

ESTRUTURA LENHOSA E HIDRODINÂMICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM UMA ÁREA DE CAATINGA

Jose Ramon Barros Cantalice

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia.
Dom Manuel medeiros s/n Dois irmãos 52171-900 - Recife, PE – Brasil E-mail: cantalic@terra.com.br

Maria Daniela Rodrigues de Oliveira Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia.
Dom Manuel medeiros s/n Dois irmãos 52171-900 - Recife, PE – Brasil mdr@gmail.com

José Júlio Vilar Rodrigues

Professor Adjunto, UFRPE, Departamento de Agronomia, Recife – PE E-mail: juba@elogica.com.br

Maria Jesus Nogueira Rodal

UFRPE Resumo da Biografia Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Avenida Dom Manoel de Medeiros, S/N, 52171-030, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco. Contato Principal para correspondência. E-mail: mrodal@terra.com.br

Luciana Maranhão Pessoa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia/Área Botânica, Fitossociologia.
Rua Dom Manoel de Medeiros s/n Dois Irmãos 52171-900 - Recife, PE – Brasil E-mail: lpbio@yahoo.com.br

RESUMO - Os recursos naturais água e solo nos trópicos semi-áridos estão sob pressão e inclinados à degradação por conta do ambiente severo e dos solos rasos, em regiões ecologicamente sensíveis à ação antrópica. Em vista do exposto, este trabalho objetivou a caracterização estrutural e a avaliação da hidráulica do escoamento superficial do escoamento típico da erosão em entressulcos, numa área de caatinga do município de Serra Talhada, Pernambuco. Para tal utilizou-se na caracterização estrutural da vegetação de caatinga o método do ponto quadrante para espécies arbóreas e arbustivas. Escoamentos superficiais laminares foram gerados a partir de um simulador de chuvas em parcelas de 2 m² com a caatinga nas épocas úmida e seca. As diferenciações da descarga líquida, velocidade média do escoamento superficial e do número de Reynolds, demonstraram o efeito significativo da sazonalidade, sobre o escoamento superficial laminar característico da erosão em entressulcos. A estrutura arbóreo-arbustiva observada da caatinga contribuiu para os baixos valores de coeficiente de escoamento superficial nas áreas de entressulcos, demonstrando a eficiência da caatinga, e de sua conseqüente, cobertura vegetal na interceptação da chuva e, no conseqüente retardo do escoamento superficial. Os baixos valores escoamentos superficiais observados também contribuíram para altas taxas de infiltração de água.

Palavras chave: erosão em entressulcos; estrutura arbóreo-arbustiva; regime laminar.

WOODY STRUCTURE AND SURFACE WATER HYDRAULICS IN A CAATINGA VEGETATION AREA

ABSTRACT - The water and soil natural resources in the semi-arid tropics are under pressure and are inclined to degradation due to the severe environment and shallow soils, in ecologically sensitive regions to anthropic actions. In view of the above, this work aimed to characterize the structure and the hydraulic evaluation of the surface water typical of interrill erosion, in a caatinga area of Serra Talhada country in Brazil. For this the quadrant point method was used in the structural characterization of the vegetation of caatinga for trees and shrubby species. Laminar surface regime was generated from a rain simulator in 2 m² plots with caatinga in the humid and dry seasons. The differentiations of the flow rates, average surface water speed and the Reynolds number, had demonstrated the significant effect of seasonality on the characteristic laminar surface water of the interrill erosion. The observed tree-shrub structure of caatinga contributed to the low values of runoff coefficient of the interrill areas, demonstrating the efficiency of caatinga, and its resulting vegetated cover in the interception of rain and, in the delay of the surface water. The low values runoff also observed also contributed to the high rates of infiltration of water.

Key Words: Interrill erosion; structure tree-shrub structure; laminar regime.

INTRODUÇÃO

Os recursos naturais água e solo nos trópicos semi-áridos estão sob pressão e inclinados à degradação por conta do ambiente severo e dos solos rasos, em regiões ecologicamente sensíveis à ação antrópica. Muitas vezes sob alta pressão demográfica, com uma agricultura de poucos recursos, e ausência ou falta de suporte institucional. Conseqüentemente, existe um crescente interesse no que se refere à conservação de solo e água em função das necessidades atuais e da melhora da produtividade e resiliência para demandas futuras (LAL, 1994).

Nesse sentido, o tamanho e a frequência dos pulsos de precipitação são importantes controladores dos processos físicos e biológicos em ecossistemas de terras áridas (Huxman et al., 2004). Eventos de precipitação irregulares, discretos e de larga imprevisibilidade, têm sido sugeridos como um importante indicador de mudanças nos ecossistemas áridos, bem como tem uma função estrutural nesses ecossistemas (WILCOX et al., 2003).

De acordo com Lal (1994), o aumento da erosão do solo é um sério problema global. O que é difícil de avaliar de forma confiável e precisa, entretanto, é a dimensão e a magnitude das taxas de erosão do solo e suas conseqüências ambiental e econômica.

A erosão do solo pode ser diminuída sob condições de grande rugosidade hidráulica, não somente por redução dos volumes de escoamento superficial, mas também devido ao aumento do nível de resistência hidráulica que dissipa a energia do fluxo (EINSTEIN E BARBAROSSA, 1951). Assim, a rugosidade superficial do solo impacta significativamente a geração do escoamento e do sedimento proveniente da chuva de diversas maneiras diferentes. Um efeito importante é o aumento da taxa de infiltração do solo com aumento da rugosidade, embora este efeito tenda a desaparecer devido ao selamento de superfície com o progresso da chuva (MOORE e SINGER, 1990).

