



**EROSÃO ENTRESSULCOS EM ÁREAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

FRANCISCO MANOEL DE ASSIS FILHO

GARANHUNS

JULHO/2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**EROSÃO ENTRESSULCOS EM ÁREAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

FRANCISCO MANOEL DE ASSIS FILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em PRODUÇÃO AGRÍCOLA da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em PRODUÇÃO AGRÍCOLA.

Área de Concentração: Produção agrícola.

Orientador: Dr. José Ramon Barros Cantalice.

Co-orientador: Dr. José Romualdo de Sousa Lima.

GARANHUNS

JULHO/2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns - PE, Brasil

A848e Assis Filho, Francisco Manoel de
Erosão entressulcos em áreas de sistemas de produção agrícola
no semiárido de Pernambuco / Francisco Manoel de Assis Filho. -
2017.
38f.
Orientador: José Ramon Barros Cantalice.
Coorientadores: José Romualdo de Sousa Lima
Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa
de Pós - Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns,
BR - PE, 2017.
Inclui referências
1. Solo - Desagregação 2. Erosão hídrica – Solo 3. Gesso 4.
Solos arenosos I. Cantalice, José Ramon Barros, orient. II. Lima, José
Romualdo de Sousa III. Título.

CDU 631.45

**EROSÃO ENTRESSULCOS EM ÁREAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

FRANCISCO MANOEL DE ASSIS FILHO

Data da defesa: 31/07/2017

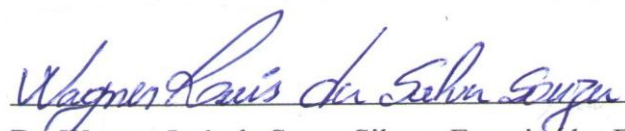
COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES



Dr. José Ramon Barros Cantalice – Orientador

Universidade Federal Rural de Pernambuco - (UFRPE/ Sede)



Dr. Wagner Luís de Sousa Silva – Examinador Externo

Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia de Pernambuco - (IFPE / Campus Barreiros)



Dr. Alberício Pereira de Andrade – Examinador Interno

Universidade Federal Rural de Pernambuco - (UFRPE/ UAG)

A Deus e Nossa Senhora primeiramente;
A meus pais Francisco Manoel de Assis e Nazaré Silva de Assis;
A meus irmãos Emerson Francisco de Assis, Ana Maria da Silva Assis e Elisângela Silva de Assis;
A minha sobrinha, Ana Clara Ramos de Assis e a minha cunhada Bruna Ramos de Assis;
A meu Tio Adalberto Manoel da Silva;
A minha família: tios (tias), primos (as);
A meus (minhas) amigos (as), que a vida me proporcionou desde a infância, até os dias de hoje, pelo carinho e apoio em minha jornada;
A minha namorada Emanuelle Araujo dos Santos pelo carinho, cumplicidade, amizade e amor;
A minha etnia Pankararu, “cultura viva, forte e resistente”.

Dedico.

Agradecimentos

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em nome das Unidades Acadêmicas de Garanhuns e Serra Talhada (UAG e UAST), pela formação de Engenheiro Agrônomo e pela oportunidade e suporte para a realização do Mestrado em Produção Agrícola;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos durante sete meses;

Ao Professor Dr. José Ramon Barros Cantalice, pela orientação e amizade durante estes dois anos de convívio. Um exemplo de dedicação e empenho ao ensino e à pesquisa;

Ao Professor Dr. José Romualdo de Sousa Lima, pelo apoio, co-orientação, amizade e pelo exemplo de profissional;

Ao Professor Dr. Marcelo Metri Corrêa, por ter me ajudado na correção do pré-projeto com suas sugestões e críticas construtivas e por ter me supervisionado no estágio docência;

A coordenação da Pós-Graduação em Produção Agrícola na pessoa da professora Dr^a Keila Aparecida Moreira, por todo apoio e compreensão sempre;

A todos os demais professores do programa de pós-graduação em Produção Agrícola e secretária;

Ao setor de transporte da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE), na pessoa do Sr. Amadeu e todos os motoristas, pelo suporte para as atividades de campo e viagens para coletar material;

Aos meus amigos da época de graduação: Amanda Lima, Caio Humberto, Emanuel Henrique, Emanuel Rodrigues, Gilberto Fernandes, Gustavo, Renato e Marcos de Oliveira, por sempre me ajudarem e torcerem por mim;

Aos amigos que fiz estudando na PGPA: Argemiro, Amanda Juscelino, Lindiana Ralf, Melry Medeiros, Adriano José, Jorge Penisch, pela amizade e cumplicidade;

Ao meu grupo de pesquisas, “Mecânica da Erosão”: Dr. Wagner, Dr. Júnior, Elvis, Douglas, Daiane e o Prof. Dr. Genival Barros Júnior, pela troca de conhecimento e amizade;

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA na pessoa de Dr. Gabriel Maciel, em nome da Gerência Regional de Serra Talhada e demais colegas de trabalho pelo apoio total.

Enfim, a todos e todas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

A erosão em entressulcos dentre os tipos de erosão hídrica do solo, é a que mais causa danos no processo produtivo dos sistemas de produção agrícolas, pois provoca perdas de solo, água e nutrientes. Mediante essa problemática, o presente estudo objetivou avaliar esse efeito em diferentes tipos de sistemas de manejos agrícolas na região setentrional do Pajeú, na cidade de Triunfo – PE em um neossolo flúvico. Os tipos de sistemas agrícolas que compreenderam esse estudo foram agrofloresta, palma forrageira (*Opuntia stricta* Haw), serrapilheira de algaroba (*Prosopis juliflora*), em relação ao solo descoberto, bem como o efeito das práticas de cultivos dessas culturas, por meio das taxas da erosão em entressulcos e das características hidráulicas do escoamento superficial vinculado à erosão em entressulcos. Para isso, foi realizado uma série de 16 chuvas simuladas, sob os tratamentos supracitados. Os tratamentos que apresentaram melhores respostas na maioria dos parâmetros observados referente as características hidráulicas do escoamento e de erosão, foi o sistema com serapilheira (*Prosopis juliflora*), seguido pelo com agrofloresta. Onde destacou-se menores valores em descargas líquidas, velocidade do escoamento, taxas de infiltração estabilizada de água no solo e rugosidade hidráulica, demonstrando assim, uma maior eficiência que os demais no controle da erosão entressulcos.

Palavras-chave: Desagregação do solo; erosão hídrica do solo; força de resistência à vegetação.

ABSTRACT

Among the water erosion kinds, the interrill erosion is the most dangerous to agricultural systems productions due to soil and nutrients losses. Therefore, this study had the objective of evaluate the interrill erosion on the following agricultural systems: agroforest, Cactus (*Opuntia stricta Haw*), and the litter effect of (*Prosopis juliflora*), regarding to the bare soil. So, were performed 16 simulated rains on the treatments. The Prosopis litter followed by agroforest showed the lowest interrill soil losses, as well the best performance to water discharge, mean flow velocity, stabilized infiltration rate and hydraulic roughness, showing the highest efficiency in control the interrill erosion.

Keywords: Interrill soil detachment; agricultural systems productions; semiarid environment.

