



Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido¹

Thais E. M. dos Santos², Abelardo A. A. Montenegro² & Elvira M. R. Pedrosa²

RESUMO

A região semi-árida apresenta chuvas escassas, irregulares e de secas frequentes, sendo usual a ocorrência de eventos de alta intensidade. Os solos são pedregosos e rasos, dificultam a prática regular da agropecuária, comprometem frequentemente a produtividade e tornam esses ambientes vulneráveis à erosão. Objetivou-se avaliar o desempenho de práticas conservacionistas sob a cultura do feijoeiro, no controle de perdas de solo e água por erosão hídrica, em Neossolo Flúvico do semi-árido, com cultivo de sequeiro. Chuvas simuladas com intensidades de 60 mm h⁻¹ foram aplicadas sobre os seguintes tratamentos: cultivo em nível (N1) com barramentos de pedra entre cada fileira de plantio, no espaçamento de 0,5 m; cultivo em nível (N2) com barramentos de pedra no espaçamento de 1,0 m; cultivo morro abaixo (MA); cultivo em nível com cobertura morta (CM), de palha de feijão; parcelas desmatadas (D) e com cobertura natural (CN). Dentre os tratamentos avaliados, verificou-se que a adoção de cobertura morta permitiu, em média, redução nas perdas de solo de 86,91% em relação à parcela sem cobertura, com valores próximos ao da condição ideal de cobertura, que é a condição natural, durante todo o ciclo da cultura.

Palavras-chave: cultivo de sequeiro, escoamento superficial, práticas conservacionistas

Hydraulic characteristics and soil and water losses under bean cultivation in the semiarid

ABSTRACT

The semiarid zone presents scarce and irregular rainfall with frequent droughts, with the occurrence of high intensity events being usual. The soils are shallow and stony, which limits regular agriculture practice, usually reducing productivity and turning this environment susceptible to erosion. The objective of this study was to evaluate the influence of conservation practices, under bean crop, upon soil and water losses by the hydric erosion, in a Fluvic Neossol in the semiarid zone, with rainfed crop. Simulated rainfall has been applied with 60 mm h⁻¹ intensity under the following treatments: cultivation in contour lines (N1) with rock barriers between each row of plantation, spacing 0.5 m; cultivation in contour lines (N2) with rock barriers between each row of plantation, spacing 1.0 m; downslope cultivation (DS); cultivation in contour lines with mulch cover (MC), using bean straws; cleared bare soil (CB) and natural covering (CN). Among the used treatments, the mulch cover option allowed, on average, a soil loss reduction of 86.91% in relation to the plot with cleared bare soil, with values close to the ones for the ideal condition of covering, which is the natural condition, during whole crop cycle.

Key words: rainwater harvested crop, runoff, conservation practice

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE.

² UFRPE, rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos. CEP 52171-900, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6273. E-mail: thaismanuelle@hotmail.com; monte@hotlink.com.br; epedrosa@ufrpe.br

INTRODUÇÃO

O solo constitui o ambiente físico no qual a maioria das atividades humanas ocorre; é um recurso natural renovável; entretanto, em muitos casos a velocidade de degradação é menor que a de formação, fato este muito mais evidente em regiões áridas e semi-áridas, nas quais a taxa de formação do solo é quase nula (Desir & Marin, 2007). Conforme Marques et al. (2007) existe, nessas áreas, uma relação marcante entre a chuva e a erosão, que acelera a degradação do solo.

A região semi-árida do nordeste do Brasil se caracteriza pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, apresentando um período de estiagem que ocorre de setembro a dezembro, e um período chuvoso, de março a junho, representado por chuvas de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de perda de solo. As atividades de agricultura de sequeiro na região se iniciam com as primeiras chuvas do ano, coincidindo com o período de ocorrência de chuvas erosivas (Santos et al., 2006).

Objetiva-se, com as práticas conservacionistas, controlar a erosão em terrenos nos quais os fatores chuva, solo, topografia e uso, favoreçam a aceleração do processo. E nas áreas em que ocorre a erosão laminar e a energia de impacto das gotas de chuva é decisiva nos processos de desagregação e transporte de partículas pelo escoamento, os resíduos vegetais na superfície podem reduzir consideravelmente a erosão hídrica.

Bertol et al. (2004) enfatizam que os preparos conservacionistas de solo, tal como semeadura direta, com menor revolvimento mantêm, parcial ou totalmente, os resíduos vegetais na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo. Silva et al. (2005), analisando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo para diferentes percentagens de cobertura do solo, encontraram redução de 99% nas perdas de solo para um percentual de cobertura de 88%. Castro et al. (2006) encontraram perdas de água 80% superiores nas parcelas sem cobertura vegetal em relação às com cobertura, em estudo realizado em Eldorado do Sul, RS; deste modo, a cobertura do solo por resíduos culturais assume grande importância junto ao papel desempenhado pela rugosidade superficial, em termos de redução da erosão hídrica, uma vez que ela protege a superfície do solo contra a ação de impacto direto das gotas da chuva.

Na impossibilidade de se utilizar a irrigação em larga escala nas regiões semi-áridas, a alternativa é a conservação da água da chuva para a prática da agricultura de sequeiro, em que sistemas conservacionistas se tornam indispensáveis, destacando-se a importância da aplicação da cobertura morta pois, além de manter a umidade que existe no terreno, evita erosões e facilita a penetração da água, dificultando ou impedindo o escoamento

superficial. Neste tipo de cultivo se destacam as culturas do milho e feijão, produzidas de maneira rudimentar, cujo nível de produção é altamente dependente da ocorrência de chuvas.

