

Escoamentos Superficiais e de Drenagem em Solo com Diferentes Manejos e Intensidades de Chuvas Simuladas

Vander Kaufmann, Nilza Maria dos Reis Castro

Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS

ambitec@bol.com.br

Adilson Pinheiro

Professor da Fundação Universidade Regional de Blumenau – SC

pinheiro@furb.br

Recebido: 27/04/11 - revisado: 21/09/11 - aceito: 17/04/12

RESUMO

Chuvas intensas são geradoras de escoamentos superficiais, os quais são constituintes principais de enchentes em bacias hidrográficas. Os impactos dos escoamentos superficiais são negativos devido à erosão do solo, transporte de espécies químicas prejudiciais ao ambiente aquático, redução do armazenamento de água em aquíferos, entre outros. Este trabalho tem por objetivo quantificar os escoamentos superficiais e a drenagem de água no solo, para diferentes intensidades de precipitação e manejo agrícola do solo. O experimento foi desenvolvido em dois lisímetros, com 1 m² de área superficial, dotado de dispositivo para coleta do escoamento superficial e de drenagem a 1 m de profundidade. Um lisímetro é cultivado em sistema de plantio direto e o outro em plantio convencional. A intensidade da precipitação foi obtida com simulação de chuva, tendo variado entre 29,6 e 133,87 mm/h. Foram monitoradas as vazões superficiais e de drenagem e as umidades do solo. O lisímetro com plantio direto gerou menor escoamento superficial e maior escoamento de drenagem, tendo como consequência maior infiltração e menor volume de água armazenada no perfil do solo. As alterações da superfície devido ao revolvimento do solo no lisímetro com plantio convencional provocaram um retardo na resposta ao escoamento superficial.

Palavras chave: Escoamento superficial. Simulação de chuva. Lisímetro.

INTRODUÇÃO

Os fluxos da água na superfície e no perfil do solo são resultados das relações entre a intensidade da precipitação e a capacidade de infiltração da camada superficial do solo (LAL e SHUKLA, 2004). As intensidades de precipitação variam ao longo do tempo em função das condições atmosféricas. A capacidade de infiltração depende do tipo de solo, das propriedades características do solo, das condições de umidade e das práticas agrícolas empregadas (Vogel, 2002; DEURER et al., 2003; ANDERSON et al., 2000; VOGEL et al., 2005).

Os sistemas de preparo do solo como o plantio direto, que visa promover menor mobilização da superfície, e o de plantio convencional, que promove intensas movimentações na camada superficial do solo, afetam as características físico-hídricas do mesmo (ALVES e CABEDA, 1999; MEDEIROS et al., 2009). As operações realizadas nestes sistemas provocam alterações na disponibilidade de água no

solo, na estrutura, na porosidade total, na densidade, na resistência do solo a penetração, na distribuição do diâmetro dos poros e na porosidade de aeração (CASTRO, 1995; ALVES e CABEDA, 1999; MEDEIROS et al., 2009; HILLEL, 1998; LAL e SHUKLA, 2004; LANZANOVA et al., 2007).

Em Latossolos ou Argissolos, essas alterações podem ser intensificadas devido à dispersão da argila na superfície, principalmente em solos coesos. A liberação de argila reduz a dimensão dos canalículos do solo devido à iluviação de partículas finas e posterior ajuste face a face da caulinita devido ao deslocamento do ferro, criando um selamento na superfície do solo, que quando seco é chamado de crosta superficial (LIMA NETO et al., 2010, LAL e SHUKLA, 2004). No plantio direto com manutenção da palha na superfície, as mudanças químicas provocadas pela manutenção de restos culturais e aumento da matéria orgânica, têm influência marcante sobre o efeito do impacto das gotas de chuva e a dispersão das partículas finas e da agregação devido ao aumento da coesividade e diminuição de solo exposto

(CAMPOS, 2006, BRONICK e Lal, 2005). De acordo com Bohl e Roth (1993) a infiltração e escoamento superficial são influenciados pela formação de selo e, portanto, a estrutura da superfície do solo é um dos principais fatores de controle do escoamento superficial e erosão hídrica em solos cultivados (FARRES, 1987; Le BISSONNAIS et al., 2005; LECOMTE et al., 2001), resultando em efeitos irreversíveis de degradação do solo.

Taconet e Ciarletti (2007) afirmam que os processos hidrológicos são controlados diretamente pela microtopografia do terreno. Nos sistemas cultivados com o plantio convencional, o revolvimento do solo proporciona aumento da rugosidade e aumenta o tempo de resposta para iniciar efetivamente o escoamento superficial, devido à criação de empacamentos (DARBOUX e HUANG, 2005; FOX et al., 1998). A heterogeneidade e a descontinuidade de poros no perfil limitam a transmissibilidade horizontal e/ou vertical em solos revolvidos (VOGEL et al., 2005; DEURER et al., 2003; VOGEL, 2002; ANDERSON et al., 2000) favorecendo o escoamento superficial.

Lisímetros volumétricos de drenagem têm sido utilizados para estudo dos componentes do ciclo hidrológico, em especial para a quantificação da evapotranspiração, pois esta é a variável mais difícil de ser estimada (OLIVEIRA et al., 2010; BASTOS et al., 2008; MACHADO e MATTOS, 2000). O uso de lisímetros permite o estudo dos processos físicos do ciclo hidrológico, gerando informações das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico. A utilização de lisímetros é uma ferramenta extremamente importante para reproduzir as condições reais de campo (LOOPS et al., 2007).

O objetivo deste trabalho é compreender os processos físicos envolvidos nas variáveis de escoamento superficial e de drenagem profunda obtidos em lisímetros volumétricos de drenagem sob simulação de chuva, cultivados com sistemas de plantio e de manejos do solo distintos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em um dispositivo experimental, constituído de dois lisímetros volumétricos de drenagem implantados em uma área agrícola, com manejo do solo de plantio direto e outro com plantio convencional, com manejos distintos (construção de sulcos no sistema plantio

direto, revolvimento de solo no sistema cultivo convencional) em parcelas com cultivo de soja, aveia e trigo. Foram realizadas simulações de chuva, empregando-se intensidades pluviométricas diferentes e monitorados os escoamentos superficiais e de drenagem profunda e as umidades do solo.

Área experimental

O dispositivo experimental está instalado na bacia do rio Potiribú, no município de Pejuçara, RS, região do planalto médio gaúcho. O solo é do tipo Latossolo Vermelho distroférico (LVdf2). A declividade do solo é de 2%, em dois lisímetros volumétricos de drenagem. Eles foram instalados em 2003. Em um lisímetro é desenvolvido plantio direto e no outro cultivo convencional. Considera-se que no plantio direto a estrutura do solo não é alterada enquanto que no plantio convencional a camada de 20 cm da superfície do solo foi alterada através de revolvimento. Desde 1989, o solo da bacia tem sido preparado com o plantio direto. A palha é mantida na superfície do solo, sendo que o solo ganhou matéria orgânica ao longo dos anos. O solo do lisímetro com plantio convencional nunca foi revolvido, somente foi revolvido de forma manual para as simulações a partir do ano de 2009. Na Tabela 1 são apresentadas características físicas e químicas do perfil do solo nos lisímetros.