Lista de Figuras

| Capítulo 1 | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Localização do município de Triunfo - PE..... | 23 |
| Figura 2. Relação da rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy-Weisbach f) e velocidade média do escoamento para todas as situações de promovidas pelos sistemas de produção agrícola estudados no semiárido pernambucano..... | 28 |
| Figura 3. Regressões das taxas de infiltração de água no solo e as descargas líquidas observadas sob solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em Neossolo Flúvico da bacia hidrográfica..... | 30 |
| Figura 4. Perdas de solo (PS) observada em função da variação da rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy-Weisbach f), para as condições solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em um Neossolo Flúvico na bacia hidrográfica do Rio Pajeú..... | 31 |
| Figura 5. Taxas de desagregação do solo em entressulcos (D_i) em função da variação da rugosidade hidráulica (f) para as condições de solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma e agrofloresta, de um Neossolo Flúvico na bacia hidrográfica do Rio Pajeú..... | 32 |
| Figura 6. Taxas de infiltração de água no solo para as condições de solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta, de um Neossolo Flúvico na bacia hidrográfica do Rio Pajeú..... | 33 |

Lista de Tabelas

| Capítulo 1 | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabela 1 - Caracterização física do Neossolo Flúvico, sob as condições de solo descoberto, solo coberto por serrapilheira de algaroba, palma e agrofloresta na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú..... | 24 |
| Tabela 1 - Características hidráulicas do escoamento gerado por chuva simulada, sob as condições de solo descoberto, solo coberto por serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em um Neossolo Flúvico na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú..... | 27 |
| Tabela 3 - Taxas de infiltração de água, coeficiente de escoamento superficial (C), taxas de desagregação do solo em entressulcos (Di) e perdas de solo (PS), obtidas as condições de solo descoberto, solo coberto com serrapilheira, palma forrageira e agrofloresta em Neossolos Flúvicos na bacia hidrográfica do Rio Pajeú..... | 29 |

SUMÁRIO

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA..... | 13 |
| 2.1. Erosão hídrica | 13 |
| 2.2. Erosão em entressulcos..... | 14 |
| 2.3. Hidráulica do escoamento na erosão em entressulcos | 15 |
| 2.4. Sistemas de produção agrícola e manejo no semiárido | 17 |
| 2.5. O papel da cobertura vegetal no controle da erosão em entressulcos..... | 18 |
| 3. EROSÃO ENTRESSULCOS EM ÁREAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO..... | 21 |
| Resumo | 21 |
| Introdução..... | 22 |
| Material e métodos | 23 |
| Avaliação das taxas de erosão em entressulcos..... | 25 |
| Avaliação do fluxo hidráulico | 26 |
| Resultados e discussão | 27 |
| 4. CONSIDERAÇÕES GERAIS..... | 34 |
| REFERÊNCIAS..... | 35 |

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência da erosão hídrica no solo em todo o mundo é favorecida por vários fatores, a exemplo da presença ou não de cobertura vegetal, tipos de práticas agrícolas, tipo de solo (ATUCHA et al., 2013). Segundo Mohammad & Adam. (2010), a falta de cobertura vegetal pode levar à selamento do solo, aumentando assim o escoamento e a erosão nos estágios iniciais desse processo.

Barnes et al. (2016), afirma que o globo terrestre tem cerca de 3,031 milhões de hectares de terra arável potencialmente, porém dois terços destas estão degradadas. Mundialmente, a erosão natural é estimada em 9,9 bilhões de toneladas de solo por ano ⁻¹, onde a mesma leva ainda a uma redução da capacidade do potencial de absorção de água no solo, podendo reduzir em até 300 mm por hectare ao ano em solos moderadamente erodidos, diminuindo a estabilidade dos ecossistemas vegetais ao longo do tempo e de toda a fauna que se alimenta destes.

Para se entender a erosão, é preciso compreender primeiramente os fatores que integram esse processo, onde a quantificação das perdas do solo serve como princípio na elaboração de medidas mitigadoras que maximizem o uso dos recursos hídricos *in loco* e minimize os efeitos negativos oriunda da produção, transporte e deposição de sedimentos (BEZERRA & CANTALICE, 2006).

A erosão entressulcos ocorre pela desagregação que é originada pelo impacto das gotas de chuva, transporte do escoamento superficial, arraste e suspensão das partículas superficiais do solo desagregadas. Ainda assim, destaca Cantalice et al. (2017) que esse tipo de erosão ocorre onde se encontram a matéria orgânica e os principais nutrientes, influenciando de forma negativa na produção agrícola.

Segundo Bezerra & Cantalice (2006) o controle da erosão hídrica é diretamente influenciado pela vegetação, pois a mesma promove cobertura ao solo através de suas raízes, serapilheira, melhora composição estrutural, bem como o padrão de crescimento da própria vegetação.

Triunfo é uma cidade que fica localizada na microrregião do Pajeú Pernambucano e há décadas sofre um processo de substituição de sua cobertura nativa por culturas agrícolas, sobretudo por cana-de-açúcar, cafeicultura, bananicultura e pastagem para a pecuária, o que favorece a ocorrência da degradação do solo, principalmente na forma de

erosão hídrica, além do agravante de ser uma região de relevo acidentado em grande parte do seu território.

O presente estudo teve como proposta quantificar as taxas de erosão em entressulcos sob chuva simulada e avaliar os parâmetros da rugosidade emersa ao escoamento em área de solo descoberto, agrofloresta, serrapilheira e palma forrageira. Assim como, relacionar as taxas de cobertura propiciada pelos tipos de sistemas agrícolas acima citados, com as taxas de erosão do solo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Erosão hídrica

A erosão do solo ocasionada hidricamente é um sério problema, que gera um dano ao meio ambiente de difícil reversão, além do transporte dos sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, o que acarreta em seu empobrecimento e conseqüentemente a sua degradação (HU et al., 2013). Os maiores prejuízos são notados a jusante devido à poluição e acúmulo de sedimentos, bem como ocorre à contaminação e diminuição de O² na água, gerando o fenômeno conhecido como eutrofização (PAULA et al., 2016).

Segundo Quinton et al. (2010), estima-se ocorrer perda de 30 milhões T ano⁻¹ de (N) e 17,5 milhões de T ano⁻¹ de (P), comprometendo assim totalmente a fertilidade dos solos. O manejo do solo é uma das formas de controlar a erosão, tendo como algumas das ferramentas eficazes desse sistema é a utilização de coberturas para o solo, a exemplo de cobertura morta, vegetação, cordão de pedra (MOGHADAM et al., 2015; RAHMA et al., 2017).

A erosão hídrica ocorre como uma ação de degradação física do solo, devido à precipitação e o escoamento superficial, gerando três fases: desagregação, transporte e deposição das partículas do solo (SILVA et al., 2012).

Na primeira etapa da erosão hídrica, temos a desagregação das partículas do solo, que ocorre devido ao impacto das gotas de água da chuva que incidem na superfície do solo e desagrega as suas partículas (CANTALICE et al., 2017).

Segundo Paula et al. (2016), dependendo da quantidade ou a falta de cobertura vegetal, agravará esse processo, que por sua vez promoverá o selamento superficial do solo, redução da capacidade de infiltração e ocorrerá o escoamento superficial.

Na segunda etapa do processo de erosão hídrica, ocorre o transporte das partículas desagregadas do solo no efeito *splash*, ou seja, salpicamento de partículas desagregadas em decorrência do encontro das gotas de água da chuva com a superfície do solo, gerando o escoamento superficial, motivado pelo aumento da taxa de precipitação que superou a capacidade de infiltração de água no solo, esse transporte de partículas é em distâncias maiores e tem poder de desagregação (SILVEIRA et al., 2013). Ainda segundo Silveira et al. (2013), o último processo, que é a deposição das partículas desagregadas, resulta da superação da capacidade de transporte pela resistência do material transportado, devido seu peso ou extinção da lâmina de escoamento.

