

FRANCISCO JOSÉ DE FREITAS

**IMPACTOS DA EROSÃO EM ENTRESSULCOS NO AMBIENTE
SEMI – ÁRIDO
SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS**

RECIFE

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

IMPACTOS DA EROSÃO EM ENTRESSULCOS NO AMBIENTE
SEMI – ÁRIDO
SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS

FRANCISCO JOSÉ DE FREITAS

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das
exigências para obtenção do
título de Mestre em Ciência do
Solo.

RECIFE-PE
Dezembro – 2005

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**IMPACTOS DA EROÇÃO EM ENTRESSULCOS NO AMBIENTE
SEMI – ÁRIDO
SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS**

FRANCISCO JOSÉ DE FREITAS

ORIENTADOR:

JOSÉ RAMON BARROS CANTALICE, Dr.

CO-ORIENTADORES:

ALBERÍCIO PEREIRA DE ANDRADE, Dr.

EMÍDIO CANTÍDO DE OLIVEIRA FILHO, PhD

Recife, dezembro de 2005.

FRANCISCO JOSÉ DE FREITAS

**IMPACTOS DA EROÇÃO EM ENTRESSULCOS NO AMBIENTE
SEMI - ÁRIDO SOB CAATINGA E DIFERNTES CULTURAS
AGRÍCOLAS**

Dissertação defendida e aprovada em 06 de dezembro de 2005 pela banca
examinadora:

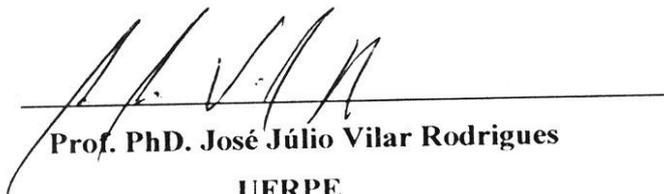
Orientador:



Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice

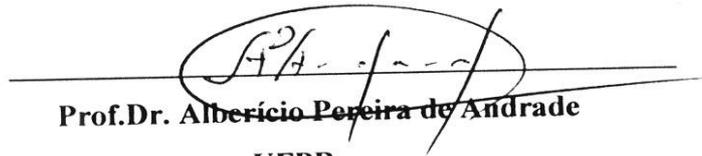
UFRPE

Examinadores:



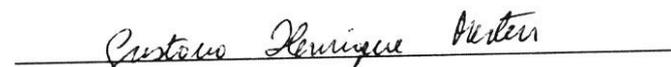
Prof. PhD. José Júlio Vilar Rodrigues

UFRPE



Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade

UFPB



Prof. Dr. Gustavo Henrique Merten

UFRGS

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

F866i Freitas, Francisco José de
Impactos da erosão em entressulcos no ambiente
semi-árido sob a caatinga e diferentes culturas agríco-
las / Francisco José de Freitas – 2005.
58 f. : il.

Orientador: José Ramon Barros Cantalice
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Univer-
sidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de
Agronomia.
Inclui bibliografia.

CDD 631.51

1. Erosão
2. Manejo do solo
3. Entressulco
4. Luvisolo
5. Impacto ambiental
6. Semi-Árido
7. Caatinga
- I. Cantalice, José Ramon Barros
- II. Título

DEDICO

*A minha filha, Monique,
A minha esposa, Helena,
A meus pais, Francisco e Geralda.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve ao meu lado e ajudou-me, sem o qual eu nunca teria conseguido concluir mais este desafio.

Ao meu orientador professor Dr. José Ramon Barros Cantalice, com seus ricos ensinamentos e apoio incondicional na execução deste trabalho, mostrando sempre interesse e preocupação com o desenvolvimento do trabalho. Ao aluno de doutorado Sandro Augusto Bezerra que me deu uma contribuição fundamental para a realização desta pesquisa, sempre demonstrando boa vontade para me ajudar.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Dr. José Ramon Barros Cantalice e Emídio Cantídio de Oliveira Filho que no desempenho de suas funções deram todo apoio necessário para a realização deste trabalho. Ao Diretor da Escola Agrotécnica Federal de Crato-CE, professor Joaquim Rufino Neto que possibilitou a realização do convênio com a UFRPE. Aos funcionários do CTPPI da UFRPE em Serra Talhada pelo apoio e auxílio no trabalho de campo e pela amizade que construímos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelos ensinamentos transmitidos e incentivos ao longo de todo o trabalho.

Aos colegas da Escola Agrotécnica Federal de Crato-CE que sempre me incentivaram e foram compreensivos, especialmente: Eder Cardoso Gomes e Homero Nogueira Sampaio pela liberação para a realização dos trabalhos.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE, sempre atenciosos e dispostos a ajudar, especialmente, à Sra. Maria do Socorro de Santana e Severino dos Ramos Bastos (“Seu Noca”). Aos componentes da banca por terem aceitado participar da etapa final deste trabalho.

Aos alunos do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo que contribuíram com sua ajuda para desenvolver o trabalho no campo.

Aos demais colegas do mestrado em Ciência do Solo, pelas horas de convivência e amizade adquirida.

De forma mais do que especial, a minha querida esposa, Helena, pela compreensão, apoio e estímulo ao longo de todo este processo.

Obrigado a todos!

“O solo não é uma herança que recebemos de nossos pais, mas sim um patrimônio que tomamos emprestados de nossos filhos”.

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO GERAL

13

2. CAPÍTULO I: Hidrologia e taxas de infiltração de água em um LUVISSOLO sob caatinga e diferentes culturas agrícolas... ..

15

3. RESUMO.....	16
4. SUMMARY.....	17
5. INTRODUÇÃO	18
6. OBJETIVOS	21
6.1 Geral	21
6.2 Específicos	21
7. MATERIAL E MÉTODOS	22
7.1 Área de estudo	22
7.2 Caracterização da área experimental e física do solo estudado	22
7.3 Condução do experimento em campo	23
7.4 Determinação dos parâmetros hidráulicos	24
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
8.1 Evolução das taxas de infiltração da água no solo em diferentes condições de cobertura vegetal no semi-árido	27
8.2 Características hidráulicas do escoamento superficial no ambiente semi-árido do alto sertão do rio pajeú	31
9. CONCLUSÕES	33
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. CAPÍTULO II: EROÇÃO EM ENTRESSULCOS SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS.....	40
2. RESUMO.....	41
3. SUMMARY.....	42
4. INTRODUÇÃO	43
5. OBJETIVOS	46

5.1 Geral	46
5.2 Específicos	46
6. MATERIAL E MÉTODOS	46
6.1 Área de estudo	46
6.2 Caracterização da área experimental e física do solo estudado	47
6.3 Condução do experimento em campo sob chuva simulada	47
6.4 Determinação dos parâmetros de erosão em entressulcos	48
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
8. CONCLUSÕES	54
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura	CAPÍTULO I	Página
Figura 01	Esquema de classificação dos regimes de escoamentos gerados durante as simulações de lâminas de escoamento superficial.	26

Figura 02	Evolução das taxas de infiltração da água no solo sob as diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. Média de 5 repetições.	29
Figura 03	Evolução das taxas de infiltração da água no solo sob as diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. Média de 5 repetições.	30
Figura 04	Taxas de infiltração obtidas no Luvissole sob a cultura do guandu na região semi-árida do sertão do alto Pajeú.	31
Figura 05	Relação entre os valores de rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy-Weisbach f) e números de Reynolds dos escoamentos gerados por chuva simulada, obtidos na presença das diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto.	32
CAPÍTULO II		
Figura 01	Redução das perdas de solo (PS) na erosão em entressulcos, em função do coeficiente de rugosidade hidráulica de Darcy-Weisbach (f), originadas pelas diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. Média de 5 repetições e total de eventos (n) = 20.	53
Figura 02	Relação exponencial das perdas de solo obtidas em função das diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela	CAPÍTULO I	Página
Tabela 01	Características físicas determinadas nas diferentes condições de superfície do solo proporcionadas pela caatinga, guandu e batata-doce e solo descoberto, na região semi-árida do sertão do alto	23

	Pajeú-PE. Média de 5 repetições.	
Tabela 02	Parâmetros de infiltração e características hidráulicas do escoamento gerado por chuva simulada de 147 mmh^{-1} , sobre diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. I_{in} = taxa de infiltração inicial; I_f = taxa de infiltração final; I_{ni} = início do escoamento; q = descarga líquida por unidade de largura; h = altura da lâmina de escoamento superficial; V = velocidade média do escoamento superficial; Re = número de Reynolds; Fr = número de Froude; e f = coeficiente de rugosidade de Darcy-Weisbach. Média de 5 repetições.	27
	CAPÍTULO II	
Tabela 01	Variáveis da erosão em entressulcos e de resistência de um ambiente Semi-Árido ao processo erosivo. Concentração de sedimentos (C_s), taxa de desagregação do solo (D_e), perdas de solo (PS), descarga líquida (Q), rugosidade hidráulica (f), coeficiente de escoamento superficial (C) e cobertura do solo (CS). Média de 5 repetições.	50

INTRODUÇÃO GERAL

Devido à crescente pressão antrópica sobre o nosso planeta, torna-se cada vez mais urgente à realização de estudos que apontem soluções para os inúmeros problemas que atingem o meio ambiente, nas mais diversas escalas de intensidade.

A forma rápida e agressiva como o homem tem interferido na dinâmica natural da Terra e, somando-se a este aspecto, as concepções mais recentes do termo meio ambiente, que incluem, além dos elementos naturais, os elementos sócio-econômicos, construídos ou organizados pelo homem, já é, motivo importante para esses estudos, fundamental para a conservação e manejo dos recursos naturais, como a água e o solo.

A zona semi-árida do nordeste brasileiro caracteriza-se por ter uma das maiores densidades demográfica entre as regiões do planeta que apresentam características ambientais semelhantes. Tendo a área calculada em aproximadamente 882.000km², o semi-árido nordestino abriga cerca de 18 milhões de habitantes e tem uma densidade demográfica em torno de 20 hab.km⁻². Nas situações como as do semi-árido nordestino, em que predomina solos rasos e de baixo teor de matéria orgânica, clima quente e seco, onde 70% do subsolo são de formação cristalina (com escassos lençóis freáticos), e onde a pluviometria mostra-se irregular tanto em termos temporais (ocorrência de secas periódicas) quanto na distribuição espacial (incidência de chuvas com diferentes intensidades em áreas próximas). (Duarte, 2000). Essa formação cristalina é chamada, na linguagem geológica, de escudo cristalino. Sua estrutura é caracterizada por solos na maioria das vezes rasos, pois a rocha que lhes dá origem está localizada próxima à superfície, apresentando entre outros aspectos, problemas de armazenamento de água. Os outros 30%, são terrenos sedimentares com alta capacidade de acumulação de águas subterrâneas. Os solos são de origem variável. Quanto ao seu potencial químico, são tidos, em geral, como férteis. À superfície ocorrem, com frequência, fragmentos de rochas, de tamanhos variáveis, testemunho do intenso trabalho de desagregação mecânica (LEPRUN, 1986). Caracterizado pela rigidez climática, com temperaturas médias anuais em torno de 26^oC e médias pluviométricas inferiores aos 800mm anuais, concentrados no verão e outono e evapotranspiração potencial em torno de 2700mm/ano, caracterizando um déficit hídrico elevado que contribuem para a aridez da paisagem nos meses de seca. O semi-árido é visto, hoje, como ambiente extremamente favorável a diversas atividades econômicas, com destaque para a fruticultura irrigada, piscicultura, caprinocultura, apicultura e ecoturismo.

Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semi-árido da região Nordeste do Brasil, tendo uma rica biodiversidade que pode contribuir

para o equilíbrio econômico da população local com seu potencial forrageiro, frutífero, medicinal, madeireiro e faunístico. A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, ocupa 11% do território nacional e abriga uma fauna e flora únicas, com muitas espécies não encontradas em nenhum outro lugar do planeta. A implementação das áreas de cultivo no semi-árido do Nordeste do Brasil tem sido feita às custas do desmatamento indiscriminado da caatinga com conseqüente degradação do solo, que aliado à retirada de madeira para benfeitorias, lenha e carvão e às queimadas sucessivas tem contribuído, juntamente com as secas prolongadas, para comprometer o equilíbrio ecológico dessa região. Essa situação deve ser contornada através de estudos que possibilite a exploração deste ambiente de forma mais equilibrada (Ramos & Marinho, 1981; Mendes, 1986).

A área a montante do açude Saco no município de Serra Talhada – PE, constitui um sistema sócio-ecológico que representa bem os municípios da região semi-árida de Pernambuco pelas suas características fisiográficas e florística.

Sendo a erosão um dos principais fenômenos de degradação do solo, com sérios reflexos no contexto ambiental, torna-se relevante o conhecimento do comportamento hidráulico do escoamento superficial, das taxas de infiltração de água e a quantificação das taxas de erosão em entressulcos no ambiente semi-árido, sob a cobertura vegetal promovida pela caatinga, bem como o impacto provocado pela passagem do ambiente nativo para a exploração agrícola de um solo da região semi-árida.

Portanto, este trabalho de pesquisa tem como objetivo apontar indicadores ambientais referentes ao comportamento hidrológico de um solo do semi-árido do Alto Sertão do Rio Pajeú sob caatinga e diferentes culturas de sequeiro, tais como taxa de cobertura vegetal, infiltração de água no solo, resistência hidráulica e outras características de escoamento superficial, taxas e tipo de erosão.

CAPÍTULO I

HIDROLOGIA E TAXAS DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM UM LUVISSOLO SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS

HIDROLOGIA E TAXAS DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM UM LUVISSOLO SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS

Autor: Francisco José de Freitas

Orientador: José Ramon Barros Cantalice

RESUMO

As taxas de infiltração no ambiente semi-árido podem ser reduzidas pela produção de escoamento superficial, determinando menor disponibilidade de águas às plantas, altas taxas de erosão, e declínio no vigor das plantas. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar as taxas de infiltração de água, e o comportamento hidráulico do escoamento superficial num LUVISOLO semi-árido do Alto Sertão do Rio Pajeú - PE sob caatinga e diferentes culturas de sequeiro. Para tal, foi implementada uma serie de 20 testes de infiltração realizados através de um infiltrômetro aspensor em Serra Talhada – PE, sob os seguintes tratamentos: (1) solo descoberto; (2) solo coberto pela cultura do feijão guandu (*Cajanus cajan*); (3) solo coberto pela cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam.); (4) solo coberto por caatinga semi-árbustiva. A Caatinga semi-árbustiva apresentou o melhor desempenho em relação as taxa de infiltração de água no solo e inicio de escoamento mais demorado, em função da maior resistência físico-hidráulica imposta ao escoamento proporcionada pela suas formas de cobertura vegetal, dossel e resíduos em contato direto com o solo. A cultura do Guandu também apresentou bom desempenho frente aos indicadores ambientais de infiltração inicial e estabilizada, início de escoamento e descarga líquida. Todos os regimes de escoamento superficial obtidos foram laminar lento.

HYDROLOGY AND INFILTRATION RATES OF A LUVISOLO UNDER CAATINGA AND SYSTEM CROPS

Author: Francisco José de Freitas

Advisor: José Ramon Barros Cantalice

SUMMARY

The infiltration rates in a semi-arid environment can be slow, and the sheet flow are high, which will mean smaller water content for the plants, high erosion rates, and

decline in the vigor of the plants. Like this, this work had as objective to evaluate the infiltration rates of water, and the hydraulic of the sheet flow in a semi-arid LUVISOLO at the Pajeú's river region, under caatinga and cropping. For such, a series of 20 infiltration tests were implemented accomplished through a sprinkler infiltrometer in Serra Talhada – PE (Brazil), under the following treatments: (1) bare soil; (2) soil covered by the a guandu crop (*Cajanus cajan*); (3) soil covered by a sweet potato crop (*Ipomoea potatoes Lam.*); (4) soil covered by caatinga. The caatinga presented the best result in relationship to infiltration rates; runoff beginning, and surface water discharge, as a function of the larger physical-hydraulic resistance imposed to the sheet flow provided by it's form of vegetation covering, dossal and residues in direct contact with the soil. The Guandu also presented good response to the environmental indicators of initial infiltration and stabilized, runoff beginning and surface water discharge. All the states of flow obtained were laminar and tranquil.

5. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais de água e solo nos trópicos estão sob pressão e inclinados a degradação por conta do ambiente severo, solos frágeis em regiões ecologicamente sensíveis; muitas vezes sob alta pressão demográfica, sob uma agricultura de poucos recursos, e ausência ou falta de suporte institucional. Conseqüentemente, existe um crescente interesse no que se refere à conservação dos recursos de solo e água em função das necessidades atuais e da melhora da produtividade e resiliência desses recursos para demandas futuras. As relativas importâncias das necessidades presentes versus as futuras demandas devem ser cuidadosamente avaliadas, porque a demanda por esses limitados recursos naturais é crescente (Lal, 1994).

Nesse contexto, o semi-árido nordestino é uma região ecologicamente sensível, com algumas áreas inclinada a desertificação. O Nordeste do Brasil tem a maior parte de seu território ocupado por uma vegetação xerófila, de fisionomia e florística variada,

denominada “caatinga”. Fitogeograficamente, a caatinga ocupa cerca de 11% do território nacional, abrangendo os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Minas Gerais. Na cobertura vegetal das áreas da região Nordeste, a caatinga representa cerca de 800.000 km², o que corresponde a 70% da região. Ao se analisar os recursos hídricos, os rios em sua maioria, são intermitentes e os volume de água, em geral, é limitado, sendo insuficiente para a irrigação de todas as áreas. A altitude da região varia de 5 a 600 m e a temperatura entre 24° a 28°C, com precipitação média anual de 250 a 1000mm e déficit hídrico elevado. A vegetação de caatinga é constituída, especialmente, de espécies lenhosas e herbáceas, de pequeno porte, geralmente dotadas de espinhos, sendo, geralmente, caducifólias, perdendo suas folhas no início da estação seca, e de cactáceas e bromeliáceas. Fitossociologicamente, a densidade, frequência e dominância das espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (Drumond et al., 2000).

A infiltração é o processo de passagem da água da superfície para o interior do solo e o seu movimento no perfil, sendo as taxas de infiltração influenciada por muitos fatores, como a cobertura vegetal, condições de umidade da superfície do solo, porosidade e condutividade hidráulica, sendo um processo físico muito complexo e de grande variabilidade espacial, só podendo ser descrito com aproximações matemáticas (Chow, et al., 1988).

A diferença entre a quantidade de água precipitada e infiltrada no solo durante uma chuva determina o coeficiente e volume da enxurrada e, assim, pode influenciar as taxas de erosão. A infiltração é um processo dinâmico que não depende apenas das condições iniciais do solo como a porosidade, grau de cobertura, umidade antecedente e umidade dos horizontes. Depende também de processos dinâmicos que ocorrem durante a chuva como a formação ou reformação de selamento superficial pelo impacto direto das gotas da chuva na superfície do solo (Baumhardt et al., 1990; Levien et al., 2000), e a redução do gradiente de potencial da água no perfil do solo causado pelo avanço da frente de molhamento (Chow et al, 1988).

A presença de vegetação constitui a defesa natural do solo contra a erosão (Salomão & Iwasa, 1995), além de contribuir com a retenção da água no solo pela ação das raízes, bem como em participar na estruturação do solo pela incorporação de matéria orgânica (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Áreas com cobertura vegetal são importantes para o desenvolvimento sustentável quando, dentre outros aspectos, conservam o solo e a água em áreas altamente erodíveis, caso a vegetação original fosse removida (Lucas, 1995). Pires & Santos (1995) salientam que a retirada da cobertura vegetal gera, por um lado a diminuição da infiltração de água e do estoque de água subterrânea; e por outro lado, o aumento do escoamento superficial, a erosão dos solos e o assoreamento dos corpos d'água, além da alteração nos padrões de vazão e volume dos cursos d'água. A redução da vegetação também gera o empobrecimento e diminuição da produtividade do solo (Ricklefs, 1993).

Dessa forma, a cobertura do solo promovida pela caatinga apresenta relevância decisiva para resiliência do ambiente semi-árido. Os resíduos vegetais na superfície do solo interceptam as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e a formação de selo superficial. Além disso, há redução na velocidade da enxurrada e, conseqüentemente, redução na sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo (Mannering & Meyer, 1963). Cantalice & Cassol (2004) observaram que o resíduo de soja sobre a superfície do solo promoveu a diminuição da velocidade média do escoamento e, assim, aumentou as forças viscosas ao escoamento superficial, que se traduziram no aumento da rugosidade hidráulica ao escoamento na erosão em entressulcos.

No Brasil, especialmente no nordeste a cultura do guandu foi introduzida, principalmente, devido à flexibilidade de adaptação à seca e de crescer em solos pouco evoluídos, apresentando bons resultados como fornecedora de massa verde nos pastos em períodos de chuvas escassas, além de ser planta muito versátil, adaptada às condições climáticas do país, sendo utilizada também na rotação de culturas (Alves e Medeiros, 1997). Por possuir estas características a cultura do guandu (*Cajanus cajan*) ocupa mundialmente o sexto lugar em importância alimentar dentre as leguminosas, sendo usada extensivamente na Ásia para a alimentação animal e humana. Para o produtor rural, o guandu proporciona baixos custos de produção que refletem diretamente no lucro da atividade pecuária e melhoria na fertilidade do solo, decorrentes da habilidade que esta forrageira apresenta para fixação simbiótica de nitrogênio no solo (Rao et al., 2002).

Considerando que, dificilmente apenas uma cultura tenha capacidade para prover forragem durante o ano todo, a característica apresentada pelo guandu, de crescer em períodos adversos que limitam o crescimento de outras forrageiras, constitui-se em

uma importante alternativa para a provisão de alimento de alta qualidade e redução de custos com colheita e armazenamento de forragem no período da entressafra (Rao et al., 2002). Santos et al., (1994) consideram o guandu como uma cultura potencial para o Nordeste, que dessa forma, vem sendo cultivado nos Estados da Bahia e Pernambuco por pequenos produtores, tanto para consumo humano como para consumo animal.

A batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam.) é tida como cultura de vazante no Nordeste Brasileiro por ser tradicionalmente cultivada por pequenos produtores em pequenas áreas de vazantes, utilizando-se quase sempre da mão-de-obra familiar e, desempenha maior importância para populações de baixa renda (Silva, 1991). É uma cultura rústica, de fácil manutenção, com alguma resistência à seca e ampla adaptação, apresentando custo de produção relativamente baixo, com investimento mínimo, e de retorno elevado (Miranda et al., 1995), além de ser uma das hortaliças com maior capacidade de produzir energia por unidade de área e tempo ($\text{kcal. ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$).

Segundo a RESOLUÇÃO CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE) Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, no seu artigo 1º, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais. Dessa forma, os escoamentos superficiais e as taxas de infiltração de água no solo ocorrentes na erosão em entressulcos, se constituem em indicadores ambientais do semi-árido nordestino.

6. OBJETIVOS

6.1 GERAL

Avaliar a proteção ambiental promovida pela cobertura vegetal da caatinga, guandu e batata-doce em relação ao solo descoberto, através das taxas de infiltração de água em um luvisolo do alto sertão do Pajeú-PE, e das condições hidráulicas do escoamento superficial, que se constituem em impactos ambientais do semi-árido.