Dispositivo experimental

Os lisímetros volumétricos do tipo drenagem, possuem volume de 1m^3 , com base de 1m^2 , constituído de chapas acrílico, de 8 mm de espessura. Na instalação dos lisímetros, o solo foi mantido indeformado. Os lisímetros foram confeccionados com o uso de duas caixas de acrílico, a primeira vazada, que foi utilizada na coleta da amostra do solo e a segunda para a confecção da base do lisímetro, conforme é descrito por Oliveira et al (2010). Próximos à superfície e a base do solo, foram instaladas tubulações de coleta do escoamento superficial (LR) e da drenagem profunda (LP). Os volumes escoados superficial e de drenagem profunda foram medidas com recipientes de volume de 920 mL. O tempo de enchimento do recipiente foi cronometrado. As coletas foram realizadas em intervalos de 5 min.

Tabela 1 - Composição granulométrica, pH, porosidade, massa específica e carbono orgânico do solo no lisímetro com plantio direto (PD) e com plantio convencional (PC).

Profundidade	Porosidade	Massa Específica	pH	Argila	Silte	Areia	Rocha	Matéria Orgânica	
(cm)	(%)	(g cm ⁻³)		(%)	(%)	(%)	(% do volume)	PC (%)	PD (%)
0-20	58	1,18	5,7	43,54	22,72	33,74	0,000	3,7	5,029
40-60	55	1,01	5,8	65,05	16,40	18,51	0,408	1,2	2,112
80-100	59	1,09	5,3	48,89	29,60	21,51	0,000	0,6	1,408

Para estimativa da umidade do solo, usou-se a técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) da Soilmoisture, modelo TDR 6050X1, que utiliza uma equação “universal” (TOP et al., 1982) para transformar leituras da constante dielétrica do solo (k_a) em umidade volumétrica (θ). Porém, vários autores observaram que esta equação é válida para solos de textura arenosa, mas para solos argilosos, não apresenta um bom ajuste (ROTH et al., 1990; PONIZOVSKY et al., 1999; JACOBSEN e SCHIØNNING, 1993). Roth et al. (1990) consideram que isto ocorre devido a aumento na superfície específica do solo com o aumento do teor de argila, fazendo com que a influência da camada de água adsorvida seja significativa. Neste trabalho foi utilizada uma curva de calibração determinada por Medeiros et al. (2007) no solo LVdf2 exatamente no local ao lado destes lisímetros, para profundidade de 5 a 15 cm e 30 a 40 cm (1) e 50 a 60 cm (2) que apresentou bom ajuste ($R^2 = 0,896$ e $0,983$ respectivamente). Os autores utilizaram para a calibração amostras indeformadas de solo, coletadas em cilindros de 26 cm de diâmetro e 5 cm de altura, com 3 repetições para cada profundidade. As amostras foram levadas ao laboratório, onde foram saturadas e a umidade gravimétrica foi medida várias vezes por dia ao longo de vários meses até a amostra secar ao ar livre, com auxílio de uma balança de precisão, enquanto leituras simultâneas da constante dielétrica do solo foram realizadas com uma sonda do TDR instalada na amostra. No final do ensaio, as amostras foram secas em estufa e a densidade do solo foi calculada para o cálculo da umidade volumétrica. Estas curvas de calibração são expressas por (MEDEIROS et al. 2007).

$$\theta = 0,0366 + 0,02698ka - 4,8 \times 10^{-4}ka^2 + 3,6 \times 10^{-6}ka^3 \quad (1)$$

$$\theta = 0,00054 + 0,06622ka - 2,7 \times 10^{-3}ka^2 + 4,0 \times 10^{-5}ka^3 \quad (2)$$

onde θ é a umidade volumétrica do solo e k_a é a constante dielétrica aparente do solo.

O armazenamento de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, conforme Libardi (2005). Assim, a variação de armazenamento de água no solo foi determinada pela diferença dos valores do conteúdo de água do solo obtidos do perfil, nos tempos iniciais e finais de cada intervalo de tempo, utilizando-se a expressão:

$$\Delta S = S_f - S_i \quad (3)$$

onde ΔS a variação no armazenamento de água do solo (mm); S_f o armazenamento final de água no solo (mm) e S_i o armazenamento inicial de água no solo (mm).

Procedimento de Simulação de chuvas

As chuvas simuladas foram obtidas utilizando-se um simulador de chuvas, semelhante ao descrito por Meyer e Harmon (1979), com bico aspersor tipo S.S.CO.3/8KSS-45 para precipitações inferiores a 60 mm/h e Veejet 80-100 para precipitações superiores a 80 mm/h. Esses bicos são comumente utilizados para pulverização agrícola a altas pressões. As chuvas aplicadas variaram de 30 a 133 mm/h. A adoção das precipitações simuladas teve por objetivo de avaliar o efeito de pequenas, médias e altas intensidades de chuva nos escoamentos e drenagem do solo. Porém, é importante forçar a ocorrência do escoamento superficial, e por isso simulou-se também altas intensidades. A primeira série de ensaios foi realizada com intensidades elevadas e a terceira série com intensidades baixas. Na segunda série, as intensidades foram variáveis. No primeiro e terceiro ensaios foram aplicadas intensidades baixas e no segundo e no quarto, intensidades elevadas.

A evolução da precipitação ao longo das simulações foi determinada com uso de um pluviógrafo Davis® com datalogger registrador Novus®, instalado junto a parede do lisímetro, pelo lado externo. Os dados de precipitação foram registrados no intervalo de tempo de 1 min. Além desse registro, a intensidade da precipitação foi medida com um tanque de alumínio, posicionado sobre o lisímetro, ao final do tempo de duração do ensaio. A coleta da precipitação ocorreu durante uma duração de 5 min. O tanque possui formato quadrado, com 1,10 m de lado, altura de 0,10 m e espessura da parede de 0,001 m. As intensidades medidas com o pluviógrafo e com o tanque foram comparadas, visando identificar eventuais erros de medidas. Ressalta que as intensidades da precipitação variam em função do tipo dos bicos do aspersor adotados e da pressão do sistema. No entanto, as condições reinantes, como precipitação natural e/ou ocorrência de ventos fortes, também proporcionaram alterações nas intensidades medidas.