Existe um consenso sobre as áreas semi-áridas, de que a vegetação esparsa e a micro-topografia têm um importante efeito no escoamento superficial, numa escala muito pequena (YAIR & LAVEE, 1976; SCOGING, 1982; WILCOX et al., 1988; DUNNE et al., 1991). Um desses efeitos é o aumento das taxas de infiltração, próxima a vegetação, o qual reduz o escoamento superficial. Essas maiores taxas de infiltração, próximas às áreas de vegetação semi-árida, são atribuídas a algumas propriedades dos solos sob tais plantas, tal como, baixos valores de densidade do solo (BELSKY et al., 1993); uma maior estabilidade de agregados (BLACKBURN, 1975), e/ou uma maior densidade de macroporos (DUNNE et al., 1991, BERGKAMP et al., 1996).

De acordo com Ponce (1989), os escoamentos superficiais na microbacia são classificados em: fluxo superficial; fluxo concentrado em sulcos e fluxo concentrado em canais e rios. Os regimes de escoamento desses fluxos de canais abertos são determinados de acordo com Simons & Senturk (1992): 1) Laminar lento se o número de Reynolds < 500 , e número de Froude < 1 ; 2) laminar rápido se o $Re < 500$, e $Fr > 1$; 3) transicional se $500 > Re < 2500$ para $Fr > e < 1$ (transicional

rápido ou lento); 4) turbulento se $Re > 2500$ para $Fr > e < 1$ (turbulento lento ou turbulento rápido).

Para o conhecimento da hidráulica de um fluxo, pelo menos alguns poucos parâmetros devem ser estabelecidos com mais precisão. Quando a unidade de descarga e a profundidade da lâmina são medidas corretamente, muitos outros parâmetros podem ser calculados, como a velocidade média do escoamento, a perda de carga, os números de Reynolds e Froude, e ainda, a tensão cisalhante para os estudos de erosão (SAVAT, 1977).

Na erosão em entressulcos, a redução da velocidade do escoamento causada pela presença de resíduos vegetais na superfície ocorre, geralmente, por causa do aumento da rugosidade hidráulica do fluxo superficial, resultando em aumento da altura do escoamento (FOSTER, 1982; BRAIDA & CASSOL, 1999).

Processos hidrológicos e vegetação

Os processos hidrológicos e ecológicos são particularmente acoplados em ambientes limitados por água, ou seja, nas zonas áridas e semi-áridas (WILCOX et al., 2003). Para Cammeraat & Imenson (1999), nesses ambientes existe um mecanismo positivo de auto-regulação entre água e vegetação, tendo as vegetações de zonas áridas e semi-áridas a capacidade de manter os padrões de vegetação diante da irregularidade dos pulsos hidrológicos. Dessa forma, Bergkamp (1988) e Valentin et. al, (1999) levantaram uma hipótese segundo a qual a quantidade de redistribuição da água na superfície e o momento em que o escoamento superficial torna-se concentrado, são fatores determinantes dos padrões de vegetação.

Uma relação de causa e efeito pode realimentar o processo de degradação: altas taxas de escoamento superficial significarão menos disponibilidade de água às plantas e altas taxas de erosão, assim, o ciclo de degradação pode ser acelerado quando as taxas de escoamento superficial aumentarem tanto em volume quanto em energia. Existem poucos estudos com evidências documentais, explicitando que mudanças no tipo de escoamento superficial causem distúrbios na vegetação, mas existem evidências indiretas de tais mudanças (WILCOX et al., 2003).

A vegetação e os resíduos vegetais originam uma resistência hidráulica ao escoamento, que segundo Abrahams & Li (1988) é dividida em rugosidade de partícula que resulta das forças de tensão cisalhante exercida sobre as partículas individuais, agregados e microagregados do solo, e na rugosidade de forma, originada pelos contornos sólidos (paredes de canais), pedras, restos vegetais, vegetação e protuberâncias microtopográficas que impedem o escoamento e aumentam a diferença de pressão ao longo dos obstáculos. Assim, resíduos vegetais sobre a superfície do solo reduzem a velocidade do escoamento em entressulcos, porque a cobertura geralmente aumenta a rugosidade hidráulica do fluxo superficial, que por sua vez aumenta a altura do escoamento (FOSTER, 1982; BRAIDA & CASSOL, 1999). Cantalice (2002) e Cassol et al. (2004)

verificaram aumento na rugosidade hidráulica ao adicionar doses crescentes de palha de soja na superfície do solo.

Estrutura da caatinga

Na estimativa da densidade de espécies vegetais em ambientes tropicais dois métodos fitossociológicos têm sido largamente utilizados: método do ponto quadrante e método das parcelas (GALETTI, 2002). O primeiro método de amostragem a ser utilizado ser o método de parcelas de tamanho fixo que considera como inclusão de árvores a sua presença dentro do limite das parcelas. Mas, de acordo com Krebs (1999), o método mais antigo de distância é o método do ponto quadrante que foi inicialmente utilizado pelos primeiros agrimensores ao analisar as árvores mais próximas de cada quadrante, obtendo desta forma, um valioso banco de dados na composição de florestas do leste dos Estados Unidos.

Como vantagens da utilização do ponto quadrante, tem-se: eliminação da influência da forma da parcela sobre os resultados; fácil localização dos pontos de amostragem em campo pela utilização do transecto e menor gasto de tempo (MARTINS, 1993).

