



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE DOURADOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PERDAS DE SOLO E DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO EM  
SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

CRISTIANE GONÇALVES DA SILVA

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL

2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE DOURADOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PERDAS DE SOLO E DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO EM  
SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

**CRISTIANE GONÇALVES DA SILVA**

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. TEODORICO ALVES SOBRINHO

Co-orientador: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL  
2003

631.4 Silva, Cristiane Gonçalves da  
S586p Perdas de solo e de água e características de infiltração em sistemas de plantio direto e convencional / Cristiane Gonçalves da Silva. Dourados, MS: UFMS, Campus de Dourados, 2003.  
42p.

Dissertação de mestrado

1. Solo – Manejo. 2. Solo – Erosão. 3. Simulador de chuva. 4. Água – Infiltração. I.Título

**PERDAS DE SOLO E DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS DE INFILTRAÇÃO EM  
SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

**Cristiane Gonçalves da Silva**

Engenheira Agrônoma

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do Título de

**MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovado em :**24 de fevereiro de 2003**

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho

UFMS – DCA

(Orientador)

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

UFMS - DCA

(Co-orientador)

Prof. Dr. Welington Lima dos Santos

UFMS – DEX

(Membro da banca)

Pesquisador Dr. Mário Artemio Urchei

EMBRAPA-CPAO

(Membro da banca)

“Pela manhã semeia a tua semente, e à tarde não retenhas a tua mão; pois tu não sabes qual das duas prosperará, se esta, se aquela, ou se ambas serão, igualmente boas.

Doce é a luz, e agradável é aos olhos ver o sol.”

EC. 11. 6-7

“Aquele que semeia pouco, pouco também ceifará; e aquele que semeia em abundância, em abundância também ceifará.”

II CO. 9 - 6

**Aos meus pais:**

Nelci Bueno da Silva e

Lucia Gonçalves da Silva

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo amor, pelos cuidados, por estar sempre presente.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela oportunidade oferecida para a realização do Curso.

Aos professores do curso de Mestrado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela dedicação com que transmitiram seus conhecimentos, pelo apoio e amizade.

Em especial ao Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho e ao Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, pela amizade e orientação, valiosa contribuição a minha formação profissional.

Aos funcionários do Núcleo Experimental de Ciências Agrárias, em especial, Dona Olinda Eva, pelo apoio e incentivo.

À Embrapa Agropecuária Oeste, pelas análises de macro e microporosidade, realizadas no Laboratório de Física do Solo.

Aos meus pais Nelci Bueno da Silva e Lucia Gonçalves da Silva, por não medirem esforços para a minha formação, pelo amor, compreensão e apoio constantes durante o curso.

Aos meus irmãos Eliane Gonçalves da Silva, Rubens Antonio Gonçalves da Silva, Alex Gonçalves da Silva, Ana Paula Gonçalves da Silva, pela compreensão, paciência e apoio no decorrer do curso.

Aos meus padrinhos Ademar Marques do Amaral e Neide Ribeiro Moura do Amaral e sua filha Fernanda Moura do Amaral, pela amizade e pelo empréstimo do seu endereço para correspondência.

Ao Leonel Pereira Ferreira (Léo), pelo amor, apoio, incentivo e dedicação.

Aos colegas do Curso de Mestrado, pelo convívio durante esse período.

A amiga Andréia Minuzzi, pela amizade, companherismo e colaboração durante o curso.

A todos aqueles que de alguma forma manifestaram colaboração, apoio e incentivo para a minha formação profissional.

## **BIOGRAFIA**

CRISTIANE GONÇALVES DA SILVA, filha de Nelci Bueno da Silva e Lucia Gonçalves da Silva, nasceu em 16 de fevereiro de 1979, em Coronel Bicaco, Rio Grande do Sul.

Em 1996, iniciou o Curso de Agronomia, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Dourados-MS, diplomando-se em março de 2001.

Em março de 2001, iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, em Dourados-MS.



**SUMARIO**

	<b>PÁGINA</b>
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 Perdas de solo .....	2
2.2 Infiltração da água no solo .....	6
2.2.1 Modelos para estimação de infiltração da água no solo .....	10
2.2.2 Manejo de solo e infiltração de água .....	12
2.2.3 Alguns métodos para determinação da infiltração da água no solo .....	13
2.3 Simuladores de chuva .....	14
3 MATERIAIS E METODOS	
3.1 Aspectos gerais .....	17
3.2 Estimativa da perda de solo e de água .....	21
3.3 Estimativa da taxa de infiltração .....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1 Análises químicas e físicas do solo .....	25
4.2 Perdas de solo e de água .....	27
4.3 Taxa de infiltração de água .....	32
5 CONCLUSÃO .....	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## LISTA DE QUADROS

		PÁGINA
Quadro 1	Sistema de plantio e Sucessão de cultura no período de 1999 a 2002 .....	19
Quadro 2	Resultados médios de densidade e porosidade do solo da área experimental .....	25
Quadro 3	Valores médios do peso da matéria seca, declividade, análise da matéria orgânica e carbono .....	26
Quadro 4	Valores médios de umidade inicial do solo, tempo do início do escoamento superficial, intensidade de precipitação e energia cinética dos teste realizados para determinação das perdas de massa de solo e volume de água escoado .....	27
Quadro 5	Valores médios de perdas de solo e de água em plantio convencional e direto para diferentes culturas de sucessão ao milho .....	28
Quadro 6	Coeficiente de variação (%) e correlação entre as variáveis independentes estudadas em plantio convencional e direto para diferentes culturas de sucessão ao milho .....	29
Quadro 7	Valores médios de umidade inicial do solo, tempo do início do escoamento superficial, intensidade de precipitação e energia cinética dos teste realizados para determinação da taxa de infiltração .....	32
Quadro 8	Valores médios das taxas de infiltração inicial ( $i_0$ ) e final ( $i_f$ ) para os tratamentos avaliados .....	33
Quadro 9	Equações de Horton e Kostiakov-Lewis estimadas .....	33
Quadro 10	Índices estatísticos obtidos da estimativa da taxa de infiltração básica pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis, comparando-os com valores medidos .....	33

## LISTA DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1	Perfil de umedecimento do solo durante a infiltração .....	10
Figura 2	Vista geral do Infiltrômetro de aspersão-InfiAsper .....	16
Figura 3	Redutor de frequência e sistema regulador da intensidade de precipitação .....	18
Figura 4	Coletor de escoamento com o protetor de respingos e o recipiente coletor .....	18
Figura 5	Parcelas experimentais no Sistema de preparo convencional .....	20
Figura 6	Parcelas experimentais no Sistema de plantio direto .....	20
Figura 7	Retirada de amostra de solo para determinação da umidade .....	22
Figura 8	Verificação da precisão da intensidade de precipitação .....	22
Figura 9	Coleta das amostras de perdas de solo e água no campo .....	23
Figura 10	Perda acumulada de solo nos sistemas de preparo convencional e de plantio direto em função do tempo de aplicação da chuva simulada .....	30
Figura 11	Perda acumulada de água nos sistemas de preparo convencional e de plantio direto em função do tempo de aplicação da chuva simulada .....	31
Figura 12	Taxa de infiltração observada e estimada para o preparo convencional, sucessão milho-ervilhaca, em função do tempo de coleta .....	34
Figura 13	Taxa de infiltração observada e estimada para o preparo convencional, sucessão milho-pousio, em função do tempo de coleta .....	35
Figura 14	Taxa de infiltração observada e estimada para o plantio, direto sucessão milho-ervilhaca, em função do tempo de coleta .....	35
Figura 15	Taxa de infiltração observada e estimada para o plantio direto, sucessão milho-pousio, em função do tempo de coleta .....	35

Silva, Cristiane Gonçalves da. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, fevereiro de 2003. *Perdas de solo e de água e características de infiltração em sistemas de plantio direto e convencional*. Professor Orientador: Teodorico Alves Sobrinho, Co-Orientador: Antonio Carlos Tadeu Vitorino.

## RESUMO

O trabalho foi realizado em Dourados, MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico e teve como objetivos estimar perdas de solo e de água, estudar a infiltração de água e avaliar a adequação dos modelos de Horton e de Kostiakov-Lewis para a estimativa da taxa de infiltração da água no solo em diferentes culturas sucessoras à cultura do milho, cultivada sob os sistemas de preparo convencional (SPC) e plantio direto (SPD). Nas avaliações de campo, realizadas após o manejo das culturas sucessoras, utilizou-se o infiltrômetro de aspersão InfiAsper/UFMS, regulado para aplicar chuva de  $60 \text{ mm h}^{-1}$  de intensidade e duração de 35 minutos na avaliação de perdas de solo e de água e duração variada nas determinações das taxas de infiltração. Os tratamentos aplicados, no total de cinco para cada sistema de cultivo, na avaliação de perdas de solo e de água, foram assim denominados: sucessão milho-pousio; milho-trigo; milho-nabo; milho-ervilhaca e milho-aveia. A estimativa da taxa de infiltração foi feita em dois tratamentos, sucessão milho-ervilhaca e milho-pousio, para cada sistema de semeadura (SPC e SPD). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais na avaliação de perdas de solo e de água e 16 parcelas nas determinações da taxa de infiltração. Os dados, relativos às perdas de solo e de água, foram analisados estatisticamente pelo teste de Agrupamento Scott-Knott e, a qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada por meio de regressões não lineares entre os valores estimados e os valores médios observados em cada tratamento. Concluiu-se que: a) de modo geral, as perdas de solo e água foram maiores no preparo convencional e, conforme a cultura sucessora, os valores variaram de  $5,34 \text{ g m}^{-2}$  a  $47,75 \text{ g m}^{-2}$  no SPC e de  $1,09 \text{ g m}^{-2}$  a  $4,19 \text{ g m}^{-2}$  no SPD; b) as perdas de água variaram de  $3,29$  a  $9,88 \text{ dm}^3 \text{ m}^{-2}$  no SPC e de  $1,23$  a  $6,63 \text{ dm}^3 \text{ m}^{-2}$  no SPD; c) o SPD proporcionou valores de taxa de infiltração estável de água superior ao do SPC e, entre os tratamentos, a sucessão soja-aveia proporcionou o maior valor de taxa de infiltração final; d) a qualidade do ajuste dos modelos foi satisfatória e o de Horton mostrou-se mais adequado para a estimativa da taxa de infiltração.

**Termos para indexação:** erosão; manejo de solo; simulador de chuva.

## ABSTRACT

**Soil and water losses and infiltration characteristics on no tillage and conventional systems**

This work was carried out in Dourados, MS, in a soil classified as Latossolo Vermelho Distroférrico and it had as objectives to estimate losses of water and soil, to study water infiltration and to evaluate the adaptation of Horton and Kostiaikov-Lewis models for estimating rate of water infiltration in soil in different cultures that succeeded corn culture, which were cultivated under conventional (SPC) and no tillage (SPD) systems. In evaluations at field, which were done after succeder cultures management, an InfiAsper/UFMS sprinkle infiltratorimeter regulated to apply rain of 60 mmh<sup>-1</sup> of intensity and duration of 35 minutes was used in evaluation of water and soil losses and varied duration in determinations of infiltration rate. Applied treatments, total of five for each culture system in evaluation of water and soil losses, were following denominated: corn-rest; corn-wheat; corn-*Raphanus sativus*; corn-vetch and corn-oat successions. Estimating of infiltration rate was done in two treatments, corn-vetch and corn-rest succession, for each sowing system (SPC and SPD). Experimental design was of randomized blocks, with four replications, which totalized 40 experimental parcels for evaluation of water and soil losses and 16 parcels for determination of infiltration rate. Data regarding to water and soil losses were analyzed statistically by Scott-Knott grouping test and the quality of adjusting of models was evaluated by non-linear regressions between estimated values and average values which were observed in each treatment. It was concluded that: a) in general, water and soil losses were highest in conventional system and, conform succeeded culture, values varied from 5.34 g m<sup>-2</sup> to 47.75 g m<sup>-2</sup> in SPC and from 1.09 g m<sup>-2</sup> to 4.19 g m<sup>-2</sup> in SPD; b) water losses varied from 3.29 to 9.88 dm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> in SPC and from 1.23 to 6.63 dm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> in SPD; c) SPD promoted stable values of infiltration rate in water superior of SPC and, among treatments, soy-oat succession promoted the highest value of final infiltration rate; d) the quality of adjusting of models was satisfactory and Horton's model showed itself more adequated to estimating infiltration rate.

**Index terms:** erosion, soil management, rain simulator.

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais em nossos dias. Dentre os tipos de degradação, a erosão hídrica é considerada a que mais tem afetado a capacidade produtiva dos solos, facilitada e acelerada pelo homem com suas práticas inadequadas de manejo agrícola (Carvalho, et al., 2002). Bertoni e Lombardi Neto (1990) comentam que, no Brasil, os diferentes sistemas de cultivo propiciam diferentes condições finais de exposição do solo aos agentes erosivos, visto que promovem mobilização e cobertura vegetal diferenciada, ocasionando diferentes graus de proteção contra as perdas de água e solo. Assim, o manejo do solo tem grande influência no processo erosivo.