Determinaram-se os tamanhos das gotas da chuva e as energias aplicadas, através de procedimento descrito por Semmelmann (1991), com uso de aparelho JOSS-WALDVOGEL Distrometer (disdrômetro). A altura de queda das gotas foi de aproximadamente de 2,61 m e a pressão de trabalho foi de 6 e 11 psi. As velocidades terminais (v) de todas as classes de gota (cm/s) são calculadas usando equação derivada de Gunn e Kinzer (1949) e das expressões ajustadas por Dingle e Lee (1972). A expressão empregada para cálculo da velocidade terminal depende do diâmetro D_{50} das gotas. Para os valores de $D_{50} \leq 1,4$ mm (4) e $D_{50} > 1,4$ mm (5). As velocidades terminais de cada intervalo de classe são obtidas por,

$$v = -17,8951 + 448,94898d_i + 16,3719d_i^2 - 45,9516d_i^3 \quad (4)$$

$$v = 24,166 + 448,8336d_i - 75,6265d_i^2 + 4,2559d_i^3 \quad (5)$$

onde d_i tamanho das gotas de cada classe (mm).

A energia cinética de cada gota (J) é calculada por meio da expressão:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (6)$$

onde m é a massa (kg) e v a velocidade terminal (m/s). A massa m foi calculada através da distribuição das gotas obtida pelo disdrômetro por meio do diâmetro da gota. A energia cinética é expressa na unidade J/m/h ou MJ/ha/h, obtido pela multipli-

cação da energia cinética pela intensidade e dividindo-se pelo volume de gota. A energia cinética total da chuva é calculada somando a energia de todas as classes de gotas obtidas pelo espectro gerado pelo disdrômetro.

Os ensaios de simulação foram realizados em séries de 4 dias consecutivos. Em cada série de ensaios adotou-se a seqüência seguinte: primeiro e segundo ensaios, com as condições iniciais da superfície do solo, no final do segundo ensaio, a superfície do lisímetro com plantio convencional foi revolvida, com uma pá de corte, até a profundidade de 20 cm, sendo realizado um bom destorroamento e regularização da superfície. No lisímetro com plantio direto, após a segunda simulação de chuvas foi criado um sulco, na direção da curva de nível, com 0,03 m de largura, profundidade de 0,02 m, sendo o solo revolvido até a profundidade de 0,07 m. Essas condições de superfícies foram mantidas para o terceiro e quarto ensaio.

Determinação dos coeficientes de escoamento superficial e de infiltração e da condutividade hidráulica

Para cada ensaio foi determinado o coeficiente de escoamento superficial, através da relação entre o volume total de água escoada superficialmente e o volume total da precipitação aplicada, expresso pela equação:

$$C = \frac{V_{esc}}{V_{prec}} \quad (7)$$

onde C é o coeficiente de escoamento, V_{esc} é o volume de escoamento superficial e V_{prec} é o volume total precipitado.

Considerando que o escoamento gerado é hortoniano, a diferença entre o volume escoado e o volume precipitação resultou no volume infiltrado. Deste modo, pode ser estabelecido o coeficiente de infiltração, que é expresso por $C_{inf} = 1 - C$.

A condutividade hidráulica saturada foi determinada a partir do método de Green e Ampt, que supõe que o meio é homogêneo, a umidade inicial do solo é constante e o fluxo é unidimensional. Nesse modelo, a infiltração é descrita por três parâmetros: a intensidade da infiltração, a condutividade hidráulica e a altura da lâmina de água infiltrada. Lal e Shukla (2004) apresentam uma adaptação

desse modelo, de modo que a taxa de infiltração pode ser obtida pela expressão:

$$i(t) = K_s + \frac{b}{I(t)} \quad (8)$$

onde i é a taxa de infiltração no instante de tempo t , K_s é a condutividade hidráulica de saturação, I é a taxa de infiltração acumulada até o instante de tempo t e b é uma constante.

Em cada intervalo de tempo, as taxas de infiltração $i(t)$ e $I(t)$ podem ser obtidas por:

$$i(t) = IP(t) - IR(t) \quad (9)$$

$$I(t) = P(t) - R(t) \quad (10)$$

sendo,

$$IP(t) = \frac{P(t) - P(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (11)$$

$$IR(t) = \frac{R(t) - R(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (12)$$

onde P é a precipitação acumulada, R é a lâmina de água escoada superficialmente acumulada, IP é a intensidade de precipitação, IR é a intensidade do escoamento superficial e, t e $t - \Delta t$ são os instantes de tempo t e $t - \Delta t$.

Desta forma, a aplicação do modelo envolve a determinação dos valores de K_s uma vez que são conhecidas as intensidades da precipitação e as alturas de lâminas de água escoadas superficialmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas as características dos ensaios de simulação de chuva realizados,

assim como os resultados relacionados à chuva, ao escoamento superficial, ao escoamento de drenagem, à condutividade hidráulica saturada, entre outros. Nos cálculos do balanço hídrico foram desprezadas as perdas por evapotranspiração, visto que o intervalo de tempo do experimento é curto. As precipitações totais simuladas variaram entre 37,7 e 159,4 mm, que foram simuladas em um tempo médio de 76,7 min. A intensidade de precipitação variou entre 29,60 e 133,87 mm/h, cujas energias cinéticas geradas variaram entre 0,18 e 76 J/m²/h. As diferenças entre as energias cinéticas aplicadas, para intensidades de mesma magnitude, são devidas as variações nas pressões aplicadas no simulador e a ocorrência de precipitações naturais.

Fazendo-se uma análise de variância através da ANOVA, verifica-se que não existem diferenças significativas ($p < 0,05$) para as variáveis durações (t), precipitações (P) aplicadas, intensidades (i) de precipitação, energia cinética (E) gerada e umidades iniciais (θ_i) do solo, nos ensaios realizados nos dois lisímetros.

Nota-se na Tabela 2 que o tempo de início do escoamento superficial ($T_{i_{esc}}$) no lisímetro com plantio convencional é cerca de 5 vezes superior ao do lisímetro com plantio direto.

As irregularidades da superfície gerada pelo plantio convencional produzem retenção da água e aumentam a rugosidade, proporcionando uma redução da velocidade do escoamento. Ressalta-se que em três ensaios com intensidades de precipitação baixas não foi gerado escoamento superficial no lisímetro com plantio convencional. O tempo de início do escoamento de drenagem ($T_{i_{dre}}$) também foi superior no lisímetro com plantio convencional, sendo a relação da ordem de 2 (Tabela 2).