Nos trabalhos fitossociológicos brasileiros, das variáveis determinadas para lenhosas, a densidade, a altura e a área basal estão ligadas à ocupação do espaço e ao porte das plantas. (Amorim et al, 2005).

Considerando o exposto, objetivou-se nesse trabalho a caracterização estrutural e a avaliação da hidráulica do escoamento superficial do escoamento típico da erosão em entressulcos, numa área de caatinga do município de Serra Talhada, Pernambuco, nas épocas seca e chuvosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto de Pesquisa Agropecuária (IPA) localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco, que está inserido na parte setentrional da microrregião Pajeú, com

coordenadas 38°11'W e 7°49'S e altitude de 429 m, distando 420 km de Recife. O clima do município, de acordo com a classificação de Koppen adaptada para o Brasil, é do tipo BSh, denominado semi-árido, quente e seco, com chuvas de verão, médias anuais térmicas superiores a 25°C e pluviosidade média anual de 650 mm/ano com chuvas irregulares (SUDENE, 1990).

A área experimental situou-se no terço médio de uma encosta de relevo forte ondulado, com 16,26° de inclinação, coberto com vegetação caatinga e que apresentava sinais de erosão em sulcos e em entressulcos. O terço superior à área experimental, de declive mais suave apresentava sinais de práticas de agricultura de sequeiro, enquanto o terço inferior constituía-se da várzea do açude do Saco. O solo da área experimental de acordo com a classificação da SUDENE (1972) é um NEOSSOLO LITÓLICO (EMBRAPA, 1999).

Foram coletadas 5 (cinco) amostras de solo na profundidade de 0 a 10 cm e acondicionadas em sacos plásticos. Posteriormente, foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm, para determinação da distribuição granulométrica pelo método da proveta e da densidade de partícula pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Ainda de cada tratamento foram coletadas amostras de solo, e acondicionadas em latas de alumínio que foram vedadas para determinação da umidade inicial em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro (Klute, 1986). A porosidade total foi obtida a partir da relação:

$$P_t = \left(1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \quad (1)$$

Sendo P_t = porosidade total expressa em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

Para caracterização química do solo das amostras coletadas foram realizadas as determinações de pH, Ca e Mg (EMBRAPA, 1997). Os valores das análises físicas e químicas acima descritas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo NEOSSOLO LITÓLICO na profundidade 0-10 cm de uma encosta estudada no município de Serra Talhada, Pernambuco.

Característica do solo	
PH em água	7,1
Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	7,17
Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	3,37
Areia (g kg^{-1})	652,5
Silte (g kg^{-1})	180,0
Argila (g kg^{-1})	167,5
Argila dispersa (%)	10,25
Densidade do solo (g dm^{-3})	1,37
Densidade de partícula (g dm^{-3})	2,53
Condutividade Hidráulica (cm h^{-1})	197,0
Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,46
Textura do solo	Franco-arenoso

Caracterização da Estrutura da Caatinga

Para caracterização da vegetação foram realizadas amostragens nos meses de outubro e novembro de 2005. O material foi identificado seguindo os procedimentos usuais (Mori et al. 1989), utilizando-se o sistema de classificação de Cronquist (1981), que divide as plantas com flor em duas classes amplas, monocotiledôneas e dicotiledôneas.

Na caracterização da cobertura da vegetação nativa da área como um todo, independente da época do ano, foram seguidos os critérios definidos em Rodal et al. (2005). Foram consideradas as árvores (plantas lenhosas com diâmetro do caule ao nível do solo (DNS) maior ou igual a 3 cm e tronco indiviso até 30 cm ou ramificado, desde que com copa definida) e arbustos (plantas lenhosas com caule ramificado desde a base, sem copa definida e ramos secundários lenhosos). O método de amostragem utilizado foi o ponto quadrante, como descrito em Martins (1991).

Os dados foram coletados ao longo de duas transeções paralelas de 40 m, distanciadas em 20 m. Em cada transeção, foram instalados cinco pontos quadrantes, distanciados por 10 m. Para cada um dos hábitos estudados (árvores e arbustos), foram amostrados quatro indivíduos em cada ponto, totalizando oito plantas por ponto quadrado. De cada indivíduo, foram obtidas as seguintes medidas: distância ponto-planta, altura total e perímetro do caule no nível do solo. Com base nessas medidas e usando as planilhas do MS Excel e o pacote estatístico FITOPAC (SHEPHERD, 1995), foram calculados os parâmetros fitossociológicos de densidade, frequência e dominância (área basal) para espécies e famílias. O índice de diversidade de Shannon foi avaliado de acordo com a fórmula apresentada em Magurran (1989).

Condução do das chuvas simuladas para geração do escoamento em entressulcos

Chuvas simuladas foram realizadas para geração dos escoamentos superficiais que ocorrem na erosão do tipo em entressulcos. foram consideradas como tratamentos, três condições de cobertura vegetal: T1) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época úmida; T2) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época seca e T3) Apenas resíduo vegetal em época seca. Entende-se como resíduo vegetal a camada de serrapilheira, folhas secas provenientes da vegetação local.