A retirada da vegetação e a exposição do solo à ação direta das gotas de chuvas ou irrigação causam, além de alterações em alguns de seus atributos físicos e químicos, perdas de solo e de água. A cobertura vegetal, principalmente as restebas culturais, absorve a energia cinética da chuva, não restando energia residual para provocar a desagregação do solo.

O conhecimento e a quantificação das características físicas associadas ao potencial erosivo das precipitações de uma região são fundamentais na determinação de índices de erosividade adequados. No Brasil existem poucos estudos sobre características físicas das precipitações. Também são poucos os dados de perdas de solo registrados em experimentos de chuva naturais (Debarba & Amado, 1997). Estes fatos têm dificultado o teste ou o desenvolvimento de índices de erosividade adaptados às nossas condições (Eltz *et al.*, 2001).

A predição da erosão hídrica é feita por modelos que podem ser empíricos ou matemáticos. Sua aplicação no planejamento de uso do solo é útil, pois possibilita comparar as perdas efetivas do solo com a tolerância de perda permitida para determinado tipo de solo, tanto do ponto de vista agrícola, quanto ambiental. Para isso, é necessário quantificar os fatores componentes envolvidos nos modelos de erosão hídrica e, posteriormente, validar o referido modelo para cada local e condição edafoclimática (Bertol *et al.*, 2001).

Analisando um Latossolo Vermelho-Escuro em condições de chuvas natural, em Planaltina, DF, Dedecek et al. (1986) concluíram que a vegetação permanente, seguida da soja em semeadura direta, foi o sistema de manejo mais eficaz na redução das perdas do solo traduzindo-se em menores valores de razão de perda de solo, em todos os estágios das culturas.

A variação da intensidade durante a chuva poderia ser incluída nos modelos de predição de perdas de solo e água por erosão (Eltz *et al.*, 2001). Os trabalhos de perdas de solo e água, utilizando aparelhos simuladores de chuvas, são uma maneira de apressar a obtenção de dados

importantes a respeito de práticas de manejo do solo e culturas visando à conservação do solo e da água. Segundo Agassi & Bradford (1999), citado por Eltz *et al.*, (2001), a principal limitação na utilização de chuva simulada é a impossibilidade de reproduzir as características das chuvas naturais em termos de intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva, além das dificuldades de se compararem os resultados obtidos, tendo em vista o uso de grande variedades de simuladores de chuva, intensidade de chuva e tipos de parcela.

A microrregião geográfica de Dourados caracteriza-se como sendo de grande atividade agrícola e pecuária. No entanto, não tem sido alvo de pesquisas, notadamente no aspecto relativo ao estudo de infiltração de água e perdas de solos com uso de simuladores de chuva, o que tem limitado os serviços de assistência técnica nos aspectos relativos a tomadas de decisão, elaboração de projetos e recomendações de sistemas de manejo de solo, água e culturas. Considerando então a importância da estimativa das perdas de solo e de água em diferentes sistemas de manejo de solo, este trabalho teve como objetivos estimar perdas de solo e de água, estudar a infiltração de água e avaliar a adequação dos modelos de Horton e de Kostiakov-Lewis para a estimativa da taxa de infiltração da água no solo em diferentes culturas sucessoras à cultura do milho, cultivado sob os sistemas de preparo convencional e plantio direto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Perda de solo e de água

A degradação dos solos pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais em nossos dias. A erosão hídrica facilitada e acelerada pelo homem com suas práticas inadequadas de manejo agrícola, tem afetado a capacidade produtiva dos solos (Carvalho, et al., 2002). A desagregação das partículas de solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial do excesso de água sobre o solo são os agentes ativos e o solo, o agente passivo no processo de erosão hídrica (Hudson, 1981).

A resistência dos solos à erosão hídrica apresenta grande amplitude devido à variabilidade climática que influi na erosividade das chuvas e à variedade de solos com características diferenciadas que, conseqüentemente, refletem-se na erodibilidade, tornando arriscado estimar seu valor com base unicamente na classificação do solo (El-Swaify e Dangler, 1982).

Analisando um Latossolo Vermelho-Escuro em condições de chuva natural em Planaltina (DF), Dedeczek et al. (1986) concluíram que a vegetação permanente, seguida da soja em semeadura direta, foi o sistema de manejo mais eficaz na redução das perdas de solo traduzindo-se em menores valores de perdas de solo, em todos os estádios das culturas.

Levin et al. (1991) trabalhando sob chuva simulada sobre um Podzólico Vermelho-Amarelo, em Guaíba (RS), concluíram que o estágio crítico da cultura do milho, em relação a erosão hídrica, é o primeiro mês após a semeadura da cultura.

A predição da erosão hídrica é feita por modelos que podem ser empíricos ou matemáticos. Sua aplicação no planejamento de uso do solo é útil, pois possibilita comparar as perdas efetivas do solo com a tolerância de perda permitida para determinado tipo de solo, tanto do ponto de vista agrícola, quanto ambiental. Para isso, é necessário quantificar os fatores componentes envolvidos nos modelos de erosão hídrica e, posteriormente, validar o referido modelo para cada local e condição edafoclimática (Bertol *et al.*, 2001).

De acordo com Wischmeier & Smith, 1978, a equação universal de perda do solo - USLE ( $A = R, K, LS, C, P$ ) é um modelo empírico que possibilita predizer a perda média anual de solo por erosão hídrica, com base nos conhecimentos de fatores locais que influenciam a erosão: erosividade da chuva e enxurrada a ela associada (fator R), susceptividade natural do solo à erosão (fator K), associação do comprimento da rampa e percentagem do declive (fator LS), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas de suporte (fator P). Apesar de suas restrições e do surgimento de outros



modelos de previsão de perdas de solo, a USLE vem sendo utilizada de forma crescente (Renard et al., 1994). No entanto, sua utilização é dependente da confiabilidade dos dados usados na determinação dos fatores da equação.

Nos Estados Unidos, a USLE é amplamente utilizada no planejamento conservacionista em propriedades agrícolas, para prever a erosão hídrica (Murphree & Mutchler, 1980). Sua aplicação é obrigatória pelos produtores rurais daquele país que desejarem usufruir de incentivos oferecidos por órgãos oficiais. No Brasil, ela não é sistematicamente usada com esse objetivo, certamente por falta de dados suficientes para o dimensionamento de seus fatores, o que dificulta a alimentação do modelo.

Dentre os seis fatores da USLE, o que expressa a capacidade erosiva da chuva é conhecido como fator R, o qual depende de características físicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (Wischmeier & Smith, 1958). Além de seu papel como componente da USLE, o fator R ainda pode servir como suporte a trabalhos de extensão e assistência rural (Bertol, 1994), pois permite definir épocas críticas quanto à erosão.

A erodibilidade do solo representa sua susceptibilidade à erosão, expressa em termos de quantidade de perdas de solo por unidade de erosividade da chuva. A erodibilidade do solo é representada pelo fator K da USLE, e consiste nos parâmetros do solo responsáveis pela susceptibilidade à erosão (Wischmeier e Smith, 1978).

A erosão hídrica pode ser estudada a partir de três maneiras diferentes de se determinar a erodibilidade do solo. A primeira envolve a determinação do fator K em condições de campo sob chuva natural (Mutchler et al., 1988), mas este método é oneroso e muito demorado. O segundo método é semelhante ao primeiro, porém baseia-se na quantificação do fator K em função das perdas de solo e do fator de erosividade, sob condições de chuva simulada, através da correlação entre as características da chuva e suas respectivas perdas de solo (Wischmeier e Smith, 1978). A correlação obtida é expressa pelo modelo linear ( $y = a + bx$ ), em que: y representa as perdas de solo e x, a erosividade da chuva, sendo o fator K representado pelo coeficiente de regressão b, quando os dados são obtidos sob condições de parcela padrão. O terceiro método baseia-se em equações de regressão que contenham como variáveis independentes propriedades mineralógicas, físicas e químicas ou relações destas, altamente relacionadas com o fator k; como exemplo deste, podem ser mencionados os trabalhos de Lombardi Neto & Bertoni (1975), Denardin (1990), Chaves (1994), Marques et al. (1997).

O fator C para uma cultura, em determinado sistema de manejo e local, representa o efeito da cobertura e manejo do solo na redução da erosão. Este fator varia amplamente de acordo com a variação da erosividade e erodibilidade, para cada cultura e cada tipo de manejo

do solo. Assim, há grande dificuldade na determinação desse fator em virtude das inúmeras combinações possíveis de erosividades, culturas, sistemas de cultivos e tipos de preparo e manejo, para cada solo (Bertol *et al.*, 2001).

Para um Solo Litólico eutrófico localizado em Caruaru (PE), Margolis *et al.* (1985), trabalhando sob chuva natural, obtiveram valores do fator C da USLE menores na semeadura direta de que nos demais tipos de manejo do solo, sendo a cobertura do solo com capim-sempre-verde, o sistema mais eficaz na redução da erosão, em todos os estágios de crescimento das culturas.

Também DeMaria & Lombardi Neto (1997), trabalhando com chuva natural sobre Latossolo Roxo em Campinas (SP), obtiveram, para a cultura de milho, valores do fator C variando de 0,025 a 0,156 Mg ha Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, conforme as variações edafoclimáticas e de sistemas de manejo do solo, enquanto Nascimento & Lombardi Neto (1999) trabalhando sob os mesmos solos e local, constataram que a mucuna preta foi mais eficaz do que a cromática e labe-labe no controle da erosão hídrica, traduzindo-se em menor razão de perda de solo.

Hernani *et al.* (1997) desenvolveram estudos visando quantificar as perdas de solo por erosão e produtividade de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo em Latossolo Roxo de Dourados (MS). Neste estudo os autores concluíram que o plantio direto foi o sistema mais eficiente no controle de perdas de solo, água e produtividade de grãos de soja e trigo. As perdas médias de solo e água por erosão, relativas aos sistemas de plantio direto, escarificação e gradagem niveladora, gradagem pesada e gradagem niveladora e aração com arado de discos e duas gradagens niveladoras, sem cobertura vegetal, foram, respectivamente 0,8; 2,8; 5,3; 7,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e o fator de erodibilidade do Latossolo Roxo estudado foi 0,0045 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. No entanto, estes trabalhos foram feitos com parcelas fixas e com chuva natural, o que dificulta a condução do trabalho em outras condições de solo e de manejo.

O conhecimento e a quantificação das características físicas associadas ao potencial erosivo das precipitações de uma região são fundamentais na determinação de índices de erosividade adequados. No Brasil existem poucos estudos sobre características físicas das precipitações. Também são poucos os dados de perdas de solo registrados em experimentos de chuva natural (Debarba & Amado, 1997). Estes fatos têm dificultado o teste ou o desenvolvimento de índices de erosividade adaptados às nossas condições (Eltz *et al.*, 2001).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a determinação das perdas de solo por efeito de fenômenos de erosão pode ser feita de várias maneiras. A escolha de cada processo depende, principalmente, da natureza das perdas a determinar, como do tipo de práticas

conservacionistas a estudar, das condições ecológicas locais e das possibilidades do pesquisador.

A determinação de perdas de solo pode ser feita por métodos direto e indiretos. Os métodos diretos, são aqueles que se baseiam na coleta, na medição e na análise do material eroso, com auxílio de instalações coletoras e medidoras especiais. Os métodos indiretos, são baseados nos vestígios deixados no solo ou nas diferenças apresentadas em relação ao solo não eroso, sendo mais imprecisos do que os baseados no estudo do material eroso (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A variação da intensidade durante a chuva poderia ser incluída nos modelos de predição de perdas de solo e água por erosão (Eltz *et al.*, 2001). Os trabalhos de perdas de solo e água, utilizando aparelhos simuladores de chuvas, são uma maneira de agilizar a obtenção de dados importantes a respeito de práticas de manejo do solo e culturas visando à conservação do solo e da água. Segundo Agassi & Bradford (1999), citado por Eltz *et al.*, (2001), a principal limitação na utilização de chuva simulada é a impossibilidade de reproduzir as características das chuvas naturais em termos de intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva, além das dificuldades de se compararem os resultados obtidos, tendo em vista o uso de grande variedades de simuladores de chuva, intensidade de chuva e tipos de parcela.

Nos estudos de perdas de solo e de água por erosão, vem sendo utilizada a aplicação de chuvas simuladas de intensidade constante. Com isso, negligencia-se importante componente das chuvas naturais, que é a variação da intensidade durante a sua ocorrência. As características das chuvas mudam de região para região e, assim, um único padrão pode não ser o mais representativo para todas as regiões (Eltz *et al.*, 2001).

## **2.2 Infiltração da água no solo**

O processo de infiltração é de grande importância prática pois sua taxa muitas vezes determina o deflúvio superficial ou enxurrada, responsável pelo fenômeno da erosão durante as precipitações pluviais. A infiltração determina o balanço de água na zona das raízes e, por isso, o conhecimento do processo e das suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água nos cultivos agrícolas (Reichardt 1996).