Esses tempos de respostas indicam que o sistema de plantio direto apresenta maior capacidade de infiltração. Comparando-se os escoamentos superficiais totais, verifica-se que o lisímetro com plantio convencional gerou 30,03 mm de escoamento e o lisímetro com plantio direto 23,66 mm. Para precipitação com intensidade baixa (menor que 55 mm/h), o lisímetro com plantio direto gerou mais escoamento superficial do que aquele com plantio convencional. Em contrapartida, para precipitação com intensidade elevada, tem-se o contrário, o plantio convencional gerou mais escoamento superficial do que o plantio direto. No plantio convencional a superfície apresenta depressões, que promovem a retenção da água, formando empoçamentos (CARVAJAL et al, 2006; LAL e SHUKLA, 2004; BORSELLI e TORRI, 2010). Para precipitações com intensidades baixas, o volume precipitado pode não ser

suficiente para promover a ligação das superfícies de água retidas, dificultando dessa maneira a ocorrência do escoamento superficial. Para intensidades de precipitação elevadas, as depressões são rapidamente preenchidas, de modo que a geração de escoamento superficial ocorra em maior quantidade. Isso se reflete nos coeficientes de escoamento superficial calculado para o conjunto de ensaios. Eles foram mais elevados no lisímetro com plantio convencional ($C=21,46\%$) do que no plantio direto ($C=17,22\%$).

Verifica-se que a infiltração foi maior no lisímetro com plantio direto (71,1 mm) do que naquele com plantio convencional (63,7 mm). A presença de maior quantidade de matéria orgânica e restos culturais devido ao plantio direto auxiliam na formação da estrutura do solo (agregados e vida microbiana) e menor índice de SAR (relação de adsorção de sódio) que diminuem a floculação e conseqüente desprendimento de argila e presença de agregados coesivos. Além disso, a macroporosidade e a presença de canalículos e de canais preferenciais criados por minhocas, besouros, cigarras e outros sulcadores abaixo dos primeiros milímetros do solo promovem grande capacidade de drenagem profunda como foi mostrado por Azooz e Arshad (1996) e Cavalieri et al. (2009). Bertol et al. (2000) e Buczko et al. (2006) comprovaram que em solos cultivados no sistema conservacionista, a conectividade entre os poros e a presença da macroporosidade provocada pela ação biológica é extremamente superior aos solos cultivados no sistema convencional. Lanzanova et al. (2007) e Barcelos et al. (1999) mostram que manutenção de restos vegetais e a melhora nas condições químicas, facilitam a presença de galerias, pequenos poros interconectados e outras condições que aumentam a infiltração no plantio direto. Nos ensaios, o escoamento de drenagem médio foi de 53,1% da altura de precipitação total no lisímetro com plantio convencional e de 64,0% com plantio direto. Na série de ensaio com intensidade de precipitação baixa, o escoamento em drenagem foi superior a 80,6% no plantio convencional e a 91,6% no plantio direto. Em condições naturais, o escoamento de drenagem profunda representa a recarga dos aquíferos freáticos.

A mudança da superfície do solo no plantio convencional afeta a infiltração de água mais que no sistema plantio direto. No Latossolo que tem elevada percentagem de argila (tabela 1), o impacto da gota de chuva no solo provoca desagregação dessa fração do solo e posterior rearranjo, formando selo. Enquanto esse selo não é rompido pela energia da gota de chuva, o escoamento superficial pode ser gerado.

Essa situação é mais significativa para precipitação com intensidade baixa. Observando a energia aplicada após o revolvimento da camada superficial do solo (tabela 2), percebe-se que no evento antecedente de 1D, onde o coeficiente de escoamento superficial foi de 62%, a energia aplicada foi de 23,08 J/m²/h, enquanto no evento do dia 3D, o coeficiente foi 0 (zero), a energia aplicada pela chuva (0,12 J/m²/h) não foi capaz de formar o selo superficial.

Maiores valores dos coeficientes de infiltração e o de drenagem no lisímetro plantio direto refletem em menor capacidade de armazenamento de água na camada não saturada do solo. Os resultados dos ensaios mostram que houve maior armazenamento de água no solo no lisímetro com plantio convencional (média de 26,51 mm) que no lisímetro com plantio direto (média de 21,66 mm). no plantio convencional o salpicamento provocado pela ação das gotas da chuva em solos desnudos provoca a obstrução dos poros logo na camada superficial, bem como a argila dispersa provoca o entupimentos dos canalículos e assim diminui capacidade de escoamento da água no perfil do solo (MOUZAI e BOUHADEF, 2003).

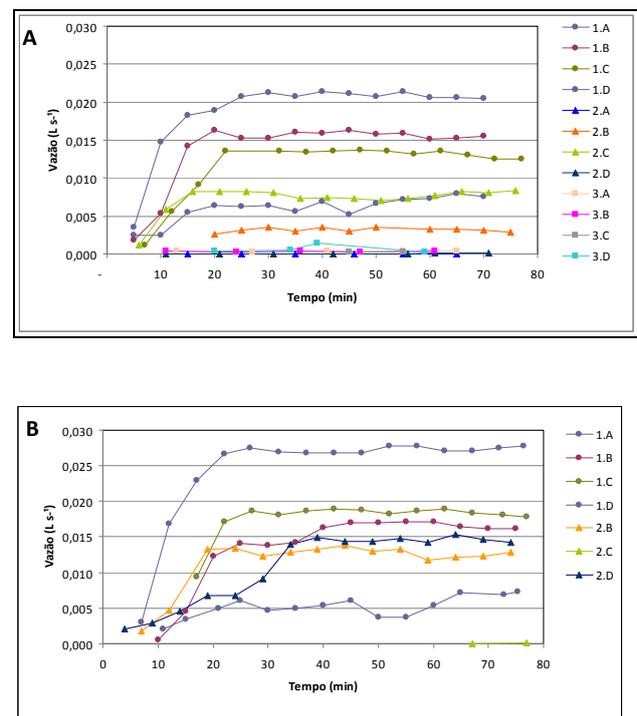


Figura 1 – Evoluções temporais do escoamento superficial no plantio direto (A) e plantio convencional (B).