Em decorrência do mecanismo de desagregação, transporte do solo e deposição de sedimentos, ocorre tipos de erosão: erosão em entressulcos, erosão em sulcos e voçorocas.

A erosão em entressulcos é o início da erosão hídrica, onde as gotas de chuva causam um impacto que é o principal mecanismo na desagregação do solo, isso acontece devido à energia cinética sobre a massa do solo na forma de força de pressão e cisalhamento sendo capaz de desintegrar uma grande quantidade de partículas da massa de solo original e tem o fluxo laminar como agente principal no transporte deste material (ARMSTRONG et al., 2011). Por fim, ocorre a deposição desse sedimento pela ação da gravidade (FOLTZ et al., 2009). O segundo tipo é a erosão em sulcos, tendo como principal agente desagregador o fluxo superficial concentrado e turbulento. Os sedimentos desagregados de áreas que ocorreram à erosão em entressulcos agem como fornecedoras desse material para abastecer a erosão em sulcos (NEARING, 1997). A voçoroca é o último tipo de erosão e consiste em perda total dos horizontes primários do solo, chegando ao afloramento rochoso, pois é um tipo de erosão mais severo que os demais (BARNES et al., 2016). Nesse processo a água de escoamento se acumula e muitas vezes escorrem em canais estreitos em forma de V ou U com profundidade considerável.

2.2. Erosão em entressulcos

Na erosão em entressulcos ocorre uma seletividade no que se refere ao transporte de partículas finas do sedimento produzido predominantemente em suspensão. Isso acontece nesse tipo de erosão devido à incapacidade do escoamento superficial transportar partículas mais grossas, bem como devido à deposição deste sedimento (SHI et al., 2012).

A energia cinética do pingo da gota de chuva é o principal agente no processo de erosão em entressulco, porém aliado a isso a declividade também tem um importante papel na desagregação e transporte de partículas do solo quando se trata desse tipo de erosão hídrica do solo (FU et al., 2011). Isso é justificado devido a três relações, sendo as seguintes: as perdas de solo ocorreriam em função da percentagem do grau de declive; as perdas pelo escoamento podem ser representadas por uma função linear do seno do declive; e as perdas pelo escoamento podem ser representadas por uma função polinomial do seno do declive.

O processo de erosão em entressulcos é ainda fortemente influenciado devido às condições de superfície do solo, representadas pela ausência ou presença de cobertura vegetal, a rugosidade da superfície do solo e a declividade do terreno (AMORIM et al., 2001). Segundo Defersha et al. (2011), a intensidade de precipitação, topografia e propriedades do solo são os principais fatores que interferem na erosão em entressulcos.

Vários fatores comandam esse processo, agindo entre si, dentre eles: tipo de cobertura vegetal, solo em questão, condições climáticas, topografia, manejo do solo e práticas de conservação (ROMKENS et al., 2001; ASADI et al., 2007). Um dos fatores mais estudados na erosão em entressulcos é a declividade, pois influência diretamente este processo.

Segundo Cantalice et al. (2009), quando se trata de prejuízos agrícolas devido ao tipo de erosão hídrica, a erosão em entressulcos é considerada a mais prejudicial, pois a mesma é a principal autora da remoção da camada mais superficial do solo, onde se encontram a matéria orgânica, nutrientes e os insumos agrícolas, diminuindo consequentemente a produtividade das culturas e interferindo nas atividades dos microrganismos presentes no solo.

2.3. Hidráulica do escoamento na erosão em entressulcos

Quando a taxa de infiltração de água no solo é excedida pela intensidade da chuva, ocorre o escoamento superficial, isso é decorrência da superação das abstrações hidrológicas como a detenção e retenção superficial, interceptação vegetal, demanda matricial do solo e evaporação (BEZERRA et al., 2010). A erosão superficial é favorecida inicialmente pela falta de cobertura nos solos e áreas declivosas, ocorrendo à erosão em entressulcos, com o advento do aumento do escoamento, forma-se a erosão em sulcos, os

modos básicos de erosão do solo comumente presentes em bacias hidrográficas rurais e agrícolas (LIU et al., 2006).

Segundo Ponce (1989), o escoamento superficial pode ser definido pela seguinte equação:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_1 \quad (1)$$

Onde: q_1 = fluxo lateral por unidade de comprimento ($m^2 s^{-1}$); Q = descarga líquida ($m^3 s^{-1}$); X = comprimento na direção do fluxo (m); A = área do contorno (m^2); t = tempo (s).

Porém o mesmo autor ressalta que, em situações em que a bacia hidrológica é pequena, o seu escoamento deve ser considerado levando-se em conta uma superfície plana de comprimento L , declive S e teoricamente de largura infinita. Assim sendo, é recomendada uma análise por unidade de largura. Fazendo uma reformulação na equação (1), da seguinte forma:

$$\frac{\partial q}{\partial X} + \frac{\partial h}{\partial t} = i \quad (2)$$

Em que: q = descarga líquida por unidade de largura ($m^2 s^{-1}$); h = altura da lâmina de escoamento (m); i = excesso de precipitação pluviométrica ($m s^{-1}$).

Temos como parâmetros hidráulicos do escoamento a descarga líquida por unidade de largura, a velocidade média do escoamento e viscosidade cinemática da água. Embasado nesses parâmetros hidráulicos pode-se determinar outros como altura da lâmina de escoamento, fator de perda de carga e os números de Reynolds e Froude (MORGAN, 1996; GOVERS, 1989). Segundo Simons & Senturk (1992), o número de Reynolds é a relação entre a magnitude das forças de inércia com as forças viscosas, e o número de Froude é a relação das forças de inércia com os efeitos das forças gravitacionais. Após a determinação desses dois parâmetros pode ser feita a classificação do regime de escoamento.

Para valores de Froude < 1 , esse regime se caracteriza como lento, sendo Froude > 1 , o regime configura-se como rápido. Por outro lado, quando Reynolds < 500 , o regime caracteriza-se como laminar, entre 500 e 2500, regime transicional e, para valores maiores

que 2500, o regime fica designado como turbulento. O escoamento em entressulcos tem seu regime caracterizado por valores de Reynolds menores que 500, onde o regime de escoamento superficial é do tipo laminar (CASSOL et al., 2004), onde pode ter sua classificação, de acordo com o número de Froude, como lento ou rápido.

As características hidráulicas do escoamento na erosão em entressulcos são afetadas pela presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. A redução da velocidade do escoamento acontecerá caso aumente a cobertura do solo, pois aumentará a rugosidade hidráulica, bem como irá elevar a altura da lâmina de escoamento (CANTALICE et al., 2009).

A equação de Darcy-Weisbach consegue representar a resistência ao escoamento em regime laminar, é uma variável hidráulica aplicada para avaliar a perda de carga do escoamento (SCHONEBOOM et al., 2010). Essa equação é descrita da seguinte maneira:

$$f = \frac{8 g h s}{V m^2} \quad (3)$$

Em que: f = fator de perda de carga (adimensional); g = aceleração da gravidade ($m^2 s^{-1}$); h = altura da lâmina do escoamento (m); S = inclinação do declive ($m m^{-1}$); V_m = velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$).