6.2 ESPECÍFICOS:

- Determinar as taxas de infiltração do LUVISSOLO estudado sob as quatro condições de uso;
- Identificar as características hidráulicas e os regimes de escoamento sobre as condições proporcionadas pela caatinga semi-árbustiva e pelas culturas do feijão guandu e da batata doce, e ainda, sobre o solo descoberto no ambiente semi-árido.
- Estudar a resistência hidráulica promovida pela caatinga e pelas culturas do feijão guandu e da batata doce no ambiente semi-árido.

7. MATERIAL E MÉTODOS

7.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Campus do Centro de Treinamento e Pesquisa em Pequena Irrigação – CTPPI da UFRPE no Município de Serra Talhada-PE, em uma área de cultivo de vazante a montante do açude Saco, inserida na região semi-árida do Alto Sertão do Rio Pajeú, a uma altitude de 429m acima do nível do mar, com as coordenadas geográficas de 7° 56' 15" de latitude Sul e 38° 18' 45" de longitude Oeste, distando 420km de Recife. De acordo com a classificação de Koppen, o clima enquadra-se no tipo Bwh, denominado semi-árido, quente e seco, com chuvas de verão-outono com pluviosidade média anual para o período de 1912 a 1991 de 647mm ano⁻¹ (SUDENE, 1990), e médias térmicas anuais superiores a 25°C.

7.2 Caracterização da área experimental e física do solo estudado

A área experimental situou-se no terço médio de uma encosta de relevo ondulado cultivada anualmente com culturas de vazante com 5,508° de inclinação,

sendo encaixada entre elevações com ocorrência de NEOSSOLOS LITÓLICOS e o volume de armazenamento de água do açude do Saco. O solo local foi levantado pela SUDENE (1972), é classificado como LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico com horizonte A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila, de acordo com Embrapa (1999). De cada tratamento foram coletadas 5 (cinco) amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm e acondicionadas em sacos plásticos, e posteriormente, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm, para determinação da distribuição granulométrica pelo método do densímetro em (g Kg^{-1}) e da densidade de partícula D_p (g cm^{-3}) 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 D_s (g cm^{-3}) 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 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Todos os valores das análises físicas acima descritas encontram-se na tabela 01.

Tabela 01. Características físicas determinadas nas diferentes condições de superfície do solo proporcionadas pela caatinga, guandu e batata doce e solo descoberto, na região semi-árida do sertão do alto Pajeú-PE. Média de 5 repetições.

Condição de superfície	Pt ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	D_s ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	D_p ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	Distribuição granulométrica ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			Umidade inicial ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)
				Areia	Silte	Argila	
Guandu	0,385	1,584	2,575	801	120	79	0,043
Caatinga	0,429	1,459	2,556	825	86	89	0,074
Batata	0,444	1,427	2,564	750	164	86	0,077
Descoberto	0,374	1,647	2,632	812	97	91	0,997

7.3 Condução do experimento em campo

As culturas de guandu e batata-doce foram cultivadas no sistema de cultivo de sequeiro, sendo realizado o plantio na primeira semana de janeiro de 2005, e o experimento conduzido no mês de abril de 2005 (final da época de chuvas na região). O experimento consistiu em uma serie de 20 testes de infiltração, com duração de 80

minutos por teste, realizados através de um infiltrômetro aspersor, desenvolvido no laboratório de Conservação do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, o qual é equipado com um bico aspersor tipo Veejet 80 – 150 com diâmetro interno de 12,7mm, fabricado pela Spraying System Company. Os bicos aspersores Veejet 80-100 e 80-150 da Spraying System são utilizados nos simuladores entressulcos (Meyer & Harmon, 1979), e reproduzem uma distribuição de tamanho de gotas e níveis de energia cinética próximos aos das chuvas naturais. O bico fica a 3,1m acima da superfície do solo, após o simulador ser instalado, operando a uma pressão de serviço constante de 41 kpa na saída da água no bico, verificada com o auxílio de um manômetro, e produzindo gotas com o diâmetro (D_{50}) de 1,6 mm, em intensidades que podem variar de 10 a 127 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, sendo recomendado para pequenas parcelas de 1 a 3 m^2 (Peterson & Bubenzer, 1986). O infiltrômetro aspersor foi abastecido através de uma bomba submersa colocada em um reservatório de água de 1000L. A intensidade média das chuvas de 147 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ foi aferida através de um conjunto de 10 pluviômetros colocados ao acaso dentro e ao lado da área útil das parcelas experimentais.

As parcelas experimentais consistiram em uma área de 2 m^2 (1 m de largura e 2 m de comprimento), ficando a maior dimensão no sentido do declive, e foram delimitadas por chapas metálicas galvanizadas de 30 cm de altura, cravadas no solo a 20cm de profundidade. As mesmas continham na parte inferior, uma calha coletora para a amostragem do escoamento superficial.

Foram utilizados quatro tratamentos com cinco repetições, totalizando vinte parcelas experimentais. Os tratamentos aplicados consistiram das seguintes condições de solo proporcionadas na presença e na ausência das seguintes coberturas vegetais: (1) solo descoberto, solo sem vegetação e sem preparo, a limpeza da vegetação que estava nascendo na área foi efetuada manualmente, evitando-se o revolvimento do solo; (2) cultura do guandu (*Cajanus cajan*) cultivado no espaçamento de 1,50m entre linhas e 0,50m entre plantas, 100 dias após o plantio foram aplicados os testes com chuva simulada, período em que as plantas estavam no estágio fenológico de floração e formação de vagens e apresentava boa cobertura vegetal; (3) cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam) cultivada em leiras no espaçamento de 0,50m entre linhas e 0,25 m entre ramas plantadas na mesma leira, também aos 100 dias após o plantio foram realizadas as chuvas simuladas, época em que as plantas estavam alcançando valores máximos de área foliar; (4) caatinga semi-árbustiva com predominância de plantas de

pequeno porte com até 2m de altura. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os resultados submetidos à análise de variância (teste F a 5%) regressão, e teste de Duncan para comparação das médias, por meio do programa estatístico SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998).

7.4 Determinação dos parâmetros hidráulicos

As taxas de infiltração de água no solo das 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 dos infiltrômetros aspersores.

A descarga líquida (q) por unidade de largura foi determinada a partir das coletas de enxurradas em potes plásticos na extremidade da calha coletora, com duração de 10 segundos a cada 5 minutos, sendo expressa em ($m^2 s^{-1}$). A velocidade superficial (V_s) 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 expresso em $m s^{-1}$. Essas determinações foram realizadas em intervalos de 5 (cinco) minutos, a partir da formação e deslocamento da lâmina de escoamento. As velocidades médias do escoamento (V) foram determinadas pelo produto das velocidades superficiais do escoamento por um fator de correção ($\alpha = 2/3$), conforme (Cantalice, 2002; Farenhorst & Bryan, 1995 e Katz, 1995).

A altura da lâmina do escoamento (h) foi obtida pela equação (2), derivada por Woolhiser & Liggett (1967) e Singh (1983) para fluxo em um plano sob chuva de duração finita:

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

onde q = descarga líquida por unidade de largura em ($m^2 s^{-1}$), V = velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$) e h = altura da lâmina de escoamento (m). O número de Reynolds (Re) foi obtido pela equação (3) segundo (Simons & Senturk, 1992):

$$R_e = \frac{Vh}{\nu} \quad (3)$$

onde Re = número de Reynolds, adimensional; ν = viscosidade cinemática da água ($m^2 s^{-1}$). 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.

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

onde ν = viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) e T = temperatura da água em °C. O número de Froude (Fr) foi obtido pela expressão (5) de acordo com (Simons & Senturk, 1992):

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (5)$$

onde Fr = número de Froude, adimensional; e g = aceleração da gravidade (m s^{-2}). A partir dos números de Reynolds e Froude, obteve-se os regimes de escoamento gerados a partir das chuvas simuladas de acordo com o esquema da Figura 01 (Simons & Senturk, 1992):

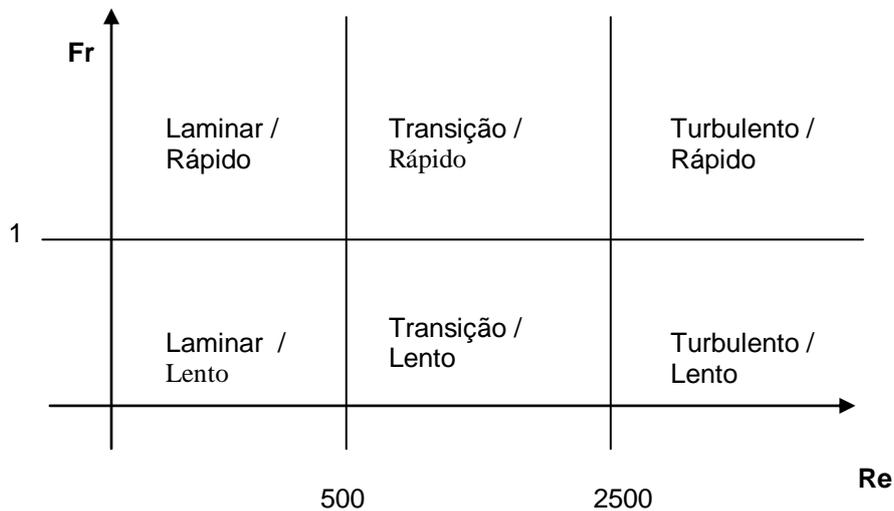


Figura 01. Esquema de classificação dos regimes de escoamentos gerados durante as simulações de lâminas de escoamento superficial.

A resistência ao escoamento em regime laminar pode ser descrita pela equação de Darcy-Weisbach que define a perda de carga do escoamento (Gerits et al., 1990), a qual é dada pela equação (6):

$$f = \frac{8ghS}{V^2} \quad (6)$$

onde f = fator de fricção ou de perda de carga (adimensional); S = inclinação do declive ($m\ m^{-1}$); g = aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$); h = altura da lâmina do escoamento (m); e V = velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Evolução das taxas de infiltração da água no solo em diferentes condições de cobertura vegetal no semi-árido

Na tabela 02 encontram-se todos os parâmetros hidrológicos obtidos nas diferentes condições de cobertura vegetal do Luvissole da região semi-árida do alto sertão do Pajeú, desde as taxas de infiltração até as condições hidráulicas do escoamento superficial. As taxas de infiltração inicial (I_{in}) para todas as coberturas vegetais foram maiores do que a condição de solo descoberto, no entanto, não diferindo entre si. Já em relação às taxas de infiltração final, com a lâmina de infiltração estabilizada (I_f), também foram maiores para

Tabela 02. Parâmetros de infiltração e características hidráulicas do escoamento gerado por chuva simulada de $147\ mmh^{-1}$, sobre diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. I_{in} = taxa de infiltração inicial; I_f = taxa de infiltração final; I_{ni} . Esc = início do escoamento; q = descarga líquida por unidade de largura; h = altura da lâmina de escoamento superficial; V = velocidade média do escoamento superficial; Re = número de Reynolds; Fr = número de Froude; e f = coeficiente de rugosidade de Darcy-Weisbach. Média de 5 repetições.