A magnitude da infiltração é severamente reduzida pela formação ou presença do selamento superficial, fenômeno causado devido à pequena porosidade desta camada e à

dominância de poros de pequeno diâmetro. Segundo Reichert et al. (1992) a textura do solo afeta sensivelmente o salpico de partículas com impacto das gotas de chuva, o que contribui para uma redução da porosidade da camada superficial do solo. Além do impacto da gota, Morin & Van Winkel (1996) citam a dispersão físico-química das argilas do solo como causas da formação do selamento superficial e, conseqüentemente, da redução da taxa de infiltração. Dessa forma, o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo pode reduzir a capacidade de infiltração de água no solo e propiciar a formação de escoamento superficial. Assim, principalmente em países tropicais, a chuva passa a ter fundamental importância em estudos hidrológicos, pela sua capacidade de produzir erosão. Por outro lado, de acordo com Carduro & Dorfman (1988), a porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outros fatores, influem grandemente na infiltração da água no solo.

O movimento da água em um solo não-saturado pode ser descrito pela equação de Darcy, originalmente deduzida para meios porosos saturados e representada pela equação 1.

$$q = -K_0 \frac{\partial H}{\partial z} \quad (1)$$

em que,

$q$  = densidade de fluxo,  $LT^{-1}$ ;

$K_0$  = condutividade hidráulica do solo saturado,  $LT^{-1}$ ;

$H$  = potencial total da água no solo, L; e

$z$  = distância entre os pontos considerados, L.

A razão entre a taxa de variação do potencial da água no solo, ao longo da distância por ela percorrida ( $\partial H/\partial z$ ), denomina-se gradiente hidráulico, representando a força responsável pelo escoamento da água no solo. O sinal negativo na equação de Darcy indica que o escoamento estabelece-se do maior para o menor potencial.

Na equação de Darcy, evidencia-se que as condições imprescindíveis para que se estabeleça o movimento da água no solo são a existência de uma diferença no potencial entre os pontos considerados e um meio poroso condutivo, isto é, a condutividade hidráulica do solo não pode ser nula. Se ambas as condições não forem satisfeitas, o escoamento da água no solo não ocorrerá.

A relação linear entre a densidade de fluxo e o gradiente hidráulico só é verificada em condições de escoamento laminar, tornando a equação de Darcy válida somente sob esta

condição. Outra limitação para o emprego desta equação refere-se à taxa de escoamento muito baixa, ou seja, um gradiente hidráulico muito pequeno.

A aplicação da equação de Darcy, para condições de solos não-saturados, exige que seja considerada também a variação da condutividade hidráulica com o teor de umidade do solo, tendo esta como limite superior o próprio valor da condutividade hidráulica do solo saturado. Nesse caso, o potencial da água no solo tem dois componentes, o gravitacional e o matricial, sendo representado pela equação 2.

$$H = \psi + Z \quad (2)$$

em que

$\psi$  = potencial matricial da água no solo, L; e

$Z$  = potencial gravitacional da água no solo, L.

Nessas condições, a equação 1 torna-se

$$q = -K(\theta) \frac{\partial}{\partial z} (\psi + Z) \quad (3)$$

em que,  $K(\theta)$  é a condutividade hidráulica do solo para um teor de umidade  $\theta$ ,  $LT^{-1}$ .

A taxa de infiltração da água no solo é alta no início do processo de infiltração, particularmente quando o solo está inicialmente muito seco mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se assintoticamente de um valor constante, denominado taxa de infiltração básica no solo, (Bernardo, 1995). Este comportamento pode ser compreendido a partir da aplicação da equação de Darcy às condições escoamento em meio não-saturado. No início do processo, o valor da profundidade da frente de umedecimento é pequeno. Desta forma, ter-se-á um valor do gradiente hidráulico muito elevado e, portanto, uma taxa de infiltração alta. Com o tempo, o valor de  $Z$  vai aumentando até que, para elevados tempos após o início do processo de infiltração, o valor do gradiente  $[(\psi + Z)/Z]$  vai tendendo a 1 e, conseqüentemente, a taxa de infiltração tende a um valor aproximadamente igual à condutividade hidráulica do solo saturado.

Um solo mais úmido terá, inicialmente, uma menor taxa de infiltração devido a um menor gradiente hidráulico (menor diferença no potencial matricial da água no solo), e mais rapidamente a velocidade de infiltração se tornará constante.

Segundo Villela & Mattos (1975), a capacidade de infiltração da água representa a razão máxima por unidade de área e por unidade de tempo capaz de atravessar a superfície do solo, sendo normalmente expressa em  $\text{mm.h}^{-1}$ .

A taxa de infiltração é definida como a lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. Representa, portanto, a taxa de variação da infiltração acumulada ao longo do tempo, sendo representada pela equação 4.

$$VI = \frac{dI}{Dt} \quad (4)$$

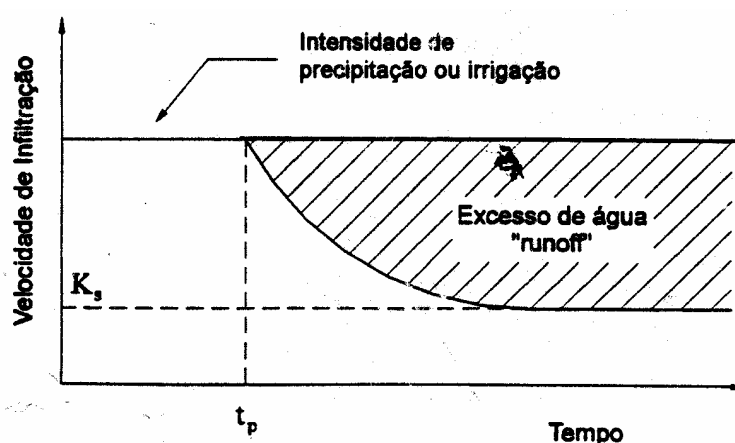
em que

VI = velocidade de infiltração da água no solo,  $\text{LT}^{-1}$ ;

I = infiltração acumulada, L; e

t = tempo, T.

Quando uma precipitação atinge o solo com intensidade menor do que a capacidade de infiltração (CI), toda a água penetra no solo, provocando progressiva diminuição na própria CI. Persistindo a precipitação, a partir de um tempo  $t = t_p$ , representado na figura 1, a taxa de infiltração iguala-se à capacidade de infiltração, passando a decrescer com o tempo e tendendo a um valor constante, após grandes períodos de tempo, caracterizado como a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).



**Figura 1.** Variação de infiltração com o tempo, sob condições de precipitação (adaptado de Pruski et al, 1997).

### 2.2.1 Modelos para estimação de Infiltração da água no solo

Existem diversos modelos que podem ser usados para descrever o processo de infiltração de água no solo. Fisicamente um dos mais bem fundamentados, segundo a literatura especializada, é o modelo de Richard's; porém neste o fluxo de água no perfil do solo é regido principalmente pelo gradiente de potencial matricial ( $\psi$ ), com relação à profundidade do solo ( $Z$ ). Sabe-se que  $\psi$  é uma função da umidade ( $\theta$ ) e que essa função, pelo fenômeno da histerese, não é unívoca, dificultando, portanto, o seu uso em estudos hidrológicos (Silva & Kato, 1998).

Um modelo embasado fisicamente na suposição de que o solo assemelha-se a um feixe de microtubos, é o de Green-Ampt, o qual fornece a velocidade de infiltração instantânea em função de parâmetros físicos do solo e do total infiltrado. O modelo é expresso pela equação 5:

$$VI = K_0 \left[ 1 + \psi \frac{(\theta_s - \theta)}{I} \right] \quad (5)$$

em que

VI = taxa de infiltração;

$K_0$  = é a condutividade hidráulica do solo saturado,  $L.T^{-1}$ ;

I = infiltração acumulada;

$\psi$  = potencial matricial;

$\theta_s$  = umidade do solo correspondente à saturação, decimal; e

$\theta_i$  = umidade do solo no início do processo de infiltração, decimal.

Mein & Larson (1973) citados por Silva & Kato (1998), integraram a equação proposta por Green-Ampt, nos limites de integração próprios, conforme a duração da chuva. A partir daí, o modelo de Green-Ampt passou a ser conhecido na literatura como modelo de Green-Ampt modificado por Mein & Larson (GAML), o qual fornece o total infiltrado de acordo com a intensidade das chuvas e sua duração. A obtenção dos parâmetros constituintes

desse modelo envolve muitas determinações de campo e rotinas computacionais dificultando sua aplicação e utilização rotineira.

O modelo de Kostiakov, descrito por Prevedello (1996), é um modelo para cálculo da infiltração acumulada onde os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio e são avaliados a partir de dados experimentais. Outro modelo empírico, todavia mais consistente do que o de Kostiakov, é o modelo de Horton. De acordo com esse modelo, conforme descreve Prevedello (1996), a redução na taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que operam na superfície do solo, tais como selamento superficial devido ao impacto das gotas de chuva, fenômenos de expansão e contração do solo, etc. Ele também concluiu que a taxa de infiltração final se aproxima de um valor constante.

Os modelos de Horton e Kostiakov-Lewis, para infiltração acumulada em função do tempo, são representados pelas equações 6 e 7, respectivamente.

$$i = i_f + (i_o - i_f) \exp(-\beta t) \quad (6)$$

$$i = \alpha \kappa t^{\alpha - 1} + i_f \quad (7)$$

em que,

$i$  = taxa de infiltração acumulada, mm

$i_f$  = taxa de infiltração final, mm h<sup>-1</sup>;

$t$  = tempo de infiltração, h

$i_o$  = taxa de infiltração inicial, mm h<sup>-1</sup>;

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $\kappa$  são parâmetros determinados estatisticamente a partir de valores de  $I$  e  $t$ .

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\kappa$  são estimados minimizando-se a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores de infiltração a serem obtidos com o infiltrômetro de aspersão.

### 2.2.2 Manejo de solo e infiltração de água

Segundo Bertol *et al.* (2001), práticas diferenciadas de manejo do solo e de cultivos provocam alterações nas propriedades físicas do solo que podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. Assim, o solo cultivado tende, com o tempo, a ter sua estrutura original alterada, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo. Em decorrência disso, observa-se uma diminuição da taxa



de infiltração de água no solo, com conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial e de erosão hídrica.

Bertol *et al.* (2001) avaliando as modificações em algumas propriedades físicas de um Cambissolo Húmico alumínico, em sistemas de preparo convencional e semeadura direta, concluíram que o tipo de manejo não afetou o diâmetro médio ponderado de agregados na camada de 0-2,5 cm; nas demais camadas, no entanto, a semeadura direta apresentou valores maiores do que o preparo convencional e que a taxa de infiltração de água no solo, tanto inicial quanto final, foi maior no preparo convencional do que nos demais tratamentos.

Sales *et al.* (1999), objetivando estimar a taxa de infiltração básica, avaliaram a associação desta com outras propriedades físicas das camadas superficial e subsuperficial de um Latossolo Roxo e um Podzólico Vermelho-Amarelo, concluindo que os valores da VIB são contrastantes, podendo-se associar esses resultados às distintas características morfológicas relativas à estrutura dos horizontes desses solos. As melhores estimativas da VIB podem ser obtidas a partir de condutividade hidráulica do solo saturado e densidade do solo. Esses autores encontraram valor de 12,1 mm h<sup>-1</sup> para a VIB no solo tipo Podzólico Vermelho-Amarelo possuindo 422 g kg<sup>-1</sup> de argila e volume de macroporos de 7,8 % enquanto que em solo tipo Latossolo Roxo com 653 g kg<sup>-1</sup> e 16,8 % de macroporos a VIB atingiu valor de 56,6 mm h<sup>-1</sup>. Por outro lado Silva & Kato (1998), encontraram valores de VIB variando de 56 a 96 mmh<sup>-1</sup> em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa com cobertura vegetal, enquanto para o mesmo tipo de solo, porém sem cobertura vegetal, o valores da VIB variaram, de 51 a 78 mm h<sup>-1</sup>, caracterizando assim a importância da cobertura vegetal no incremento da infiltração de água no solo.

Alves & Cabeda (1999), trabalhando sob dois métodos de preparo, plantio direto e plantio convencional e usando chuva simulada com duas intensidades, concluíram que a infiltração acumulada e a VIB foram maiores no plantio direto. Neste sistema, não houve diferença na VIB para as duas intensidades estudadas; para o preparo convencional, a VIB foi menor sob a chuva de maior intensidade.

Cassol *et al.* (1999) estudando a infiltração da água por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa sugerem que, provavelmente, a camada limitante à infiltração, nesse experimento, foi uma camada mais profunda. O efeito em profundidade das hastes do subsolador quebrando esta camada foi, provavelmente, a razão das maiores taxas de infiltração no tratamento subsolagem em relação aos demais. Outros tratamentos, incluindo o plantio direto, apresentaram menores taxas de infiltração de água no solo e maior produção de

enxurrada em relação à subsolagem. As maiores perdas de água ocorreram na testemunha, onde não houve nenhum revolvimento do solo.