O feijão é uma das principais fontes de proteína para as famílias do semi-árido, apresenta ciclo curto, baixa exigência de água e se desenvolve mesmo em solos de baixa fertilidade sendo, portanto, excelente alternativa para esta região. O feijoeiro vem sendo explorado em uma diversidade de sistemas de produção, podendo-se atingir produtividades superiores a 3 t ha⁻¹, porém entre os vários sistemas de produção se sobressai o plantio direto, que contribui para a melhoria da capacidade produtora do solo, conservando e melhorando o ambiente (Farinelli et al., 2006).

A utilização de microbarramentos em pedra é uma prática que está sendo difundida no semi-árido (Padilha, 2000), como forma de contenção do escoamento superficial; segundo este autor, tais dispositivos se têm mostrado capazes de contribuir para a manutenção da umidade do solo na zona semi-árida, conservando os solos e proporcionando o cultivo agrícola em épocas de seca.

Outrossim, o uso do plantio em nível em substituição ao morro abaixo tem elevada eficiência no controle das perdas por erosão hídrica, como constataram Albuquerque et al. (2002) os quais, analisando os efeitos do manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas sobre perdas por erosão hídrica de um solo Luvisolo Crômico Órtico vertissólico, encontraram redução de 53,4% nas perdas de solo para o cultivo em nível em relação àquele em desnível.

Desta forma se teve, como objetivo neste trabalho, avaliar a influência de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água por erosão hídrica em um Neossolo Flúvico, com chuva simulada.

MATERIAL E MÉTODOS

Características da área de estudo

O estudo de campo foi conduzido no semi-árido pernambucano, no município de Pesqueira, na Bacia Representativa do Riacho Mimoso, pertencente à Bacia do Rio Ipanema, em sua porção ocidental mais a montante. Localiza-se entre 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste. A precipitação média anual na região é de 607 mm, com temperatura média de 23 °C e evapotranspiração de cerca de 2000 mm. A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas (Montenegro & Montenegro, 2006).

O solo em que se instalou o experimento é um Neossolo Flúvico, segundo Corrêa & Ribeiro (2001). As características físicas e químicas, de acordo com metodologia da EMBRAPA (1997), encontram-se descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características textural e química do solo no local do experimento

Composição granulométrica (%)			pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K	Características químicas					CO g kg ⁻¹
Areia	Silte	Argila				Ca	Mg	Na	Al	(H + Al)	
63	15	22	5,6	2,75	0,12	1,98	0,33	0,06	0,07	0	7,93

CO – Carbono orgânico

Descrição do experimento

Inicialmente o solo, coberto com campo nativo, foi preparado para instalação do experimento, ao qual foram incorporados 151 kg de KCl ha⁻¹ e 833 kg de P₂O₅ ha⁻¹, de acordo com a análise do solo, para corrigir a fertilidade do local, visando ao cultivo de feijão de arranca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Princesa. Vinte e cinco dias após a germinação se incorporam 625 kg de (NH₄)₂SO₄ ha⁻¹ em cobertura.

Instalaram-se 18 parcelas experimentais com dimensões de 3 m de comprimento por 1 m de largura, com a maior dimensão no sentido do declive, construídas com chapas metálicas de 20 cm de altura, com aproximadamente 10 cm cravados no solo; as parcelas tinham, na parte inferior, uma calha para coleta da enxurrada.

Os tratamentos se compunham de seis condições de cobertura do solo, com três repetições: cultivo em nível (N1) com barramentos de pedra entre cada fileira de plantio, no espaçamento de 0,5 m; cultivo em nível (N2) com barramentos de pedra no espaçamento 1,0 m; cultivo morro abaixo (MA); cultivo em nível com cobertura morta (CM), de palha de feijão; parcelas desmatadas (D) e com cobertura natural (CN). A cultura utilizada foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), semeado no espaçamento de 0,50 x 0,20 m e cultivado durante 60 dias.

Em cada parcela experimental foram aplicadas três chuvas simuladas; a primeira foi realizada vinte dias após a semeadura e, a partir daí, em intervalos regulares de 30 dias durante o ciclo do feijoeiro. As chuvas corresponderam às seguintes fases da cultura: crescimento, floração e ao período de vagens.

As chuvas foram de intensidade 60 mm h⁻¹, com duração de 80 min utilizando-se, para isto, um simulador de chuvas pendular, com um bico aspersor tipo “Veejet 80-100”, da Spraying Systems Company, São Bernardo do Campo, SP, que fica no centro da armação, a 2,87 m de altura do solo. Para se obter a intensidade desejada trabalhou-se com 30 kPa de pressão (Santos, 2006).

Antes da aplicação de cada chuva simulada eram determinadas as porcentagens de cobertura do solo, pelos resíduos vegetais e pelas copas das plantas, através do método de Mannering, descrito por Bezerra & Cantalice (2006), e a umidade do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, por método gravimétrico.

O tempo de início do teste era cronometrado, assim como o início do escoamento superficial, para cada tratamento.