Einstein em 1950 separou a resistência total do escoamento (f_t) para canais abertos em resistência partícula (f_g) e resistência de forma (f_f), onde:

$$f_t = f_g + f_f \quad (4)$$

2.4. Sistemas de produção agrícola e manejo no semiárido

Em toda a região semiárida, compreendida pelos estados do Nordeste, as bacias hidrográficas rurais são exploradas apenas nas épocas das chuvas e com pouco uso de tecnologia, sendo desenvolvido no sistema agrícola de agricultura de sequeiro, onde a mesma tem baixíssimo valor agregado, somando-se a atividade da pecuária extensiva (ALTIERI & KOOHAFKA, 2008). A caatinga é o tipo de vegetação predominante nessa região, vem sendo explorado por um manejo de solo inadequado, utilizando sempre a

prática da queima, a destoca e o uso de máquinas para preparo do solo antes do plantio com as primeiras chuvas. Este tipo de manejo nos solos, que são reconhecidamente pouco evoluídos no semiárido, favorece a diminuição da rugosidade das bacias hidrográficas e a rápidos escoamentos superficiais, ocasionando condições desfavoráveis para a conservação dos recursos naturais do solo, da água e da vegetação.

Esse tipo de manejo, afeta ainda os teores de carbono no solo, levando a sua diminuição, valendo salientar que já são baixos em função da hidrologia irregular, da singular cobertura vegetal da caatinga, da prevalência da evapotranspiração potencial em torno de 1600 mm em 9 meses do ano e das altas temperaturas que não favorecem ao acúmulo de matéria orgânica. Diante deste quadro a capacidade de uso do solo dessas bacias pode ser logo ultrapassada, ocasionando a diminuição da cobertura vegetal proporcionada pela Caatinga, produção de escoamentos superficiais, erosão do solo com voçorocamento nas vertentes agrícolas (fontes de sedimentos), sedimentação nos cursos de água e na rede de drenagem de regime temporário (intermitente).

Além disso, esse tipo de sistema de produção agrícola dependente de chuva, a falta de água para o consumo humano e para pequenas criações constitui a principal causa da baixa qualidade de vida do meio rural das zonas áridas e semiáridas, que correspondem a 55% das terras em todo o mundo e a 13% do território nacional brasileiro (DA SILVA MARTINS & NOGUEIRA, 2015). No Nordeste, a produção e a produtividade agrícola são limitadas pela irregularidade na distribuição espaço-temporal da chuva, podendo ser considerado fator mais grave do que sua falta propriamente dita (SILVA & REGO NETO, 1992). Portanto, em razão da grande pressão antrópica à qual são submetidas, as áreas semiáridas vêm sofrendo, ao longo do tempo, um sério processo de empobrecimento, em termos de raleamento, diminuição da altura média, número de espécies vegetais e abundância relativa das mesmas (SAMPAIO, 2002).

2.5. O papel da cobertura vegetal no controle da erosão em entressulcos

A vegetação tem papel fundamental no comportamento do escoamento superficial, pois proporciona resistência ao seu movimento em virtude de um conjunto de atributos que esta possui, tais como: forma da planta (copa, ramos, sistema radicular), dimensão, rigidez, diâmetro, altura, distribuição, densidade de plantas e o grau de submersão (HUI et al., 2010).

Segundo Silveira (2013), essas as características de resistência que a vegetação possibilita ao escoamento sofrem influência dependendo do tipo de densidade da vegetação, altura da lâmina e velocidade do escoamento. Ainda afirma o mesmo autor, que o grau de submersão, pode ser encontrando de forma diferente e em duas situações, que são: a altura da lâmina de escoamento encontra-se em um nível inferior à altura da vegetação, onde se atribui a denominação de vegetação emersa, e na situação em a lâmina sobrepõe por completo à vegetação, recebendo dessa forma a denominação de vegetação submersa.

Muitas pesquisas estão sendo feitas no intuito de avaliar esses dois tipos de vegetação e suas características, porém em sua maioria utilizam materiais sintéticos para simular essa vegetação, o que acaba por limitar a comparação com o ecossistema natural. A função da vegetação segundo Silva (2011) é de fundamental importância no que diz respeito ao processo de transporte de sedimento, toda via é necessário maiores pesquisas nesse sentido para que fique mais bem compreendido o papel que a vegetação emersa desempenha.

Os atuais estudos têm sido direcionados na busca de obter variáveis que busquem agrupar as forças de resistência ao fluxo, expressões ou modelagens que quantifiquem a resistência exercida pela vegetação ao fluxo. Dessa forma foi possível desenvolver o coeficiente de arraste vegetal e a tensão de arraste vegetal (SILVEIRA, 2013). Muitos autores destacam que a avaliação dos parâmetros de resistência ao escoamento provocado pela vegetação é necessária para a modelagem de fluxo em canais, em áreas sujeitas a inundação, áreas irrigadas e áreas de encosta (LEE et al. 2004; FENG-FENG et al. 2007).

Wu et al. (1999), desenvolveram uma das formulas que possibilita determinar o coeficiente de arraste vegetal, onde os mesmos para chegar a essa modelagem, realizaram um estudo em calha, considerando que o arraste provocado pela vegetação é igual à força gravitacional e o atrito gerado no fundo do canal, bem como nas laterais, é desprezível na presença de vegetação. Dessa forma, tem-se:

$$C'_D = \alpha \frac{2 gS}{Vm^2} \quad (5)$$

Onde: C'_D = coeficiente de arraste vegetal (m^{-1}); g = aceleração da gravidade ($m^2 s^{-1}$); S = declividade do fundo do canal ($m m^{-1}$); Vm = velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$);

$\alpha = \frac{h}{y'}$ com h = altura da lâmina de escoamento (m) e y = espessura da vegetação (m). Na

avaliação de vegetação emersa, α será igual a 1.

Já os autores Lee et al. (2004), desenvolveram uma proposta através de uma expressão para cálculo da tensão de arraste vegetal baseado em modelos descritos por vários pesquisadores, esta admite o fluxo através de um segmento vertical, estando as plantas em múltiplos arranjos espaciais. Bem como nessa expressão é desprezado o atrito no fundo do canal, devido seu efeito ser mínimo quando comparado com as forças de resistência ao fluxo em múltiplos arranjos de plantas. Expressado na seguinte fórmula:

$$\tau_{arraste} = \frac{C'_D a \rho V^2}{2} \quad (6)$$

Sendo: $\tau_{arraste}$ = tensão de arraste ($N\ m^{-3}$); C'_D = coeficiente de arraste vegetal (adimensional); a = área total projetada por plantas por unidade de volume (m^2m^{-3}) considerando o comprimento das folhas da gramínea; ρ = densidade da água ($kg\ m^{-3}$) e V = velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$). O valor de C'_D precisa ser multiplicado pela largura do fluxo para torna-lo adimensional e viabilizar sua aplicação na equação.

Wu et al. (1999), observaram utilizado rugosidade artificial para avaliar a resistência que a vegetação oferece em condições de emersão e submersão da lâmina de escoamento que, em condições de emersão da vegetação, para um número de Reynolds constante, o maior coeficiente de arraste vegetal ocorrerá no maior declive. Foi possível ainda identificar o aumento deste coeficiente com o aumento da rigidez e da densidade do material que foi utilizado para simular a vegetação.