As chuvas simuladas foram aplicadas no mês de julho (época úmida) e mês de outubro (época seca), por um simulador que foi construído no laboratório de Manejo e Conservação do Solo da UFRPE de acordo com Meyer & Harmon (1979), sendo equipado com um bico aspersor tipo Veejet 80-150 com diâmetros internos de ½ polegada, que reproduz uma distribuição de tamanho de gotas e níveis de energia cinética próximos aos das chuvas naturais (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O simulador ficou a 3,1 m acima da superfície do solo das parcelas que continham apenas resíduo vegetal e em uma altura de 4,5 m acima da

superfície do solo e da vegetação de caatinga. Para isso, o simulador foi montado sobre um conjunto de andaimes metálicos. O bico operou a uma pressão de saída de 41 KPa verificada com o auxílio de um manômetro. As intensidades médias das chuvas simuladas foram de 130 mm h⁻¹, aferidas através de um conjunto de 10 pluviômetros colocados ao acaso ao lado da área útil das parcelas experimentais. Os escoamentos superficiais foram avaliados em parcelas experimentais com área de 2 m² (1 m de largura e 2 m de comprimento), ficando a maior dimensão no sentido do declive, e delimitadas por chapas metálicas galvanizadas de 30 cm de altura, cravadas no solo a 20 cm de profundidade. As parcelas continham na parte inferior, uma calha coletora para a amostragem do escoamento superficial.

Determinação dos parâmetros hidráulicos

A descarga líquida (q) por unidade de largura foi determinada a partir das coletas de enxurradas em potes plásticos com capacidade de um litro colocados na extremidade da calha coletora, sendo obtidas em m³ s⁻¹, e divididas pela largura da parcela, para ser expressa em m² s⁻¹.

A velocidade superficial (Vs) do escoamento gerado a partir da chuva simulada foi determinada através da tomada de tempo gasto, por meio de um cronômetro, para o corante (azul de metileno) percorrer a distância entre dois pontos fixos na parcela, sendo expressa em m s⁻¹. A velocidade média do escoamento (Vm) foi determinada através dos valores da velocidade superficial do escoamento, assim obtida, e multiplicada por um fator de correção (= 2/3), para obtenção da velocidade média do escoamento, em m/s, conforme (FARENHORST & BRYAN, 1995); (KATZ et al., 1995) e (CASSOL et al., 2004).

A altura da lâmina do escoamento (h), em metro (m), foi determinada pela seguinte equação (2) derivada por Woolhiser & Liggett (1967) e Singh (1983), para solução cinemática das equações de Saint-Venant:

$$h = \frac{q}{V} \quad (2)$$

onde h = altura da lâmina de escoamento superficial em (m), q = descarga líquida total por unidade de largura em (m² s⁻¹) e V = velocidade média do escoamento em (m² s⁻¹).

O número de Reynolds (Re) (adimensional) foi determinado pela equação abaixo, segundo Simons & Sentürk (1992):

$$R_e = \frac{Vm.h}{\nu} \quad (3)$$

Em que, Vm = velocidade média do escoamento (m s⁻¹); h = altura da lâmina (m) e ν = viscosidade cinemática da água (m² s⁻¹).

A viscosidade cinemática foi determinada pela utilização da equação (4) segundo Julien (1995), sendo a temperatura (°C) aferida por meio de um termômetro em cada teste.

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

Em que, ν = viscosidade cinemática da água ($m^2 s^{-1}$) e T = temperatura da água em $^{\circ}C$.

O número de Froude (Fr) foi obtido pela expressão (5) de acordo com Simons & Senturk (1992):

$$F_r = \frac{Vm}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (\text{adimensional}) \quad (5)$$

Sendo, Vm = velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$); g = aceleração da gravidade ($m s^{-2}$) e h = altura da lâmina (m).

A rugosidade hidráulica foi obtida pela determinação do coeficiente de Fricção de Darcy-Weisbach (f) na forma da equação:

$$f = \frac{8 \cdot g \cdot h \cdot s}{V^2} \quad (\text{adimensional}) \quad (6)$$

Onde; g = aceleração da gravidade ($m s^{-2}$); h = altura da lâmina do escoamento (m); s = declive do terreno ($m m^{-1}$) e V = velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$).

O Coeficiente de escoamento superficial (C) foi determinado pela relação do escoamento superficial obtido em cada tratamento para a respectiva chuva:

$$C = \text{volume escoado} / \text{volume precipitado} \quad (7)$$

Os escoamentos obtidos com as chuvas simuladas foram classificados de acordo com o esquema abaixo (Figura 1), de acordo com a magnitude dos números de Reynolds e de Froude.



Figura 1. Esquema de classificação dos regimes de escoamentos livres em superfície, gerados durante as simulações de chuva.

As taxas de infiltração de água no solo nas diferentes condições de cobertura do solo foram obtidas pela diferença entre as taxas de precipitação e as de descarga líquidas (escoamento superficial) geradas a partir do simulador de chuvas.

A cobertura do solo promovida pelas diferentes coberturas de caatinga foi determinada através do método de Mannering, descrito por Bezerra et al. (2002), que utiliza a projeção fotográfica de um quadro (apêndice 1) com a cobertura vegetal de 76 X 51 cm, numa moldura padrão com 38 cm de comprimento e 25,4 cm de largura, a qual continha 50 pontos de intersecção de linhas verticais com linhas horizontais, onde a coincidência dos pontos de intersecção e de cobertura vegetal corresponde a 2 % de cobertura de solo pela vegetação, as quais foram expressas em $m^2 m^{-2}$.

Na análise estatística dos resultados foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo os dados submetidos à análise de variância (teste F a 5%), regressão, e teste de Tukey para comparação das médias, por meio do programa estatístico SAS – Statistical Analytical System (SAS - INSTITUTE, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Componente arbóreo

Nos dez pontos quadrantes, foram amostrados 39 indivíduos arbóreos vivos e um morto, com uma distância média de 4,43 m, que equivale a uma densidade de 588 indivíduos ha^{-1} , e com uma área basal total de 6,35 $m^2 ha^{-1}$. As alturas e diâmetros médios foram de 4,12 m e 10,11 cm. Cerca de 42% das plantas apresentaram altura maior ou igual a 3 m.

