalos de tempo consecutivos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um solo podzólico vermelho amarelo, série Itaguaí (RAMOS, 1970), com 22% de areia, 20% de silte e 58% de argila, em um terreno com declividade média de 5%, situado em uma área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no Instituto de Agronomia, no setor de campo de grandes culturas do Departamento de Fitotecnia, com área experimental de aproximadamente 3000 m². As ervas daninhas predominantes encontradas na área do experimento foram o colônio (*panicum maximum*), o picão-roxo (*ageratum conyzoides*), o picão-preto (*bidens pilosa*), o caruru (*amaranthus retroflexus*) e a tiririca (*cyperus rotundus*). O experimento foi constituído de 24 (vinte e quatro) parcelas de 5m x 5m, com área igual entre as mesmas para a circulação das máquinas. Em cada parcela de 25 m² (5 m x 5 m), foi retirado para bordadura, um metro linear em cada cabeceira de fileira e em cada lateral das parcelas, ficando assim uma área útil experimental de 9 m² constituída pelas 3 fileiras centrais das parcelas. O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas (Figura 1), constituído de três tratamentos e oito repetições, onde o efeito principal estudado foi o sistema de preparo do solo. As parcelas subdivididas foram constituídas pela repetição da aplicação da chuva em 7 intervalos de tempo consecutivos de duração de 5 min, num total de 35 min de aplicação da chuva em cada parcela dos tratamentos, com o objetivo de avaliar o efeito da duração da chuva nas perdas de água e solo.

A adubação de plantio, feita segundo análise química do solo, foi realizada na proporção de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 40 kg ha⁻¹ de potássio (K20) e 60 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅). O adubo utilizados como fonte de nitrogênio foi o sulfato de amônio na quantidade de 200 kg ha⁻¹; como fonte de potássio o cloreto de potássio na quantidade de 100 kg ha⁻¹; e como fonte de fósforo o superfosfato simples na quantidade de 200 kg ha⁻¹, o que resultou em se aplicar 250 g da mistura dos adubos por metro linear em cada linha de plantio.

Figura 1. Croqui do experimento no campo

Aos 36 dias do plantio, no dia 08/03/95, foi feita uma adubação de cobertura onde foi aplicado 30 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se como fonte de nitrogênio o sulfato de amônia na quantidade de 150 kg ha⁻¹, aplicado manualmente ao lado das plantas.

Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para execução do experimento foram os seguintes:

- 1) simulador de chuva portátil, construído no Departamento de Engenharia da Universidade de Maryland, USA, (figura 2) com os seguintes acessórios:
 - 1.1) tanque reboque para alimentação do simulador com capacidade para 2000 litros;
 - 1.2) dois geradores para fornecimento de energia para o simulador no campo;
 - 1.3) painel de controle remoto para regulagem das intensidades das chuvas;
 - 1.4) 168 frascos de plástico de 1 L para coleta das amostras no campo;
 - 1.5) um manômetro;
 - 1.6) dois cronômetros;
- 2) Trator Massey Ferguson modelo 265;
- 3) Arado Massey Ferguson de 3 discos de 28" de diâmetro;
- 4) Grade de discos em "X" marca Baldan de 28 discos de 18" de diâmetro;
- 5) Enxada rotativa;
- 6) Pulverizador costa I marca Jacto;
- 7) Roçadeira marca FNI-Howard, modelo 17600;
- 8) Balança Filizola de 25 Kg.

Figura 2. Esquema para montagem do simulador de chuvas.

Sistemas de preparo do solo

O experimento apresentou 3 tratamentos, sendo cada um deles representado por um dos seguintes sistemas de preparo do solo:

- a) PLANTIO DIRETO: o solo não foi mobilizado apresentando cobertura morta proveniente de resíduos vegetais da cultura anterior de milho e ervas daninhas, os quais foram picados com a utilização de roçadeira. O controle das ervas daninhas foi feito com aplicações pré-plantio da mistura dos herbicidas Gramoxone e Roundup (Paraquat e Glyphosate) nas dosagens de 2 L.ha⁻¹ e 4 L.ha⁻¹, respectivamente, antes da implantação da cultura, no dia 24/01/95. Durante o desenvolvimento da cultura foram feitas aplicações de BiHedonal (2,4-0 + MCPA.56,7% ácido livre) na proporção de 0,2%, isto é, 2 L do produto para cada 1000

L de água, sendo aplicado com pulverizador costal em jato dirigido nas entrelinhas da cultura.

b) CULTIVO CONVENCIONAL: as ervas daninhas e os restos da cultura anterior foram incorporados ao solo com a utilização do arado de discos a uma profundidade de aproximadamente 20 cm, seguido de 2 passadas da grade de discos. Neste método de preparo do solo, o controle de ervas daninhas foi realizado por meio de capinas mecânicas manuais, não havendo o uso de herbicidas.

c) CULTIVO MÍNIMO: os resíduos vegetais foram incorporados ao solo com a utilização da enxada rotativa a uma profundidade de aproximadamente 15 cm. O solo ficou preparado para o plantio com apenas a utilização dessa máquina. O controle das ervas daninhas foi feito por meio de capinas mecânicas manuais.

O cultivar usado foi o AG 405, duplo precoce, de porte médio, ST 865, que foi plantado em 30/01/95 com espaçamento de 1 (um) metro entre linhas e 5-6 plantas por metro linear conforme MONTALVO (1983), de modo a se obter uma população de aproximadamente 50.000 plantas por hectare.