### **2.2.3 Alguns métodos para determinação da infiltração da água no solo**

A determinação da infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples e capazes de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo. Para tanto, torna-se necessário adotar métodos, cuja determinação baseia-se em condições semelhantes às aquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido, sendo que, uma vez que a velocidade de infiltração é muito influenciada pelas condições de superfície e conteúdo de umidade do solo, o conhecimento dessas condições é fundamentalmente importante para a interpretação dos resultados (Pruski *et al.*, 1997).

Pode-se medir a infiltração da água no solo por meio de equipamentos denominados de infiltrômetros de cilindros concêntricos (CC) ou de simuladores de chuva (SC). A utilização do CC requer menos trabalho do que o SC, mas os resultados obtidos com o CC comumente estão em desacordo com as taxas de infiltração que ocorrem em situações de chuva natural, possivelmente por causa de formação de uma crosta superficial sob chuva (Levien *et al.*, 2000).

Os valores de taxa de infiltração básica da água no solo (VIB) são imprescindíveis aos modelos utilizados na descrição da infiltração da água no solo, no planejamento e no manejo de sistemas de irrigação, drenagem e conservação de solo e água. O valor da VIB depende grandemente do selamento superficial provocado pelo impacto das gotas de chuva no solo. Portanto, via de regra, métodos de determinação da VIB que não levem em consideração a energia de impacto das gotas de chuva no solo superestimam seu valor.

Sidiras & Roth (1987) mostraram que os valores da taxa de infiltração, determinados por meio de infiltrômetro de anéis, que não levam em consideração a energia de impacto das gotas de água sobre a superfície do solo, são maiores do que os valores obtidos pela aplicação de água por aspersão. Pruski (1993) obteve equações que possibilitam determinar, para localidades em que a relação intensidade-duração-freqüência das precipitações é conhecida, a lâmina e a vazão máximas de escoamento superficial em solos sob condições agrícolas, a partir do conhecimento da taxa de infiltração básica da água no solo.

### 2.3 Simulador de chuva

A obtenção de bancos de dados da VIB, baseada na chuva natural, é dispendiosa e demorada. Por esta razão, ultimamente, vem sendo enfatizada, pelos pesquisadores da área de engenharia de conservação de solo e água, a utilização de equipamentos denominados infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva, que permitem controlar as características relativas à intensidade, duração e frequência da precipitação e ajustar modelos que descrevem a infiltração de água em diferentes condições de solo e, ou sistemas de cultivo. Bubbenzer & Meyer (1965) estão dentre os pioneiros no desenvolvimento de simuladores de chuva para estudos de erosão em laboratório e citam que o uso destes equipamentos torna-se extremamente necessário na obtenção de dados de escoamento superficial e de erosão em períodos curtos.

Segundo Moore et al. (1983), o simulador de chuvas deve permitir o ajuste das características da precipitação, ou seja, intensidade e duração. Para isto, deve permitir o ajuste de uma ampla faixa de intensidades de precipitação de modo a reproduzir as características da chuva da região geográfica em questão.

Para que um infiltrômetro tipo simulador de chuvas seja considerado satisfatório, é necessário que ele preencha às seguintes condições:

- a) apresentar relação entre a energia cinética da precipitação simulada e aquela da chuva natural acima de 75% (Meyer e McCune, 1958);
- b) aplicar água de modo contínuo na parcela experimental ou, no mínimo, executar duas aplicações por segundo, compondo assim uma aplicação não intermitente (Morin et al., 1967); e
- c) permitir o uso de parcela experimental com área superior a  $0,50 \text{ m}^2$ , caracterizada como parcela alvo de precipitação, pois experimentos cuja área útil é inferior a  $0,50 \text{ m}^2$  estão sujeitos a resultados tendenciosos (Smith, 1976).

Alves Sobrinho (1997, 2002 a e b) desenvolveu um infiltrômetro de aspersão (Figura 2) de construção simples e de fácil operação no campo, cujas características de precipitação relativas a diâmetro de gotas, velocidade e energia cinética de impacto no solo das gotas produzidas são semelhantes àsquelas da chuva natural. O infiltrômetro desenvolvido denominado InfiAsper, possibilita a determinação da taxa de infiltração em uma parcela experimental de  $0,70 \text{ m}^2$  e foi caracterizado quanto a diâmetro volumétrico médio de gotas produzidas, uniformidade de distribuição de água na parcela experimental, intensidade de

precipitação, velocidade e energia cinética de impacto no solo da chuva produzida. Os resultados obtidos na avaliação do InfiAsper permitiram as seguintes conclusões:

- a) os bicos modelos Veejet 80.100 e Veejet 80.150 mostraram-se mais adequados à obtenção de diâmetros de gotas e energia cinética similares à da chuva natural. Quando posicionados a 2,30 m de altura e operando à pressão de 32,7 kPa (Veejet 80.100) e 35,6 kPa (Veejet 80.150), estes bicos formaram gotas com diâmetros volumétricos médios de 1,8 mm e 2,0 mm, respectivamente;
- b) a uniformidade de distribuição de água das precipitações produzidas pelo infiltrômetro na parcela experimental, expressa pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen, apresentou valores variando entre 82 e 87%;
- c) o equipamento permitiu ajustes na intensidade de precipitação entre 19 e 308 mm h<sup>-1</sup> e aplicação praticamente contínua de água;
- d) a energia cinética da chuva produzida pelo infiltrômetro, tanto provido com os bicos Veejet 80.100 à pressão de 32,7 kPa quanto com os bicos Veejet 80.150 à pressão de 35,6 kPa, foi semelhante à energia cinética da chuva natural, para precipitações até 30 e 60 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente. A partir desses valores, a energia cinética da chuva simulada foi menor do que aquela da chuva natural atingindo uma diferença de 13% para precipitação de 160 mm/h obtida com o bico Veejet 80.150; e
- e) a relação entre a energia cinética da chuva produzida pelo infiltrômetro e a energia cinética da chuva natural correspondeu a valores acima de 90% para intensidades de precipitação até 40 e 100 mm h<sup>-1</sup>, para os bicos modelos Veejet 80.100 e 80.150, respectivamente.



**Figura 2.** Vista geral do infiltrômetro de aspersão-InfiAsper (Alves Sobrinho, 2002b).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Aspectos Gerais

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Dourados, MS (latitude Sul 22°13'16", longitude a Oeste de Greenwich 54°17'01, e altitude de 430 m), em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico, com 670 g kg<sup>-1</sup> de argila, 80 g kg<sup>-1</sup> de silte, 90 g kg<sup>-1</sup> de areia grossa e 160 g kg<sup>-1</sup> de areia fina, no período compreendido entre outubro de 2001 e novembro de 2002. O clima regional classificado pelo sistema internacional de Koppen é do tipo Cwa, clima úmido e inverno seco, com precipitação média anual de 1500 mm e temperatura média anual de 22° C (Mato Grosso do Sul, 1990). A declividade média da área foi de 3%. As estimativas das perdas de solo e de água e da taxa de infiltração da água e, sob diferentes sistemas de sucessão de culturas, foram feitas utilizando-se o infiltrômetro de aspersão InfiAsper/UFMS, desenvolvido por Alves Sobrinho (1997).

O infiltrômetro foi calibrado para aplicar uma intensidade de precipitação de 60 mmh<sup>-1</sup>, ajustando a abertura e o número de fendas no obturador e a pressão de serviço (Figura 3.). Para a calibração do infiltrômetro foi utilizada uma bandeja de 1,0 m de comprimento por 0,7 m de largura colocada dentro da área de ação do equipamento. A intensidade de precipitação ( $I_p$ ), em mm h<sup>-1</sup>, foi estimada pela relação:

$$I_p = \frac{V}{A.t} \quad (8)$$

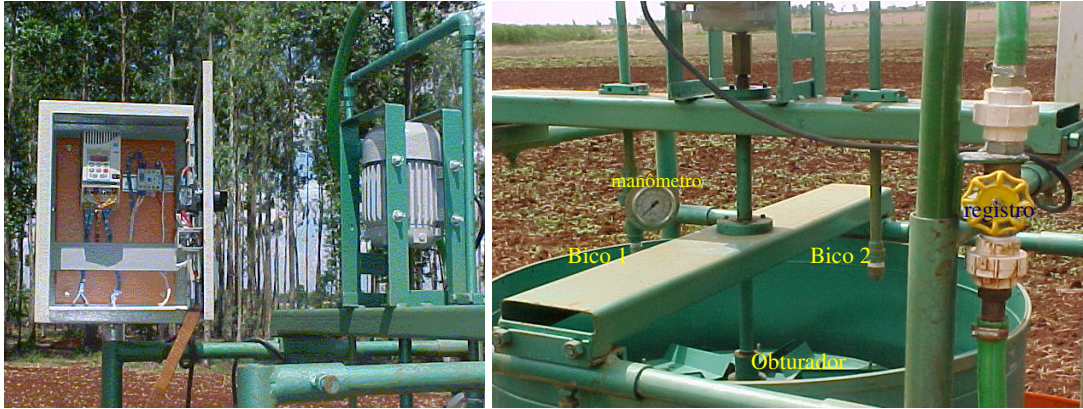
em que

V = volume coletado, L;

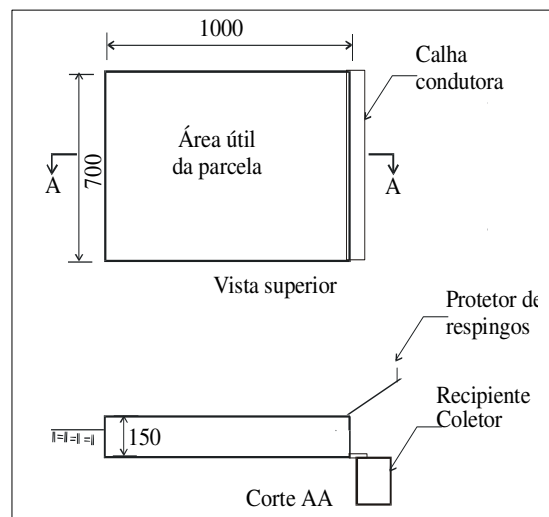
A = área de coleta, correspondente à área da bandeja (0,70 m<sup>2</sup>);

t = duração da precipitação, h.

A área de ação do equipamento, correspondente à área da parcela experimental (0,70 m<sup>2</sup>), foi contornada por um dispositivo de formato retangular, construído em chapas de aço galvanizada número 16, para permitir a determinação do volume de água escoado superficialmente (Figura 4).



**Figura 3.** (a) redutor de frequência montado no interior do painel; (b) sistema regulador da intensidade de precipitação (obturador rotativo, manômetro, bicos e registro), (Alves Sobrinho, 2002b).



**Figura 4.** Coletor de escoamento com o protetor de respingos e o recipiente coletor, (Alves Sobrinho, 2002a) (dimensões em mm).

O volume de água escoado foi medido em áreas cultivadas em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) conforme esquema de sucessão de cultivos apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Sistema de plantio e sucessão de culturas no período de 1999 a 2002.

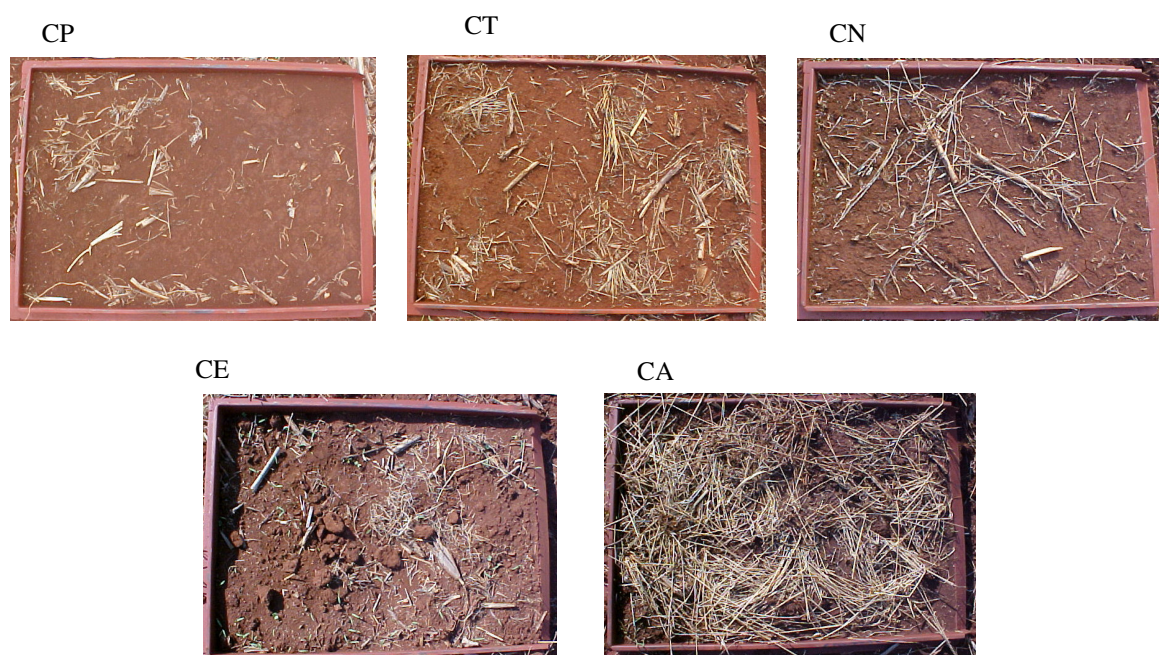
Sistema de plantio	Sucessão de cultura		
	Ano agrícola		
	1999/2000	2000/01	Out/01 a agosto/02
Plantio Convencional	pousio	trigo	aveia
	nabo forrageiro	ervilhaca peluda	ervilhaca peluda
	aveia	pousio	trigo
	ervilhaca peluda	aveia	nabo forrageiro
Plantio Direto	trigo	nabo forrageiro	pousio
	pousio	trigo	aveia
	nabo forrageiro	pousio	ervilhaca peluda
	aveia	ervilhaca peluda	trigo
	ervilhaca peluda	aveia	nabo forrageiro
	trigo	nabo forrageiro	pousio

Nas parcelas experimentais correspondentes ao sistema de plantio direto, no mês de agosto/2002, as culturas sucessoras à cultura do milho foram manejadas com rolo faca e em seguida foi instalado o infiltrômetro para as determinações de campo do volume escoado. No sistema convencional foi feita a incorporação das culturas sucessoras à cultura do milho, em setembro 2002, utilizando-se de grade aradora, conforme uso tradicional na região.