Avaliação das taxas de perda e de desagregação do solo

Determinaram-se as taxas de perda de solo e a concentração de sedimentos pela pesagem do material coletado na parte inferior da calha. O material, acondicionado após pesagem, foi deixado em repouso e, decorrido o tempo de 24 h, o sobrenadante foi succionado e os potes levados para secagem em estufa a 65 °C, durante 72 h sendo, em seguida, pesados com o solo (Cogo, 1978). As taxas de desagregação do solo (D) (kg m² s⁻¹) foram avaliadas conforme a Eq. 1:

$$D = \frac{M_{ss}}{A \cdot D_c} \quad (1)$$

em que:

M_{ss} – massa do solo seco desagregado, kg

A – área da parcela, m²

D_c – duração da coleta, s

Para as perdas de solo, pode-se escrever:

$$P_s = \frac{\sum(Q \cdot C_s \cdot t)}{A} \quad (2)$$

em que:

P_s – perdas de solo, kg m⁻²

Q – vazão, L s⁻¹

C_s – concentração de sedimento, kg L⁻¹

t – intervalo entre as coletas, 300 s

A – área da parcela, m²

Avaliação das características hidráulicas

A velocidade do escoamento superficial foi estimada com auxílio do corante azul de metileno, considerando-se pontos fixos na parcela, distanciados 2 m. Este procedimento se deu a intervalos regulares de 5 min, a partir da formação e do deslocamento da lâmina de escoamento; os valores da velocidade superficial foram multiplicados por um fator de correção ($\alpha = 2/3$), para estimativa da velocidade média do escoamento, em m s⁻¹, conforme Farenhorst & Bryan (1995) e Katz et al. (1995).

A altura da lâmina do escoamento (h) foi então determinada como:

$$h = \frac{q}{V} \quad (3)$$

em que:

q – descarga líquida total por unidade de largura, m² s⁻¹

V – velocidade média do escoamento, m s⁻¹

A descarga líquida (q) é determinada a partir das coletas de enxurrada em potes plásticos, efetuadas a cada 5 min. A partir da estimativa da altura da lâmina de escoamento pode-se estimar os adimensionais números de Reynolds (Re) e o número de Froude (Fr), segundo Simons & Senturk (1992), permitindo identificar-se o regime dos escoamentos gerados a partir das chuvas simuladas.

Avaliou-se a viscosidade cinemática da água com utilização da Eq. 4, segundo Julien (1995), sendo a temperatura (°C) aferida por meio de termômetro em cada teste:

$$\nu = (1,14 - 0,031(T - 15) + 0,00068(T - 15)^2) \times 10^{-6} \quad (4)$$

em que:

ν – viscosidade cinemática da água, m² s⁻¹

T – temperatura da água, °C

A rugosidade foi definida pelo coeficiente de Manning (n), conforme Braida & Cassol (1999):

$$n = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{q} \quad (5)$$

em que:

n – coeficiente de rugosidade de Manning, $s\ m^{-1/3}$; e S – declive da parcela, m^{-1} .

Obteve-se a taxa de infiltração pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de escoamento superficial resultante (Brandão et al., 2006). No tocante às taxas de perdas totais de água, estas foram avaliadas a partir do percentual de chuva aplicada.

Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo a subparcela a intensidade de precipitação aplicada; o delineamento se compunha de cinco tratamentos e três repetições, resultando no total de 15 ensaios de chuva simulada. A análise estatística foi realizada utilizando-se o “software” SAS – Statistical Analytical System (SAS, 1998). Para comparação entre as médias dos tratamentos, adotou-se o teste de Tukey a nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre tratamentos e fases de desenvolvimento da cultura para as variáveis: perda de solo, taxa de desagregação do solo, descarga líquida, altura da lâmina de escoamento e velocidade, número de Reynolds, número de Froude e viscosidade cinemática, mas os efeitos isolados desses tratamentos apresentaram diferença significativa, como se observa nas Tabelas 2 e 3; segundo a Tabela 2, não houve diferença significativa entre as médias das descargas líquidas produzidas para os tratamentos D, N1 e MA, as quais apresentaram valores na ordem de $10^{-5}\ m^2\ s^{-1}$, concordando com os valores encontrados por Bezerra (2004), em parcelas com solo descoberto sob chuva simulada. Esses valores se mostram superiores aos tratamentos CN, CM e N2, em que a cobertura vegetal proporcionou descarga líquida e a ordem de 10^{-6} e $10^{-7}\ m^2\ s^{-1}$, corroborando com o valor encontrado por Cassol et al. (2004), para uma parcela experimental com 80% de cobertura de palha, utilizando simulador de chuvas.

Os valores de descarga líquida, juntamente com os valores de Reynolds (< 500) e de Froude (< 1), em todos os tratamentos e em todas as fases, caracterizaram o regime de escoamento como laminar lento, indicando haver a ocorrência de erosão laminar.

O aumento da velocidade do escoamento superficial da água

é favorecido por determinadas condições, como aumento da declividade e do comprimento da parcela, ausência de resíduo vegetal na superfície do solo e presença de caminhos deixados por máquinas e implementos agrícolas, por ocasião do preparo do solo (Lopes et al., 1987). Como o declive era o mesmo para as parcelas e não havia máquinas para o plantio do solo, neste experimento o único fator que concorreu para a diferença nas velocidades de escoamento, foi a forma de manejo do solo, e conforme os resultados apresentados na Tabela 2.

A presença do barramento em pedra e a cobertura morta, tanto nas condições em nível como na condição CM, proporcionaram uma barreira física ao escoamento, aumentando a tortuosidade, resultando em redução da velocidade do escoamento causada pela presença de resíduos vegetais na superfície o que, geralmente, ocorre em virtude do aumento da rugosidade hidráulica do fluxo superficial com conseqüente aumento da altura do escoamento (Braidá & Cassol, 1999). Este fato é confirmado pelos maiores valores de coeficiente de rugosidade encontrados para esses tratamentos (Tabela 4), e pelos valores de velocidade de escoamento superficial, em que as condições morro abaixo (MA) e descoberto (D) apresentaram valores de velocidade superiores, com médias diferentes significativamente aos demais tratamentos. A condição CM proporcionou uma redução de 59,1, 71,9, 50,0 e 78,6% em relação às condições N1, MA, N2 e D, respectivamente. Essas reduções na velocidade de escoamento também foram encontradas por Lopes et al. (1987), de forma acentuada, com o aumento das porcentagens de cobertura do solo.