	Caatinga semi-arbustiva	Guandu	Batata doce	Solo descoberto
I_{in}				
(mm h ⁻¹)	121,23a	121,4a	129,91a	72,98b
I_f				
(mm h ⁻¹)	71,29a	33,94b	19,99b	0,00001c
Ini. esc.				
(minutos)	9,91a	4,20b	14,58a	5,94b
q				
(m ² s ⁻¹)	2,568 x 10 ⁻⁵ c	6,547 x 10 ⁻⁵ b	6,892 x 10 ⁻⁵ b	9,373568 x 10 ⁻⁵ a
h				
(mm)	1,598a	1,752a	1,046b	1,026b
V				
(m s ⁻¹)	0,023c	0,037c	0,068b	0,091a
Re				
ad.	41,312c	54,578c	75,512b	106,232a
Fr				
ad.	0,195c	0,303c	0,6964b	0,918a
log f				
ad.	1,311a	0,9779b	0,1428c	0,0193c

todas as coberturas vegetais, no entanto, a maior taxa de infiltração obtida de 71,29 mm.h⁻¹ conferindo a caatinga semi-árbustiva uma cobertura de melhor qualidade com uma fração de 0,89 de solo coberto (tabela 1, cap. 2), e uma melhor condição de estrutura do solo, mesmo porque o solo na condição de caatinga não foi revolvido. Resultados semelhantes foram encontrados por Barcelos et al. (1999). A caatinga também foi a cobertura vegetal que mais retardou o início do escoamento, comportamento semelhante ao da batata doce, mas esse último foi ocasionado pela confecção das leiras no plantio da batata, que tiveram o efeito de reter o escoamento inicial. A caatinga também apresentou as menores taxas de descarga líquida (q), seguida do guandu e da batata doce, que de novo se igualou ao guandu, possivelmente pela retenção do escoamento superficial pelas leiras. O melhor desempenho da caatinga para taxa de infiltração inicial e final, início de escoamento e descarga líquida, justifica-se pela maior resistência físico-hidráulica ao escoamento criada pela mesma, traduzidas no maior valor do coeficiente de rugosidade hidráulica *f* de Darcy-Weisbach.

Ainda em relação ao comportamento da infiltração da água no solo sob as diferentes coberturas vegetais, a figura 02, mostra as taxas de infiltração em todas as condições de vegetação observadas e de solo. Destacam-se as maiores taxas de infiltração da caatinga, seguida Pelas taxas de infiltração proporcionadas pelo guandu e pela batata doce, como já discutido na tabela 01, e principalmente, a menor taxa de infiltração do solo descoberto. Pode ter concorrido para tal a maior densidade do dolo e

a menor porosidade total do solo descoberto (tabela 01), estando em concordância com Bertol et al. (2001) ao afirmarem que a degradação do solo manifesta-se com a alteração das propriedades físicas que ocorreram no solo descoberto. As taxas de infiltração do solo descoberto, também aparecem “negativas” (figura 02), significando que houve contribuição de escoamento subsuperficial, caracterizando o fenômeno da “exfiltração” comum das encostas para as áreas mais baixas, no caso, a área vazante do açude do saco, como descrevem Ponce (1989) e Anderson & Burt (1990). Para Ponce (1989) a hidrologia das encostas é intrinsecamente relacionada a geração de fluxo na rede de drenagem, onde ocorrem solos com afloramentos rochosos pode acontecer escoamento subsuperficial que ressurgem na superfície do solo. Carson & Sutton (1971) colocam que a extensão das áreas de ressurgência (exfiltração) é determinada pelas condições de umidade antecedente, capacidade de armazenamento de água pelo solo e intensidade das chuvas. Leprun et al. (1983) observaram que na bacia do Alto Pajeú onde ocorrem Luvisolos em associação com Neossolos litólicos existem fontes de ressurgência nos morros e “inselbergs”.

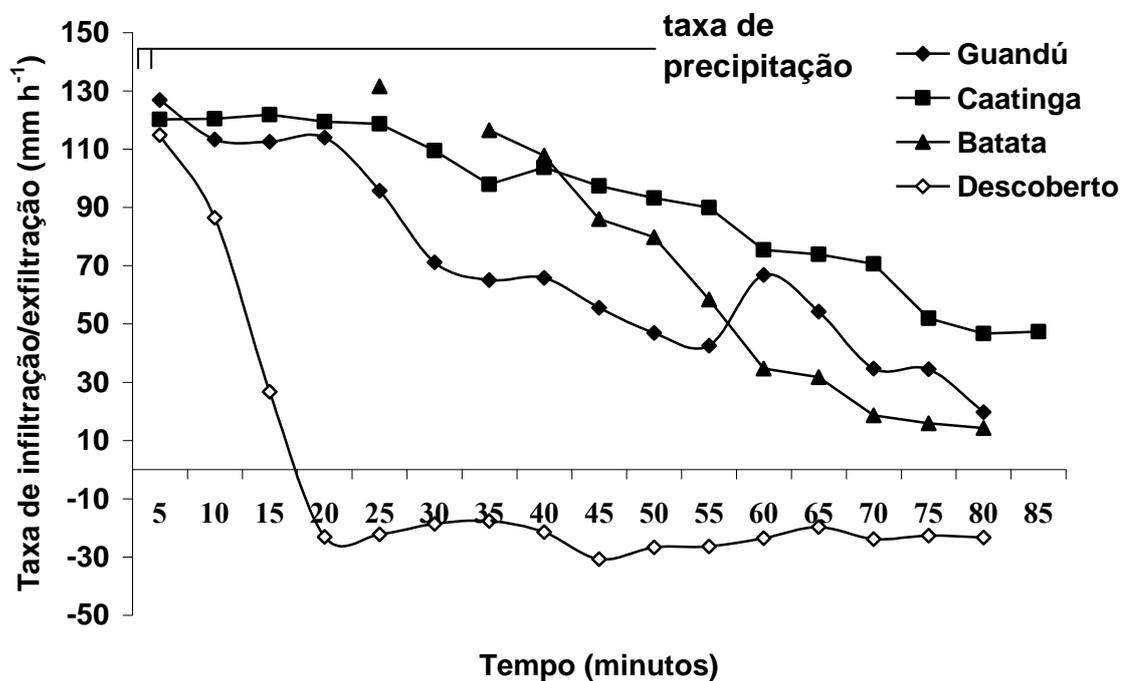


FIGURA 02. Evolução das taxas de infiltração da água no solo sob as diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. Média de 5 repetições.

A contribuição do escoamento subsuperficial, que se mistura ao volume de água adicionado pela chuva simulada, é confirmada na figura 03, mostrando valores de escoamento superficial próximos aos 180 mm.h^{-1} , valor este superior a intensidade da chuva gerada pelo simulador de 147 mm.h^{-1} .

Vivian & Burt (1990) apresentaram a umidade do solo em torno de $0,28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e chuvas com intensidades de 10 mm^{-1} como possíveis condições iniciais de ocorrência de escoamento subsuperficial, e ângulos de declive entre 2 e 9° (Anderson, 1982), sendo o ângulo médio de inclinação da área de $5,508^\circ$ e a umidade da parcela de $0,109 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Muito possivelmente, só ocorreu a exfiltração na área de solo descoberto, pelo fato da mesma ter ficado localizada mais próximo do ponto de descarga da encosta, e a época da realização do experimento ter coincido com o período de chuvas da região.

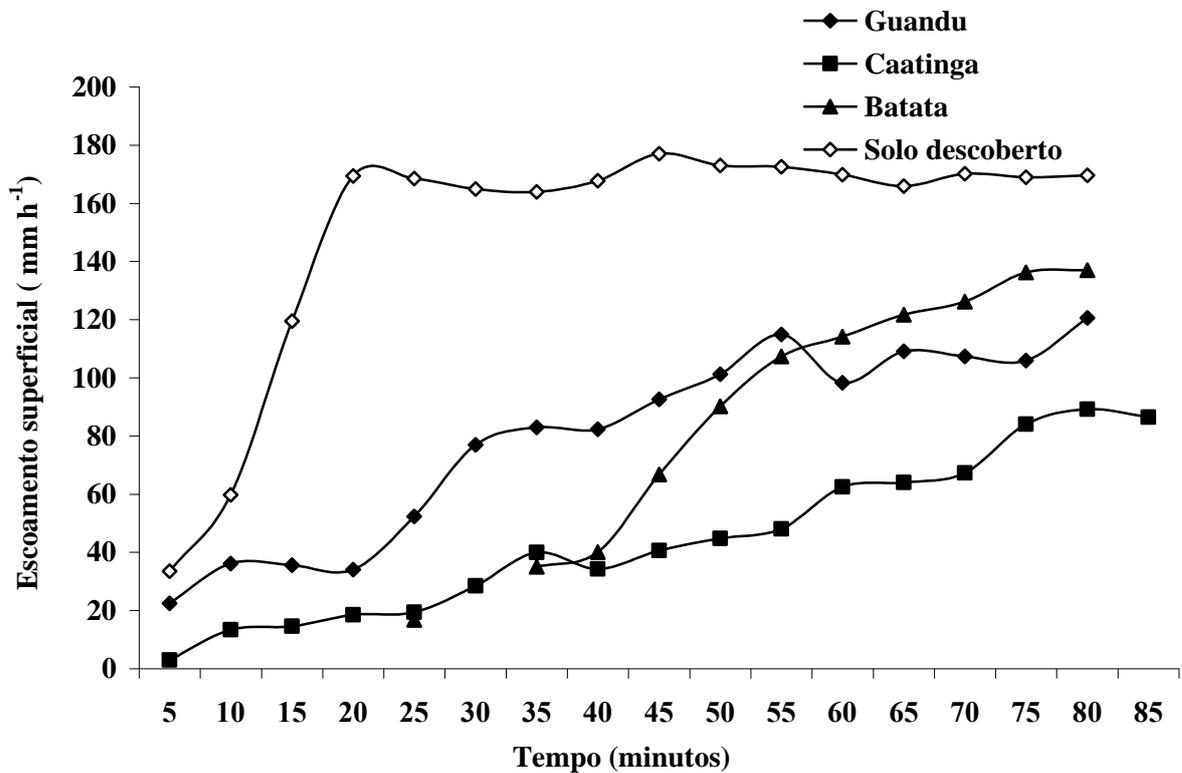


FIGURA 03. Evolução das taxas de infiltração da água no solo sob as diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. Média de 5 repetições.

A figura 04 apresenta as taxas de infiltração ocorridas nas condições proporcionadas pela cultura do guandu em um ajuste exponencial com o tempo de teste, que produziu a seguinte equação:

$$f = 143,94e^{(-0,019237t)} \quad r^2 = 0,90 \quad (7)$$

sendo f = taxa de infiltração, e = base dos logaritmos naturais, e t = tempo de teste. Os dados de infiltração para o guandu também se ajustaram ao modelo de Kostiakov ($f = kt^{-\alpha}$) com $r^2 = 0,757$, coeficiente $k = 286,702$ que reflete a natureza do solo, e $\alpha = -0,413$ que relaciona-se as condições de superfície, (ASCE, 1996). Para o modelo de infiltração de Kostiakov, a área sob batata doce ($r^2 = 0,90$) apresentou um $k = 240,125$ e $\alpha = -0,135$, e sob a caatinga ($r^2 = 0,85$) $k = 309,718$ e $\alpha = -0,339$. Os valores de k , que não se modificaram muito, refletem a textura arenosa do horizonte superficial dessas áreas, enquanto os valores de α decrescente, da caatinga até a batata refletem a crescente mobilização da superfície do solo, o que está de acordo com Taylor & Ashcroft (1972).