Aplicação da chuva artificial

O Simulador de Chuva utilizado foi do tipo Portátil Alternado, construído na Universidade de Maryland, USA, equipado com bicos veejet 150 de 80° de abertura do leque, operando a pressão de 60 KPa. A calibração teve como objetivo identificar a regulagem do medidor de ciclos do simulador, equivalente a uma intensidade de aproximadamente 55 mm.h⁻¹, representativa da média aritmética das 8 maiores chuvas com intensidades maiores que 25 mm.h⁻¹, consideradas erosivas (HUDSON, 1977), ocorridas na região de Seropédica, num período de 10 anos, compreendido entre 1984 e 1993.

Foram coletadas amostras das chuvas simuladas durante 10 min, em uma área coletora de 130,25 cm², constituída por 5 recipientes de área conhecida, igual a 26,05 cm² cada, distribuídos uniformemente na área de aplicação da chuva simulada (1 m²).

A primeira amostra foi coletada com o medidor de ciclos do simulador regulado para operar a 1,5 s.ciclo⁻¹, o que significa aplicar jatos alternados de água na área da calha coletora a cada 1,5 s. Para esta regulagem do medidor de ciclos, obteve-se um volume total de água, proveniente da soma dos 5 recipientes, igual a 200 ml, durante o tempo de 10 min, resultando numa intensidade de chuva de 92,13 mm.h⁻¹. A Segunda amostra foi coletada com o medidor de ciclos do simulador regulado para 2,0 s.ciclo⁻¹, resultando numa intensidade média de 78,13 mm.h⁻¹, ainda um pouco acima do resultado desejado. Desta forma, houve a necessidade de novas amostragens das intensidades. Adotou-se o mesmo tempo anterior de 10 min para a coleta dos dados, regulando-se o medidor de ciclos para 2,5 s.ciclo⁻¹ e 2,7 s.ciclo⁻¹. Os volumes de água coletados foram respectivamente de 140 ml e 120 ml, resultando em intensidades de chuvas de 64,47 mm.h⁻¹ e 55,26 mm.h⁻¹. Em seguida foi feita a calibração do simulador para realizar o pré-molhamento. Para obtenção da intensidade desejada, o simulador operou com o medidor de ciclos a 4,0 s.ciclo⁻¹. Essa regulagem resultou num volume coletado de 50 ml de água para um tempo de 10 min de chuva, obtendo-se uma intensidade de aproximadamente 23 mm.h⁻¹. Todas as amostras das perdas de água e solo realizadas no decorrer do experimento foram feitas com o medidor de ciclos do simulador regulado para 2,7 s.ciclo⁻¹, o que significa aplicar uma intensidade de chuva de aproximadamente 55 mm.h⁻¹. Para a realização do pré-molhamento a intensidade utilizada foi de 23 mm.h⁻¹, que foi aplicada com o objetivo de propiciar condições uniformes de umidade entre as parcelas. O tempo de aplicação da chuva de pré-molhamento variou de 9 a 20 min, conforme as condições iniciais de umidade das parcelas. A intensidade da chuva simulada foi obtida por meio da equação 10.

$$I = \frac{V}{A} \cdot 60 \quad (9)$$

em que,

I	=	intensidade da chuva simulada, mm.h ⁻¹ ;
V	=	volume coletado de água, ml;
A	=	área coletora total, 130,25 cm ² ;
60	=	fator de conversão de unidades.

No Quadro 1 estão apresentados os valores referentes à calibração do simulador de chuva.

Quadro 1. Valores referentes à calibração do simulador de chuva

Data do ensaio	Área coletora (cm ²)	Volume coletado (ml)	Tempo (min)	Ciclos (s.ciclos ⁻¹)	Intensidade (mm h ⁻¹)
14/03/95	130,25	200	10	1,5	92,13
15/03/95	130,25	170	10	2,0	78,13
16/03/95	130,25	140	10	2,5	64,49
16/03/95	130,25	120	10	2,7	55,28
16/03/95	130,25	50	10	4,0	23,03

A chuva artificial foi aplicada numa área de 1 m², definida pelas dimensões da calha cravada no solo a 15 cm de profundidade em uma das linhas de plantio da cultura, contida na área útil da parcela. A calha apresentava um dispositivo "tipo funil" em uma de suas extremidades, o qual ficou direcionado no sentido da declividade do terreno, de modo a permitir a coleta da água e do solo arrastados pela chuva artificial. A chuva foi aplicada utilizando-se um simulador portátil de bicos pressurizados. O simulador foi centrado sobre a calha de forma a permitir uma distribuição uniforme sobre a área de aplicação da chuva. A chuva foi aplicada na 3ª linha de cada parcela, de uma altura de 3,60 m, simulando em 70% o impacto de uma chuva natural. A intensidade da chuva aplicada foi a média aritmética das oito maiores chuvas acima de 25 mm h⁻¹ (chuvas erosivas), ocorridas na região de Seropédica, município de Itaguaí-RJ, durante um período de 10 anos, isto é, entre 1984 a 1993, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Intensidade máxima da chuva (mm.h⁻¹) para um período de 10 anos (1984/1993), coletadas na estação experimental de Itaguaí/Pesagro-RJ. Coordenadas geográficas: Lat.22°45'S; Long.43°41'W ; Alt.33m