Observa-se, na Tabela 3, que as parcelas com cultivo MA, N2, N1, CM e CN proporcionaram reduções de 45,28, 55,47, 65,28, 96,22 e de 97,35% nas taxas de desagregação do solo em relação à parcela descoberta, respectivamente. Não ocorreram diferenças significativas entre as taxas de desagregação para as condições CM e CN, as quais mostraram as menores taxas de desagregação, evidenciando a importância da cobertura na redução das perdas de solo em cultivos, pois evita a desagregação das partículas e, com isto, o transporte pela enxurrada, concordando com os resultados encontrados por Carvalho et al. (1990); os referidos autores estudaram o efeito da cobertura vegetal proporcionada pela palha do trigo, em parcelas experimentais com 7,5% de declividade, com aplicação de $64\ mm\ h^{-1}$ de chuva simulada, em um Argissolo Vermelho-amarelo de textura franco-arenosa, e encontraram reduções significativas da velocidade de escoamento e, conseqüentemente, reduzidas perdas de solo, com aplicação da palha.

Tabela 2. Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr), descarga líquida, altura, velocidade de escoamento (V) e viscosidade cinemática (v) para as diferentes práticas conservacionistas estudadas

Tratamento	Re	Fr	Descarga Líquida ($m^2\ s^{-1}$)	Altura de escoamento (m)	V ($m\ s^{-1}$)	v ($m^2\ s^{-1}$)
Nível 1	36,83 a	0,18 b	$3,30 \times 10^{-5}$ a	$1,52 \times 10^{-3}$ a	0,022 b	$9,08 \times 10^{-7}$
Nível 2	31,73 a	0,14 bc	$2,11 \times 10^{-5}$ ab	$1,62 \times 10^{-3}$ a	0,018 bc	$9,19 \times 10^{-7}$
Morro abaixo	25,67 ab	0,37 b	$3,55 \times 10^{-5}$ a	$0,73 \times 10^{-3}$ c	0,032 ab	$9,10 \times 10^{-7}$
Cobertura morta	14,77 b	0,07 c	$9,36 \times 10^{-6}$ bc	$1,52 \times 10^{-3}$ a	0,009 c	$9,26 \times 10^{-7}$
Cobertura natural	-	-	$9,42 \times 10^{-7}$ c	-	-	-
Desmatada	41,32 a	0,44 a	$2,91 \times 10^{-5}$ a	$0,91 \times 10^{-3}$ b	0,042 a	$9,25 \times 10^{-7}$

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna não diferem entre si a nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Média de três repetições

Tabela 3. Perda de solo e taxas de desagregação para as diferentes práticas conservacionistas avaliadas

Tratamento	Perda de solo (kg m ⁻²)	Taxa de desagregação (kg m ⁻² s ⁻¹)
Nível 1	0,042 b	9,17 x 10 ⁻⁶ d
Nível 2	0,057 a	1,18 x 10 ⁻⁵ c
Morro abaixo	0,068 ab	1,45 x 10 ⁻⁵ b
Cobertura morta	0,007 c	9,05 x 10 ⁻⁷ e
Cobertura natural	0,001 c	6,34 x 10 ⁻⁷ e
Desmatada	0,126 a	2,65 x 10 ⁻⁵ a

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna não diferem entre si no nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Média de três repetições

Como previsto, os valores reduzidos de perdas de solo para as parcelas com CM e CN, diferiram significativamente das médias dos demais tratamentos. A condição em nível (N1), a qual possuía 0,50 m de distância entre as fileiras de pedra, apresentou redução significativa de 26,31% nas perdas de solo em relação à condição em que as fileiras de pedra possuíam distância de 1,00 m (N2). A condição de plantio em cobertura morta foi a que apresentou a melhor condição de manejo para o cultivo do feijoeiro, uma vez que reduziu em 83,3, 89,7 e 87,7% as perdas de solo em relação aos cultivos N1, MA e N2, respectivamente. Reduções de 98% nas perdas de solo foram encontradas por Mello et al. (2003), no plantio de soja, utilizando palha dessecada em relação ao plantio convencional. Esses autores encontraram tais resultados em um Nitossolo Háptico aluminoso em parcelas experimentais com 18% de declive, sob chuva simulada, em São José do Cerrito, SC. Leite et al. (2004), estudando as perdas de solo e água por erosão hídrica sob chuva simulada em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háptico aluminoso, no Planalto Sul-Catarinense, em parcelas

experimentais com 16,5% de declividade, encontraram redução de 99% para a cultura do feijoeiro cultivado sob resíduos culturais de aveia e de 83% para a cultura do milho cultivado sob resíduos de ervilha comum.

Os cultivos em nível (N1) e (N2) apresentaram reduções de 38,2 e 19,3% nas perdas de solo em relação à condição morro abaixo, demonstrando, mais uma vez, melhores resultados em relação à conservação do solo com o menor espaçamento entre os barramentos em pedra. Margolis et al. (1985) avaliando o efeito de diferentes tipos de cobertura vegetal sobre as perdas por erosão em um Neossolo Quartzarênico eutrófico no agreste pernambucano, em Caruaru, em parcelas com 12% de declividade, encontraram reduções de 36% no cultivo em contorno em relação ao cultivo morro abaixo. Santos et al. (2000), estudando a erosão ocorrida em diferentes sistemas de manejo, entre os quais a palma cultivada morro abaixo, prática comum no nordeste brasileiro, constataram que esta não protege o solo de forma adequada, quando comparada com a vegetação nativa, a caatinga, considerada o melhor tipo de cobertura vegetal dentre as estudadas, concordando com os resultados obtidos neste experimento.