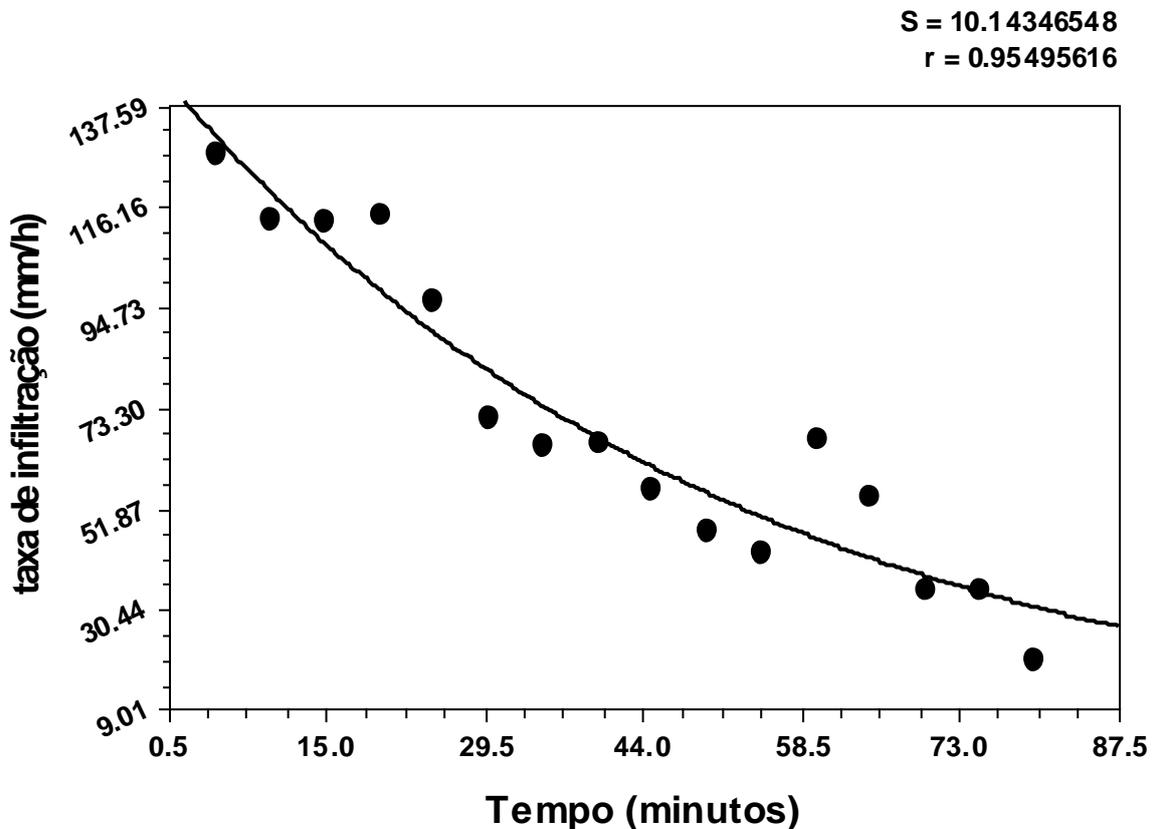


FIGURA 04. Taxas de infiltração obtidas no Luvissole sob a cultura do guandu na região semi-árida do sertão do alto Pajeú.

8.2 Características hidráulicas do escoamento superficial no ambiente semi-árido do alto Sertão do Rio Pajeú

Ainda na tabela 02, consta as condições hidráulicas médias dos escoamentos superficiais obtidos nas diferentes condições de cobertura vegetal no LUVISSOLO do semi-árido do Alto Sertão do Rio Pajeú, com a lâmina estabilizada a partir dos 50 minutos de teste. Os valores de número de Reynolds para todas as condições de superfície, entre 41,3 para a caatinga e 106,2 para o solo descoberto, juntamente com os valores do número de Froude entre 0,19 e 0,91, conferem a todos os escoamentos gerados um regime de escoamento laminar lento (Simons & Senturk, 1992) característico da erosão em entressulcos, estando em concordância com os escoamentos obtidos com chuva simulada por Farenhorst & Bryan (1995); Guy et al. (1990); cantalice (2002); Bezerra et al. (2002); Cassol et al. (2004).

As maiores alturas de lâmina de escoamento superficial (h) foram observadas (tabela 01) para os escoamentos sobre as coberturas vegetais da caatinga e do guandu, podem ser atribuídas as sobre-elevações das lâminas causadas pelas maiores quantidades de resíduos na superfície do solo, como atestam os maiores valores de cobertura do solo CS (tabela 1, capítulo II) e os de rugosidade (f).

Erro! Vínculo não válido.

FIGURA 05. Relação entre os valores de rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy-Weisbach f) e números de Reynolds dos escoamentos gerados por chuva simulada, obtidos na presença das diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto.

Da mesma forma, os maiores valores de rugosidade hidráulica ao escoamento produzidos pelo guandu e caatinga, determinaram reduções nas respectivas velocidades médias de escoamento, como também observado por Cassol et al. (2004); Pruski et al. (1997), na presença de resíduos vegetais. A relação dos valores de rugosidade (f) com os valores dos números de Reynolds obtidos em todos os escoamentos gerados pela chuva simulada no experimento, encontra-se representada na figura 05, percebendo-se

aumento das forças viscosas (valores do coeficiente de rugosidade f) originadas pelas maiores quantidades de resíduos vegetais, determinantes na redução nos valores de Reynolds.

A magnitude dos valores de rugosidade para os valores de Reynolds obtidos nessas condições de escoamento no semi-árido pernambucano está em concordância com os valores de Radojkovic & Maksimovic (1987) para as condições de chuva simulada, e semelhantes à mesma relação obtida por Wainwright (1996) em duas áreas cultivadas a cultura da videira.

9. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste capítulo permitem concluir:

1. A Caatinga semi-árbustiva apresentou melhor evolução das taxa de infiltração inicial e estabilizada, início de escoamento e descarga líquida, em função da maior resistência físico-hidráulica ao escoamento proporcionada pela suas formas de cobertura vegetal (o dossel que intercepta a chuva e os resíduos em contato direto com o solo), que foi captada pelo maior valor do coeficiente de rugosidade hidráulica f de Darcy-Weisbach.

2. A cultura do Guandu também apresentou bom desempenho frente aos indicadores ambientais de infiltração inicial, estabilizada e descarga líquida.

3. Todos os regimes de escoamento superficial obtidos foram laminar lento, sendo que as coberturas de catinga e guandu determinaram as maiores reduções de velocidade média dos respectivos escoamentos superficiais.

4. O efeito benéfico da cobertura vegetal foi comprovado em relação a retenção dos volumes de escoamento superficial, proporcionada pelo aumento das forças viscosas que se contrapõem ao livre escoamento superficial.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. J.; MEDEIROS, G.B. Leguminosas em renovação de pastagens. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. (Eds.). **Simpósio sobre ecossistemas de pastagens**, 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 251 – 272.

BARCELOS, A A.; CASSOL, E. A & DENARDIN, J. E. Infiltração de água em Latossolo Vermelho – Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 35 – 43, 1999.

R. Bras. Ci. Solo, 23:35-43, 1999

BAUMHARDT, R. L.; ROMKENS, M. J. M ; WHISLER, F. D.; PARLANGE, J. Y. Modeling infiltration into sealing soil. **Water Resources Research**, v. 26, n. 10, p. 2497-2505, 1990.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um CAMBISSOLO HÚMICO afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Sci. Agric.*, 58:555-560, 2001.

BEZERRA, S. A. **Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da Cana de Açúcar**. 2003. 51 p. Dissertação (Pós-graduação em ciência do solo). UFRPE, Recife, 1992.

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. **Anais...** São Paulo, p. 403-411, 2002.

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

CANTALICE, J.R.B. & CASSOL, E.A. Hidráulica do escoamento e desagregação do solo na erosão em entressulcos na presença de resíduos vegetais, In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Ed. Universitária da UFMT, 2002.

CARSON, M. A.; SUTTON, E. A. "The Hydrologic Response of the Eaton River Basin, Quebec," **Canadian Journal of Earth Science**, Vol. 8, pp. 102-115, 1971.

CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M. & MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação o solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso co resíduos vegetais. **Pesq. agropec. bras. Brasília**, v.39, n.7, p.685-690. jul. 2004.

CHOW, V. T. ; MAIDMENT, D. V. ; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York, McGraw-Hill, 1988. 572 p.

DRUMOND, M. A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de.; OLIVEIRA, V. R. DE; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. de S. & CAVALCANTI, J. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios para a biodiversidade do bioma caatinga: Estratégias para uso sustentável da biodiversidade da caatinga**. Seminário: EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. Petrolina, 2000. 22 p.

DUARTE, R.; S. Dois modelos para convivência do produtor rural om o ambiente semi-árido nordestino. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 33, n. 1, p. 24-34, 2002.

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

GERITS, J. J. P.; LIMA, J. L. P. D; BROEK, T. M. W. V. D. Overland flow and erosion. In: ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. **Process studies in hill slope hydrology**. Chichester : Jonh Wiley & Sons, 1990. p. 173-214.

GOVERS, G. **Soil erosion process** research a state of the art. Brussel: Paleis der Academien, 1996. 53p. (Klasse de Wetenschappen, Jaargang 58, n. 1)

GUY, B. T.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P. Hydraulics of sediment-landen sheet flow and the influence of simulated rainfall. **Earth Surface Processes and Landforms**. University of Guelph, Canadá, 15, 101-118, 1990.

JULIEN, P. Y. **Erosion and sedimentation**. Milbourne: Cambridge Univ. 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, ASCE, New York, v. 121, p. 547-553, 1995.

LAL, R. **Methods and guidelines for assesing sustainable use of soil and water resources in the tropics**. Soil Manangement Support Services, Technical Monograph. n. 21. 1994. 78 p.

LEPRUN, J. C.; ASSUNÇÃO, M. S.; CADIER. E. Avaliação dos Recursos Hídricos das Pequenas Bacias do Nordeste Smi-Árido: Características Físico-Climáticas.SUDENE – Coordenadoria de Recursos Hídricos. Série Hidrologia Nº 15. 71 p. Recife, 1983.

LUCAS, P. H. C., **Protected landscapes: a guide for policey-makers and planners**. London: Chapman e Hall, 1995.

MANNERING, J. V.; MEYER, L. D. the effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 27, n. 1, p. 84-86, Jan./Feb. 1963.

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.

MIRANDA, J. E. C. ; FRANÇA, F. H. ; CARRIJO, O. A ; SOUZA, A F. ; PEREIRA, W. ; LOPES, C.A , SILVA, J. B. C. **A Cultura da Batata-doce**. Brasília, EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 1995. 94 p. (Coleção Plantar, 30).

PETERSON, A. E.; BUBENZER, G. D. Intake rate: sprinkler infiltrometer. IN: KLUTE, A. **MEHODS OF SOIL ANALYSIS**, part 1, physical and mineralogical methods. 2ª ed. **Soil Science Soc. of Amer.** , Madison, Wiscosin USA. Cap. 33, p. 845-870. 1986.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos. Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, v. 19. n. 110, p. 4 – 45, 1995.

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

RAO. S.C.; COLEMAN. S.W.; MAYEUX, H. S. Forage production and nutritive value of selected pigeonpea ecotypes in the southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v. 42. n. 4, p. 1259 – 1263, 2002.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. 470p.

RODOJKOVIC, M & MAKSIMOVIC, C. **On standardization of computational models for overland flow**. In: GERITS, J. J. P.; LIMA, J. L. P. D; BROEK, T. M. W. V. D. Overland flow and erosion. In: ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. Process studies in hill slope hydrology. Chichester : Jonh Wiley & Sons, 1990. p. 173-214

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, ; Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo; Associação Brasileira

de Geologia de Engenharia; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão de Geologia, 1995. 247p. (Série Meio Ambiente).

SANTOS, C. A. F. ; MENESES, E. A ; ARAUJO, F. P. Divergência genética acessos de guandu. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 29, nº 11, p. 1723-1726. 1994.

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

SILVA, V. F. **Associações de características da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lamarck) com a sua resistência à “broca da raiz” *Eusecepes postfasciatus* (Fairmaire)**. (Tese de Doutorado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1991.

SIMONS, D.B.; SENTURK, 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, Department of Civil Engineering, Luoisiana – USA. Vol. 6, 88-95p. 1983.

SOUZA, C.R; SEIXAS, F. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais**, Scientia Florestalis n.60, p. 45-51, dez. 2001.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Dados Pluviométricos mensais do Nordeste: Estação de Pernambuco**: Recife, 1990. 363p. (Série pluviométrica, 6).

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco. Recife, Boletim técnico nº26, vol. I. SUDENE, 1972.

TAYLOR, S. A. & ASHCROFT, G. L. **Physical Edaphology**. The Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils. San Francisco. 1972. 523p.