Tabela 2 – Características dos ensaios de simulação de chuva

Ensaio	Data	Superfície solo	t min	P mm	i mm/h	E J/m ² /h	θi (%)	θf (%)	Ti _{esc} min	Ti _{dre} min	Esc mm	Dren mm	Infil mm	ΔS mm	K _s mm/h	C %	Cinf
Plantio Convencional																	
1A	10/08/09	Aveia	76	141,44	111,66	37,79	28,78	44,80	9	17	29,72	42,61	111,72	69,11	86,98	21,01%	0,79
1B	11/08/09	Aveia	77	130,60	101,77	70,60	40,72	49,04	4	26	55,50	24,07	75,1	51,03	15,06	42,50%	0,58
1C	12/08/09	Solo revolvido	77	141,40	110,18	23,08	41,19	49,11	16	26	65,54	17,75	75,86	58,11	29,06	46,35%	0,54
1D	13/08/09	Solo revolvido	77	171,80	133,87	51,30	41,43	48,79	4	31	105,67	16,22	66,13	49,91	16,75	61,51%	0,38
2A	27/01/10	Palha	80	50,40	37,80	0,46	38,66	47,22	65	49	3,37	21,00	47,03	26,03		6,69	0,93
2B	28/01/10	Palha	78	117,26	90,20	5,89	42,77	47,45	5	15	51,10	41,53	66,16	24,63	38,37	43,58%	0,56
2C	29/01/10	Solo revolvido	78	46,00	35,38	1,31	44,68	50,73	66	54	0,05	28,71	45,95	17,24		0,11	1,00
2D	30/01/10	Solo revolvido	76	138,50	109,34	23,64	45,75	47,13	1	20	49,33	81,89	89,17	7,28	36,03	35,62%	0,64
3A	13/07/10	Aveia	75	48,50	38,80	0,46	37,33	49,53	7	107	0,10	44,94	48,4	3,46		0,21	1,00
3B	14/07/10	Aveia	76	55,35	43,70	0,58	37,02	50,16	sd	41	0,00	53,45	55,35	1,90		0,00	1,00
3C	15/07/10	Solo revolvido	76	45,98	36,30	0,12	41,70	48,20	sd	70	0,00	37,04	45,98	8,94		0,00	1,00
3D	16/07/10	Solo revolvido	75	37,75	30,20	0,45	44,12	46,94	sd	67	0,00	37,24	37,75	0,51		0,00	1,00
Média			76,7	93,75	73,27		40,35	48,26	19,67	43,58	30,03	37,20	63,72	26,51	37,04	21,46%	0,79
Plantio Direto																	
1A	10/08/09	Aveia	75	159,40	127,52	61,26	31,45	54,26	5	18	34,83	95,61	124,57	28,96	96,95	21,85%	0,78
1B	11/08/09	Aveia	75	133,20	106,56	50,82	43,28	52,91	2	24	62,31	14,09	70,89	56,8	35,47	46,78%	0,53
1C	12/08/09	Aveia e sulco	78	141,50	108,85	42,71	21,39	52,79	6	23	52,28	6,28	89,22	82,94	45,23	36,95%	0,63
1D	13/08/09	Aveia e sulco	75	153,10	122,48	76,00	43,37	54,42	1	22	84,60	15,28	68,5	53,22	20,58	55,26%	0,45
2A	27/01/10	Palha	80	54,80	41,10	0,34	44,46	54,62	2	51	0,09	32,25	54,71	22,46	39,72	0,16	1,00
2B	28/01/10	Palha	78	119,60	92,00	7,54	42,77	49,42	2	10	11,20	106,43	108,4	1,97	75,71	9,36	0,91
2C	29/01/10	Palha e sulco	79	45,00	34,18	1,32	44,68	49,24	3	25	0,20	37,04	44,8	7,76	37,66	0,44	1,00
2D	30/01/10	Palha e sulco	76	147,60	116,53	18,52	45,75	48,54	2	9	32,31	114,29	115,29	1,00	74,52	21,89%	0,78
3A	13/07/10	Aveia	75	48,75	39,00	0,41	34,54	50,90	5	45	1,53	44,58	47,22	2,64	37,89	3,14	0,97
3B	14/07/10	Aveia	76	52,44	41,40	0,34	46,51	50,95	6	28	1,29	50,73	51,15	0,42	38,06	2,46	0,98
3C	15/07/10	Aveia e sulco	76	44,59	35,20	0,32	46,34	51,91	14	20	0,50	42,44	44,09	1,65		1,12	0,99
3D	16/07/10	Aveia e sulco	77	37,99	29,60	0,18	47,06	52,18	8	24	2,76	35,06	35,23	0,17	23,53	7,27	0,93
Média			76,7	94,83	74,54		40,97	51,85	4,67	24,92	23,66	49,51	71,17	21,67	47,76	17,22%	0,83

t – duração do ensaio; P – precipitação total; i – intensidade da precipitação; θi – umidade inicial do solo; θf – umidade final do solo; Ti_{esc} – tempo de início do escoamento superficial; Ti_{dre} – tempo de início do escoamento de drenagem; Esc – escoamento superficial; Dre – escoamento de drenagem; Infil – infiltração; ΔS – variação de armazenamento de água no solo; E – energia cinética; K_s – condutividade hidráulica de saturação da equação de Green e Ampt modificada; C – coeficiente de escoamento superficial; Cinf – coeficiente de infiltração.

Na figura 1 são apresentadas as evoluções temporais das vazões dos escoamentos superficiais em cada ensaio de simulação de chuva. No lisímetro com plantio direto ocorreu escoamento superficial em todos os ensaios, enquanto que aquele com plantio convencional, não foram gerados escoamentos no primeiro ensaio da segunda série (intensidade de 37,80 mm/h) e nos ensaios da terceira série, onde as intensidades aplicadas foram inferiores a 43,70 mm/h. Nessa terceira série de ensaios, no lisímetro com plantio direto, as vazões escoadas superficialmente foram inferiores a 0,001 L/s.

Na primeira série de ensaios (ensaio 1A à 1D), onde a intensidade aplicada foi elevada (superior a 100 mm/h), as vazões escoadas foram crescentes, de um ensaio para outro, tanto no plantio direto quanto no convencional. No primeiro ensaio da série, a vazão média do escoamento superficial no plantio direto foi de 0,0060 L/s e no plantio convencional foi de 0,0052 L/s. A diferença entre as vazões (13,33%) pode ser resultante das intensidades diferentes aplicadas. No quarto ensaio, a vazão média do escoamento superficial no lisímetro com plantio convencional (0,0269 L/s) foi cerca de 31% superior aquela do plantio direto (0,0205 L/s).

A terceira série de ensaios (3A à 3D) foi realizada com intensidades baixas (menor que 55 mm/h). Nessa série, o lisímetro com plantio convencional não gerou escoamento superficial. No lisímetro com plantio direto, em todos os ensaios foi gerado pouquíssimo escoamento superficial. A vazão média variou entre 0,00027 e 0,00068 L/s. O menor valor ocorreu no ensaio realizado após a abertura do sulco e o maior no ensaio seguinte a este. A abertura de sulcos na superfície do lisímetro com plantio direto proporcionou uma diminuição do escoamento superficial, provocada pela formação de depressões. Fox et al. (1998); Leite et al. (2004) citam que quanto mais profundo este sulco, maior será a retenção de água por elas, retardando o início do escoamento superficial. Essa nova microtopografia contribui para o aumento na taxa de infiltração. Depois de cessada a precipitação do terceiro ensaio dessa série, foi observada a formação de um selo na camada superficial do solo (de 1 a 3 mm de espessura). Esse selo foi responsável pelo aumento do escoamento superficial ocorrido no ensaio realizado no dia seguinte. Assim, enquanto a precipitação não apresentou energia suficiente para rompê-la, um escoamento superficial foi gerado.

Na Figura 2 são apresentados os coeficientes de escoamento superficiais obtidos em cada ensaio.