3. EROSÃO ENTRESSULCOS EM ÁREAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO¹

Resumo

Nas últimas décadas, a cidade de Triunfo - PE, microrregião setentrional do Pajeú no estado de Pernambuco, Brasil, vem passando pelo processo de substituição de sua cobertura nativa por vários sistemas de produção agrícola, a exemplo principalmente de culturas anuais, palma forrageira, fruticultura, pastagens, etc. Esta mudança de uso da terra tem impacto muito grande no solo se tratando da erosão hídrica. Assim, esta pesquisa teve o mérito de analisar os parâmetros de rugosidade hidráulica gerados pelos diferentes tipos de sistemas de manejos agrícolas em condições de campo sob erosão em entressulcos. O presente estudo foi realizado em blocos casualizados com 4 tratamentos e 4 repetições, totalizando 16 parcelas experimentais. Os tratamentos foram montados em uma inclinação de 5% em um Neossolo Flúvico, sob diferentes tipos de sistemas agrícolas: solo descoberto, palma forrageira (*Opuntia stricta Haw*), serrapilheira de algaroba (*Prosopis juliflora*) e agrofloresta. A velocidade média do fluxo e a taxa de infiltração nos diferentes tipos de sistemas de manejos agrícolas teve pouca variância significativa, justificado pela pouca declividade presente na área e o tipo de solo que se encontravam os diferentes tipos de manejos avaliados. Os resultados deste estudo mostraram que a presença de cobertura vegetal no solo é de suma importância no controle/prevenção dos processos erosivos. Para os parâmetros analisados quanto as características hidráulicas do escoamento e de erosão, o sistema com serrapilheira de algaroba (*Prosopis juliflora*), seguido pelo com agrofloresta obtiveram as melhores respostas, podendo ser destacados menores valores em descargas líquidas, velocidade do escoamento, taxas de infiltração estabilizada de água no solo e rugosidade hidráulica, demonstrando assim, uma maior eficiência que os demais no controle da erosão entressulcos.

Palavras chaves: Chuva simulada; escoamento superficial; taxas de erosão.

¹ Trabalho submetido como FILHO, F. M. A. 200?. Erosão entressulcos em áreas de sistemas de produção agrícola no semiárido de Pernambuco. *Revista RAMA*.

Introdução

A erosão hídrica no solo se inicia com a erosão em entressulcos, decorrente de dois processos distintos: a separação do solo devido à ação de pingos de chuva no solo (efeito *splach*) e o fluxo de erosão em entressulcos, podendo esse, transportar o solo por fluxo terrestre, denominado de Fluxo laminar superficial (FOLTZ et al., 2009). Podemos destacar ainda diretamente ligados aos processos mencionados, três fatores, que são: escoamento, intensidade de precipitação e o ângulo de inclinação da área. Segundo Assouline & Bem-Hur (2006), o fator da declividade afeta diretamente os processos de desprendimento e transporte. À medida que aumento o grau da inclinação na superfície, conseqüentemente também aumenta a velocidade do escoamento, força do escoamento e o movimento, aumentando assim o potencial erosivo.

Conhecer esses processos é essencial para avaliar a extensão, causas da erosão do solo, para planejar medidas de conservação do solo e da água (DEFERSHA & MELESSE, 2012). Muitos estudos têm sido feitos com o intuito de melhor entender os muitos aspectos da erosão do solo, principalmente na questão do efeito da intensidade de chuva e / ou declive na dinâmica do processo de erosão. El Kateb et al. (2013) determinaram o grau de erosão do solo e de escoamento superficial a partir de diferentes gradientes de declive sob várias coberturas vegetais. Todos esses estudos indicaram que o grau de erosão do solo estava relacionado à intensidade da precipitação e ao gradiente da inclinação.

As propriedades físicas da superfície do solo mudam de forma significativa mediante o impacto da chuva, além de afetar as variações nas taxas de infiltração, teor de água do solo, na absorção da água, densidade aparente e na rugosidade da superfície (FOHRER et al., 1999). Segundo Assouline (2004), isso ocorre principalmente devido à formação de um selo de superfície criado principalmente pelas gotas da chuva. Segundo Norton (1987), após examinar em seus estudos a micromorfologia de selos superficiais desenvolvidos sob chuvas simuladas, concluiu que as diferenças na taxa de infiltração, desprendimento do solo (salpicos) ou resistência ao cisalhamento próximo da superfície, não podem ser entendidas através da porosidade total do selo da superfície do solo e sim pela infiltração final, pela porcentagem de poros ou rachaduras.

A presença de vegetação influencia na resistência ao escoamento e desempenha um importante papel, tendo em vista que pode ter um efeito significativo sobre o transporte do canal. A ocorrência de vegetação tem sido considerada muitas vezes um problema que

dificulta a capacidade do escoamento. Porém, vale salientar que a vegetação tem funções ecológicas fundamentais no meio ribeirinho (NEPF, 2012). Desta forma é recomendado preservar a vegetação natural de rios e várzeas, bem como, a restauração e a reabilitação dos mesmos. Segundo Jarvela (2002), com o intuito de melhor entender e lidar com novos objetivos de manejo, se faz necessário um melhor conhecimento dos efeitos hidráulicos da vegetação.

Segundo Hui et al. (2010) e Nepf (2012), o papel que a vegetação desempenha é de suma importância, no comportamento do escoamento, bem como para oferecer resistência ao seu movimento devido a um conjunto de atributos, sendo os mais importantes a forma da planta, tamanho, rigidez, diâmetro, altura, distribuição, densidade e grau de submersão.

A área de estudo deste trabalho vem sendo submetida a um processo de substituição de sua cobertura nativa por diversos tipos de lavouras nas últimas décadas, bem como pastos para alimentação de animais. Além disso, as áreas dominantes mostram em sua maioria um relevo montanhoso que, combinado com práticas inadequadas de sistemas de manejo adotados pela maioria dos produtores, resultam na degradação do solo, levando à ocorrência do processo de erosão que é facilmente identificado nessas áreas. No presente estudo, objetivou-se quantificar as taxas de erosão em entressulcos em diferentes tipos de sistemas de manejos agrícolas.

Material e métodos

Este estudo foi realizado em uma área com diferentes sistemas de produção agrícola, localizada na zona rural o Município de Triunfo, no estado de Pernambuco, Brasil ($7^{\circ}55'3.95''\text{S}$ e $38^{\circ}2'54.43''\text{W}$) figura 1.

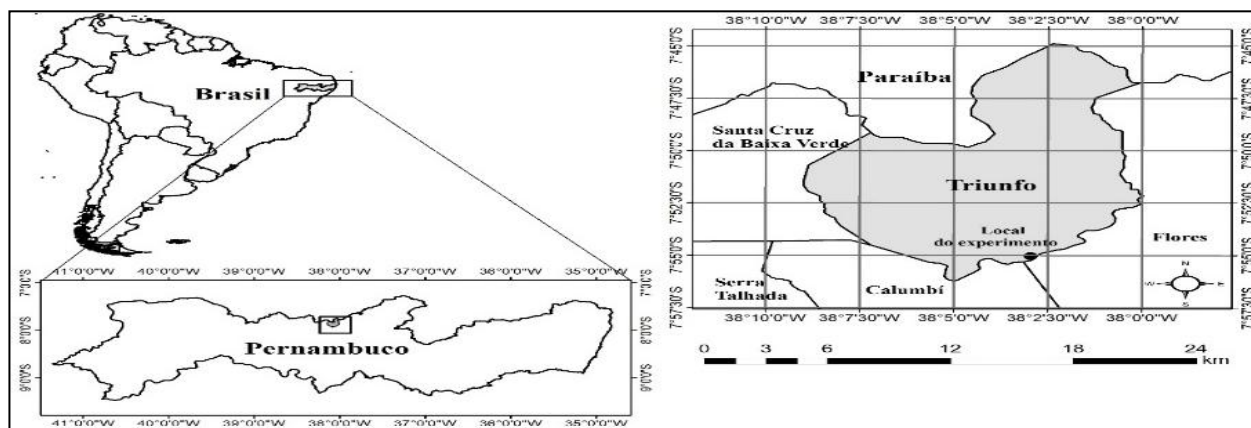


Figura 1. Localização do município de Triunfo – PE.