WOOLHISER, D. A. & LIGGETT, J. A. **Unsteady one-dimensional flow over a plane – the rising hydrograph**. Water Resources Research. Department of Water Resources Engineering. New York – USA. Vol. 3, n. 3, 753-771p. 1967.

CAPÍTULO II

EROSÃO EM ENTRESSULCOS SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS

EROSÃO EM ENTRESSULCOS SOB CAATINGA E DIFERENTES CULTURAS AGRÍCOLAS

Autor: Francisco José de Freitas

Orientador: José Ramon Barros Cantalice

RESUMO

Dentre as formas de erosão hídricas do solo, a erosão em entressulcos é uma das que causam maiores danos no processo produtivo dos solos utilizados na agricultura, por provocar perdas de solo, água e nutrientes. Frente a isso, o presente trabalho visou avaliar a eficiência da proteção ambiental promovida pela cobertura vegetal da caatinga, feijão guandu (*Cajanus cajan*) e batata-doce (*Ipomoea batatas Lam*) em relação ao solo descoberto, através das taxas da erosão em entressulcos e das propriedades hidráulicas do escoamento superficial vinculado a erosão em entressulcos. Para isso, foi implementada uma série de 20 chuvas simuladas em Serra Talhada – PE, sob os seguintes tratamentos: (1) solo descoberto; (2) solo coberto pela cultura do feijão guandu (*Cajanus cajan*); (3) solo coberto pela cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas*

Lam.); (4) solo coberto por caatinga semi-árbustiva. As coberturas vegetais proporcionadas pela caatinga e pelo guandu, que deram origem aos maiores valores de cobertura do solo, responderam pelas menores taxas de concentração de sedimentos e desagregação do solo na erosão em entressulcos, em decorrência da maior rugosidade hidráulica da superfície do solo criada por essas vegetações. O revolvimento do solo na preparação das leiras para o plantio da batata doce igualou as taxas de concentração de sedimentos às mesmas obtidas para o solo descoberto, e determinou as maiores taxas de desagregação do solo entre todas as coberturas vegetais, em contrapartida, as leiras permitiram retenção do escoamento superficial. De forma conjunta, as coberturas vegetais da caatinga, guandu e batata doce e, as respectivas rugosidades hidráulicas impostas ao escoamento superficial, determinaram reduções exponenciais das perdas de solo. A cobertura vegetal da Caatinga semi-árbustiva proporcionou o menor coeficiente de escoamento superficial (C) de 0,32 em decorrência de sua maior cobertura do solo e do não revolvimento do solo.

INTERRILL EROSION UNDER CAATINGA AND SYSTEM CROPS

Author: Francisco José de Freitas

Advisor: José Ramon Barros Cantalice

SUMMARY

Among the forms of water erosion, the interrill erosion is once that causes the largest damages to the productive process of the soils used in the agriculture, soil losses, and water and nutrients. As a consequence the present work sought to evaluate the efficiency of the environmental protection promoted by the vegetation covering of the caatinga, Guandu (*Cajanus cajan*) and sweet potato (*Ipomoea potatoes Lam*) in relation to the bare soil, through the rates of the interrill erosion and of the hydraulic properties of the linked sheet flow the interrill erosion. For that, a series of 20 simulate rains was implemented in Serra Talhada – PE (Brazil), under the following treatments: (1) bare soil; (2) soil covered by the culture of the Guandu (*Cajanus cajan*); (3) soil covered by the culture of the sweet potato (*Ipomoea potatoes Lam.*); (4) soil covered by caatinga. The proportion of vegetation coverings by caatinga and Guandu, that created the largest values of cover of the soil, they answered for the smallest rates of sediments

concentration and detachment of soil in the interrill, due to the largest hydraulic roughness of the surface of the soil created by those vegetations. The revolving of the soil in the preparation of the rills of the sweet potato equaled the rates of sediment concentration to the same ones obtained for the bare soil, and it determined the largest detachment rates among all the vegetation cover, however, in compensation the rills allowed retention of the sheet flows. In a similar way, the vegetation cover of the caatinga, Guandu and sweet potato, and the respective hydraulic roughness imposed to the sheet flow, determined exponential reductions of soil losses. The soil covered by caatinga determined the smallest runoff coefficient of 0,32 due to the largest soil cover and no revolving of the soil.

4. INTRODUÇÃO

A erosão é um dos principais fatores responsáveis pelo decréscimo na produtividade agrícola, provocando perdas de solo, água e nutrientes. As perdas hídricas e químicas pela enxurrada oriunda da atividade agrícola podem, ainda, acarretar eutrofização da água (Lal, 1998; Hernani et al., 1999), o que está de acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), ao afirmarem que a degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento dos cursos e dos espelhos d'água.

A erosão do solo se constitui em um problema que se agrava na medida em que não se atua no sentido de minimizar os efeitos dos processos erosivos, cujos reflexos se manifestam não somente na esfera econômica, mas social, política, estética e ambiental. É um processo mecânico que atua simultaneamente na superfície e na profundidade do perfil do solo, tornando-se crítica em função da intensidade das atividades humanas (Campos, 1987).

Concomitantemente a formação do solo, ocorre a erosão do mesmo com a remoção de suas partículas pela atuação de forças exógenas, principalmente pela ação da água e do vento (Vieira et al., 1996). A força motriz da erosão é a energia cinética

dos agentes erosivos, que com diminuição progressiva da energia, ocorre a deposição dos sedimentos originada do material erodido (Weill, 1999).

Diversas são as formas de erosão hídricas do solo, a erosão em entressulcos e a erosão em sulcos são as que maiores danos provocam no processo produtivo dos solos utilizados na agricultura. Sendo que a erosão em entressulcos é a forma mais danosa, pois remove a camada mais superficial do solo onde se encontram a matéria orgânica, os elementos nutrientes e os insumos agrícolas, que favorecem a produção agrícola, como também, as condições para ocorrência dos processos microbiológicos que se refletem na fertilidade do solo, pela decomposição do material orgânico, tornando os nutrientes em forma assimilável pelas plantas (Cantalice, 2002).

Para Bertoni & Lombardi Neto (1990) a erosão em entressulcos é uma forma de erosão de difícil percepção, mas em culturas perenes sob solos suscetíveis à erosão, pode-se perceber após alguns anos, que as raízes, ao serem expostas, indicam a profundidade da camada do solo que foi removida.

A compreensão dos fatores que integram o processo de erosão do solo e a quantificação das perdas do solo é de grande importância, pois servem como o princípio da elaboração de medidas que visem a maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis e se possa evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos (Paiva, 2001).

Dessa forma, na erosão em entressulcos quando o solo ainda não apresenta incisões na superfície realizadas pelo escoamento superficial, tem importância a desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva na superfície, e a existência de uma lâmina de escoamento pouco espesso que mais parece transportar que desagregar o solo (Govers, 1996).

Na erosão em entressulcos, o impacto das gotas de chuva é o fator responsável pela desagregação das partículas da massa do solo, podendo desagregar grandes quantidades de partículas decorrentes da energia cinética das gotas, que exercem forças de pressão e cisalhamento no ponto de impacto. O transporte das partículas desagregadas é realizado, quase exclusivamente, pelo fluxo laminar raso, o qual é auxiliado em muito pela turbulência produzida pelo impacto das gotas de chuva, suspendendo e transportando em suspensão as partículas de solo (Foster et al., 1985).

A erosão em entressulcos é essencialmente independente da erosão em sulcos, ocorrendo em pendentes relativamente curtas e geralmente orientadas segundo o

microrelevo superficial. Nessas áreas, o fluxo do escoamento superficial é uniforme e ocorre na forma de fluxo superficial raso (Meyer et al., 1975; Foster, 1982).

Para Everaert (1991), a erosão em entressulcos pode ser vista como a combinação de dois diferentes processos: 1) desagregação da massa do solo pelo impacto das gotas de chuva e pelo fluxo em entressulcos; 2) o transporte do solo desagregado pelo escoamento em entressulcos, que parece não ter capacidade de transportar todo o sedimento produzido pelo impacto das gotas de chuva, com ou sem influência do impacto das gotas sobre o escoamento em entressulcos.

Para Meyer et al. (1975), a capacidade de transporte do fluxo em entressulcos é incrementada com o aumento da declividade da área, quando a disponibilidade de partículas desagregadas para transporte não é um fator limitante, sendo que essa relação é afetada pela textura, agregação, estabilidade dos agregados ao impacto das gotas de chuva, entre outros fatores. Nota-se, que as condições de superfície nos entressulcos são também consideradas no processo de erosão hídrica. A formação de um selo superficial durante a chuva reduz a taxa de infiltração de água no solo, resultando em uma maior taxa de enxurrada e erosão. Este selo forma-se pela ação mecânica das gotas da chuva e pela deposição de partículas desagregadas superficialmente (Ellison, 1947a).

A capacidade da caatinga de suportar os impactos provocados pela chuva e seu conseqüente escoamento superficial, na forma e erosão hídrica, é muito pouco conhecida. A caatinga cobre uma grande área do semi-árido nordestino e parte dela, correspondente a centenas de milhares de hectares, é derrubada anualmente para produção de lenha e para plantio no sistema de agricultura itinerante. Geralmente, nesses locais, após a retirada da madeira aproveitável, o material vegetal é queimado e o local abandonado ao crescimento da vegetação nativa, no caso da produção de lenha, ou cultivado por alguns anos antes do abandono, no caso da agricultura itinerante. Em ambos os casos, é importante conhecer a capacidade de regeneração da vegetação nativa, para o estabelecimento de um manejo sustentável a longo prazo. A população local tem conhecimento empírico do assunto, mas quase nada foi publicado. A Sudene não deu continuidade aos trabalhos de regeneração após corte, e trabalhos recentes têm-se centrado na capacidade de produção madeireira (Sampaio et al. 1998).

Ainda, Sampaio et al. (1998), estudaram a capacidade de regeneração de algumas espécies da caatinga encontradas em Serra Talhada – PE após o corte e a queima, observaram que as espécies *Croton sonderianus* (Marmeleiro) e *Mimosa* sp.

(Jurema-preta), levaram vantagem na competição após corte e fogo, em relação a *C. leucocephala* (Moleque Duro).

5. OBJETIVOS

5.1 GERAL

Avaliar a proteção ambiental promovida pela cobertura vegetal da caatinga, guandu e batata-doce em relação ao solo descoberto frente à erosão em entressulcos em um luvissole do alto sertão do Pajeú-PE, que se constitui em um impacto ao ambiente semi-árido.

5.2 ESPECÍFICOS

- Identificar as taxas de erosão em entressulcos para as quatro condições de uso do solo;
- Determinar o coeficiente de escoamento superficial em entressulcos (C) do LUVISSOLO estudado sob solo descoberto, caatinga e os cultivos de guandu e batata doce;
- Relacionar alguns parâmetros de erosão com a cobertura vegetal da caatinga e das culturas do guandu e da batata doce no ambiente semi-árido.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Campus do Centro de Treinamento e Pesquisa em Pequena Irrigação – CTPPI da UFRPE no Município de Serra Talhada-PE, em uma área de cultivo de vazante a montante do açude Saco, inserida na região semi-árida do Alto

Sertão do Rio Pajeú, a uma altitude de 429m acima do nível do mar, com as coordenadas geográficas de 7° 56' 15" de latitude Sul e 38° 18' 45" de longitude Oeste, distando 420km de Recife. De acordo com a classificação de Koppen, o clima enquadra-se no tipo Bwh, denominado semi-árido, quente e seco, com chuvas de verão-outono com pluviosidade média anual para o período de 1912 a 1991 de 647mm ano⁻¹ (SUDENE, 1990), e médias térmicas anuais superiores a 25°C.