No lisímetro com plantio convencional, os coeficientes variaram entre zero e 61,51% e, no plantio direto entre 0,16 e 55,26%. Os coeficientes de escoamentos superficiais são mais elevados para as precipitações com altas intensidades (superior a 130 mm/h). Para as baixas intensidades (inferior a 55 mm/h), os valores máximos dos coeficientes são de 6,69% no lisímetro com plantio convencional e 7,27% no plantio direto.

No plantio direto sempre gerou escoamento superficial, no entanto o coeficiente de escoamento superficial C foi muito reduzido quando a umidade do solo foi baixa, logo no primeiro evento da série, e logo após a abertura de sulco, caracterizando um efeito de aumento da infiltração. Outros trabalhos têm apresentado coeficientes de escoamentos superficiais variáveis. Bertol et al. (2008) estudando o coeficiente de escoamento, em diferentes tipos de manejo de solo, com chuvas simuladas com intensidade da precipitação entre 61 e 72 mm/h, obtiveram valores C entre 29 e 71%. Pinheiro et al. (2010) analisando eventos de cheias em uma bacia hidrográfica com uso e ocupação do solo rural obtiveram coeficientes de escoamentos superficiais variando entre 1,4 e 58,4%. Alencar et al. (2006), em bacia com atividades agrícolas, encontraram valor médio de coeficiente de escoamento superficial de 6,9% e valor máximo de 31,8%. Pinheiro e Rosa (2010) obtiveram coeficientes de escoamento superficial em bacias com florestas nativas e implantadas variando entre 0,9 e 7,9%. Nota-se que as bacias florestadas apresentaram pequenas variações. No entanto, para os demais estudos as variações nos coeficientes de escoamentos superficiais foram da mesma ordem de grandeza.

Na Figura 3 são apresentadas as condutividades hidráulicas e as vazões de drenagem dos lisímetros. As condutividades hidráulicas correspondem às condições de saturação, no qual a intensidade da precipitação gera escoamento superficial, conforme é definido o escoamento Hortoniano, porém nesta hipótese não é considerado o escoamento superficial gerado pela diminuição da infiltração devido ao selo superficial. Assim, nos ensaios em que não foram gerados escoamentos superficiais a condutividade não foi estabelecida. Isso ocorreu em um ensaio do plantio direto, onde a intensidade da precipitação foi de 35,20 mm/h. Esse ensaio ocorreu após a abertura do sulco, proporcionando maior capacidade de infiltração. No ensaio seguinte, onde a intensidade de precipitação foi de 29,60 mm/h, foi gerado escoamento superficial e a con-

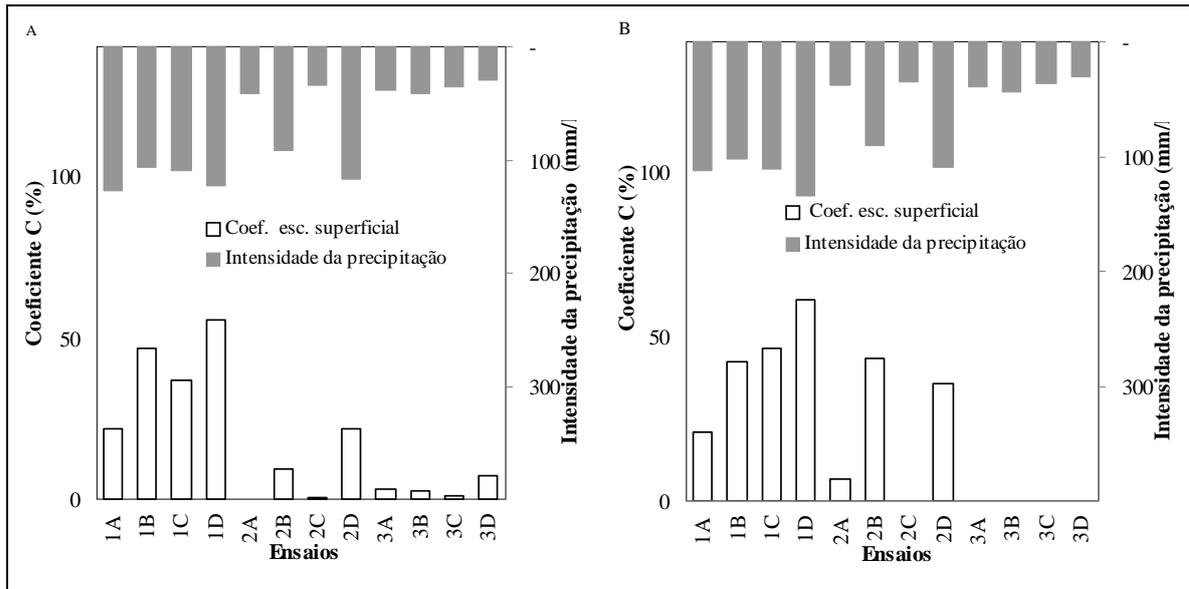


Figura 2 - Coeficientes de escoamento superficial C, dos ensaios nos lisímetros com plantio direto (A) e plantio convencional (B).

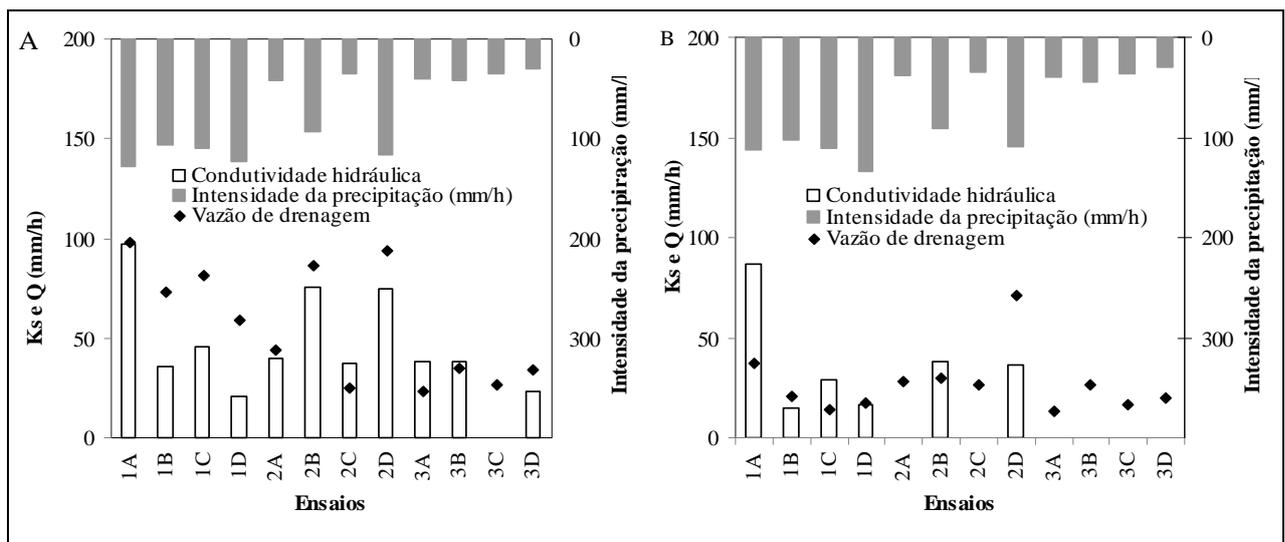


Figura 3 - Condutividade hidráulica e vazão de drenagem nos lisímetros com A) plantio direto e B) plantio convencional