Dentre as espécies arbóreas amostradas (Tab. 2), houve destaque para *Bauhinia cheilantha* que apresentou maior valor de importância (VI).

Ziziphus joazeiro destacou-se com a maior dominância relativa (DoR). *Capparis flexuosa*, espécie arbórea, geralmente encontrada em áreas menos antropizadas, ou seja, mais protegidas (Andrade et al, 2005), também ocorreu na área de estudo. Na caatinga em melhor estado de conservação, observa-se maior número de famílias, gêneros e espécies que em áreas degradadas (Andrade et al, 2005). A diversidade de Shannon (H') foi 1,504 nats.ind.

Componente arbustivo

O componente arbustivo foi representado por 40 indivíduos vivos, com uma distância média de 2,19 m, que equivale a uma densidade de 2.067 indivíduos ha⁻¹, e com uma área basal total de 1,245 m² ha⁻¹. As alturas e diâmetros

médios foram de 2,21 m e 2,54 cm. Cerca de 47% das plantas apresentaram alturas maiores ou iguais a 2 m.

Das espécies arbustivas amostradas (Tab. 2), houve destaque para *Croton blanchetianus* que apresentou o maior valor de importância. O índice de Shannon (H') foi de 1,063 nats.ind.

Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas e arbustivas, amostrados de uma encosta em área do município de Serra Talhada, Pernambuco em ordem decrescente do valor de importância (VI).

ESPÉCIES/ FAMÍLIAS	NI	DR	DoR	FR	VI
Arbóreas					
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Fabaceae)	22	55	29,77	40	124,77
<i>Ziziphus joazeiro</i> (Rhamnaceae)	02	05	34,16	8	47,16
<i>Myracrodrum urundeuva</i> (Anacardiaceae)	04	10	9,11	16	35,11
<i>Guapira laxa</i> (Nyctaginaceae)	04	10	9,78	12	31,78
<i>Capparis flexuosa</i> (Capparaceae)	04	10	9,16	12	31,16
<i>Capparis hastata</i> (Capparaceae)	02	05	2,63	04	11,63
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> (Mimosaceae)	01	2	4,49	04	10,99
Categoria morta	01	2	0,89	04	7,39
Arbustivas					
<i>Croton blanchetianus</i> (Euphorbiaceae)	24	60	68,30	47,4	175,00
<i>Capparis jacobinae</i> (Capparaceae)	08	20	16,00	26,3	62,30
<i>Melochia tomentosa</i> (Sterculiaceae)	06	15	8,60	21	44,50
<i>Ptilochaeta</i> sp (Malpighiaceae)	02	05	7,20	5,3	17,40

NI – número de indivíduos, DR - densidade relativa (%), DoR - dominância relativa (%), FR - frequência relativa (%).

Componente arbóreo-arbustivo

Comparando as densidades com os valores obtidos em outros levantamentos, nota-se que apesar da variação ser bastante relacionada ao critério de inclusão adotado, como já observado por Sampaio (1996), mesmo em áreas amostradas com critério similar, ainda assim, há uma grande variação na densidade das espécies (ARAÚJO et al. 1995). Comparando os resultados da área de estudo com o trabalho de Albuquerque et al. (1982), que amostrou árvores e arbustos de uma área de Petrolina, utilizando o método do ponto quadrante, nota-se que as densidades do componente arbóreo foram bastante próximas. Todavia, a densidade do componente arbustivo foi quatro vezes maior no trabalho de Petrolina.

A variação na densidade dos diferentes componentes da vegetação (arbóreo e arbustivo) foi ressaltada por Rodal (1992). Essa autora observou que a vegetação de caatinga variou de arbustiva a arbórea, sendo essa uma tendência bastante comum à chamada caatinga arbustivo - arbórea, que se diferencia basicamente em função da maior ou menor densidade de seus componentes. Embora não seja possível fazer maiores comparações dos valores de área basal, em função dos diferentes critérios de inclusão utilizados, nota-se que a área basal foi mais baixa que aquela apresentada nos trabalhos de caatinga listados por Sampaio (1996).

Parâmetros hidráulicos e de cobertura do solo

Na tabela 3, constam todos os valores das variáveis hidráulicas para os três tratamentos avaliados na área de catinga estudada. Os três tratamentos apresentaram $R_e < 500$

e $F_r < 1$ podendo-se, dessa forma, inferir que todos os escoamentos superficiais produzidos foram laminares. No entanto, as condições hidráulicas do escoamento do tratamento 1 (cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época úmida), diferenciaram-se das demais condições, apresentando uma maior descarga líquida (Q) que se refletiu na elevação da velocidade média do escoamento, culminando na diferenciação do número de Reynolds. As diferenciações desses parâmetros do escoamento da erosão em entressulcos refletem o efeito da sazonalidade do ambiente semi-árido, inclusive do solo, que no período chuvoso apresenta maior umidade. Os valores de umidade gravimétrica do solo, determinada imediatamente antes da realização dos testes, confirmam essa conclusão.

Em relação aos valores de rugosidade hidráulica e de cobertura de solo observa-se que todos os valores, tanto de rugosidade, quanto de cobertura de solo, foram elevados e não se diferenciaram.