6.2 Caracterização da área experimental e física do solo estudado

A área experimental situou-se no terço médio de uma encosta de relevo ondulado cultivada anualmente com culturas de vazante com 5,508° de inclinação, sendo encaixada entre elevações com ocorrência de NEOSSOLOS LITÓLICOS e o volume de armazenamento de água do açude do Saco. O solo local foi levantado pela SUDENE (1972), é classificado como LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico com horizonte A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila, de acordo com Embrapa (1999). De cada tratamento foram coletadas 5 (cinco) amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm e acondicionadas em sacos plásticos, que posteriormente foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm, para determinação da distribuição granulométrica pelo método do densímetro em (g Kg⁻¹) e da densidade de partícula D_p (g cm⁻³) pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo D_s (g cm⁻³) foi determinada pelo método do cilindro (Klute, 1986). A

porosidade total foi obtida a partir da relação: $P_t = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right)$ sendo P_t = porosidade total expressa em cm³. Ainda de cada tratamento foram coletadas amostras de solo, e acondicionadas em latas de alumínio que foram vedadas para determinação da umidade inicial em cm³ cm⁻³. Todos os valores dessas propriedades físicas encontram-se na tabela 1 do capítulo I.

6.3 Condução do experimento em campo sob chuva simulada

O experimento foi conduzido no mês de abril de 2005 (final da época de chuvas na região), o plantio das culturas de guandu e batata-doce no sistema de cultivo de

sequeiro ocorreu na primeira semana de janeiro de 2005 e foram localizadas junto a uma área de caatinga semi-arbustiva. Consistiu de uma série de 20 eventos de chuva simulada com duração de 80 minutos por evento, gerados através de um simulador de chuvas desenvolvido no laboratório de Conservação do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O mesmo é equipado com um bico aspersor tipo Veejet 80 – 150 com diâmetro interno de 12,7mm, fabricado pela Spraying System Company. Os bicos aspersores Veejet 80-100 e 80-150 da Spraying System são utilizados nos simuladores entressulcos (Meyer & Harmon, 1979), e reproduzem uma distribuição de tamanho de gotas e níveis de energia cinética próximos aos das chuvas naturais. O bico fica a 3,1m acima da superfície do solo, após o simulador ser instalado, operando a uma pressão de serviço constante de 41 kpa na saída da água no bico. O simulador de chuva foi abastecido através de uma bomba submersa colocada em um reservatório de água de 1000L. A intensidade média das chuvas de 147 m.h⁻¹ foi aferida através de um conjunto de 10 pluviômetros colocados ao acaso dentro e ao lado da área útil das parcelas experimentais.

As parcelas experimentais consistiram em uma área de 2 m² (1 m de largura e 2 m de comprimento), ficando a maior dimensão no sentido do declive, e foram delimitadas por chapas metálicas galvanizadas de 30 cm de altura, cravadas no solo a 20cm de profundidade. As mesmas continham na parte inferior, uma calha coletora para a amostragem do escoamento superficial.

Os tratamentos aplicados consistiram das seguintes condições de solo proporcionadas na presença e na ausência das seguintes coberturas vegetais: (1) solo descoberto, solo sem vegetação e sem preparo, a limpeza da vegetação que estava nascendo na área foi efetuada manualmente, evitando-se o revolvimento do solo; (2) cultura do guandu (*Cajanus cajan*) cultivado no espaçamento de 1,50m entre linhas x 0,50m entre plantas. Cem dias após o plantio foram aplicados os testes com chuva simulada, período em que as plantas estavam no estágio fenológico de floração e formação de vagens e apresentava boa cobertura vegetal; (3) cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam) cultivada em leiras no espaçamento de 0,50m entre linhas e 0,25 m entre plantas, também aos 100 dias após o plantio foram realizadas as chuvas simuladas, época em que as plantas estavam alcançando valores máximos de área foliar; (4) caatinga semi-árbustiva com predominância de plantas de pequeno porte com até 2m de altura, e localizada junto a área de vazante. Foram utilizados 4 tratamentos com cinco repetições, totalizando vinte parcelas experimentais. O delineamento experimental

utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os resultados submetidos à análise de variância (teste F a 5%) regressão, e teste de Duncan para comparação das médias, por meio do programa estatístico SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998).

A porcentagem de cobertura do solo promovida pelas diferentes coberturas vegetais foi determinada através do método de Mannering descrito por Bezerra et al. (2002), que utiliza a projeção fotográfica de um quadro 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 $m^2 \cdot m^{-2}$

6.4 Determinação dos parâmetros de erosão em entressulcos

As taxas de perdas de solo e a concentração de sedimentos foram determinadas pela pesagem do material coletado nos potes plásticos. Aos potes, após a pesagem, adicionou-se 5mL de Sulfato de Alumínio Dodecahidratado (alúmen de potássio) a 5% para deposição das partículas, para deposição das partículas (Cantalice, 2002). 24 horas depois, o sobrenadante foi succionado e os potes levados para secagem em estufa a 65°C, após secar, os potes foram pesados com o solo. A relação entre a massa de solo seco e a massa de mistura água-sedimento expressa a concentração de sedimentos em ($kg L^{-1}$).

As taxas de desagregação do solo (D_e) foram determinadas conforme a expressão abaixo:

$$D_e = \frac{M_{ss}}{AD_c} \quad (1)$$

onde M_{ss} = massa do solo seco desagregado (Kg), A = área da parcela (m^2) e D_c = duração da coleta em (s).

As perdas de solo foram obtidas através da seguinte equação:

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

onde P_s = perdas de solo (kg m^{-2}); Q = vazão (L s^{-1}); C_s = concentração de sedimentos (kg L^{-1}) e t = intervalo entre as coletas (300 s).

A descarga líquida (q) por unidade de largura foi determinada a partir das coletas de enxurradas em potes plásticos na extremidade da calha coletora, com duração de 10 segundos a cada 5 minutos, sendo expressa em ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$). O coeficiente de escoamento superficial (C) foi determinado pela relação do volume escoado superficialmente pelo volume precipitado, obtido em cada tratamento.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 01 têm-se as variáveis de erosão (concentração de sedimentos, perdas de solo e descarga líquida) e as variáveis de resistência da vegetação e do solo envolvidas no processo erosivo (cobertura do solo e rugosidade hidráulica). Em relação à concentração de sedimentos, observa-se que os tratamentos com cobertura vegetal de caatinga e guandu apresentaram valores de concentração de sedimentos inferiores ao do solo descoberto e da batata doce, o que se justifica pelas maiores coberturas vegetais proporcionadas e, conseqüentes, resistências ao escoamento traduzidas na forma de rugosidade hidráulica (f) obtidas na vegetação de caatinga e guandu. Embora a cultura da batata doce tenha apresentado uma fração de 0,44 de cobertura de solo, sua taxa e concentração de sedimentos igualou-se a concentração de sedimentos do solo descoberto pelo fato da maior

Tabela 01. Variáveis da erosão em entressulcos e de resistência de um ambiente Semi-Árido ao processo erosivo. Concentração de sedimentos (C_s), taxa de desagregação do solo (D_e), perdas de solo (PS), descarga líquida (Q), rugosidade hidráulica (f),

Tratamento	C_s (kg L^{-1})	D_e ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	PS (Mg ha^{-1})	Q (L s^{-1})	$\log f$ ad.	C ad.	CS ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)
Caatinga semi-arbus.	0,0069b	$2,21 \times 10^{-5}c$	1,1919b	0,0257c	1,311a	0,3230c	0,8900a
Guandu	0,0031b	$4,47 \times 10^{-5}c$	1,7402b	0,0655b	0,978b	0,5106b	0,7960b
Batata Doce	0,0768a	$5,76 \times 10^{-4}b$	13,2820b	0,0689b	0,1428c	0,5460b	0,4400c
Solo descoberto	0,0261a	$1,23 \times 10^{-3}a$	52,9283a	0,0937a	0,0193c	0,9603a	0,0000d

coeficiente de escoamento superficial (C) e cobertura do solo (CS). Média de 5 repetições.

mobilização do solo durante as operações de preparo, já que o cultivo da batata foi realizado no sistema de leiras, produzindo o revolvimento da superfície do solo, ficando o mesmo mais exposto ao contato direto das gotas de chuva que acontecem na erosão em entressulcos, como também, devido o sistema radicular da batata ser formado por raízes superficiais que concentra-se nos primeiros 10cm de profundidade (Filgueira, 1982). Valores de concentração de sedimentos semelhantes aos da área com solo descoberto e batata doce, de (0,012 kg.L⁻¹) foram encontrados por Lasanta et al. (2000), numa área de cultivo abandonada no semi-árido da Espanha e também sob chuva simulada de alta intensidade (100 mm. h⁻¹).

As perdas de solo para os tratamentos de caatinga, guandu e batata doce só se diferenciaram das perdas obtidas com o solo descoberto, que segundo Pruski et al. (1997) ocorre tanto pela quantidade de água interceptada, quanto pela interceptação promovida pela vegetação que amortece a energia do impacto das gotas de chuva, e reduzem a desagregação do solo. Apesar das perdas de solo da batata doce serem estatisticamente semelhante às perdas da caatinga e do guandu, seu valor, refletiu a menor cobertura vegetal e resistência criadas pela mesma (tabela 01), em relação às coberturas de solo originadas da caatinga e do guandu. Na área com vegetação de caatinga, onde se manteve a estrutura do solo intacta sem revolvimento, o solo apresenta uma melhor agregação, como também o sistema radicular profundo do guandu (Alvarenga et al. 1995), com uma raiz pivotante que pode penetrar até 1 m e numerosas raízes secundárias que atingem até 30 cm de profundidade, podem ter contribuído para o desenvolvimento de um melhor estado de agregação da estrutura do solo.

As taxas de desagregação do solo por serem taxas de avaliação instantânea, diferentemente das perdas de solo que consistem em um somatório, apresentaram as coberturas proporcionadas pela caatinga e guandu como as mais conservativas, seguindo a resistência ao escoamento (f) criada pelas respectivas coberturas de solo. A ordem de grandeza entre 10⁻³ e 10⁻⁵ das taxas de desagregação do solo, juntamente com o regime de escoamento laminar lento, já detectados no capítulo 1, atestam a ocorrência da erosão em entressulcos em todos os tratamentos.

Em relação à descarga líquida e ao coeficiente de escoamento superficial, todos os tratamentos com cobertura vegetal se diferenciaram do solo descoberto, no entanto a

vegetação de caatinga foi mais eficiente no controle da descarga líquida do escoamento superficial, pelo fato do solo sob essa vegetação não ser revolvido e, também, pela sua maior cobertura de solo que se traduziu em uma maior rugosidade hidráulica (f) a ação da chuva e do escoamento superficial, como já discutido no capítulo 01, e pode ser observada na figura 01. Ainda observa-se na tabela 01, que a preparação das leiras no cultivo da batata doce, proporcionou retenção do escoamento superficial, constatado pelos menores valores de descarga líquida, coeficiente de escoamento superficial e perdas de solo, em relação ao solo descoberto.

A figura 01 apresenta a redução das perdas de solo na erosão em entressulcos com o aumento exponencial da rugosidade hidráulica, originada pela passagem da condição do LUVISSOLO descoberto no semi-árido para as condições promovidas pelo cultivo da batata doce, do guandu e pela vegetação da caatinga semi-árbustiva, através da seguinte expressão obtida a partir dos 20 eventos de chuva:

$$\text{PS} = 1,7233 \log f^{-0,9048} \quad r^2 = 0,99$$

(3)

onde PS = perdas de solo em Mg . ha⁻¹ e f = coeficiente de rugosidade hidráulica de Darcy-Weisbach. Como a vegetação de caatinga semi-árbustiva e o feijão guandu apresentaram uma altura de dossel em torno de 1,5 m, pode-se dizer que o fluxo de caule também contribuiu para o retardamento do escoamento, além da rugosidade ao escoamento superficial, já que existiu interceptação vegetal pela cobertura vegetal na forma de dossel da caatinga e o feijão guandu.