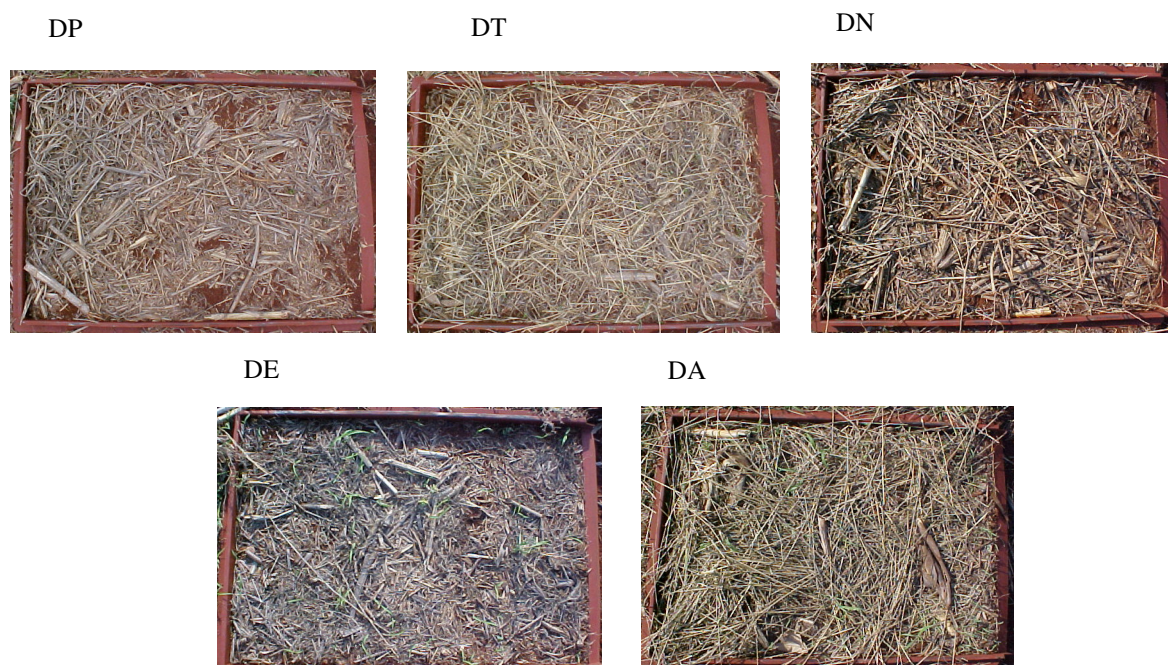
A estimativa de perda de solo e de água foi feita em cinco tratamentos para o sistema de preparo convencional (PC) (Figura 5) e cinco tratamentos para o plantio direto (PD) (Figura 6), assim denominados: sucessão milho-pousio em PC (CP); sucessão milho-trigo em PC (CT); sucessão milho-nabo em PC (CN); sucessão milho-ervilhaca em PC (CE); sucessão milho-aveia em PC (CA); sucessão milho-pousio em PD (DP); sucessão milho-trigo em PD (DT); sucessão milho-nabo em PD (DN); sucessão milho-ervilhaca em PD (DE); sucessão milho-aveia em PD (DA). Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetição, totalizando 40 parcelas experimentais.

A estimativa da taxa de infiltração foi feita em dois tratamentos para o sistema de plantio convencional (PC) e em dois tratamentos para o plantio direto (PD), assim denominados: sucessão milho-ervilhaca em PC (Trat 1); sucessão milho-pousio em PC (Trat 2); sucessão milho-ervilhaca em PD (Trat 3); sucessão milho-pousio em PD (Trat 4). Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetição, totalizando 16 parcelas experimentais.





**Figura 5.** Parcelas experimentais no sistema de preparo convencional. CP- sucessão milho-pousio; CT- sucessão milho-trigo; CN- sucessão milho-nabo; CE- sucessão milho-ervilhaca; e CA- sucessão milho-aveia.



**Figura 6.** Parcelas experimentais no sistema de plantio direto. DP- sucessão milho-pousio; DT- sucessão milho-trigo; DN- sucessão milho-nabo; DE- sucessão milho-ervilhaca; e DA- sucessão milho-aveia.



Na área experimental foram retiradas amostras de solo para análises químicas e físicas, conforme relacionadas, a seguir de acordo com EMBRAPA, (1997):

- Análise textural foi feita em amostras de solo coletadas de 0-20 cm de profundidade, feita no Laboratório de Solos do Núcleo de Ciências Agrárias.

- Análise de Carbono Orgânico Total e Matéria Orgânica, foram coletadas amostras de solo, com trado, na profundidade de 10 cm em cada parcela (repetição) a fim de melhor representar a variação espacial dos tratamentos. As análises foram feitas no Laboratório de Solos do Núcleo de Ciências Agrárias.

- Densidade e Porosidade do solo: foram coletados amostras indeformadas de solo com os anéis volumétricos centralizados nas profundidades de 7,5cm e 22,5cm. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Agropecuária Oeste.

Em cada tratamento, foram ainda avaliados a massa de matéria seca dos restos culturais, a declividade da parcela útil, umidade inicial do solo, tempo de início de escoamento superficial e energia cinética da precipitação.

- Massa da matéria seca, foram coletados os restos culturais presentes em cada parcela experimental, colocados em sacos de papel e secos em estufa de ar forçado com temperatura em torno de 60°C e posteriormente determinado a massa da matéria seca.

- Umidade inicial do solo: antes do início dos testes com o InfiAsper, foram coletadas amostras de solo em duas profundidades (0-15 e 15-30 cm) com trado, para determinação da umidade inicial do solo (Figura 7).

- Tempo de início do escoamento superficial: a fim de verificar o tempo gasto do início da aplicação da chuva simulada até o início do escoamento superficial.

- Energia cinética: foram anotadas a altura do bico, a pressão de serviço e a intensidade de precipitação, no final de cada teste com o simulador. A determinação da energia cinética foi feita por meio de programa computacional desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2001).

### **3.2 Estimativa das perdas de solo e de água**

Antes de se iniciar a coleta dos dados de escoamento superficial, as parcelas receberam um pré molhamento, 24 horas antes dos testes, com o objetivo de oferecer condições de umidade mais uniformes em todas elas, constituindo-se um pré requisito antes da aplicação da chuva artificial (Cogo et al, 1984). Para isso, o simulador foi regulado para aplicar uma intensidade de chuva, em torno de 60 mm h<sup>-1</sup>, durante tempo suficiente para

saturar o solo, sem que houvesse escoamento superficial e, conseqüentemente, carregamento de material de solo para a calha coletora.



**Figura 7.** Retirada de amostra de solo, para determinação da umidade.



**Figura 8.** Verificação da intensidade de precipitação.

Após o pré molhamento das parcelas as avaliações de perdas de solo e água tiveram início com a coleta de sete amostras do volume escoado em cada parcela, em recipientes de um litro, em intervalos de 5 min entre cada amostra (Figura 9), conforme Varela (1999). A coleta da primeira amostra teve início quando foi verificado o escoamento inicial de água na calha coletora. Se, após decorridos os 5 min, o recipiente não estivesse completamente cheio, a coleta era interrompida, o volume registrado e era iniciada imediatamente a coleta da amostra seguinte. Ao contrário, se durante o intervalo de 5 min o recipiente ficasse completamente cheio, a coleta era interrompida e o tempo registrado. Neste caso, a amostragem seguinte era feita após decorridos os 5 min. O intervalo de tempo compreendido

entre o início da aplicação da chuva e o início do escoamento superficial foi identificado para cada parcela do experimento.



Figura 9. Coleta das amostras de perdas de solo e de água, no campo.

No final da avaliação de campo as amostras eram encaminhadas para o laboratório e permaneciam em frascos vedados até serem feitas as estimativa da massa de solo e do volume de água. Este procedimento foi realizado no laboratório de Solos do Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da UFMS.

As estimativas das quantidades de solo e de água, presentes em cada amostra, foram feitas da seguinte maneira: mediu-se o volume de solução (solo + água) em proveta graduada, depois estas amostras foram colocadas em frascos de um litro, pesadas e acrescentado gotas de ácido HCl (1N), para que houvesse a floculação do material em suspensão. Após a floculação, era retirado o excesso de água e a fração sólida colocada em latas de alumínio. Esse material foi levado para secar em estufa, por período de tempo necessário para a completa evaporação da água contidas nas mesmas. Depois o solo seco foi pesado e calculado o volume de solo presente, com base na densidade de partículas ( $2,75 \text{ g cm}^{-3}$ ). O volume de solo encontrado foi subtraído do volume total da solução, assim determinando a quantidade de água presente em cada amostra.

Para a análise estatística, foi utilizado o programa SAEG (Sistema de Análises Estatística e Genética) a fim de se obter equações de regressão que melhor representassem a variação das perdas de solo e água, em função do tempo de aplicação da chuva. As médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott.

### 3.3 Estimativa da taxa de infiltração

A estimativa da taxa de infiltração foi realizada nos sistemas de plantio convencional (PC) e direto (PD), tendo como cultura de inverno a ervilhaca e o pousio. Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais.

Antes de cada avaliação, foram coletadas amostras de solo para a avaliação da umidade, nas camadas de 0 a 15 e 15 a 30cm.

A coleta da água escoada foi feita na calha coletora em intervalos de tempo de 1, 2, 3, 5, 10 e 15 minutos, com cinco repetições em cada intervalo, até que o volume escoado superficialmente se tornasse constante. Após as tomadas de dados em cada tratamento era verificada a intensidade de precipitação aplicada durante o teste e obtida a lâmina infiltrada. A diferença entre a lâmina de água aplicada e a lâmina de escoamento superficial, medida experimentalmente, corresponde à lâmina infiltrada. A lâmina de escoamento superficial é obtida pela relação entre o volume de água escoado superficialmente e a área útil da parcela experimental  $0,70\text{m}^2$ .

Com os dados de infiltração assim obtidos, foram ajustadas equações para a taxa de infiltração conforme modelos propostos por Horton e Kostiakov-Lewis, descritos por Prevedello (1996), representadas pelas equações 6 e 7.

Foi avaliada a qualidade do ajuste dos modelos utilizando os seguintes índices estatísticos: coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF), representados pelas equações (9), (10) e (11):

$$\text{CMR} = \left( \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right) / \sum_{i=1}^n O_i \quad (9)$$

$$\text{CA} = \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 \quad (10)$$

$$\text{EF} = \left[ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{P})^2 \right] / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \quad (11)$$

em que,

$O_i$  e  $P_i$  são, respectivamente, os valores observados e estimados,  $n$  é o número de observações e  $\bar{O}$  a média aritmética das observações.

Com as equações ajustadas foram gerados gráficos de taxa de infiltração em função do tempo, para os diferentes tratamentos, a fim de melhor analisar e discutir os resultados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises químicas e físicas do solo

O sistema de preparo convencional apresentou tendência de valores maiores para a densidade do solo, na camada correspondente à profundidade de 15 a 30 cm, ocorrendo o inverso no a plantio direto, onde foi observados valores maiores na camada de 0 a 15 cm de profundidade (Quadro 2). Pode-se inferir, assim, que no preparo convencional a camada compactada encontra-se em profundidades maiores, isso devido ao revolvimento superficial do solo pelo preparo. No plantio direto a camada compactada encontra-se em menores profundidades devido, provavelmente, a passagem de máquinas e a pressão que estas exercem sobre o solo.