A elevada cobertura de solo promovida por todas as condições de caatinga da área estudada, que não se diferenciaram entre elas, é consequência da estrutura arbustivo-arbórea. A estrutura já descrita, com altura média de 2,21 m para o componente arbustivo, e 4,12 m para o componente arbóreo, promoveu um aporte expressivo de resíduo vegetal que contribuiu para cobertura do solo, além do efeito próprio da estrutura. Na estação chuvosa, a caatinga devido a sua extraordinária capacidade de rebrota, apresenta um dossel semelhante a uma floresta baixa e em estação de seca por ser caatinga hiperxerófila, portanto decídua, contribui para a formação de uma camada de resíduos vegetais constituídos por uma grande quantidade de folhas sobre a superfície do solo, (ALBUQUERQUE, 2002;

ANDRADE-LIMA, 1981; SILVA, 2004) e em sua copa cobertura do solo. folhas e ramos secos, que também contribuem para a

Tabela 3. Características hidráulicas do escoamento promovido por chuva simulada nos três tratamentos: T1) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época úmida; T2) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época seca e T3) Apenas resíduo vegetal em época seca numa área de vegetação de caatinga em Serra Talhada, Pernambuco.

Variáveis	T1 - ÉPOCA ÚMIDA	T2 - RESÍDUO VEGETAL	T3 - CV ÉPOCA SECA
Descarga líquida (m ² s ⁻¹)	8,548 x 10 ⁻⁶ a	4,656 x 10 ⁻⁶ b	1,394 x 10 ⁻⁶ b
Altura da lâmina (m)	3,91 x 10 ⁻⁴ a	4,27 x 10 ⁻⁴ a	1,96 x 10 ⁻⁴ a
Velocidade média (m s ⁻¹)	0.02762 a	0.01288 b	0.00958 b
Número de Reynolds (adimensional)	11.189 a	4.841 b	1.828 b
Número de Froude (adimensional)	0.5041 a	0.24667 a	0.37016 a
Infiltração inicial (mm)	126.4 a	129.22 a	129.22 a
Infiltração final (mm)	125.3 a	121.42 a	128.3 a
Darcy-Weisbach - f (adimensional)	0.8203 a	1.6961 a	1.3861 a
Coefficiente C (adimensional)	0,0427 a	0,097 a	0,0185 a
Cobertura do solo (m ² m ⁻²)	1 a	0.89 a	0.94 a
Umidade gravimétrica (%)	12,74 a	1,92 b	2,36 b

Valores médios de 4 repetições. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os valores de coeficiente de escoamento superficial nas áreas de entressulcos foram bastante baixos, demonstrando a eficiência da estrutura da caatinga, e da conseqüente, cobertura vegetal (arbustivo-arbórea), na interceptação da chuva (interceptação vegetal) e, por conseguinte, no retardo

do escoamento superficial (figura 2). Esse retardo no escoamento superficial possibilitou uma maior permanência da lâmina de água sobre o solo, que dessa forma pôde infiltrar mais água. Freitas (2005) obteve um valor maior coeficiente de escoamento superficial de 0,32 em uma caatinga semi-arbustiva, também em Serra Talhada, refletindo provavelmente, a diferença estrutural da caatinga Arbustivo-arbórea, com valores de (C) entre 0,018 a 0,09.

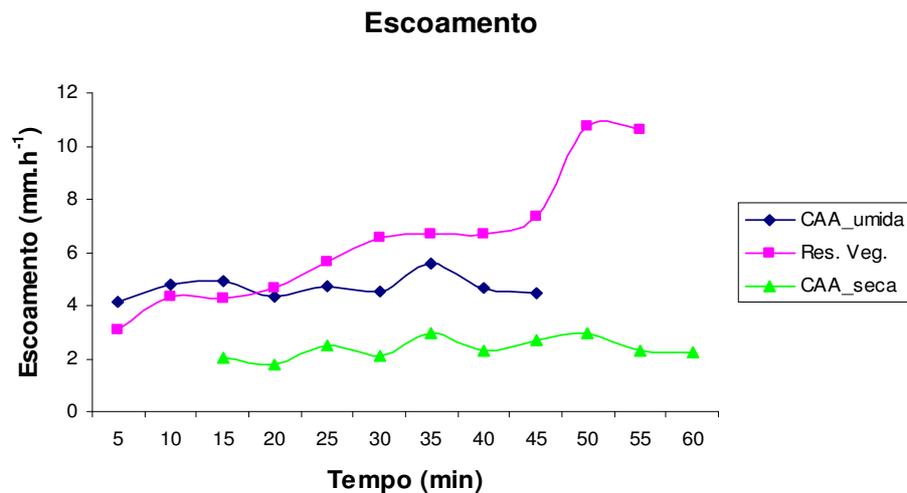


Figura 2. Taxas de escoamento superficiais obtidas no NEOSSOLO LITÓLICO de uma área de caatinga de Serra Talhada, Pernambuco para os tratamentos: T1) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época úmida; T2) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época seca e T3) Apenas resíduo vegetal em época seca.

Todas as taxas de infiltração de água no solo (figura 3) foram elevadas e iguais para todas as condições de escoamento na caatinga. Valores elevados de infiltração são comumente observados em ambientes semi-áridos, que para (BELSKY et al., 1993; BLACKBURN, 1975; BERGKAMP et al., 1996), estão ligados às características físicas dos solos nesses ambientes. Certamente, o componente arbóreo-arbustivo da vegetação de caatinga, originou uma maior cobertura do solo, permitindo maior volume de interceptação, como já discutido, e conseqüentemente, maior infiltração. Além do mais, a textura franco-arenosa do

NEOSSOLO LITÓLICO, aliada à forte inclinação da encosta, provavelmente favoreceu ao escoamento sub-superficial entre a superfície e o contato lítico a 30 cm de profundidade desse solo. As altas taxas de infiltração devem-se também, a interceptação vegetal promovida pela estrutura da caatinga, as chuvas simuladas de alta intensidade.