Ano	Mês
-----	-----

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1984	6,69	5,39	58,50	7,59	21,60	5,40	4,00	4,00	4,08	28,70	6,57	2,30	12,90
1985	5,45	6,90	5,44	11,22	26,02	2,53	13,20	3,47	7,29	13,20	25,60	8,89	10,77
1986	27,00	3,98	5,93	10,80	66,00	165,00	2,95	5,17	20,00	2,07	1,40	15,91	27,19
1987	9,85	5,97	10,55	2,73	6,03	31,20	2,91	2,44	3,70	1,77	15,56	17,71	9,20
1988	8,86	5,68	5,35	11,92	15,00	2,23	2,61	2,74	9,03	12,60	3,21	12,15	7,61
1989	11,14	14,60	5,45	6,03	5,05	8,55	4,80	4,94	12,83	6,48	7,24	19,55/	8,89
1990	11,17	4,85	12,39	15,92	6,88	4,81	3,43	8,00	7,52	3,18	4,32	4,20	7,22
1991	18,99	6,57	16,68	18,32	29,14	4,83	5,06	1,69	4,50	5,01	8,86	34,03	12,81
1992	7,81	4,80	5,54	5,25	6,32	3,55	8,00	1,67	6,50	5,62	9,41	7,53	6,00
1993	3,98	7,98	8,13	15,84	3,37	4,61	8,00	2,70	10,80	5,13	7,20	7,12 I	7,07
Média	11,09	6,67	13,40	10,56	18,54	23,27	5,50	3,68	8,63	8,38	8,94	12,94	10,97

Antes de se iniciar a aplicação da chuva simulada para a obtenção dos dados, a área de aplicação da chuva foi previamente umedecida, com intensidade de 23 mm h^{-1} por um período que variou de 9 a 25 min, conforme as condições iniciais de umidade das parcelas, o que permitiu saturar o solo, sem contudo provocar o escoamento superficial. Durante esse período de pré-molhamento, a chuva foi aplicada até que tivesse início o escoamento do material erodido pelo funil da calha coletora. O objetivo deste período de pré-molhamento é oferecer condições de umidade uniformes a todas as parcelas, pré-requisito necessário antes de se iniciar a aplicação da chuva artificial nas parcelas. Após o pré-molhamento, procedeu-se a interrupção do funcionamento do simulador durante 10 min, com o objetivo de promover condições iniciais iguais de taxa de infiltração em todas as parcelas. Decorridos 10 min, iniciou-se a aplicação da chuva simulada de intensidade igual a 55 mm.h^{-1} , coletando-se sete amostras em cada parcela, em recipientes de 1 L, com intervalos de cinco minutos entre cada amostra. A coleta da primeira amostra teve início assim que ocorreu o aparecimento do escoamento das primeiras gotas através do funil da calha coletora. O intervalo de tempo compreendido entre o início da aplicação da chuva artificial e o início da coleta do primeiro frasco é denominado "tempo para o início do escoamento superficial" e foi registrado no início da avaliação de cada parcela do experimento. Se após cinco minutos o recipiente se apresentasse completamente cheio, a coleta era interrompida, sendo o volume registrado, e imediatamente iniciada a coleta da próxima amostra. Caso o recipiente se enchesse completamente antes de completar os 5 min, registrava-se o tempo para o seu preenchimento, e esperava-se o tempo necessário até completar o intervalo de 5 min em relação a amostra anterior. As amostras permaneceram em laboratório em frascos completamente vedados até a realização das análises de sedimentos arrastados pela chuva artificial aplicada. As quantidades de sedimentos presentes nas amostras foram quantificadas através de Análise Granulométrica, segundo Roteiro de Aulas Práticas de Física do Solo I, realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As amostras foram colocadas em becher de 1 L sobre manta elétrica até que a água contida nas mesmas estivesse parcialmente evaporada. Em seguida, foram colocadas em estufa numa temperatura de 105°C por um período de 24 h visando a completa evaporação da água contida nas mesmas.

Cálculo do escoamento superficial

Equação 10 foi utilizada para calcular o escoamento superficial para cada intervalo de tempo.

$$E = \frac{V_s}{A_s} \quad (10)$$

em que,

E	=	escoamento superficial, mm;
V_s	=	volume de escoamento em 5 min, L;
A_s	=	área da calha coletora, 1 m ² .

O volume escoado em 5 min, foi obtido pela equação 11.

$$V_s = \frac{f}{V_f} \quad (10)$$

em que,

f	=	fator de tempo, obtido pela Equação 12;
V_f	=	volume do frasco, 1 L.

$$f = \frac{5}{T} \quad (12)$$

em que,

T	=	tempo para preenchimento do frasco, min.
-----	---	--

A infiltração foi determinada considerando-se que o volume de água de chuva que não foi escoado pela calha foi infiltrado no solo (Equação 13).

$$I = P - E \quad (13)$$

em que,

I	=	infiltração de água no solo, mm;
P	=	precipitação, mm;
E	=	escoamento superficial, mm.

A precipitação no intervalo de 5 minutos foi calculada por meio da equação 14.

$$P_5 = I_a \cdot \frac{5}{60} \quad (14)$$

em que,

P_5	=	precipitação de chuva artificial no intervalo de 5 min;
I_a	=	intensidade da chuva artificial, 55 mm.h ⁻¹ .

Avaliação da produtividade

Para a avaliação da produtividade foram colhidas todas as espigas de milho verde contidas em uma área de 4 m² da área útil das parcelas. As espigas foram contadas e pesadas com palha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escoamento superficial

Os valores do escoamento superficial ao longo do tempo, média das 8 repetições, resultado da aplicação da chuva artificial nos três sistemas de cultivo, são apresentados no Quadros 3. Os valores utilizados para a confecção do Quadro 3 estão no apêndice A, nos quadros A 1, A2 e A3. De acordo com os dados apresentados no Quadro 3 verificou-se que a intensidade de precipitação manteve-se constante ao longo do tempo, uma vez que foram fixados os valores de intervalo de tempo (5 min) e precipitação (4,58 mm). Desta forma, seu valor foi igual a 0,916 mm min⁻¹, ou seja, 55 mm h⁻¹. Verifica-se que o sistema de cultivo que apresentou maior escoamento superficial foi o sistema de cultivo mínimo, sendo o valor registrado neste sistema duas vezes maior que no sistema de plantio direto e 1,5 vezes maior que no sistema de cultivo convencional.