**Quadro 2.** Resultados médios de densidade e porosidade do solo da área experimental. Dourados-UFMS 2002

Trat.	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Macroporosidade (%)		Microporosidade (%)		Porosidade Total (%)	
	Profundidade (cm)							
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
CP	1,32 A	1,40 A	7,97 A	6,70 B	48,66 A	46,32 A	56,63 A	53,02 B
CT	1,23 B	1,29 B	6,28 A	5,07 B	49,26 A	49,06 A	55,54 A	54,12 B
CN	1,25 B	1,27 B	4,18 B	4,28 B	49,06 A	49,60 A	53,24 B	53,88 B
CE	1,25 B	1,35 A	5,92 A	6,56 B	48,30 A	50,15 A	54,22 B	56,71 A
CA	1,31 A	1,29 B	4,45 B	5,62 B	47,94 A	48,10 A	52,39 B	53,72 B
<b>Média</b>	<b>1,27</b>	<b>1,32</b>	<b>5,76</b>	<b>5,65</b>	<b>48,64</b>	<b>48,65</b>	<b>54,40</b>	<b>54,29</b>
DP	1,40 A	1,34 A	5,20 A	6,86 B	49,55 A	51,32 A	54,75 A	58,19 A
DT	1,34 A	1,30 B	6,46 A	9,18 A	48,67 A	49,15 A	55,14 A	58,33 A
DN	1,32 A	1,23 B	3,80 B	5,84 B	48,30 A	48,41 A	52,09 B	54,25 B
DE	1,36 A	1,26 B	3,97 B	5,99 B	49,80 A	50,68 A	53,77 B	56,67 A
DA	1,33 A	1,28 B	4,48 B	4,42 B	48,53 A	49,41 A	53,00 B	53,82 B
<b>Média</b>	<b>1,35</b>	<b>1,28</b>	<b>4,78</b>	<b>6,46</b>	<b>48,97</b>	<b>49,79</b>	<b>53,75</b>	<b>56,25</b>

Valores médios seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Agrupamento Scott-Knott.

Os valores encontrados para de densidade do solo ficaram em torno de 1,20 a 1,40 g cm<sup>3</sup>, são superiores ao citado por Voltan et al. (1998) para Latossolo de textura argilosa, entre 0,94 e 1,02 g cm<sup>3</sup>, sugeridos como limites para solo não compactado.

Observa-se que no preparo convencional a percentagem de macroporos foi superior que no plantio direto, provavelmente devido ao revolvimento do solo pelo preparo do mesmo. Segundo Bertol *et al.* (2001), práticas diferenciadas de manejo do solo e de cultivos provocam alterações nas propriedades físicas do solo que podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que os sistemas de manejo não influenciaram, no teor de carbono orgânico total e matéria orgânica, visto que os valores foram próximos nos dois sistemas de cultivos. Por outro lado, a massa seca no sistema convencional foi inferior á presente no sistema de plantio direto em todas as sucessões de cultura, diferindo estatisticamente entre os sistemas (Quadro 3).

**Quadro 3.** Valores médios do peso da matéria seca (MS), matéria orgânica e carbono. Dourados-UFMS 2002

Tratamentos	MS (kg)	Carbono (g kg <sup>-1</sup> )	MO (g kg <sup>-1</sup> )
CP	82,15 A	18,05 A	31,15 A
CT	73,05 A	16,75 A	28,80 A
CN	55,38 A	17,05 A	29,43 A
CE	61,23 A	17,10 A	29,48 A
CA	212,35 A	17,25 A	29,25 A
<b>Média</b>	<b>96,83</b>	<b>17,24</b>	<b>29,62</b>
DP	453,80 B	17,15 A	29,58 A
DT	500,78 B	16,58 A	28,55 A
DN	574,85 B	17,30 A	29,85 A
DE	345,70 B	17,98 A	30,98 A
DA	559,03 B	18,50 A	31,90 A
<b>Média</b>	<b>486,83</b>	<b>17,50</b>	<b>30,17</b>

Valores médios seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Agrupamento Scott-Knott.

Não houve diferença estatística entre os sistemas de cultivo para o carbono orgânico total e matéria orgânica, isto pode ser devido ao manuseio das culturas sucessoras terem sido feitas pouco tempo antes da realização dos testes, não havendo tempo para as restevas das mesmas se decomparem e também porque à área experimental é uma área aonde vem sendo feito o plantio direto á cerca de três anos apenas. Dalla Rosa, 1981; Silva & Mielniczuk, 1997, citados por Bertol *et al.* (2001), comentam que sistemas de manejo do solo que promovem intenso revolvimento na camada superficial podem favorecer a decomposição da matéria orgânica, ocasionando efeito prejudicial na qualidade estrutural do solo e que a presença de camadas compactadas em subsuperfície, nesses sistemas de manejo, refletem uma degradação estrutural, com aumento da densidade e reduções do tamanho médio dos agregados, volume e tamanho dos macroporos, desenvolvimento radicular das plantas e taxa básica de infiltração de água. Por outro lado, afirmam, que sistemas de manejo caracterizados pelo não revolvimento do solo e com a manutenção de resíduos vegetais na superfície, favorecem o aporte de carbono orgânico, o que é fundamental para a manutenção e, ou melhoria da qualidade da estrutura do solo. Dessa forma, o plantio direto na palha apresenta-se como um sistema de manejo conservacionista do solo, pois, além de não revolver o solo, mantém os resíduos vegetais na superfície.

O sistema de preparo convencional apresentou menor quantidade de massa seca (Quadro 3) diferindo do sistema de plantio direto, isto também pode ser visualizado nas figuras 5 e 6. Observamos que a aveia como cultura de inverno promove uma boa cobertura do solo nos dois sistemas de cultivo quando comparado com as demais culturas sucessoras em estudos.

#### 4.2 Perdas de solo e de água

Analisando os resultados apresentados no Quadro 4, observa-se que a umidade inicial do solo foi semelhante para todos os tratamentos, contudo, o tempo de início do escoamento superficial foi, em média, superior no sistema de preparo convencional. Isto pode ser devido à presença de poucas palhas na superfície do solo, que favorece a desagregação superficial do solo e a formação de rugosidade superficial maior em relação as presentes no plantio direto. De acordo com Alves & Cabeda (1999), no plantio direto a proteção da superfície do solo pelos resíduos evita alterações desta, pois estes resíduos dissipam a energia cinética das chuvas, favorece a infiltração e, conseqüentemente, a saturação do solo é mais rápida reduzindo, assim o tempo de início de escoamento superficial.

**Quadro 4.** Valores médios de umidade inicial do solo (Ui), tempo do início do escoamento superficial (Ti), intensidade de precipitação (Ip) e energia cinética (Ec) dos teste realizados para determinação das perdas de massa de solo e volume de água escoado.

Tratamentos	Ui 0-15 (%)	Ui 15-30 (%)	Ti (minuto)	Ip (mm/h)	Ec (J m <sup>-2</sup> )
CP	11,41 A	12,67 A	38,83 A	56,07 B	1.678,10 A
CT	12,32 A	12,96 A	20,15 B	56,18 B	1.255,98 C
CN	12,39 A	13,15 A	13,03 B	60,89 A	1.188,50 D
CE	12,46 A	11,75 A	19,45 B	57,86 B	1.277,12 C
CA	13,39 A	14,02 A	16,66 B	57,68 B	1.207,91 D
<b>Média</b>	<b>12,39</b>	<b>12,91</b>	<b>21,62</b>	<b>57,74</b>	<b>1.325,26</b>
DP	12,76 A	12,57 A	11,50 B	56,75 B	1.069,73 E
DT	13,58 A	13,00 A	18,10 B	63,61 A	1.369,23 B
DN	14,25 A	13,92 A	14,03 B	58,57 B	1.164,11 D
DE	13,49 A	14,46 A	13,76 B	59,89 A	1.183,79 D
DA	13,62 A	13,66 A	13,96 B	57,75 B	1.146,17 D
<b>Média</b>	<b>13,54</b>	<b>13,52</b>	<b>14,27</b>	<b>59,31</b>	<b>1.184,58</b>

Valores médios seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Agrupamento Scott-Knott.

Os valores médios obtidos de massa de solo e volume de água escoado são apresentados no Quadro 5.

**Quadro 5.** Valores Médios de perdas de solo ( $\text{g m}^{-2}$ ) e de água ( $10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ) acumuladas em plantio convencional e direto para diferentes culturas de sucessão ao milho, em Dourados-MS

Tempo	Tratamentos									
	CP	CT	CN	CE	CA	DP	DT	DN	DE	DA
<b>A. Perda de solo (<math>\text{g m}^{-2}</math>)</b>										
5	0,49	3,75	4,45	1,48	0,93	0,40	0,12	0,32	0,62	0,87
10	1,06	6,91	9,94	2,83	1,61	0,78	0,35	0,68	1,25	1,63
15	2,14	10,99	14,91	4,51	2,26	1,08	0,49	0,98	1,70	2,15
20	3,17	15,71	20,58	6,37	2,97	1,34	0,69	1,33	2,15	2,54
25	4,30	20,77	26,35	8,32	3,70	1,55	0,82	1,58	3,28	3,01
30	6,09	27,29	34,01	10,77	4,60	1,76	0,93	1,79	3,71	3,50
35	7,50 B	40,61	47,75	13,45	5,34 B	1,96 B	1,09 B	2,00 B	4,19 B	3,96 B
		A	A	B						
<b>B. Perda de água (<math>10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}</math>)</b>										
5	0,33	0,68	0,70	0,57	0,37	0,89	0,17	0,30	0,27	0,25
10	0,83	1,54	1,57	1,31	0,76	1,94	0,34	0,72	0,89	0,67
15	1,45	2,65	2,74	2,20	1,21	3,00	0,50	1,24	1,66	1,17
20	2,21	3,92	4,40	3,23	1,63	3,91	0,70	1,75	2,21	1,73
25	3,12	5,32	6,03	4,35	2,16	4,83	0,88	2,30	3,15	2,22
30	4,19	6,67	7,85	5,59	2,72	5,73	1,06	2,88	4,11	2,78
35	5,45 B	8,35 A	9,88 A	6,93 A	3,29 B	6,62 A	1,23 B	3,50 B	5,07 B	3,44 B

Valores médios seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo Teste de Agrupamento Scott-Knott.

C= sistema de preparo convencional, D= plantio direto, P= pousio, T= trigo, N= nabo, E= ervilhaca, A= Aveia

As parcelas sob cobertura com as culturas de inverno, trigo e aveia foram mais eficientes do que as sob cobertura de ervilhaca e nabo no controle da erosão hídrica. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Dechen et al., 1981, ao constatarem que, em geral, as gramíneas foram mais eficazes do que as leguminosas na diminuição das perdas de solo, em todos os estágios de crescimento das culturas, em condições de chuva natural.

Analisando conjuntamente os dados de perdas de solo e de água com a massa seca presente nos tratamentos, observa-se uma correlação negativa (Quadro 6), isto significa que a medida que aumenta a quantidade de matéria seca há uma diminuição das perdas de solo e de água, devido a proteção oferecida ao solo pela presença de resíduos vegetais. De acordo com Alves (1986) e Cassol (1986), citados por Barcelos *et al* (1999), restos culturais sobre a superfície do solo interceptam e dissipam a energia cinética da chuva e do escoamento superficial, diminuindo a desagregação e o transporte de partículas, prevenindo a formação do selamento superficial, diminuindo a velocidade de escoamento, aumentando o tempo de contato água-solo.



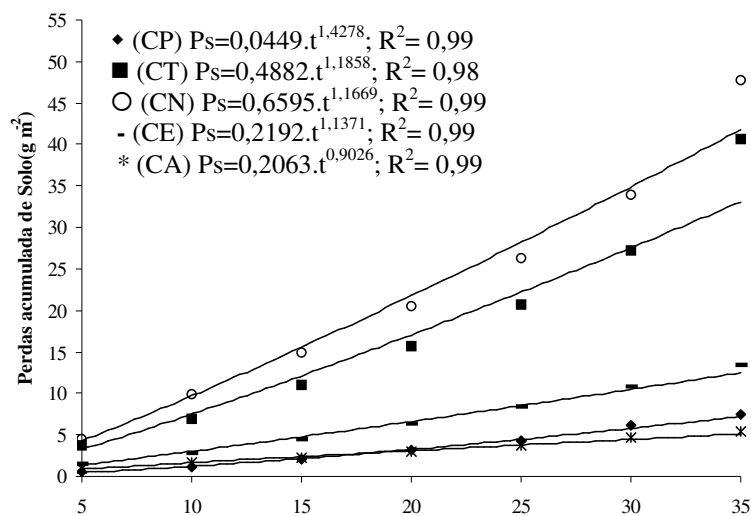
**Quadro 6.** Coeficiente de variação (%) e correlação entre as variáveis independentes estudadas em plantio convencional e direto para diferentes culturas de sucessão ao milho.