Comparando-se os valores médios de perda de solo nas parcelas com cobertura nativa e desmatada, verifica-se uma redução de 99,2%. Resultado semelhante foi encontrado por Albuquerque et al. (2002), para essas mesmas condições de cobertura do solo, na Paraíba.

Foi significativa a interação entre tratamento e fase de desenvolvimento da cultura do feijoeiro para as seguintes variáveis: perda de água, rugosidade, cobertura vegetal, umidade inicial, tempo de início de escoamento, taxa de infiltração básica e escoamento superficial (Tabela 4).

Com relação à perda de água em percentagem da chuva aplicada, observa-se diferença significativa entre as médias

Tabela 4. Médias* de perda de água (% da chuva aplicada), coeficientes de rugosidade de Manning (s m^{-1/3}), cobertura vegetal (%), umidade inicial (%), tempo de início (TI) do escoamento (min) e escoamento superficial (mm h⁻¹) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as fases de crescimento (C), florescimento (f) e vagens (v), do ciclo da cultura do feijoeiro e os respectivos coeficientes de variação (CV)

Variáveis	CV (%)	Tratamentos					
		Nível 1	Nível 2	Morro abaixo	Cobertura morta	Cobertura natural	Desmatada
Perda de água (c)	7,1	60,8 (5,52) bcA	44,6 (6,80) cB	72,7 (6,32) abA	8,5 (8,01) dB	2,0 (0,44) eA	91,4 (7,43) aA
Perda de água (f)	7,1	81,9 (2,51) aA	58,6 (14,41) bAB	86,9 (8,83) aA	26,2 (7,94) cA	2,1 (0,44) dA	91,5 (7,43) aA
Perda de água (v)	7,1	69,9 (6,60) abA	64,9 (11,09) bA	87,0 (9,98) abA	35,6 (1,51) cA	2,1 (0,44) dA	91,7 (7,43) aA
Rugosidade (c)	12,2	0,1 (0,02) bA	0,4 (0,01) aB	0,1 (0,02) bA	-	-	0,1 bA
Rugosidade (f)	12,2	0,1 (0,08) bA	0,2 (0,01) bB	0,4 (0,01) cA	0,4 (0,19) aA	-	0,1 bA
Rugosidade (v)	12,2	0,2 (0,08) aA	0,3 (0,02) aAB	0,1 (0,07) bA	-	-	0,1 bA
Cobertura vegetal (c)	7,0	35,0 (4,58) cB	28,5 (4,66) cB	22,0 (3,59) dA	86,0 (3,33) bA	100,0 (0) aA	3,0 (2) eA
Cobertura vegetal (f)	7,0	49,0 (3,46) bA	53,7 (6,85) bA	29,9 (5,13) cA	97,1 (0,76) aA	100,0 (0) aA	0,0 (2,88) dA
Cobertura vegetal (v)	7,0	35,7 (2,31) cB	44,3 (5,17) bA	29,8 (5,51) cA	97,3 (3,05) aA	100,0 (0) aA	5,0 (2) dA
Umidade inicial (c)	7,7	7,8 (2,99) bA	8,4 (1,35) bA	5,2 (0,12) cA	12,3 (0,70) aA	9,5 (1,22) abA	3,9 (1,08) cA
Umidade inicial (f)	7,7	5,2 (0,21) bB	4,5 (0,27) bB	4,7 (0,62) bA	9,8 (0,59) aA	10,7 (1,22) aA	3,9 (1,07) bA
Umidade inicial (v)	7,7	5,2 (1,20) bB	3,3 (2,42) bB	5,3 (0,95) bA	9,5 (1,48) aA	9,6 (1,22) aA	3,0 (1,06) bA
TI (c)	10,1	13,1 (2,27) bA	11,5 (1,84) cA	4,9 (2,12) dA	27,7 (6,35) bA	47,5 (0,42) aA	2,2 (0,67) dA
TI (f)	10,1	4,95 (0,70) bcB	5,33 (1,99) bB	3,1 (2,31) cA	10,2 (2,93) bB	48,3 (0,47) aA	2,5 (0,54) cA
TI (v)	10,1	4,73 (0,23) cB	5,48 (1,21) bcB	3,2 (1,63) cA	10,2 (4,56) bB	49,4 (0,37) aA	2,2 (0,63) cA
Escoamento superficial (c)	7,7	36,5 (3,31) bcB	25,3 (4,39) cA	43,1 (3,61) abA	5,3 (4,84) dB	1,1 (0,21) eA	54,1 (9,61) aA
Escoamento superficial (f)	7,7	57,46 (1,76) aA	37,7 (9,23) bA	55,3 (3,29) aA	15,7 (4,91) cA	1,2 (0,21) dA	54,3 (9,61) aA
Escoamento superficial (v)	7,7	48,9 (4,62) aAB	31,9 (8,64) bA	46,2 (3,76) aA	18,3 (2,74) cA	1,2 (0,21) dA	54,4 (9,61) aA

* Médias seguidas de letras minúsculas na mesma linha e de letras maiúsculas na mesma coluna não diferem entre si, a nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Médias de 3 repetições. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão

dos tratamentos para as três fases, as quais apresentaram, em geral, o mesmo comportamento em que a parcela sem cobertura mostrou a maior porcentagem de perda de água, não diferindo estatisticamente da parcela com tratamento MA; as menores perdas ocorreram nas parcelas com CN e CM, que reduziram as perdas de água, em média 97,8 e 90,6% em relação à parcela sem cobertura, indicando que a cobertura vegetal funcionou como barreira ao livre escoamento, permitindo que a enxurrada permanecesse mais tempo sob o solo, resultando em uma infiltração maior; esses resultados concordam com os encontrados por Mello et al. (2003), para a condição de plantio direto, e por Albuquerque et al. (2002), para as condições de campo nativo e desmatado.