Quadro 3 - Escoamento superficial ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo

DADOS MÉDIOS NOS INTERVALOS		
Tempo após	Precipitação	Escoamento superficial

Início do escoamento (min)	no intervalo (mm)	Direto (mm)	Convencional (mm)	Mínimo (mm)
5	4,58	0,43	0,81	0,91
10	4,58	0,64	0,97	1,64
15	4,58	0,92	1,12	1,81
20	4,58	1,00	1,19	2,04
25	4,58	1,09	1,34	2,24
30	4,58	1,25	1,61	2,32
35	4,58	1,29	1,80	2,53
TOTAL	32,06	6,62	8,84	13,49

O escoamento superficial foi significativamente diferente entre os sistemas de cultivo, de acordo com a análise de variância apresentada no quadro 06 do apêndice D.

O sistema de cultivo convencional apresentou escoamento superficial de 1,33 vezes maior que o sistema de plantio direto, contudo não houve diferença significativa entre o escoamento superficial dos 2 tratamentos, de acordo com o teste de tukey apresentado no Quadro 4. Comparando-se os valores das médias do escoamento superficial no sistema de cultivo mínimo com os do sistema de plantio direto, verifica-se que eles diferiram significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, conforme dados apresentados no quadro 4. Estes resultados estão de acordo com MEYER & MANNERING (1961), onde concluíram que o sistema de cultivo que causa menor compactação, maior rugosidade do terreno, e maior presença de resíduos vegetais na superfície do solo, causará menor escoamento superficial da água da chuva.

Quadro 4 - Teste de tukey para o escoamento superficial nos sistemas de cultivo

Sistemas	Observações	Médias	Comparações
Mínimo	56	1,9257	A
Convencional	56	1,2623	AB
Direto	56	0,9459	B

De acordo com os dados apresentados no Quadro 3, verifica-se que o escoamento superficial no início do teste foi menor no sistema de plantio direto, mantendo-se menor que os demais ao longo do tempo, evidenciando a importância da cobertura morta na redução do escoamento superficial. (FOSTER, 1982; WATSON e LAFLEN, 1986) citam as características da superfície do solo como um dos fatores básicos no processo da erosão.

O cultivo convencional e o cultivo mínimo apresentaram aproximadamente o mesmo escoamento superficial no início do teste, contudo no decorrer do segundo intervalo de tempo houve um acentuado aumento do escoamento superficial no sistema de cultivo mínimo, mantendo-se esta diferença constante ao longo do tempo. Isto deve-se a formação no solo de uma crosta superficial impermeável no sistema de cultivo mínimo, devido ao alto grau de pulverização do solo promovido por esse sistema de cultivo, causado pelo uso da enxada rotativa, que diminui a quantidade de macroporos do solo, com isso promoveu um acentuado aumento do escoamento superficial logo nos primeiros minutos do teste. (LANÇAS, 1988) estudando o desempenho de subsoladores, concluiu que os sistemas de cultivo que promovem intensa mobilização do solo tendem a promover a formação de crosta superficial. O sistema de cultivo convencional foi realizado por meio de aração e gradagens. Desta forma o terreno apresentou maior rugosidade e menor mobilização quando comparado com sistema de cultivo mínimo com enxada rotativa. Promovendo assim maior retenção de água que o sistema de cultivo mínimo. Contudo, esta diferença não foi significativa, isto devido ao curto período de tempo em que o solo foi mantido sob os dois diferentes sistemas de cultivo. DICK et al (1991) e HILL (1993) encontraram diferença significativa entre os demais sistemas de cultivo e o sistema de cultivo convencional, contudo o solo foi mantido por mais de quatro anos consecutivos sob os diferentes sistemas de cultivo.

De acordo com os dados apresentados no quadro três, verifica-se que o escoamento superficial aumentou ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo. Isto foi devido a saturação do solo pela água da chuva simulada durante os 35 min do teste, que diminuindo a infiltração aumentou o escoamento superficial. O escoamento superficial no sistema de cultivo convencional apresentou taxa de acréscimo média igual a 23%14%, sendo de 11 % no primeiro intervalo de 5 minutos e de 14% no último de intervalo de tempo. A variação na taxa de escoamento superficial neste sistema de cultivo foi menor que no sistema de plantio direto. Contudo o sistema de plantio direto não apresentou taxa final de escoamento superficial quase quatro vezes menor que o sistema convencional e igual a 3%, evidenciando a influência da cobertura vegetal sobre o terreno na redução do escoamento superficial. O escoamento superficial no sistema de cultivo mínimo apresentou taxa de acréscimo de

aproximadamente 178%, quando com valor mínimo de 0,91 mm e máximo de 2,53 mm se compara o escoamento superficial do primeiro intervalo (0,91 mm) com o valor verificado no último intervalo de aplicação da chuva (2,53 mm). O incremento no valor do de escoamento superficial foi maior do primeiro para o segundo intervalo de tempo onde e igual houve acréscimo de a 80%. Nos intervalos seguintes foi acrescido a uma taxa média de aproximadamente 11 % até o último intervalo de tempo. Foi o sistema de cultivo que apresentou o maior taxa de acréscimo do de escoamento superficial, resultado este devido ao excesso de pulverização do solo causado esperado, visto que o por este sistema de cultivo. A pulverização excessiva, provavelmente deve ter mínimo com enxada rotativa foi o que mais mobilizou e pulverizou o solo, com isto favorecendo o selamento do solo , e com isso resultando em verificado pela alta altas taxa taxas de acréscimo de no escoamento superficial logo nos primeiros intervalos de tempo.