	CV.	MS	CT	MO	Ui1	Ui2	Ti	D1	D2	Ma1	Ma2	Mi1	Mi2	VTP1	VTP2	Ps	Pa
<b>MS</b>	50,07	1,000															
<b>CT</b>	5,81	0,067	1,000														
<b>MO</b>	5,37	0,097	0,723	1,000													
<b>Ui1</b>	12,65	0,425	-0,160	-0,009	1,000												
<b>Ui2</b>	10,69	0,280	0,057	0,108	0,612	1,000											
<b>Ti</b>	65,92	0,053	0,184	0,023	-0,350	-0,134	1,000										
<b>D1</b>	4,18	0,379	0,042	-0,029	0,163	0,216	0,298	1,000									
<b>D2</b>	3,72	-0,347	-0,074	-0,037	-0,240	-0,267	0,161	0,171	1,000								
<b>Ma1</b>	35,71	-0,189	0,002	0,048	-0,263	-0,366	0,026	-0,387	0,238	1,000							
<b>Ma2</b>	30,47	0,202	-0,072	-0,078	-0,015	-0,347	0,107	0,086	0,016	0,360	1,000						
<b>Mi1</b>	3,69	0,018	-0,192	-0,178	0,884	0,348	0,157	0,521	0,173	-0,493	-0,314	1,000					
<b>Mi2</b>	5,11	0,104	-0,178	-0,143	0,139	0,226	-0,331	0,197	-0,112	-0,117	-0,192	0,369	1,000				
<b>VTP1</b>	2,81	-0,188	-0,168	-0,106	-0,204	-0,086	0,166	0,045	0,408	0,639	0,109	0,354	0,201	1,000			
<b>VTP2</b>	4,96	0,230	-0,204	-0,178	0,110	-0,044	-0,213	0,231	-0,086	0,148	0,525	0,102	0,734	0,2495	1,000		
<b>Ps</b>	110,11	-0,498	-0,204	-0,196	-0,228	-0,163	-0,283	-0,495	-0,003	0,027	-0,326	-0,007	0,019	0,022	-0,209	1,000	
<b>Pa</b>	53,24	-0,463	-0,148	-0,120	-0,191	-0,106	-0,387	-0,288	0,175	-0,034	-0,305	0,098	0,094	0,051	-0,129	0,787	1,000

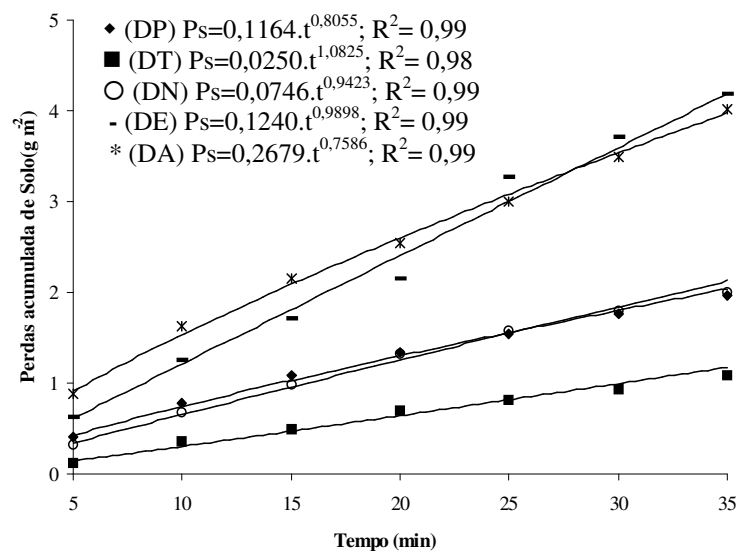
CV= coeficiente de variação; MS= matéria seca; CT= carbono orgânico total; MO= matéria orgânica; Ui1 e Ui2= umidade inicial na profundidade de 0-15 e 15-30 cm, respectivamente; Ti= tempo de início do escoamento superficial; D1 e D2= densidade do solo á 0-15 e 15-30 cm de profundidade, respectivamente; Ma1 e Ma2 = macroporosidade do solo á 0-15 e 15-30 cm de profundidade, respectivamente; Mi1 e Mi2 = microporosidade do solo á 0-15 e 15-30 cm de profundidade, respectivamente; VTP1 e VTP2= volume total de poros á 0-15 e 15-30 cm de profundidade, respectivamente; Os= perda de solo; Pa= perda de água.

Com os dados do Quadro 5, foram ajustadas equações de regressão, tendo como variáveis dependentes a massa de solo e o volume de água escoado e como variável independente o tempo de duração da chuva simulada. Nas Figuras 10A e 10B estão apresentadas as equações geradas com os respectivos coeficientes de determinação e as curvas ajustadas, para as perdas de solo no sistema de preparo convencional e no plantio direto, respectivamente. Nota-se que as perdas de solo foram maiores no sistema de preparo convencional. Essa diferença pode ser atribuída à cobertura vegetal nas parcelas, pois o preparo convencional deixa o solo exposto diretamente a ação de impacto das gotas de chuva, ocasionando a desagregação e transporte das partículas do solo, como relatado por Reichert & Cabeda (1992).

A



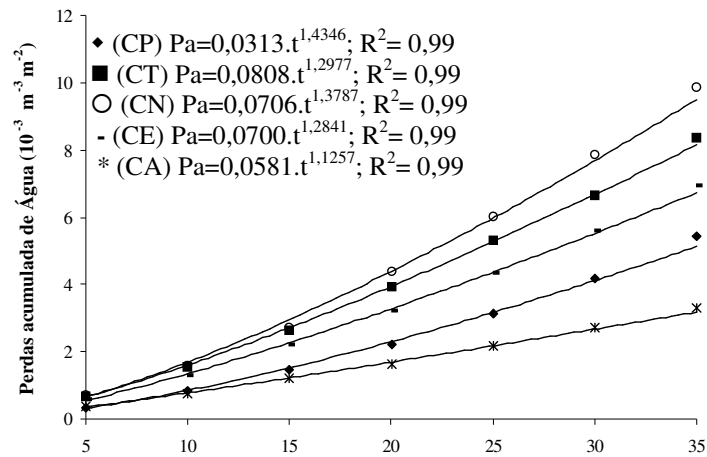
B



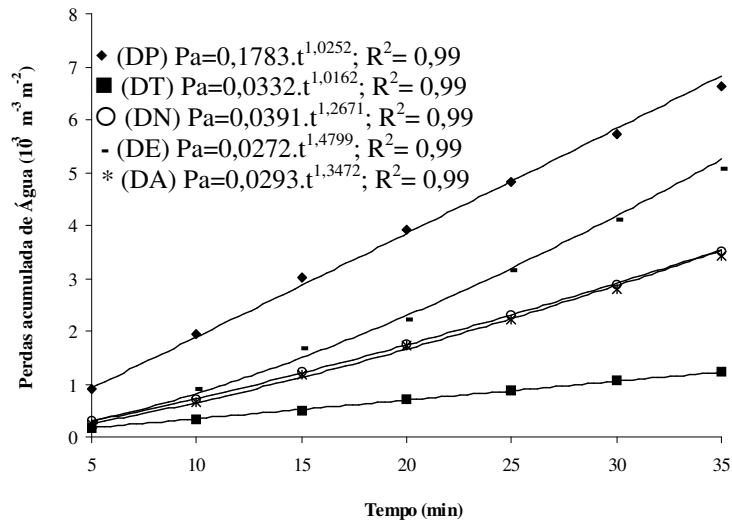
**Figura 10.** Perdas acumuladas de solo no sistema de preparo convencional (A) e no sistema de plantio direto (B) em função do tempo de aplicação da chuva simulada.

Nas Figuras 11A e 11B estão apresentadas as equações, com os respectivos coeficientes de determinação, e as curvas ajustadas a partir dessas equações, para as perdas de água no sistema de preparo convencional e no plantio direto, respectivamente. Verifica-se que as perdas de água foram maiores sob as coberturas de nabo e trigo tanto no PD como no PC. As menores perdas de água ocorreram, provavelmente, pelo fato de o solo apresentar limitada capacidade de infiltração, a partir da qual a taxa de escoamento superficial tende a igualar-se em diferentes sistemas de manejo do solo, como relatado por Schick et al. (2000).

A



B



**Figura 11.** Perdas acumuladas de água no sistema de preparo convencional (A.) e no sistema de plantio direto (B) em função do tempo de aplicação da chuva simulada.

No sistema de plantio direto as perdas de solo foram menores do que as observadas no preparo convencional possivelmente devido a cobertura do solo oferecer proteção ao solo contra

o impacto das gotas de chuva, o que esta de acordo com Pruski (1997) que comenta que quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor será a propensão de ocorrência de erosão nesse solo. Além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação amortece a energia do impacto das gotas de chuva reduzindo a desagregação dos agregados, a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. A presença de cobertura vegetal na superfície do solo também promove a redução da velocidade do escoamento superficial devido ao aumento da rugosidade hidráulica do percurso ao longo do qual ocorre o escoamento.

### 4.3 Taxa de Infiltração de água

Os dados médios de umidade inicial do solo, tempo do início do escoamento superficial, tempo de duração do teste após início do escoamento superficial, intensidade de precipitação e energia cinética dos teste realizados para determinação da taxa de infiltração encontram-se no Quadro 7. Nota-se que a umidade estava ligeiramente maior na camada de 0-15 cm de profundidade em todos os tratamentos e menor na camada de 15-30 cm. Os valores observados para umidade foram próximos ao teor de água equivalente ao ponto de murcha permanente, indicando que o solo se encontrava extremamente seco. Esta condição inicial de umidade do solo explica o alto tempo de início do escoamento superficial, visto que a umidade não estava distribuída uniformemente no perfil do solo e o escoamento tem início quando o solo encontra-se saturado.

**Quadro 7.** Valores médios de umidade inicial do solo ( $U_i$ ), tempo do início do escoamento superficial ( $T_i$ ), tempo de duração do teste ( $T_d$ ), intensidade de precipitação ( $I_p$ ) e energia cinética ( $E_c$ ) dos teste realizados para determinação da taxa de infiltração.

Tratamentos	$U_i$ 0-15	$U_i$ 15-30	$T_i$	$T_d$	$I_p$	$E_c$
	(%)	(%)	(min)	(min)	(mm/h)	( $J m^{-2}$ )
PC-ervilhaca	12,58 B	11,79 B	21,60 A	54 B	58,96 A	311,10 A
PC-pousio	15,00 A	14,61 A	14,53 B	157 A	59,68 A	315,23 A
PD-ervilhaca	15,82 A	15,50 A	10,65 B	42 B	57,65 A	303,60 A
PD-pousio	10,72 B	9,90 B	25,36 A	36 B	59,26 A	312,82 A

Valores médios seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Agrupamento Scott-Knott. PC= sistema convencional, PD= plantio direto

Os valores médios das taxas de infiltração inicial ( $i_o$ ) e final ( $i_f$ ) para os tratamentos analisados são apresentados no Quadro 8. O valor do coeficiente de variação (23,87%) indicou um bom nível de precisão experimental, tendo em consideração o elevado nível de variabilidade que se encontra em condição de campo.

**Quadro 8.** Valores médios das taxas de infiltração inicial (i0) e final (if) para os tratamentos avaliados

Tratamentos	Taxa de infiltração (mm h <sup>-1</sup> )	
	Inicial	Final
PC-ervilhaca	52,54	25,71
PC-pousio	49,25	13,93
PD-ervilhaca	45,43	28,71
PD-pousio	44,92	27,18

Coeficiente de variação: 23,87%

PC= sistema convencional, PD= plantio direto

As equações de Horton e Kostiakov-Lewis ajustadas e os índices estatísticos obtidos da estimativa da taxa de infiltração básica pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis, comparando-os com valores medidos encontram-se nos Quadros 9 e 10, respectivamente.