A condição MA indicou aumento, em média de 19 e 63% nas perdas de água em relação às condições N1 e N2. Quanto às fases, observa-se diferença significativa apenas para as condições de CM e N2; nesta, a perda de água foi 45,6% maior no período de vagens em relação à fase de crescimento. Por outro lado, para a CM, o período de crescimento foi o que apresentou a menor perda de água concernente às demais fases. Possivelmente, a cobertura morta colocada na primeira fase se foi decompondo, deixando o solo sujeito às maiores perdas de água; esta hipótese ressalta a importância da manutenção da cobertura morta em todas as fases da cultura, principalmente quando se consideram a irregularidade e a baixa precipitação pluvial da região semi-árida do nordeste.

Nota-se, ainda na Tabela 4, que não foi possível observar velocidade de escoamento aparente nas parcelas com cobertura natural nem no tratamento com cobertura morta, nas fases de crescimento e vagens, impossibilitando calcular os coeficientes de rugosidade.

Não se verifica diferença significativa entre os coeficientes de rugosidade para os tratamentos com solo descoberto, em nível (N1), e morro abaixo. O maior coeficiente de rugosidade foi obtido para a condição N2, na fase de crescimento, enquanto na fase de florescimento, quando foi possível calcular esta variável para o tratamento com cobertura morta, observou-se maior valor de rugosidade, significativamente diferente das demais médias; este resultado é devido a palha do feijão estar em contato direto com a superfície do solo, proporcionando maior resistência ao livre escoamento do fluxo, fato também verificado por Bezerra & Cantalice (2006) ao constatar o desempenho da palha da cana-de-açúcar como cultura. No período de vagens, as condições em nível apontaram maiores valores de rugosidade, diferindo estatisticamente das condições morro abaixo e solo descoberto. Baixos valores de rugosidade para a condição de solo descoberto, também foram encontrados por Castro et al. (2006) e Levien et al. (1990), que mediram a rugosidade do solo em uma condição sem preparo e sem cobertura, o que pode ser explicado pelo fato de que o solo estava consolidado, com superfície praticamente lisa.

Durante as fases não houve diferença significativa entre os valores de rugosidade do solo, com exceção da condição N2, que apresentou baixo valor de rugosidade na época do florescimento. Bezerra & Cantalice (2006) constataram que a rugosidade decresce com o decorrer do tempo, pelo efeito de impactos sucessivos das gotas de chuva sobre a superfí-

cie do solo, fato este não observado aqui, em virtude, talvez, de não terem ocorrido eventos de precipitação durante o período experimental; desta forma, não houve modificação da condição de rugosidade inicial do solo.

Em relação às percentagens de cobertura vegetal, vê-se que em todas as fases as maiores taxas de cobertura vegetal foram encontradas para as condições de CM e CN, e as menores taxas para a condição D, como previsto. Nas fases de crescimento e de florescimento não houve diferença significativa entre a cobertura proporcionada pelas condições em nível (N1 e N2). A percentagem de cobertura vegetal teve acréscimo com as mudanças de fases da cultura, porém este aumento não foi significativo, exceto para as condições em nível, as quais apresentaram menores percentagens na fase de crescimento.

Tem-se, na Tabela 4, e em todas as fases de crescimento, que a umidade antecedente às aplicações de chuva simulada foi significativamente mais alta nos tratamentos que possuíam cobertura vegetal (CM e CN). Costa et al. (2003) também encontraram valor de umidade maior para sistema de plantio direto, motivado pela menor evaporação do solo nu, decorrente da cobertura do solo por resíduos. Os tratamentos em nível, MA e D, não apresentaram diferença significativa para os valores de umidade, com exceção da fase de crescimento, cujo teor de água no solo se apresentou menor em D e MA; entre as fases só se verificou diferença nas condições em nível, que apresentaram valores mais altos na época de crescimento.

A cobertura vegetal também foi determinante para os tempos de início de escoamento (min), notando-se diferença significativa entre o intervalo de início de escoamento para o campo nativo (CN), em todas as fases. O tempo de início de escoamento foi 83 e 71,3% maior nas condições com cobertura vegetal em relação às médias dos outros tratamentos, na fase de crescimento, o que pode ser justificada pela cobertura do solo nesses sistemas.

Observa-se, ainda na Tabela 4, que foi notória a diferença significativa entre as médias dos tratamentos para o escoamento superficial. As condições com cobertura vegetal apresentaram, mais uma vez, as menores taxas erosivas. A cobertura morta é a situação que mais se aproxima da condição CN, indicando um controle eficiente da erosão por parte dos resíduos vegetais. Na fase de crescimento ocorreu diferença significativa entre as médias dos tratamentos nos quais não se aplicou prática conservacionista. A condição N2 apresentou-se mais eficiente na contenção do escoamento superficial que N1, reduzindo em média 20,93% o deflúvio em relação às condições MA e D.