Já a não diferenciação das taxas iniciais e finais de infiltração, o que não é esperado, deveu-se provavelmente à curta duração das chuvas simuladas com máximo de 55 minutos, insuficientes para redução e estabilização das taxas de infiltração de água (fig. 3).

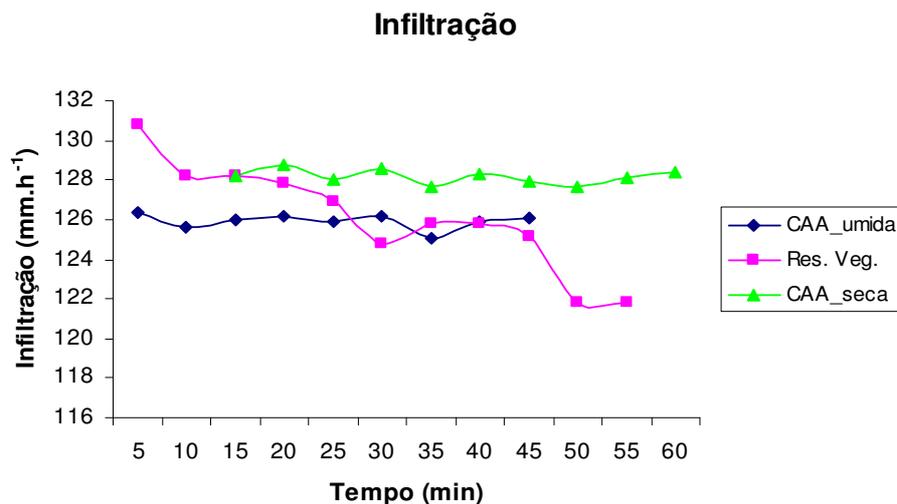


Figura 3. Taxas de infiltração da água obtidas nas condições de escoamento superficial da erosão em entressulcos no NEOSSOLO LITÓLICO de uma área de caatinga em Serra Talhada, Pernambuco para os tratamentos: T1) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época úmida; T2) cobertura vegetal de caatinga com seu resíduo em época seca e T3) Apenas resíduo vegetal em época seca.

CONCLUSÕES

1. As diferenciações da descarga líquida, velocidade média do escoamento superficial e do número de Reynolds, demonstraram o efeito significativo da sazonalidade, sobre o escoamento superficial laminar característico da erosão em entressulcos no ambiente semi-árido estudado.
2. Os baixos valores de escoamento superficial nas áreas de entressulcos denotam a ação da cobertura da caatinga arbustivo-arbórea estudada, na interceptação da chuva (interceptação vegetal), e no retardo do escoamento superficial.
3. A estrutura arbóreo-arbustiva da caatinga estudada contribuiu para os baixos valores de coeficiente de escoamento superficial nas áreas de entressulcos, demonstrando a eficiência da caatinga, e de sua conseqüente, cobertura vegetal na interceptação da chuva e, no conseqüente retardo do escoamento superficial.
4. As altas taxas de infiltração de água no solo estão relacionadas à textura franco-arenosa do NEOSSOLO LITÓLICO aliada à forte inclinação da encosta, que provavelmente favorecerá ao escoamento subsuperficial entre a superfície e o contato lítico a 30 cm de profundidade desse solo; como também, a interceptação vegetal promovida pela estrutura da caatinga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHMS, A. D.; LI, G. Effect of saltating sediment on flow resistance and bed roughness in overland flow. **Earth Surface and Landforms**, New York, v.23, p.953-960, 1998.

ALBUQUERQUE, S. G.; SOARES, J. G. G. & ARAÚJO FILHO, J. A. **Densidade de espécies arbóreas e arbustivas em vegetação de Caatinga**. Petrolina: Embrapa, 1982.

AMORIM, I. L. de; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAUJO, E. de L. Flora and structure of the tree and shrub vegetation of the caatinga at Seridó, Rio Grande do Norte State, Brazil. **Acta Botânica Basílica**, Porto Alegre, v.19, n. 3, p.615-623, 2005.

ANDRADE, A. de L.. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de usos, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Cerne**, Lavras, v.11, p.253-262, 2005.

ARAÚJO, E. L.; SAMPAIO, E. V. S. B. & RODAL, M. J. N. Composição florística e estrutura em três áreas de Caatinga de Pernambuco. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.55, n. 4, p.595-607, 1995.

BELSKY, A. J.; et al. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low rainfall

savannas. **Journal of Applied Ecology, Oxford**, v.30, p.143-155, 1993.

BERGKAMP, G. A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography in semiarid shrublands. **Catena**, v.33, p.201-220, 1998.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; TARQUI, J. L. Z. Características do escoamento superficial e taxas de erosão em uma área sob cultivo agrícola. *in*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 5, 2002, São Paulo-SP. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2002. p.403-411.

BLACKBURN, W. H. Factors influencing infiltration and sediment production of semi-arid rangelands in Nevada. **Water Resources Research**, 1997, v.11, n. 6, p 929-937, 1975.

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**, Viçosa, v.23, p.711-721, 1999.

CAMMERAAT, L. H.; IMENSON A. C. The evolution and significance of soil and vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. **Catena**, v.37, p.107-127, 1999.

CANTALICE, J. R. B. 2002. **Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo**. 2002, 141f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CASSOL, E. A.; et al. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.685-690, 2004.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press. 1981. 1262p.