Ao se comparar os valores de escoamento superficial ao longo do tempo, houve para o mesmo intervalo de tempo (5 min), verifica-se que houve diferença significativa entre os valores ao longo do tempo, conforme resultados apresentados eles ao se proceder à uma análise de variância conforme apresentado no apêndice D (Quadro D2). De acordo com esse mesmo quadro verifica-se que não houve interação entre o escoamento superficial dos três sistemas de cultivo ao longo do tempo. Desta forma conclui-se que a variação do escoamento superficial ao longo do tempo apresentou o mesmo comportamento para os três sistemas de cultivo. Ao proceder a análise da regressão dos valores do escoamento em relação aos intervalos de tempo, a relação foi linear e significativa ao nível de 5%, conforme os Quadros D7 e D8 encontrados no apêndice D. A Figura 3 ilustra a regressão entre os valores de intervalo de tempo e escoamento, com coeficiente de determinação R^2 de 0,9688, cuja equação ajustada é:

em que:

E = escoamento superficial, L; T_c = duração da chuva, min

Figura 3 - Comportamento do escoamento superficial ao longo do tempo.

Perdas de solo

Os valores das perdas de solo ao longo do tempo, resultado da aplicação da chuva artificial nos três sistemas de cultivo, são apresentados no Quadro 5. Os valores utilizados para a confecção desse quadro encontram-se no apêndice A. De acordo com os dados apresentados nesse quadro verifica-se que o sistema de cultivo convencional foi o que apresentou maior perda de solo. Essa maior perda de solo no sistema de cultivo convencional foi também verificada por diversos pesquisadores, entre os quais, [MAYER et al. ,1961](#); [McISAAC McISAAC et al. ,1987](#); [DICK et al. ,1991](#); [HILL, 1993](#) e [HUSSAIN et al. ,1998](#). As perdas de solo nesse sistema de cultivo foram aproximadamente três vezes maiores que no sistema de cultivo mínimos e duas vezes maiores que no sistema de plantio direto. Diferenças maiores foram encontradas por [HILL \(1993\)](#). Isto pode ter sido devido a maior intensidade de chuva utilizada na realização do experimento. O autor utilizou três intensidades diferentes (76,94 e 120 mm.h⁻¹), e conclui que a intensidade da chuva tem influência significativa nas perdas de solo. Outros pesquisadores, tais como, [BUBENZER e JONES \(1971\)](#), [MEYER \(1981\)](#) E [MEYER e HARMON \(1992\)](#) também encontraram alta correlação da intensidade da chuva com o processo erosivo.

Quadro 5 - Perdas de solo ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo

Intervalo de tempo (min)	Direto (g)	Convencional I (g)	Mínimo (g)
--------------------------	------------	--------------------	------------

5	1,24	1,88	1,06
10	1,24	1,82	1,05
15	1,45	2,82	0,92
20	1,24	2,38	0,77
25	1,31	3,04	0,77
30	0,95	2,75	0,80
35	1,00	2,47	0,87
Total	8,43	17,15	6,24

Houve diferença significativa entre as perdas de solo dos sistemas de cultivo, de acordo com análise de variância apresentada no Quadro D1 do apêndice de D.

O Quadro 6 apresenta o resultado do teste de tukey ao nível de 5% para as médias das perdas de solo, convertidas para raiz quadrada. De acordo com os dados apresentados nesse quadro, verifica-se que houve diferença significativa entre valores das perdas de solo do sistema convencional e mínimo. Observa-se no Quadro 5 que ao longo do tempo as perdas de solo no sistema convencional foram sempre maiores que no sistema de plantio direto, mantendo-se em média 2,2 vezes maior, contudo esta diferença não foi significativa quando comparada ao nível de 5% pelo teste de Tukey, conforme apresentado no quadro 6.

Quadro 6 - Teste de tukey para as perdas de solo (valores convertidos para a raiz)

Sistemas	Observações	Médias	Comparações
Convencional	56	1,5028	A
Direto	56	0,8954	AB
Mínimo	56	0,7880	B

HILL (1993) encontrou diferença significativa entre as perdas de solo do sistema de cultivo convencional e do plantio direto. Contudo as parcelas foram mantidas sob os diferentes sistemas de cultivo por longos períodos (3 a 14 anos). HUSSAIN et al. (1998) também encontraram diferença significativa entre as perdas de solo do cultivo convencional e direto, sendo que da mesma forma que HILL (1993) as parcelas permaneceram sob os diferentes sistemas de cultivo por oito anos consecutivos. DICK et al. (1991) concluiu que os efeitos dos sistemas de cultivo nas perdas de solo, podem ser melhor observados, quando as parcelas permanecerem sob os diferentes sistemas de cultivo por longos períodos. Desta forma, provavelmente devido ao curto período em que a cultura foi mantida sob os diferentes sistemas de cultivo, não se verificou diferença significativa entre as perdas de solo dos sistemas de cultivo convencional e as do plantio direto.