A Figura 1 guarda a relação entre as perdas de solo e a cobertura vegetal. De forma geral, para todos os tratamentos durante todas as fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro, as perdas de solo apresentaram redução exponencial em relação à cobertura vegetal, proporcionada pelos diferentes sistemas de manejo. Como já explicado, isto se deve à diminuição do impacto das gotas de chuva, desagregação das partículas e transporte de sedimentos na enxurrada, o que está de acordo com Silva et al. (2005). Esses autores comentam que, quanto mais protegida pela

cobertura vegetal estiver a superfície do solo, tanto menor será a propensão de ocorrência de erosão por ação da chuva. Comportamento semelhante foi encontrado por Bezerra & Cantalice (2006), ao observarem o efeito de diferentes coberturas do solo no cultivo da cana, e por Leite et al. (2004), que constataram diminuição exponencial com o aumento das coberturas do solo proporcionadas por resíduos culturais e pelas copas das plantas. Silva et al. (2005) encontraram, para o sistema de plantio direto, perdas de solo em média menores que as observadas no preparo convencional.

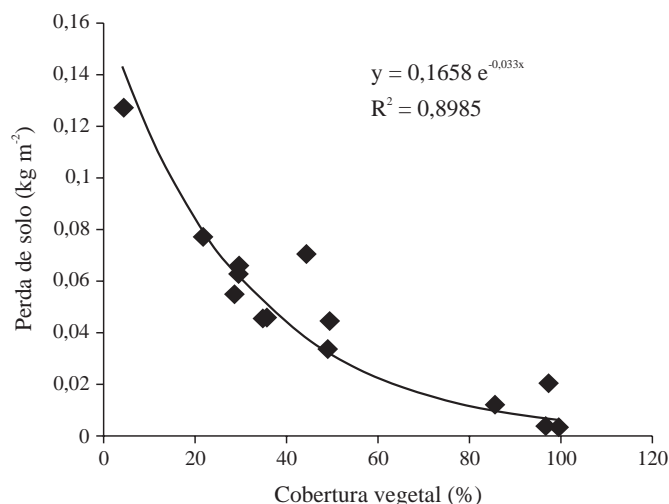


Figura 1. Relação entre as perdas de solo e a taxa de cobertura vegetal nos diversos tratamentos analisados, durante o ciclo do feijoeiro, e com chuva simulada

Na Figura 2 se encontram os valores de taxas de infiltração durante o ciclo da cultura do feijoeiro, nos diferentes tratamentos. Considerando-se que a infiltração reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas (Centurion et al., 2001), deduz-se que nos solos estudados a infiltração sofreu modificações, em função do manejo adotado em cada parcela. Observa-se que os valores iniciais de taxa de infiltração de água no solo foram elevados em todos os tratamentos, o que pode ser devido principalmente ao baixo teor de umidade do solo no momento antecedente à realização dos testes de infiltração (Tabela 4). Bertol et al. (2001) e Cruz et al. (2003), verificando taxas de infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de manejo, também encontraram altos valores de infiltração inicial com rápido decréscimo, para solos com baixos valores de umidade inicial. Ainda se percebe que a taxa de infiltração do solo sob cobertura nativa, cobertura morta e N2, apresenta-se mais elevada em relação aos demais tratamentos; nos dois últimos tratamentos, a infiltração tende a se estabilizar próximo aos 25 min de teste. O aumento da infiltração foi favorecido pela presença de barreiras físicas e de cobertura vegetal, evitando a desagregação provocada pelo impacto das gotas de chuva e a formação do selamento superficial resultando, conseqüentemente, em redução do escoamento superficial (Silva et al., 2005).

As proteções fornecidas pelas coberturas e pelos barramen-

tos reduziram a velocidade da enxurrada e aumentaram a capacidade de retenção e de infiltração de água no solo, o que concorda com as verificações de Bertol (1994) e Schick et al. (2000).

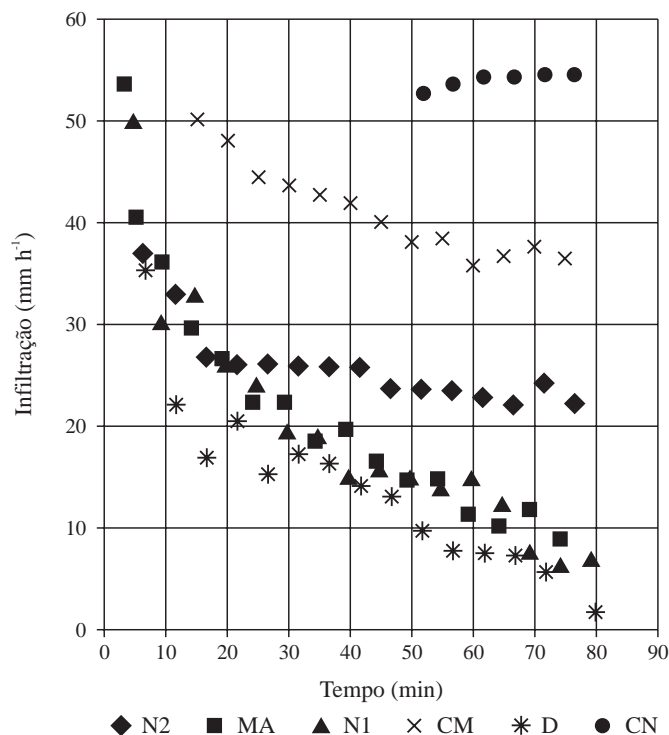


Figura 2. Taxas de infiltração obtidas para as diferentes formas de manejo do solo durante o ciclo do feijoeiro e com chuva simulada

CONCLUSÕES

1. Em todos os tratamentos e em todas as fases, o regime de escoamento foi o laminar lento, indicando que ocorreu erosão laminar.
2. Entre as práticas conservacionistas estudadas a cobertura morta produziu significativa redução da erosão do solo em relação às demais práticas, com valores próximos aos da condição ideal de cobertura, que é a condição natural.
3. O aumento do espaçamento entre os barramentos de 0,5 para 1,0 m diminuiu a eficiência desses dispositivos na conservação do solo e da água.
4. Práticas simples, como o cultivo em nível, barramentos em pedra e adoção de cobertura morta, com palha de feijão, reduzem perdas provocadas por erosão, podendo ser um recurso utilizado por agricultores do semi-árido, como técnica de conservação do solo, da água e nutrientes, na produção agrícola.