condutividade hidráulica calculada foi de 23,53 mm/h. No segundo ensaio dessa série a condutividade hidráulica calculada foi de 38,06 mm/h, demonstrando que ela decresceu ao longo da série de ensaios. A diminuição da condutividade pode ter sido causada pelo transporte de material fino pelo escoamento de percolação, ocasionando redução das dimensões dos poros.

A primeira série de ensaios, com intensidade de precipitação elevadas, tanto no lisímetro com plantio direto quanto no lisímetro com plantio convencional, os decréscimos da condutividade hidráulica ocorreram, do primeiro para o segundo ensaio e do terceiro para o quarto. As alterações da superfície efetuadas no final do segundo ensaio provocaram aumento da condutividade hidráulica calculada

no terceiro ensaio. Na segunda série de ensaios, onde as intensidades da precipitação foram variáveis entre baixa e alta, este comportamento na evolução nas condutividades hidráulicas não pode ser estabelecido. Igualmente para a terceira série de ensaios, com intensidades da precipitação baixas, foi dificultada, sobretudo no lisímetro com plantio convencional, no qual não foram gerados escoamentos superficiais.

As vazões de drenagem no lisímetro com plantio direto foram superiores aquelas do lisímetro com plantio convencional. No plantio direto as vazões variaram entre 23,04 e 97,81 mm/h e no plantio convencional, entre 13,28 e 71,02 mm/h. No plantio direto a formação de canalículos e galerias produzidas por microorganismos facilitam o escoamento de percolação. Por outro lado, no plantio convencional o salpicamento provocado pela ação das gotas da chuva em solos desnudos provoca a obstrução dos poros logo na camada superficial, bem como a argila dispersa provoca o entupimento dos canalículos e assim diminui capacidade de escoamento da água no perfil do solo.

As vazões de drenagem evoluem no mesmo sentido condutividade hidráulica, sendo que o plantio direto apresenta valores superiores aquele do plantio convencional. No entanto, este comportamento não se aplica diretamente a geração de escoamento superficial hortoniano. O lisímetro com plantio convencional, apesar de apresentar condutividade hidráulica inferior ao lisímetro com plantio direto, não apresentou escoamento superficial na terceira série de ensaios, na qual foram aplicadas precipitações com intensidades baixas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com simulação de chuva em lisímetros com plantio direto e com plantio convencional demonstram que a taxa de infiltração o primeiro é cerca de 10% superior ao do segundo, proporcionando redução do escoamento superficial. No entanto, o tempo de resposta a geração de escoamento no lisímetro com plantio direto é, cerca de 4 vezes superior aquele do plantio convencional. Neste caso, as irregularidades da superfície produzidas pelo revolvimento do solo provocam retenção da água e redução da velocidade do escoamento superficial. Para precipitação de intensidades baixas, estes fatores podem impedir a geração de escoamento superficial.

No lisímetro com plantio direto foram gerados escoamentos superficiais em todos os ensaios de simulação de chuva, enquanto que no lisímetro com plantio convencional em 25% destes os escoamentos superficiais não foram gerados. No entanto, em média, os coeficientes de escoamentos superficiais foram de 21,46% no lisímetro com plantio convencional e de 17,22% no lisímetro com plantio direto. Nas intensidades de precipitação elevadas, os coeficientes de escoamentos superficiais foram maiores no lisímetro com plantio convencional.

O armazenamento de água na camada não saturada do solo foi maior do lisímetro com plantio convencional. Como conseqüência, obteve-se maiores vazões de drenagem no lisímetro com plantio direto, da ordem de 33%. Neste lisímetro, as condutividades hidráulicas são cerca de 29% superiores aquelas do plantio convencional.

O lisímetro com plantio direto produziu vazão de drenagem e condutividade hidráulica superior ao lisímetro com plantio convencional. Em conseqüência, o lisímetro com plantio convencional apresentou maior armazenamento de água no solo, possivelmente devido à redução da dimensão dos poros, provocada pela iluviação da fração argila do solo, a qual dificulta a percolação da água no perfil do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos MCT/FINEP/CT-Hidro-CNPq, edital 04/2005 Bacias Representativas, convênio 3490/05 e MCT/FINEP/AÇÃO TRANSVERSAL - Previsão de Clima e Tempo 04/2008, convênio 1406/08, pelo financiamento de pesquisa, ao CNPq pela bolsa de doutorado e ao proprietário da terra onde os lisímetros estão instalados, Sr. Antoninho Zambra,

REFERÊNCIAS

ALENCAR, D.B.S. DE; SILVA, C.L. DA; OLIVEIRA, C.A. DA S. Influência da precipitação no escoamento superficial de uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.1, p.103-112, 2006.

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*, v.23, p.753-761, 1999.

ANDERSON, A.N.; CRAWFORD, J.W.; MCBRATNEY, A.B. On diffusion in fractal soil structures. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, p.19-24, 2000.

AZOOZ, R.H.; ARSHAD, M.A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 76, p. 143-152, 1996.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, 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 Ciências do Solo*, v.23, p.35-43, 1999.

BASTOS, E.A.; FERREIRA, V.M.; SILVA, C.R.; ANDRADE JR., A.S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de feijão-caupi no vale do Gurguéia, Piauí, *Irriga*, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.

BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; FABIAN, E.I.; PEGORARO, R.; ZAVACHI, E.; GONZÁLEZ, A.P.; VÁZQUEZ, E.V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n.3, p. 243-250, 2008.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ciência Rural*, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000.

BOHL, H.; ROTH, C.H. A simple method to assess the susceptibility of soils to form surface seals under field conditions. *Catena*, v. 20, p.247-256, 1993.

BORSELLI, L.; TORRI, D. Soil roughness, slope and surface storage relationship for impervious areas. *Journal of Hydrology*, v. 393, p.389-400, 2010.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v.124, p.3-22. 2005.

BUCZKO, U.; BENS, O.; HUTTL, R.F. Tillage Effects on Hydraulic Properties and Macroporosity in Silty and Sandy Soils. *Soil Science Society of America Journal* v. 70, p. 1998-2007, 2006.

CAMPOS, B-N, C. *Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas*. 2006. 188f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, RS, 2006.