O município de Triunfo – PE compreende a parte setentrional do Vale do Pajeú Pernambucano com média de 1010 m de altitude acima do nível do mar. O relevo é predominantemente montanhoso. O clima na área de estudo é conforme a classificação de Köppen, conhecido como tropical de altitude. A temperatura média e a precipitação são iguais a 21 ° C e 1.400 mm, respectivamente. Segundo Solos, E. (2013), o solo da área de estudo foi classificado como Neossolo Flúvico, conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS).

Para as análises físicas (tabela 1), foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm em cada tratamento. As amostras foram secas ao ar e, passada numa peneira com malha de 2 mm. A caracterização do tamanho das partículas foi determinada pelo método do hidrômetro e, conforme o tamanho das partículas estabeleceu-se a classificação granulométrica do solo conforme estabelecida pela Embrapa (1997) como também os ensaios de densidade do solo e, porosidade total.

Tabela 2. Caracterização física do Neossolo Flúvico, sob as condições de solo descoberto, solo coberto por serrapilheira de algaroba, palma e agrofloresta na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.

| Sistemas de Manejos | AMG | AG | AM | AF | AMF | Argila | Silte | Dp | Ds |
|---------------------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|-----------------------|------|
| | (%) | | | | | | | (g cm ⁻³) | |
| Agrofloresta | 0,28 | 0,76 | 7,51 | 23,38 | 49,56 | 7,86 | 10,65 | 2,37 | 1,33 |
| Serrapilheira | 0,74 | 2 | 7,73 | 25,83 | 52,22 | 7,92 | 3,56 | 2,68 | 1,38 |
| Palma | 0,32 | 0,77 | 7,19 | 24,26 | 45,91 | 7,87 | 13,68 | 2,60 | 1,37 |
| Descoberto | 8,8 | 1,95 | 6,91 | 23,51 | 42,22 | 7,91 | 8,7 | 2,49 | 1,52 |

AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo.

O presente estudo foi realizado sob chuva simulada, em delineamento inteiramente casualizado nas condições de declive: 5%, em um Neossolos Flúvicos, sob 4 tratamentos, em 4 repetições, totalizando 16 parcelas experimentais com dimensões iguais a 1 m de largura por 2 m de comprimento, delimitadas por chapas de alumínio. Uma calha de alumínio foi posicionada no final de cada parcela experimental para realização da amostragem do escoamento, sedimento desagregado e transportado. Os tratamentos consistiram de solo descoberto, palma forrageira (*Opuntia stricta Haw*), serrapilheira de algaroba (*Prosopis juliflora*) e agrofloresta; ambos em áreas com 5% de declividade. A descarga de água por unidade de largura (q) foi obtida por amostragem de escoamento em potes de plástico colocados no final da calha e, foi expressa em m² s⁻¹. Foram recolhidas as amostras durante 30 s a cada 5 min durante os 40 min do teste em cada parcela experimental.

O aparelho para simular a chuva utilizado no presente estudo, foi construído de acordo com Meyer e Harmon (1979), possuindo um tipo de bico pulverizador VeeJet 80-150 diâmetro interno de 1/2 pol. O mesmo trabalha a uma pressão constante de 41 kPa, criando chuvas simuladas com pelo menos 85% de energia cinética, se comparado as chuvas naturais. A uma altura de 3,1 m acima da superfície do solo, foi colocado o bocal. No entorno da calha utilizada na área útil das parcelas foram colocados de forma aleatória 8 pluviômetros com o intuito de medir a intensidade média de precipitação simulada. A precipitação simulada foi aplicada durante 40 min a uma intensidade de 90 mm h⁻¹ em cada parcela de cada tratamento.

Avaliação das taxas de erosão em entressulcos

A erosão em entressulcos (suas taxas), que conseqüentemente são as taxas de desprendimento da erosão em entre sulcos e perdas de solos foram coletadas durante 30 s a cada 5 min durante os 40 min do teste. A relação da massa de solo seco e a mistura água-sedimento possibilitou quantificar a concentração de sedimentos em kg L⁻¹. O desprendimento de partículas do solo (Di) foi mensurado suas taxas de acordo com a expressão:

$$D_i = \frac{M_{ss}}{ADc} \quad (7)$$

em que Di = é a taxa de desprendimento da erosão em entressulcos (kg m⁻² s⁻¹); M_{ss} = é a massa de solo destacada (kg); A = é a área de traçado (m²); E Dc = é a duração da (s) amostragem (ns).

A perda de solo (SL) foi determinada de acordo com a equação:

$$SL = \frac{\sum(QCst)}{A} \quad (8)$$

Em que SL = é a perda de solo (Mg m⁻²); Q = é a taxa de água-sedimento (L s⁻¹); Cs = é a concentração de sedimento (kg L⁻¹); t = é o intervalo entre as amostragens (5 min); A = é a área de traçado (m²).

Avaliação do fluxo hidráulico

No caso da velocidade superficial (V_s) do fluxo, expressa em $m\ s^{-1}$, obteve-se tomando o tempo necessário para o corante (azul de metileno) percorrer a distância entre dois pontos fixos em cada parcela dos tratamentos. Etapa essa realizada em intervalos de 5 minutos após a formação e o movimento do fluxo. Os valores de velocidade de fluxo superficial obtidos foram multiplicados por um fator de correção ($\alpha = 2/3$) para obter a velocidade média de fluxo (m) em $m\ s^{-1}$, tal como (CASSOL et al., 2004 e BEZERRA & CANTALICE, 2006).

A descarga de água por unidade de largura (q) foi obtida através de amostragem de escoamento utilizando vasos de plástico colocados no fundo da calha e foi expressa em $m^2\ s^{-1}$. As amostras foram recolhidas a cada 5 min, 30 s por amostra. A profundidade de fluxo (h) foi obtida através da equação derivada por Woolhiser & Liggett (1967) e Singh (1983), solução de onda cinemática para a equação de Saint-Venant:

$$h = \frac{q}{V_m} \quad (9)$$

Em que h = é a profundidade de fluxo de água (m); q = é a descarga de água por unidade de largura ($m^2\ s^{-1}$) e V_m = é a velocidade média do fluxo ($m\ s^{-1}$). A equação utilizada para determinar a viscosidade cinemática foi à proposta por Julien (2010), com a temperatura ($^{\circ}C$) medida por um termômetro em cada teste:

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

Em que T é a temperatura da água em $^{\circ}C$. O número de Froude (Fr) foi obtido de acordo com Simons e Senturk (1992):

$$Fr = V_m / \sqrt{gh} \quad (11)$$

Em que Fr = é o número de Froude (adimensional) e g = é a aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$).