Na figura 02 tem-se representada, de forma global, as reduções das perdas de solo obtidas com a passagem da condição do LUVISSOLO descoberto no semi-árido para as condições promovidas pelo cultivo da batata doce, do feijão guandu e pela vegetação da caatinga semi-árbustiva, na forma de uma equação exponencial, abaixo descrita:

$$\text{PS} = 53,305e^{-4,48(\text{CS})} \quad r^2 = 0,77$$

(4)

onde PS = perdas de solo em Mg . ha⁻¹, CS = cobertura do solo em m².m⁻² e e = base dos logaritmos naturais. Essa expressão demonstra o efeito pronunciado e a importância do aumento das coberturas vegetais na redução e no controle das taxas de erosão

(Sloneker & Moldenhauer, 1977; Addad, 1997; Souza & Seixas, 2001). Bezerra (2003) e Bezerra & Cantalice (2005) obtiveram para essa mesma relação aplicada as diferentes formas de cobertura vegetal da cana de açúcar durante seu ciclo fenológico, menores valores do coeficiente **a** de 22,893 e **b** de -4,4256, que expressam a maior massa vegetal e as maiores proporções de solo coberto pela cultura da cana de açúcar.

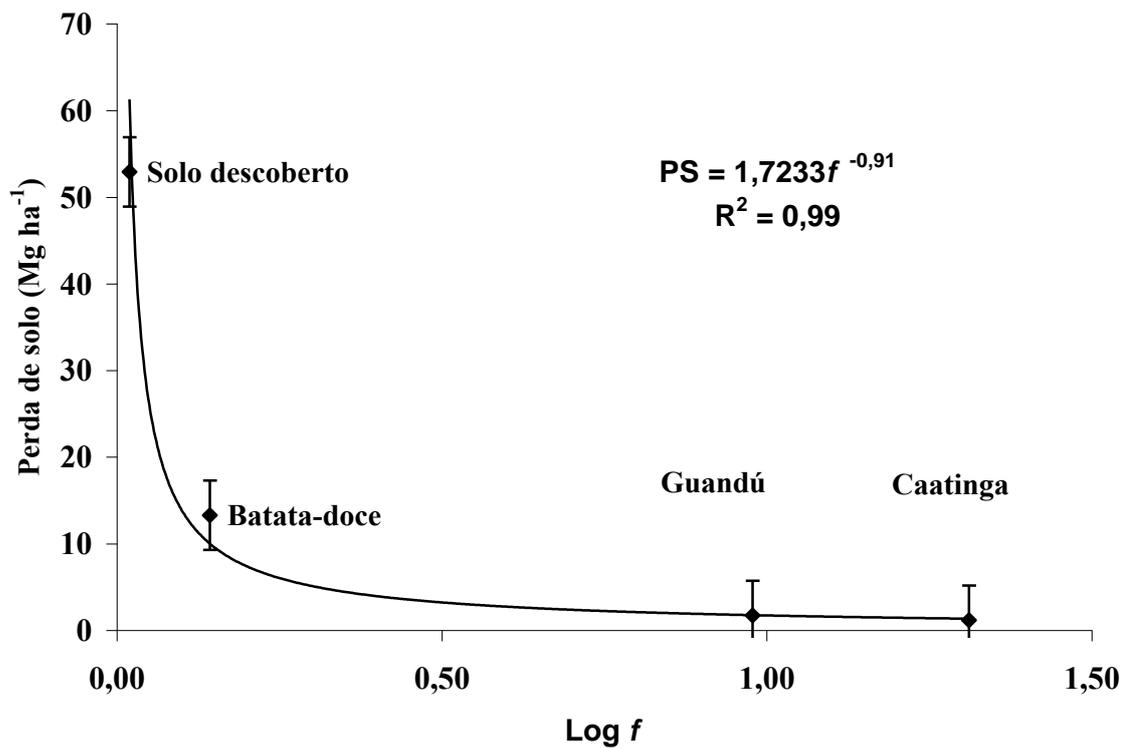


Figura 01. Redução das perdas de solo (PS) na erosão em entressulcos, em função do coeficiente de rugosidade hidráulica de Darcy-Weisbach (f), originadas pelas diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto. Média de 5 repetições e total de eventos (n) = 20.

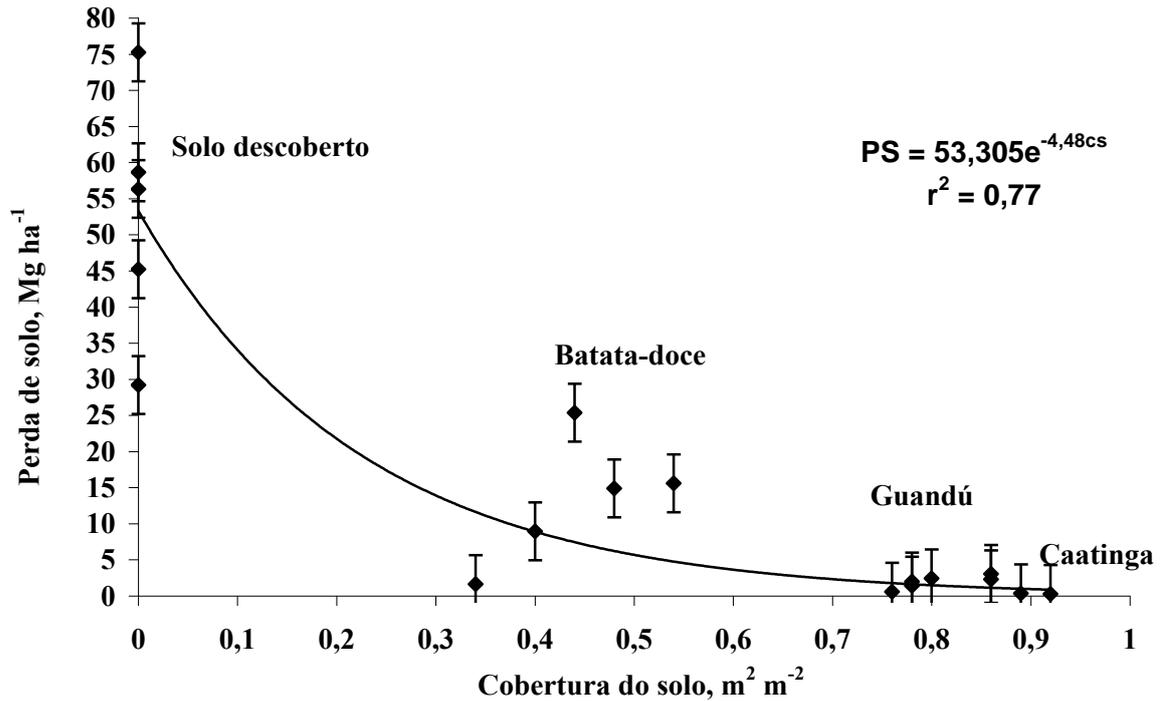


Figura 02. Relação exponencial das perdas de solo obtidas em função das diferentes coberturas vegetais estudadas na região semi-árida do sertão do alto Pajeú: caatinga, guandu e batata doce, e do solo descoberto.

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste capítulo permitem concluir:

1. As coberturas vegetais proporcionadas pela caatinga semi-árbustiva e pelo guandu, que deram origem aos maiores valores de cobertura do solo, responderam pelos menores valores da concentração de sedimentos e da taxa de desagregação do solo na erosão em entressulcos, em decorrência da maior rugosidade hidráulica da superfície do solo criada por essas vegetações.

2. O revolvimento do solo na preparação das leiras para o plantio da batata doce igualou as taxas de concentração de sedimentos às mesmas obtidas para o solo descoberto, e determinou as maiores taxas de desagregação do solo entre todas as

coberturas vegetais, entretanto, em contrapartida as leiras permitiram retenção do escoamento superficial.

3. De forma conjunta, as coberturas vegetais da caatinga semi-árbustiva, guandu e batata doce e, as respectivas rugosidades hidráulicas impostas ao escoamento superficial, determinaram reduções exponenciais das perdas de solo.

4. Na cobertura vegetal da Caatinga semi-árbustiva observou-se o menor coeficiente de escoamento superficial (C) de 0,32 em decorrência de sua maior cobertura do solo e do não revolvimento do solo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDAD, J. Alterações fluviais e erosão costeira. **Revista brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.5-13, 1997.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesq. Agropec. Bras.** v.30, n.2, p.175-185, 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.

BEZERRA, S.A. & CANTALICE, J.R.B. Redução da Erosão Entressulcos Promovida Pela Cobertura Vegetal da Cana de Açúcar sob Chuva Simulada. **Rev. bras. cienc. do solo**. (no prelo, 2006)

BEZERRA, S. A. Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da cana de açúcar. 2003. 51 p. Dissertação (Pós-graduação em ciência do solo). UFRPE, Recife, 1992.

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. **Anais...** São Paulo, p. 403-411, 2002.

CAMPOS, J. de O. Relato da seção técnica II. In: **Simpósio Nacional de controle de erosão**, 4, 1987, Marília. **Anais...** São Paulo: ABGE / DAEE, 1987. 571p. p.289-312.

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

EVERAERT, W. Empirical relations for the sediment transport capacity of interrill flow. **Earth Surface and Landforms**, New York, v. 16, p. 513-532, 1991.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies – part I. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 145-146, Apr. 1947a.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro. 1997. 212p.

FILGUEIRA, F. A. **Manual de olericultura**. Cultura e comercialização de hortaliças. São Paulo, Ed. Ceres, V II, 1982. 357 p.

FOSTER, G.R.; YOUNG, R. A.; RÔMKENS, M.J.M.; ONSTAD, C. A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLETT, R. F.; STEWART, B.A. (Ed). **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, 1985. p. 137-162.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T. (Ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineer, 1982. p. 297-380. (ASAE Monograph, 5).

GOVERS, G. **Soil erosion process** research a state of the art. Brussel: Paleis der Academien, 1996. 53p. (Klasse de Wetenschappen, Jaargang 58, n. 1)

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e material orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 145-154, 1999.

LAL, R. **Methods and guidelines for assesing sustainable use of soil and water resources in the tropics**. Soil Manangement Support Services, Thechemical Monograph. n. 21. 1994. 78 p.

LASANTA, T.; GARCÍA-RUIZ, J.M.; PÉREZ-RONTOMÉ, C.; SANCHO-MARCÉN, C. Runoff and sediment yield in a semi arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. **Catena**. 38:265-278. 2000.

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.

MEYER, L.D.; FOSTER, G. R.; RÔMKENS, M.J.M. Source of soil eroded by water from pland slopes. In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture Research Service. **Present and prospective technology for predicting sediment yielde and sources**. Washington, 1975. p. 177-189. (USDA. ARS-S,40).

PAIVA, E.M.C.D. de; et al. Evolução de processo erosivo acelerado em trecho do Arroio Vacacai Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS, v. 6, n. 2, p. 129-135, 2001.

PRUSKI, F,F.; SILVA, D.D.; SANTOS, W.L.; RODRIGUES, L.N. ANTUNES, V.L. **Infiltração de água no solo**. Viçosa-MG: Engenharia na Agricultura, 1997. 26p. (Caderno didático, 25)

SAMPAIO, E.V.DE SÁ B.; ARAÚJO, E. DE L.; SALCEDO, I.; TIESSEN, H. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada-PE. **Pesq. agropec. bras.** v.33, n.5, 1998.

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

SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **J. Soil Water Conserv.**, 32:231-236, 1977

SOUZA, C.R; SEIXAS, F. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais**, Scientia Florestalis n.60, p. 45-51, dez. 2001.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco. Recife, Boletim técnico nº26, vol. I. SUDENE, 1972.

VIEIRA, M.N.F.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C dos; CHAVES, R.S. **Levantamento e conservação do solo**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1996. 320p.

WEILL, M.A.M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida**. Piracicaba, 1999. 100p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.