De acordo com o Quadro 6 não houve diferença significativa entre perdas de solo do cultivo mínimo e plantio direto. HUSSAIN et al. (1998) encontraram diferença significativa entre as perdas de solo desses dois sistemas de cultivo. Contudo as parcelas foram mantidas durante oito anos consecutivos sob estes sistemas. No quadro 5 verifica-se que o sistema de cultivo mínimo apresentou as menores perdas de solo. Esse sistema foi realizado com enxada rotativa, esta variação do cultivo mínimo causa alto grau de mobilização e pulverização do solo. Provavelmente a pulverização do solo tenha causado maior compactação superficial nesse sistema que no sistema de cultivo convencional, resultando em maior dificuldade do desprendimento das partículas do solo, e conseqüentemente em menores perdas. Esta observação esta de acordo com HUSSAIN et al. (1998), que avaliando a compactação causada por diferentes sistemas de cultivo, concluíram que maior compactação resultou em menores perdas de solo. De acordo com análise de variância apresentada no Quadro 01 D1 do apêndice A não houve diferença significativa entre valores das perdas de solo nos intervalos de 5 min durante os 35 min do teste, desta forma evidenciando que as perdas de solo foram acrescidas a taxas constantes ao longo do tempo. A Figura 4 apresenta o comportamento das perdas de solo acumuladas ao longo do tempo para cada sistema de cultivo. Analisando-se essa figura observa-se que, de modo geral, houve uma tendência de aumento linear nas perdas de solo acumuladas com o tempo de precipitação.

Figura 4 Perdas de solo acumuladas ao longo do tempo nos três sistemas de cultivo estudados.

MERMUT et al. (1997) também observaram este mesmo tipo de comportamento das perdas de solo para intensidades de precipitação de 40 e 100 mm h⁻¹. HILL (1993) observou a mesma tendência linear nas perdas de solo acumuladas ao longo do tempo, tanto para o cultivo convencional como para o plantio direto utilizando intensidades de 76, 94 e 120 mm h⁻¹. Esta observação mostra que os sistemas de cultivo não têm efeito no comportamento das perdas de solo acumuladas com o tempo da precipitação, e sim na taxa de acréscimo ao longo do tempo. De acordo com a figura 4, verifica-se que as taxas de acréscimo nas perdas de solo foram menores nos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo do que no sistema de cultivo convencional.

A menor taxa de acréscimo verificada no sistema de plantio direto do que no sistema convencional pode ser atribuída a presença da cobertura morta neste sistema que reduziu a velocidade de impacto das gotas da chuva sobre o solo, resultando em menor energia cinética e conseqüentemente em menor capacidade de desprendimento das partículas de solo pela chuva simulada. STILLMUNKES e JAMES (1982) verificaram que a velocidade de impacto das gotas da chuva sobre o solo tem efeito significativo no processo erosivo. A menor taxa de acréscimo nas perdas de solo verificadas no sistema de cultivo mínimo com enxada rotativa do que no sistema de cultivo convencional, isto provavelmente deve-se a maior compactação superficial provavelmente causada por este sistema de cultivo, o que resultou em menor desprendimento de partículas do solo para a mesma intensidade de chuva. Esta observação está de acordo com GOFF et al. (1994), que concluíram que a erodibilidade de um solo, é em parte, resultado da forma de uso do mesmo.

Comparação entre a erosão dos sistemas de cultivo

A Figura 5 ilustra a comparação entre o total de solo presente no escoamento superficial para cada sistema de cultivo. O sistema de cultivo que apresentou maior escoamento superficial não foi o que apresentou maior perda de solo. Este resultado indica que na erosão laminar o escoamento superficial não tem domínio no desprendimento das partículas. e esta de acordo com B RADFORD et al. (1987), FOSTER (1982) e GILLEY et al. (1985) também encontraram os mesmos resultados e os quais concluíram que o desprendimento das

partículas de solo é devido realizado principalmente pela a energia de impacto das gotas da de chuva e que a força cisalhante do escoamento superficial é o principal agente de transporte.

Figura 5 - Comparação gráfica entre o total das perdas de solo presente no escoamento superficial para cada sistema de cultivo

Provavelmente para intensidades maiores, com maior energia de impacto das gotas sobre o solo, o sistema de cultivo mínimo tenderia a apresentar maiores perdas de solo do que o sistema de cultivo convencional, visto que as partículas desprendidas seriam transportadas pelo elevado escoamento superficial verificado nesse sistema de cultivo. Comparando-se os resultados apresentados Figura 5, fica evidente a vantagem do sistema de plantio direto, que além de reduzir o impacto das gotas da chuva sobre o solo, com isso apresentando menores perdas de solo que o sistema convencional, também apresentou menor escoamento superficial que os demais sistemas. Desta forma considera-se que o sistema de plantio direto reduziu o desprendimento e o transporte das partículas do solo, podendo ser considerado como o sistema de cultivo que propiciou maior proteção ao solo contra a erosão.

Produção de milho verde

Os valores da produção de milho verde verificados nos sistemas de cultivo de plantio direto, convencional e mínimo são apresentados no Quadro 7. Os dados utilizados para a confecção do Quadro 7 estão no Apêndice C .

Quadro 7 - Valores médios da produção de milho verde nos três sistemas de cultivo estudados

Sistema de cultivo	Peso com palha, kg por cada m ²	Número de espigas por m ²	Produção, kg.ha ⁻¹
Plantio direto	3,15	19	7.869
Convencional	3,14	22	7.859
Mínimo	3,58	23	8.956

De acordo com os dados apresentados no Quadro 7, o sistema de cultivo mínimo foi o que apresentou maior produção de milho verde, contudo não houve diferença significativa ao nível de 5% entre as produções verificadas nos três sistemas de cultivo, conforme análise de variância encontrada no quadro D3 do Apêndice D. Provavelmente este resultado deve-se ao curto período em que a cultura foi mantida sob os diferentes sistemas de cultivo. DICK et al. (1991), observaram que os efeitos causados pelo plantio direto são maiores quando analisados por longos períodos de duração. Ainda que o plantio direto apresente produções menores que o cultivo convencional nos primeiros anos de sua utilização, sua vantagem em relação ao cultivo convencional poderá ser observada com o passar dos anos. Contudo HUSSAIN et al. (1998) não encontraram diferença significativa entre as produções da cultura do milho mantida durante oito anos consecutivos sob os sistemas de plantio direto, convencional e mínimo.

CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi realizado, os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- a) O sistema de cultivo convencional foi o que apresentou maiores perdas de solo;
- b) O sistema de cultivo mínimo foi o que apresentou menores perdas de solo;

- c) Em termos quantitativos, o sistema convencional causou perdas de solo aproximadamente duas vezes maior que o sistema de plantio direto e três vezes maior que o sistema de cultivo mínimo;
- d) O sistema de cultivo mínimo foi o que apresentou maior escoamento superficial;
- e) O sistema de plantio direto foi o que apresentou menor escoamento superficial;
- f) O escoamento superficial apresentou tendência de taxas crescentes ao longo do tempo;
- g) As perdas de solo acumuladas ao longo do tempo apresentaram tendência linear;
- h) O sistema convencional foi o que apresentou maior porcentagem de solo contida no volume de escoamento superficial;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALASTREIRE, L.A. Semeadura convencional. In: **Máquinas Agrícolas**, Manole, São Paulo, 5: 146-207, 1987.
- BARNETT, A.J. & DOOLEY, A. E. Erosion potencial of natural and simulated rainfall compared. Transactions of the ASAE, St. Joseph, Michigan. 15: 1112-1114, 1972.

BEN-HUR, M.; STREN, R.; Van der MERWE, A. J.; SHAINBERG, J. Slope and gypsum effects on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. Soil Science Society of America Journal, 56: 1571-1576, 1992.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, R. Conservação do Solo. São Paulo. Ícone, 1990. 355p.

- BUBENZER, C. O.; JONES, B. A., Drop size and impact velocity effects on the detachment of soil under simulated rainfall conditions. Transactions of the ASAE, 14(4):625-628, 1971.
- CARTER, C. E.; GREER, J. O.; BRAUD, H. J. et al. Raindrop characteristics in south central United States. Transactions of the ASAE, 17(6):1033-1037, 1974.
- DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros- físicos e químicos. Piracicaba, ESALQ, 1990. 81 p. (Tese de Doutorado)
- DICK, W.A. ; MCCOY, E.L.; EDWARDS, W.M. ANO LAL, R. Continuous application of no-tillage on Ohio soils. Agronomy Journal, 83:6573, 1991.
- EIGEL, J. O.; MOORE, I. D. A Simplified technique for measuring raindrop size and distribution. Transactions of the ASAE, 26(4): 1079-1084, 1983.
- FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In Hydrologic modelling of small watersheds, eds. C. T. Haan, H. P. Johnson and D. L. Brakensienk, 296-380. ASAE Monograph No. 5. Mich.: ASAE, 1982.
- FUNDAÇÃO CARGIL. Melhoramento e produção do milho (coordenador Paterniani, E.). Piracicaba/ESALQ. Marprint, 650p., 1978.
- FUNDAÇÃO CARGIL. Plantio direto no Brasil. Centro Acadêmico Luiz de Queiroz. (coordenado por Torrado, P.V. e Aloisi RR.). Campinas, 124p., 1984.
- GHADIRI, H. PAYNE, D. The formation and characteristics of splash following raindrop impact on soil. J. Soil Sci, 39(4):563-575, 1988.
- GOFF, B. F.; BENT, G. C.; HART, G. E. Influence of rainfall intensity on the interrill erodibility of two rangeland soils. Transactions of the ASAE, v.37, n.5, p.1445-1448, 1994.
- GUY, B.T.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow. Transactions of the ASAE, 30(5): 1378-1386, 1987.
- HAHN, D. T., MOLDENHAUER, W. C.; ROTH, C. 8. Slope gradient effect of erosion of reclaimed soil. Transactions of the ASAE, 28(3):805-808, 1985.
- HILL, R.L. Tillage and wheel traffic effects on runoff and sediment losses from crop interrows. Soil Science Society of America Journal, 57:476-480, 1993.
- HILL, R.L. ANO MONTALVO, M.F.M .. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. Soil Science Society of America Journal, 54:865-870, 1990.
- HILL, R. L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. Soil Science Society of America Journal, 54: 161-166, 1990.
- LAWS, J. O. and PARSONS, D. A. The relation of raindrop size to intensity. Transaction, American Geophysical Union. 24:452459, 1943.
- LI, L.; KAWANO, H. Simulating water-drop movement from noncircular sprinkler nozzles. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, 121 (2): 152-158, 1995.

LIEBENOW, A. M.; ELLIOT, M. J.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K. D. Inter-rill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. Transactions of the ASAE, 33(6): 1882-1888, 1990.

LINE, D. E.; MEYER L. D. Evaluating interrill and rill erodibilities for soils of different textures. Transactions of the ASAE, 32(6): 1995-1999, 1989.

LOCK, R. J.; POCKNEE, C. Effects of aggregation on soil erodibility: Australian experience. J. Soil Water Cans., Ankeny, 50:504-506, 1995.

MAY, M. G. C.; DOUGLAS, L. A.; RINGROSE-VOASE, A. J. Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall. Soil Science, 154: 37-43, 1992.

MEYER, L. D. How rainfall intensity affects interrill erosion. Transactions of the ASAE, 24(6): 1472-1475, 1981.

MEYER, L.D. AND MANNERING, J.W. Minimum tillage for corn: Its effects on infiltration and erosion. Agricultural Engineering, 42,2:72-75,86, 1961.

MEYER, L. O.; WISCHMEIER, W. H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Transactions of the ASAE, 12(6):754-758, 1969.

MEYER, L.D. AND HARMON W.C. Multiple-intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. Transactions of the ASAE, S1. Joseph, Michigan. 22: 100-103, 1979.