A taxa de infiltração foi obtida levando em consideração as diferenças entre as taxas de precipitação e escoamento gerado pela chuva simulada nos tratamentos. No caso

da intensidade da precipitação, foi determinada com oito medidas que foram colocadas aleatoriamente em torno das parcelas. Se tratando do coeficiente de escoamento, o mesmo foi obtido pela relação entre a taxa de fluxo superficial e a intensidade de chuva em cada tratamento.

Resultados e discussão

Consta da tabela 2 as características hidráulicas do escoamento gerado por chuva simulada sob os diferentes sistemas de produção e manejo do semiárido estudado. Observa-se na mesma, que para o tratamento com serrapilheira de algaroba, o valor da velocidade média do escoamento (V) foi de $0,15 \text{ m s}^{-1}$ apresentando diferenças significativas em relação a velocidade do escoamento superficial do solo descoberto ($0,37 \text{ m s}^{-1}$). A figura 2, mostra para os dados de todos os tratamentos, a redução da velocidade com a passagem da condição de solo descoberto para as diferentes coberturas vegetais, que promoveram incremento da resistência hidráulica (f) e, conseqüentemente, o livre escoamento do fluxo.

Tabela 3. Características hidráulicas do escoamento gerado por chuva simulada, sob as condições de solo descoberto, solo coberto por serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em um Neossolo Flúvico na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.

| Variáveis | Tratamentos | | | | Cv (%) |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| | Solo descoberto | Serrapilheira | Palma | Agrofloresta | |
| q ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) | $1,06 \times 10^{-05}$ AB | $5,38 \times 10^{-06}$ B | $2,15 \times 10^{-05}$ A | $4,85 \times 10^{-06}$ B | 89,00 |
| h (mm) | 0,293 B | 0,379 AB | 0,553 A | 0,152 B | 57,05 |
| V (m s^{-1}) | 0,037 A | 0,015 B | 0,034 AB | 0,033 AB | 46,91 |
| Re (adm) | 12,47 AB | 6,31 B | 25,32 A | 5,69 B | 89,00 |
| Fr (adm) | 0,83 AB | 0,27 A | 0,51 A | 0,95 A | 67,37 |
| f (adm) | 1,00 B | 15,32 A | 1,96 B | 1,46 B | 214,57 |

Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Duncan. q = descarga líquida; h = altura da lâmina do escoamento; V= velocidade de escoamento; Re = número de Reynolds; Fr = número de Froude; f = rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy Weisbach).

Devido à disposição vertical das raquetes da palma forrageira, não conseguiu ser muito eficiente como cobertura de solo, apresentando descarga líquida igual ao solo descoberto, que em conjunto apresentaram uma maior descarga líquida do que a condição

de serrapilheira de algaroba e agrofloresta, tendo esta última apresentado o menor valor. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2012) avaliando o efeito da erosão entressulcos em mata nativa.

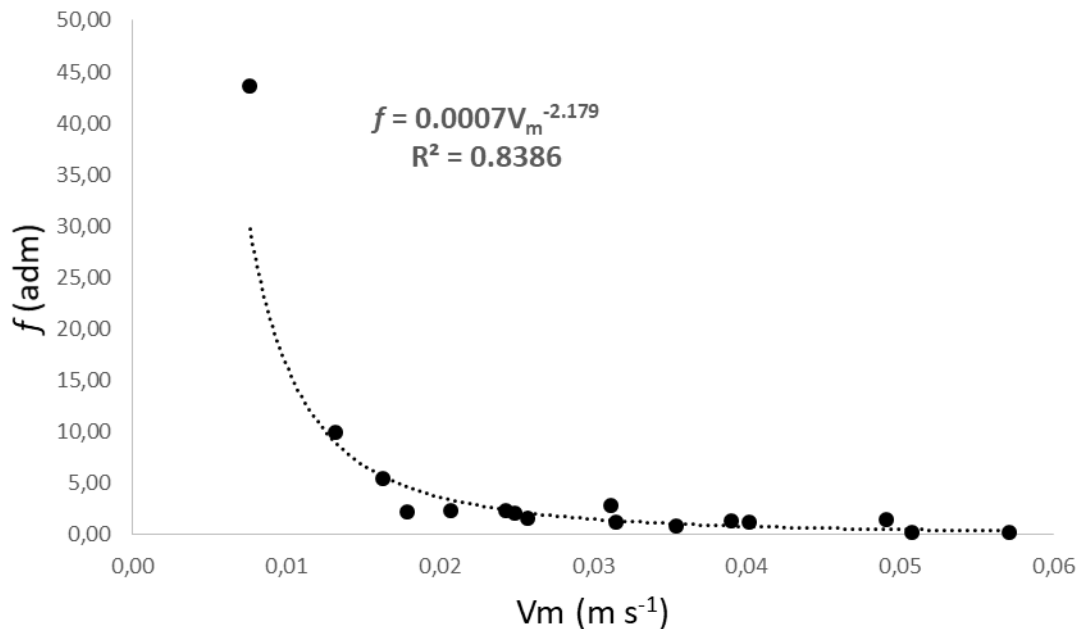


Figura 2. Relação da rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy-Weisbach f) e velocidade média do escoamento para todas as situações de promovidas pelos sistemas de produção agrícola estudados no semiárido pernambucano.

Resultados e comportamentos semelhantes aos encontrados no presente estudo para os parâmetros da rugosidade e velocidade do escoamento foram também observados por Piscoya. (2012) trabalhando na mesma região, porém, na bacia hidrológica do Riacho Jacu em um Cambissolo Háptico de textura arenosa (67% de areia, 19% de silte e 14% de argila).

A condição de escoamento reinante durante todo o experimento foi o laminar lento característico da erosão entressulcos conforme constatados nos valores dos números de Reynolds e Froude todos os tratamentos. Condições de escoamentos equivalentes para a erosão entressulcos obtido por chuva simulada também foram encontrados por diferentes autores Cassol et al., (2004); Bezerra & Cantalice., (2006); Cantalice et al., (2009); Oliveira et al., (2012); Piscoya (2012); Cantalice et al., (2017).

A condição de serrapilheira de algaroba pela sua maior rugosidade hidráulica possibilitou o retardo do escoamento, por conta do maior tempo de permanência de água na superfície do solo, o que permitiu um maior volume de infiltração nessa condição

(Tabela 3). O efeito proporcionado pela serrapilheira de algaroba no aumento dos volumes infiltrados confirma-se pela relação entre a elevação da rugosidade hidráulica (f) e elevação da infiltração de água no solo, e constatada pela redução do coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 4. Taxas de infiltração de água (Ti), coeficiente de escoamento superficial (C), vazão do escoamento (Q), taxas de desagregação do solo em entressulcos (Di) e perdas de solo (PS), obtidas as condições de solo descoberto, solo coberto com serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em Neossolos Flúvicos na bacia hidrográfica do Rio Pajeú.

| Variáveis | Tratamentos | | | | Cv (%) |
|------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|
| | Solo descoberto | Serrapilheira | Palma | Agrofloresta | |
| Ti (mmh ⁻¹) | 88,40 AB | 103,80 A | 67,88 B | 91,16 AB | 23,39 |
| C (adm) | 0,181 AB | 0,087 B | 0,372 A | 0,086 B | 88,78 |
| Q (m ³ s ⁻¹) | 1,06 x 10 ⁻⁰⁵ AB | 5,54 x 10 ⁻⁰⁶ B | 2,15 x 10 ⁻⁰⁵ A | 4,85 x 10 ⁻⁰⁶ B | 88,45 |
| Di (kg m ⁻² s ⁻¹) | 8,471 x 10 ⁻⁵ A | 8,37 x 10 ⁻⁶ A | 1,675 x 10 ⁻⁵ A | 2,406 x 10 ⁻⁵ A | 173,08 |
| PS (t ha ⁻¹) | 1,680 A | 0,2128 A | 0,4474 A | 0,3925 A | 175,56 |

Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Duncan.