CARVAJAL, F.; AGUILAR, M.A.; AGUERA, F.; AGUILAR, F.J.; GIRALDEZ, J.V. Maximum Depression Storage and Surface Drainage Network in Uneven Agricultural Landforms. *Biosystems Engineering*, v.95, n.2, p.281-293, 2006.

CASTRO, O.M. Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.). 1995. 174f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

CAVALIERI, K.M.V.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P.; DEXTER, A.R.; KANSSON, I.H. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.103, p.158-164, 2009.

CETESB. *Drenagem urbana – manual de projeto*. São Paulo, ACETESB, 1986, 452 p.

DARBOUX, F.; HUANG, C. Does Soil Surface Roughness Increase or Decrease Water and Particle Transfers? *Soil Science Society of America Journal*, v. 69, p. 738-756 2005.

DEURER, M., GREEN, S.R., CLOTHIER, B.E., BÖTTCHER, J., DUIJNISVELD, W.H.M., Drainage networks in soils. A concept to describe bypass-flow pathways. *Journal of Hydrology*, v.272, n. 1-4, p.148-162, 2003.

DINGLE, N. A.; LEE, Y. Terminal fallspeed of raindrops. *Journal Applied Meteorology*, v.11, p. 877-879, 1972.

FARRES, P.J. The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena*, v.14, p.119-130, 1987.

FOX, D.M.; LE BISSONNAIS, Y.; BRUAND, A. The effect of ponding depth on infiltration in a crusted surface depression. *Catena*, v.32, p.87-100, 1998,

GUNN, R., KINZER, G.D. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. *Journal Meteorology*, v.6, p. 243-248, 1949.

- HILLEL, D. Environmental soil physics. New York: Academic Press, 1998, 771 p.
- JACOBSEN, O H.; SCHJFNING, P. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. *Journal of Hydrology*. v.151, p.147-157, 1993.
- LAL, R.; SHUKLA, M.K. Principles of Soil Physics. New York : Marcel Dekker, 2004, 716 p.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.31, p.1131-1140, 2007.
- LE BISSONNAIS, Y.; DAROUSSIN, J.; JAMAGNE, M.; LAMBERT, J.J.; LE BAS, C.; KING, D.; CERDAN, O.; LEONARD, J.; BRESSON, L.-M.; JONES, R.J.A. Pan-European soil crusting and erodibility assessment from the European soil geographical database using pedotransfer rules. *Adv. Environ. Monitor. Mod-ell*. v.12, p.1-15, 2005.
- LECOMTE, V.; BARRIUSO, E.; BRESSON, L.-M.; KOCH, C.; LE BISSONNAIS, Y. Soil surface structure effect on isotoproturon and diflufenican loss in runoff. *Journal of Environmental Quality*, v.30, p.2113-2119, 2001.
- LEITE, D; BERTOL, I; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28, p.1033-1044, 2004.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2005.
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA-JÚNIOR, V.S.S.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de latossolos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.34, n. 2, p.473-486, 2010.
- LOOS, C.; GAYLER, S.; PRIESACK, E. Assessment of water balance simulations for large-scale weighing lysimeters. *Journal of Hydrology*. v.335, p.259- 270, 2007.
- MACHADO, R.E.; MATTOS, A. Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Agro-meteorologia*, v.8, n.2, p.193-197, 2000.
- MEDEIROS, G.A.; DANIEL, L.A.; LUCARELLI, J.R.F.; REIS, F.A.G.V. Influência do sistema de preparo e manejo de um latossolo vermelho nas suas propriedades físico-hídricas. São Paulo, UNESP. *Geociências*, v. 28, n. 4, p. 453-465, 2009.
- MEDEIROS, J. D. F.; CASTRO, N.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. Calibração de Sondas do TDR em um Latossolo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p.19-25, 2007
- MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, v.22, p.100- 103, 1979.
- MOUZAI, L. BOUHADEF, M. Water drop erosivity: effect on soil splash. *Journal of Hydraulic Research*, v. 41, p. 61-68, 2003.
- OLIVEIRA, N.T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. Influência da Palha no balanço hídrico em lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 93-103, 2010.
- PINHEIRO, A.; ROSA, A. S. Comportamento hidrológico em bacias com floresta nativa e implantada no município de Caçador, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 81-88, 2010.
- PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; PERAZZOLI, M.; ZUCCO, E.; SOARES, P. A.; DEPINE, H. *Avaliação dos escoamentos em diferentes escalas espaciais na bacia do ribeirão Concórdia*. In: Anais X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza, 2010.
- PONIZOVSKY, A.A.; CHUDINOVA, S.M.; PACHEPSKY, Y.A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. *Journal of Hydrology*, v. 218, p. 35-43, 1999.
- ROTH, K.; SCHULIN, R.; FLUHLER, H.; ATTINGER, W. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. *Water Resources Research*, v. 26, n. 10, p. 2267-2273, 1990.

SEMMELMANN, F. R. *Determinação da Energia Cinética de Chuvas Simuladas*. In: Anais 4. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro: ABRH, 1991.

TACONET, O.; CIARLETTI, V. Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry. *Soil & Tillage Research*, v. 93, p.64–76, 2007.

VOGEL, H.J.; COUSIN, I.; IPPISCH, O.; BASTIAN, P. The dominant role of structure for solute transport in soil: experimental evidence and modeling of structure and transport in a field experiment. *Hydrology Earth System Science Discussions*, v. 2, p.2153-2181, 2005.

VOGEL, H.J. Topological characterization of porous media. In: Mecke, K., Stoyan, D. (Eds.), *Morphology and Condensed Matter — Physics and Geometry of Spatially Complex Systems*. *Lecture Notes in Physics*, v. 600, p.75–92, 2002.

Surface and Drainage Runoff in Soils With Different Managements and Intensities of Simulated Rainfall

ABSTRACT

Intense rainfalls generate runoffs which are major constituents of flooding in river basins. Runoff impacts are negative due, among other reasons, to soil erosion, transport of chemical species harmful to the aquatic environment and reduction of water storage in aquifers. This study aims to quantify the runoff and drainage of water in the soil, for different intensities of rainfall and agricultural management of soil. The experiment was conducted in two lysimeters, with 1 m² of surface area, equipped with a device to collect runoff and drainage at 1 m depth. One lysimeter is cultivated in a no tillage system and the other in conventional tillage. The intensity of precipitation obtained with simulated rainfall ranged from 29.6 to 127.5 mm/h. We monitored the surface flow and drainage and soil moisture. The lysimeter with no tillage produced less runoff and greater flow drainage, resulting in higher infiltration and lower volume of water stored in the soil profile. The changes on the surface due to soil disturbance in the lysimeter with conventional tillage caused a delayed response to runoff.

Key-words: runoff, rainfall simulation, lysimeter