MEYER, L.D., HARMON, W.C. Interrill runoff and erosion: Effects of row sideslope shape, rain energy, and rain intensity. Transactions of the ASAE, 35(4): 1199-1203, 1992.

MERMUT, A.R., LUK, S.H., ROMKENS, M.J.M., POESEN, J.W.A. Soil loss by splash and wash during rainfall from two loss soils. Geoderma, Amsterdam, 75:203-214, 1997.

McCOOL, D. K., BROWN, L. C., FOSTER, G. R., MUTCHLER, C. K., MEYER, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of the ASAE, 30(5): 1387-1396, 1987.

McISAAC, G.F., MITCHELL, J.K., HIRSCHI, M.C. Nutrients in runoff and eroded sediment from tillage systems in Illinois. Summer meeting American Society of Agricultural Engineers. Paper 872066, 1987.

MIRANDA, N.O. Alterações físicas nos solos podzólicos vermelho amarelo e latossolo vermelho escuro submetidos a diferentes condições de preparo reduzido. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, curso de pós-graduação em engenharia agrícola, UFSM, 1986.

MORGAN, R. P. C. Field studies of rainsplash erosion. Earth Surf. Proc. 3:295-299, 1978.

MOSLEY, M. P. Rainsplash and the convexity of badland divides. Z. f. Geomorph. N. F. Suppl. Bd., 18: 10-25, 1973.

MUNN JR., J. R. AND HUNTINGTON, G. L. A portable rainfall simulator for erodibility and infiltration measurements on rugged terrain. Soil Science Society of America Journal, Madison, 40:622-624, 1976.

NETO, A. R., LIMA, E. & CUNHA, L.H. Roteiros de Aulas Práticas de Física do Solo I. Itaguaí. UFRRJ. IT. DE. 1986.

OLIVEIRA, R. A. Distribuição de gotas por tamanho e perfil de precipitação de um aspersor fixo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. UFV, MG, 1991.

PARANÁ. Secretaria de estado da agricultura e do abastecimento.

Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Curitiba, 1989. 306 p.

PARKER, D. B., MICHEL, T. G., SMITH, J. L., Compaction and water velocity effects on soil in shallow flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, 121 (2): 170-178, 1995.

PARK, S.W., MITCHELL, J.K., BUBENZER, G.D. Rainfall characteristics and their relation to splash erosion. *Transactions of the ASAE*, 26(4):795-804, 1983.

POESEN, J. An improved splash transport mode. *Z. f. Geomorph. N. F.*, 29(2):193-221, 1985.

PRUSKI, F. F. Conservação de água e solos. In: *Gestão de recursos hídricos para o desenvolvimento sustentado de projetos hidroagrícolas*. Módulo 7. Brasília-DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV/DEA, 1998. 88p.

QUANSAH, C. The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *J. Soil Sci.*, 32:215-224, 1981

RAMOS, D. P. Levantamento detalhado de solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, com bases em fotografias aéreas e prospecções do terreno. Dissertação de Mestrado em Agronomia. UFRRJ, CPGA-CS, RJ, 1970.

RENARD, K. G.; FERREIRA, V. A. RUSLE model description and database sensitivity. *J. Environ. Qual.*, 22:458-466, 1993.

ROSE, C.W.; WILLIAMS, J. R.; SANDER, G. C.; BARRY, D. A. A mathematical model of soil erosion and deposition processes. *Soil Science Society of America Journal.*, 47:991-995, 1983.

ROTH, C.H., HENKLAIN, J.C., FARIAS, G. S. Avaliação do tamanho de gotas de chuva natural e simulada para o Norte do Paraná.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. 9(2): 171 ~1 74, 1985.

SILVA, I.R.; CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F. & BERTON!, J.

Simulador de chuva em pesquisas de erosão do solo. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, 4(3):55-56, 1979.

SILVEIRA, G.M. O preparo do solo: implementos corretos. Globo, Rio de Janeiro, 243 p. 1988.

SMITH, D. D.; WISCHMEIER, W.H. Factors affecting sheet and rill erosion. *Transaction, American Geophysical Union*. 38(6):889896, 1957.

SOSA, D. A. Erosividade da chuva. Distribuição e correlação com as perdas de solo para Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba, SP: ESALQ, 1987. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987.

STILLMUNKES, R. T.; JAMES, L. G. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE*, 25(1): 130133, 1982 .

. SWANSON, N.P. Rotating boom rainfall simulator. *Transactions of the ASAE*, S1. Joseph, Mich., 8:71-72, 1965.

TOSSELL, R. W.; WALL, G. J.; RUDRA, R. P. et al. The Guelph rainfall simulator. 11. A comparison of natural and simulated rainfall characteristics. Canadian Agricultural Engineering, Guelph, 32(2):215-223, 1990.

TRUMAN, C. C., BRADFORD, J. M. Laboratory determination of interrill soil erodibility. Soil Science Society of America Journal., 59:519-526, 1995.

TRUMAN, C. C., BRADFORD, J. M. Relationships between rainfall intensity and the soil loss-slope steepness ratio as affected by antecedent water content. Soil Science, Baltimore, 156(6):405-413, 1993.

VAN LIEW, M. W.; SAXTON, K. E. Slope steepness and incorporated residue effects on rill erosion. Transactions of the ASAE, 26(6): 1738-1743, 1983.

WAGNER, C. S.; MASSAMBARNI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 12: 197 -203, 1988.

WATSON, D. A.; LAFLEN, J. M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion, Transactions of the ASAE, 29(1):98-102, 1986.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transaction, American Geophysical Union, Washington. 39: 285-280, 1958.

ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agricultural Engineering, 21 (2):59-64, 1940.