**Quadro 9.** Equações de Horton e Kostiakov-Lewis ajustadas

Tratamentos	Modelos	
	Horton	Kostiakov-Lewis
PC-ervilhaca	$i=25,71+26,83 \text{ Exp.}(-0,0590t)$	$i=25,71+32,60 t^{(0,5060-1)}$
PC-pousio	$i=13,93+35,35 \text{ Exp.}(-0,0277t)$	$i=13,93+44,49 t^{(0,6407-1)}$
PD-ervilhaca	$i=28,71+16,72 \text{ Exp.}(-0,1345t)$	$i=28,71+18,57 t^{(0,3300-1)}$
PD-pousio	$i=27,18+17,74 \text{ Exp.}(-0,1083t)$	$i=27,18+19,83 t^{(0,4108-1)}$

PC= sistema convencional, PD= plantio direto

**Quadro 10.** Índices estatísticos obtidos da estimativa da taxa de infiltração básica pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis, comparando-os com valores medidos

Tratamento	Equação	CMR	CA	EF
PC-ervilhaca	Horton	-0,00088	1,41520	0,00079
	Kostiakov-Lewis	-0,01646	1,74016	0,00079
PC-pousio	Horton	-0,05404	0,95640	0,59259
	Kostiakov-Lewis	-0,54112	1,08457	0,00586
PD-ervilhaca	Horton	0,00397	1,28687	0,00292
	Kostiakov-Lewis	-0,01122	1,32083	0,00290
PD-pousio	Horton	-0,00164	1,37497	0,00252
	Kostiakov-Lewis	-0,01224	1,52594	0,00251

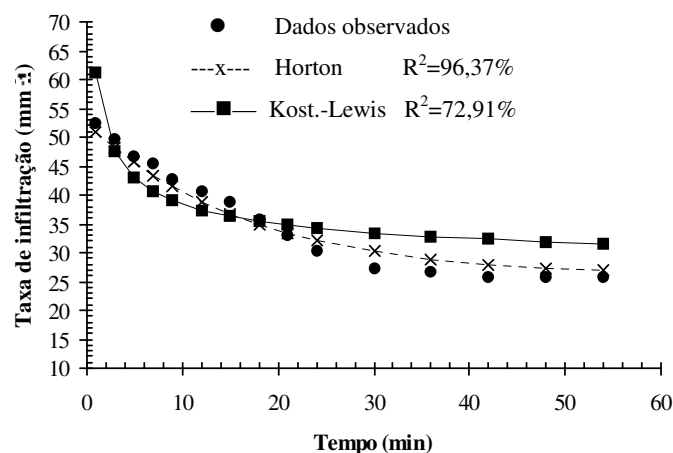
PC= sistema convencional, PD= plantio direto

Analisando-se o coeficiente de massa residual (CMR), verifica-se que as equações de Horton e Kostiakow-Lewis superestimaram a taxa de infiltração básica, comportamento indicado pelos valores negativos do índice CMR das equações, com exceção da equação de Horton para o tratamento PD-ervilhaca que subestimou a taxa de infiltração. Este índice estatístico também confirma o melhor ajuste da equação de Horton, com desvios mais próximos de zero para os tratamentos PC-ervilhaca, PC-pousio e PD-pousio.

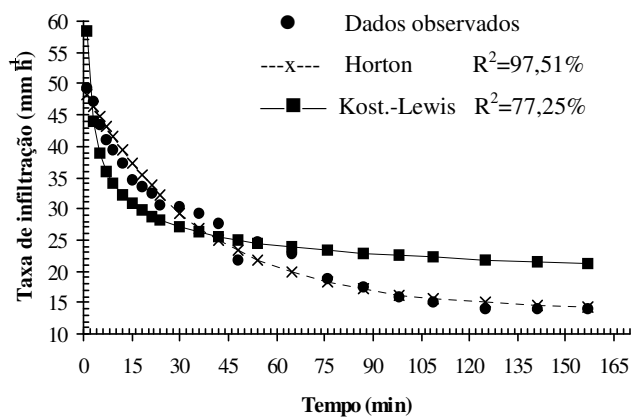
O índice coeficiente de ajuste (CA) foi maior na equação de Kostiakow-Lewis, nos quatros tratamentos. O índice coeficiente de eficiência (EF) foi semelhante nas duas equações, mostrando que não houve diferença entre elas e entre os sistemas de cultivo.

As taxas de infiltração de água no solo observadas no campo e as estimadas através das equações de Horton e Kostiakow-Lewis para os tratamentos estudados, são apresentadas nas figuras 12, 13, 14 e 15.

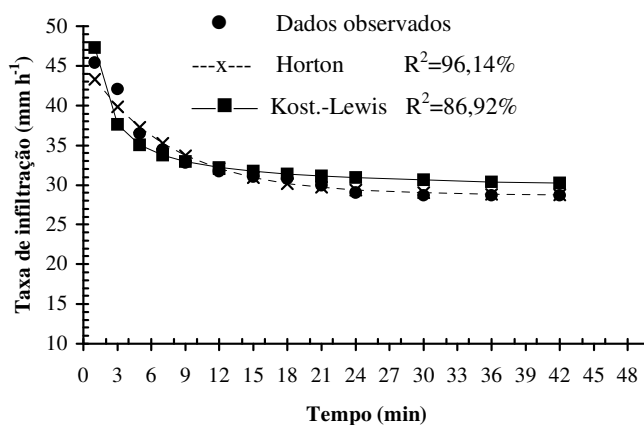
Comparando os métodos de preparo, observou-se que no preparo convencional demorou-se mais tempo para atingir a taxa de infiltração. No preparo convencional a superfície menos protegida foi o fator responsável por esse comportamento, visto que a energia cinética das gotas de chuva possibilitou a formação do selo, reduzindo, acentuadamente, a infiltração de água. Barcelos et al. (1999), admitem a possibilidade de que o menor percentual de cobertura de solo e a menor quantidade de palha na superfície possam explicar essa redução da taxa de infiltração no preparo convencional, ao favorecer a redução da rugosidade do terreno e a formação do selamento superficial, pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo desnudo. Com o selamento superficial, segundo Chaves et al. (1993), a permeabilidade original do solo pode ser reduzida em até 90%.



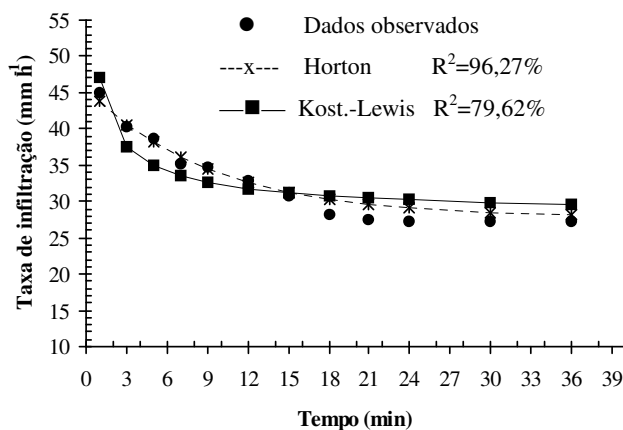
**Figura 12.** Taxa de infiltração observada e estimada para o preparo convencional sucessão milho-ervilhaca em função do tempo de coleta.



**Figura 13.** Taxa de infiltração observada e estimada para o preparo convencional sucessão milho-pousio em função do tempo de coleta.



**Figura 14.** Taxa de infiltração observada e estimada para o plantio direto sucessão milho-ervilhaca em função do tempo de coleta.



**Figura 15.** Taxa de infiltração observada e estimada para o plantio direto sucessão milho-pousio em função do tempo de coleta.

A equação de Horton ajustou-se melhor aos valores observados. Urchei e Fietz (1999), utilizando infiltrômetro de duplo cilindro para obtenção de dados de campo sobre infiltração em solo classificado como Latossolo Roxo, avaliaram a adequação das equações de Horton e Kostiakov-Lewis e concluíram que a equação de Kostiakov-Lewis é mais adequada para estimar a taxa de infiltração. Esses resultados sugerem que a equação de Horton, em se tratando de infiltrômetro tipo simulador de chuva, é a mais adequada para estimativa da taxa de infiltração.



## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a. As perdas de solo e de água foram mais acentuadas no sistema de cultivo convencional, em todos os tratamentos estudados;
- b. Os tratamentos sob cobertura de trigo e aveia foram mais eficazes do que as sob cobertura de ervilhaca e nabo no controle da erosão hídrica, não apresentando diferença, entre os dois sistemas de cultivo;
- c. A equação de Horton ajustou-se melhor aos dados de taxa de infiltração enquanto que a equação de Kostiakov-Lewis superestimou a taxa de infiltração em todos os tratamentos avaliados.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASI, M. & BRADFORD, J. M. **Methodologies for interrill soil erosion studies**. Soil & Till. Res., 49: 277-287, 1999.
- ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 85 p. Tese Doutorado em Engenharia Agrícola.
- ALVES SOBRINHO, T. FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**. Campina Grande, V.6, n.2, p.337-344, 2002.
- ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D. F.; AQUINO, R. M.; MONTEBELLER, C. A. Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetro de aspersão. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.12, p.28-35, 2001
- ALVES SOBRINHO, T.; QUEIROZ, D. M; PRUSKI, F . F. Infiltrômetro de aspersão portátil: INFIASPER II In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador-BA. **Anais...** Salvador, BA: CONBEA 2002 (Pub. CD-Rom).
- ALVES, M.C.; CABEDA, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:753-761, 1999.
- BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:35-43, 1999.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. Ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 675 p.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Distrófico sob diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo e rotação de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.18. p.267-271, 1994.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientiae Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, 2001.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.

- BUBENZER, G.D., MEYER, L.D. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 8, n.1, p.73, 75, 1965.
- CARDURO, F.A. & DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília, PRONI/MA, 1988. 216p.
- CARVALHO, D. F. de; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. da; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**. Campina Grande, V.6, n.3, p.385-389, 2002.
- CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; JONG VAN LIER, Q.; BADELLUCCI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:923-931, 1999.
- CHAVES, H. M. L.; ORLOWISK, W. E. ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.17, p.141-147. 1993.
- CHAVES, I.B.; NASCIMENTO, C.W.A. Características da chuva e relação com perdas de solo em Alagoinha-PB. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, SBCS, 1994. p.166-167.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, 48:368-373, 1984.
- DEBARBA, L. & AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:473-480. 1997.
- DECHEN, S.L.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. Campinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 5:133-137. 1981.
- DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S; FREITAS JÚNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 10:265-272. 1986.
- DeMARIA, I. C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:263-270. 1997.

- DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, ESALQ, 1990. 81p. (Tese de Doutorado).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1979. Não paginado.
- EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W. Rainfall erosion in the tropics: a state of art. In: KREBS, D.M., (Ed.). **Determinants of soil loss tolerance**. Madison, **American Society of Agronomy**, 1982. p.1-25.
- ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um argissola vermelho-amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:485-493. 2001.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRICIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS), Viçosa, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21, n.4:667-676, 1997.
- HUDSON, N. **Soil conservation**. 2.ed. New York, Cornell University Press, 1981. 324p.
- LARSON, W.E. & GILL, W.E. Soil physical parameters for designing new tillage system. In: **Conservation tillage**, 1973, Ankeny. Proceedings. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1973. P.13-22.
- LARSON, W.E. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. **Soil Sci. Soc. Proc.**, 28:118-122, 1964.
- LEVIEN, R.; COGO, N. P.; ROCKENBACH, C. A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Campinas, v.14, p.73-80, 1990.
- LEVIEN, R.; DE JONG VAN LIER, Q.; ALVES, A.G.C. Influence of surface crust on water infiltration rates measured by a rotating-boom rainfall simulator and a double-cylinder device. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:279-286, 2000.
- LOMBARDI NETO, F. BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 27).
- MARGOLIS, E.; SILVA, A. B. & JACQUES, E. O. Determinação dos fatores da equação Universal de Perdas de Solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9: 165-169. 1985.

MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURTI, N.; SANTANA, D.P.; SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – Primeira aproximação. Viçosa, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21, n.3:427-434, 1997.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas multirencial**. Campo Grande, 1990. 28p.

MEYER, L.D., McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.39, n.1, p.644-648, october 1958.

MOORE, I.D., HIRSCHI, M.C., BARFIELD, B.J. Kentucky rainfall simulator. **Transacions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.4, p.1085-1089, 1983.

MORIN, J.; VAN WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1223-1227, 1996.

MUTCHLER, C.K.; MURPHERE, C.E.; McGREGOR, K.C. Laboratory and field plots for erosion studies. In LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**, Ankeny: Soil and Water Conservation society, 1988. p.9-36.

NASCIMENTO, P. C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,23:121-125. 1999.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Ed. SAEAFS. Curitiba, PR, 1996. 446p.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. Infiltração da água no solo. **Engenharia na Agricultura**. Caderno Didático 25. 1997. 26p.

REICHARDT, K. Infiltração da água no solo. In: **Dinamica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. P.317-352.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 16, n.3: 289-298. 1992.

SALES, L.E.O.; FERREIRA, M.M.; SILVA DE OLIVEIRA, M.; CURTI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 34, n.11: 2091-2095. nov. 1999.

SIDIRAS, N., ROTH, C.H. Infiltration measurements with double ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.9, n.2, p.161-168, 1987.

SILVA, L.C.; KATO, E. Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 33, n.7: 1149-1158, jul. 1998.

SMITH, R. E. The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer. *J. Hydr.*, 17:1-22, 1976.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Estimativa da taxa de infiltração básica de um latossolo roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1999, Pelota, RS. **Anais...** Pelotas, RS: SBEA, 1999. (Pub. CD-Rom).

VARELLA, C. A. A. **Efeito dos sistemas de cultivo nas perdas de água e solo.** Seropédica, RJ:UFRRJ, 1999, 93p. Dissertação Mestrado.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction, American Geophysical Union**, Washington, v.39, p.285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. . **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning.** Wahington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H. & RANDALL, G. W. **Tillage effects on mensured soil hydraulic properties.** *Soil Til Res.*, 25, 17-33, 1992.