LITERATURA CITADA

Albuquerque, A. W.; Lombardi Neto, F.; Srinivasan, V. S.; Santos, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.136-141, 2002.

R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, n.3, p.217-225, 2009.

- Bertol, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos de solo e rotação de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, n.2, p.267-271, 1994.
- Bertol, I.; Albuquerque, J. A.; Leite, D.; Amaral, A. J.; Zoldan Júnior, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.1, p.155-163, 2004.
- Bertol, I.; Beutler, J. F.; Leite, D.; Batistela, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, v.58, n.3, p.555-560, 2001.
- Bezerra, S. A. Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da cana-de-açúcar. Recife: UFRPE, 2004. 51p. Dissertação Mestrado
- Bezerra, S. A.; Cantalice, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob o cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.4, p.565-573, 2006.
- Braida, J. A.; Cassol, E. A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.1, p.711-721, 1999.
- Brandão, V. S.; Pruski, F. F.; Silva, D. D. Infiltração da água no solo. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 120p.
- Carvalho, F. L. C.; Cogo, N. P.; Levien, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo de resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, n.1, p.227-234, 1990.
- Cassol, E. A.; Cantalice, J. R. B.; Reichert, J. M.; Mondardo, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, p.685-690, 2004.
- Castro, L. G.; Cogo, N. P.; Volk, L. R. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.2, p.339-352, 2006.
- Centurion, J. F.; Cardoso, J. P.; Natale, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.2, p.254-258, 2001.
- Cogo, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. 1ª aproximação. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 2, 1978, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: EMBRAPA, 1978. 481p.
- Corrêa, M. M.; Ribeiro, M. R. Levantamento detalhado de solos da fazenda Nossa Senhora do Rosário (Pesqueira – PE). Recife: UFRPE/UFPE/CNPq/BNB. 2001, 35p. Relatório técnico.
- Costa, F. S.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Fontoura, S. M. V.; Wobeto, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p.527-535, 2003.
- Cruz, A. C. R.; Pauletto, E. A.; Flores, C. A.; Silva, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.6, p.1105-1112, 2003.
- Desir, G.; Marín, C. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena*, v.71, n.1, p.31-40, 2007.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.
- Farenhorst, A.; Bryan, R. B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. *Catena*, v.25, n.2, p.47-62, 1995.
- Farinelli, R.; Lemos, L. B.; Penariol, F. G. Egéa, M. M.; Gasparoto, M. G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.307-312, 2006.
- Julien, P. Y. Erosion and sedimentation. 1.ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1995. 280p.
- Katz, D. M.; Watts, F. J.; Burroughs, E. R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. *Journal of the Hydraulics Division*, v.121, n.1, p.547-553, 1995.
- Leite, D.; Bertol, I.; Guadagnin, J. C. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.5, p.1033-1044, 2004.
- 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 Ciência do Solo*, v.14, n.1, p.73-80, 1990.
- Lopes, P. R. C.; Cogo, N. P.; Cassol, E. A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, n.1, p.193-197, 1987.
- Margolis, E.; Silva, A. B. da.; Jacques, F. de O. Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo para as condições de Caruaru-PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, n.1, p.165-169, 1985.
- Marques, M. J.; Bienes, R.; Jiménez, L.; Rodríguez, R. P. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *Science of The Total Environment*, v.378, n.2, p.161-165, 2007.
- Mello, E. L.; Bertol, I.; Zapparoli, A. L. V.; Carrafa, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p.901-909, 2003.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.10, n.1, p.30-37, 2006.
- Padilha, J. A. Base zero ano 2000: mudança de paradigma na produção agroambiental nos trópicos secos. In: Leite, P. S. L.; Peixoto, A. B.; Magalhães, A. R.; Miranda, C.; Teófilo, E.; Amsberg, J. von; Sant’anna, S. (ed.). Reforma agrária e desenvolvimento sustentável. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário/NEAD, 2000. cap.14, p.239-309.
- Santos, C. A. G.; Suzuki, K.; Watanabe, M.; Srinivasan, V. S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.92-96, 2000.

- Santos, T. E. M. Avaliação de técnicas de conservação de água e solo em bacia experimental do semi-árido pernambucano. Recife: UFRPE, 2006. 60p. Dissertação Mestrado
- Santos, T. E. M.; Silva, J. R. L.; Andrade, T. S.; Montenegro, A. A. A.; Silva Júnior, V. P.; Santos, E. S. Índice de erosividade (EI_{30}) das chuvas para a bacia experimental do Jatobá, no semi-árido pernambucano. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 8, 2006, Gravatá. Anais... Gravatá: ABRH, 2006. CD Rom
- SAS. The SAS System for windows: Release version: 6.8, 3.ed. Cary: 1998. CD-Rom
- Schick, J.; Bertol, I.; Batistela, O.; Balbinot, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n.3, p.427-436, 2000.
- Silva, D. D.; Pruski, F. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Amorim, R. S. S.; Paiva, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho Amarelo utilizando simulador de chuva. Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.409-419, 2005.
- Simons, D. B.; Senturk, F. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. 2.ed. Colorado: Water resources publications, 1992. 897p.