DUNNE, T.; ZHANG, W.; AUBRY, B. F. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. **Water Resources Research**, Washington, v.27, p.2271-2285, 1991.

EINSTEIN, H.A.; BARBAROSSA, N. L. River channel roughness. **Transactions of the American Soc. Civ. Eng.** v.117, p.1121- 1132, 1951.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, 1999, 412p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.

FARENHORST, A.; BRYAN, R. B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. **Catena**, v.25, p.47-62, 1995.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. *In*: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: ASAE, 1982. p.297-380. (ASAE Monograph, 5).

FREITAS, J. F. de. **Impactos da erosão em entressulcos no ambiente semi-árido sob caatinga e diferentes culturas agrícolas**. 50f. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

GALETTI, M. & PIZO, M. 2002. **Ecologia e conservação de psitacídeos no Brasil**. Belo Horizonte: Melopsittacus Publicações Científicas, 2002, p.113-122.

GUY, B. T.; et al. Hydraulics of sediment-laden sheetflow and the influence of simulated rainfall. **Earth Surface and Landforms**, New York, v.15, p.101 – 118, 1990.

HUXMAN, T. E.; et al. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. **Ecologia**, v.141, p.254-268, 2004.

JULIEN, P. Y. **Erosion and sedimentacion**. 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, p.547-553, 1995.

KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2ed. Madison : American Soil Association, 1996, Part 1.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. 2 ed. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1999, 620p.

LAL, R. **Erosion research methods**. Soil Manangement Support Services, Thechnical Monograph, n° 21, 1994, 78p.

MAGURRAN, A. E. **Diversidad ecológica y su medición**. Barcelona: Ed. Vedral, 1989, 200p.

MARTINS, F.R. **Estrutura de uma flora mesófila**. Campinas: Ed. da UNICAMP, 1991, 246p.

MARTINS, F. R. **O método de quadrantes e a fitossociologia de uma floresta residual do interior do estado de São Paulo: Parque Estadual de Vassununga**. 1979. 239f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

MEYER, L.D.; HARMON, W.C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, p.100-103, 1979.

MORI, S. A. et al. **Manual de manejo do herbário fanerogâmico**. Ilhéus: Centro de Pesquisa do Cacau, 1989, 104p.

PONCE, V. M. **Engineering hydrology: principles and practices**. Englenwood cliffs: Prentice Hall, 1989, 640p.

RODAL, M. J. N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbóreo em quatro áreas da Caatinga em Pernambuco**. 1992. 224f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1992.

RODAL, M. J. N.; et al. Vegetação e flora fanerogâmica da área de Betânia, Pernambuco. *In*: ARAÚJO F. S.; RODAL M. J. N. & BARBOSA M. R. V. **Análise das variações da biodiversidade do bioma com apoio de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas para suporte de estratégias regionais de conservação**. Ed. Ministério do Meio Ambiente. 2005. p.141-168.

SAMPAIO, E. V. S. B. **Fitossociologia**. *In*: SAMPAIO E. V. S. B.; MAYO S. J. & BARBOSA M. R. V. **Pesquisa botânica nordestina: Progresso e perspectivas**. Recife: Sociedade Botânica do Brasil / Seção Regional de Pernambuco. 1996. p.203-224.

SAS Institute (Cary, Estados Unidos). 1998. **SAS/STAT users guide: version 6.03**. Cary, 1028p.

SAVAT, J.. The hydraulics of sheet flow on a smooth surface and the effect of simulated rainfall. **Earth Surface and Landform**, New York, v.2, p.125-140, 1977.

SHEPHERD, G.J. **FITOPAC 1**. manual do usuário. Campinas: UNICAMP. 1995, 47p.

SCOGING, H. M. Spatial variations in infiltration, runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain. *In*: BRYAN, R., YAIR, A. (Ed.). **Badland geomorphology and piping**. Geo Books, Norwich, 1982. p.89-112.

SIMONS, D. B.; SENTÜRK, F. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. *In*: **Water Resources Publications**. Colorado: [s.n.], 1992, 897p.

SINGH, V. P. Analytical solutions of kinematic for erosion on a plane: II Rainfall of finite duration. **Advances in Water Resources**, v.6, p.88-95, 1983.

SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste:** estação de Pernambuco: Recife, 1990, 363p. (Série pluviométrica, 6).

SUDENE. **Levantamento exploratório** – reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife, 1972. v.1. (Boletim técnico, n. 26).

VALENTIN, C.; D'HERBES, J. M. and POESEN, J. Soil and water components of banded vegetation patterns. *Catena*, v. 37, p. 1-24, 1999.

WILCOX, B. P.; BRESHEARS, D. B.; ALLEN, C. D. **Ecohydrology of a resource-conserving semiarid woodland: effects of scale and disturbance.** 2003. Ecological Society of America, Ecological Monographs, p.223-239.

WILCOX, B. P.; WOOD, M. K.; TROMPLE, J. M.; Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J. Range Managem.* V. 41, p. 197–206, 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planing. Washington : USDA - **Agricultural Research**, Beltsville, 1978.

WOOLHISER, D. A.; LIGGETT, J. A. Unsteady one-dimensional flow over a plane - the rising hydrograph. *Water Resources Research*, Washington, v.3, p.753-771, 1967.

YAIR, A., LAVEE, H., Runoff generation in arid and semi-arid zones. *In:* M. G. Anderson; Burt, T.P. (Ed.) **Hydrological Forecasting.** Wiley, Chichester. 1985, p.183–220.