Consta da figura 3 o comportamento das taxas de infiltração de água no solo e as descargas líquidas obtidas para todos os tratamentos estudados, observando-se o efeito de retardo do escoamento na passagem da condição de solo descoberto para a serrapilheira de algaroba e agrofloresta, que por conta da interceptação vegetal da chuva e impedimento ao livre escoamento e, portanto, maior infiltração dessa água interceptada. A palma apresentou valores de infiltração semelhante ao solo descoberto, por conta da superfície do solo esta descoberta e, uma possível compactação da superficial.

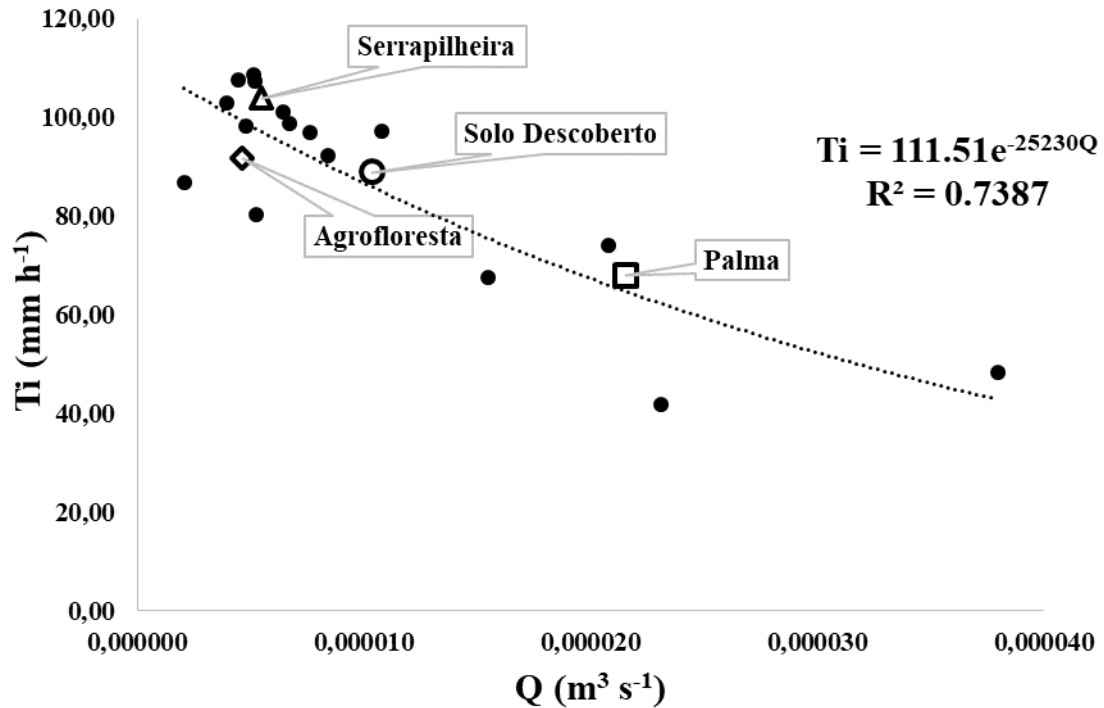


Figura 3. Regressões das taxas de infiltração de água no solo e as descargas líquidas observadas sob solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em Neossolo Flúvico da bacia hidrográfica do Rio Pajeú.

Consta da figura 4, o comportamento de redução exponencial dos valores numéricos das perdas de solo em função do aumento da rugosidade hidráulica, com a passagem da condição de solo descoberto para as condições de serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta, relações semelhantes foram obtidas anteriormente por Freitas et al. (2008); muito embora os valores de perdas de solo não terem sido significativamente diferentes. O valor de perdas de solo para o solo descoberto foi baixo, por conta do declive suave e, principalmente pelas altas taxas de infiltração de um Neossolo Flúvico em declive suave.

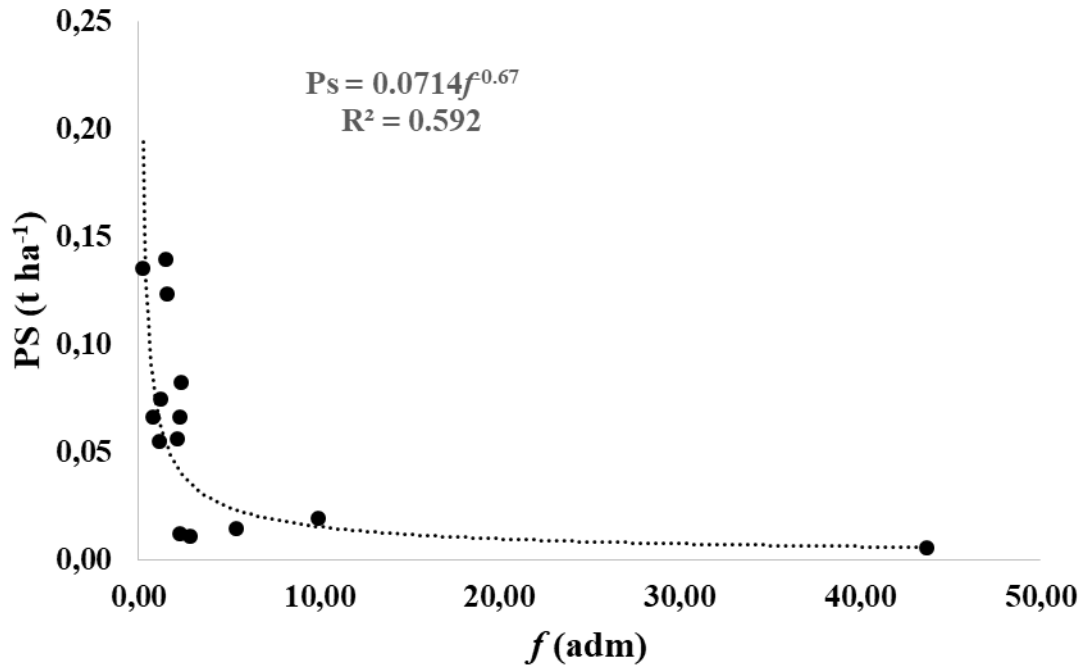


Figura 4. Perdas de solo (PS) observada em função da variação da rugosidade hidráulica (coeficiente de Darcy-Weisback f), para as condições solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta em um Neossolo Flúvico na bacia hidrográfica do Rio Pajeú.

As taxas de desagregação do solo em entressulcos (D_i) e a da rugosidade hidráulica (f) observada para as condições de Neossolo Flúvico descoberto, serrapilheira de algaroba, palma e agrofloresta, da mesma forma que as perdas de solo, apresentaram comportamento de redução exponencial, como pode ser observado na figura 5, quando da passagem da condição do Neossolo descoberto para a sequência agrofloresta, palma forrageira e serrapilheira de algaroba com a elevação da rugosidade hidráulica criadas pela sequência acima das coberturas vegetais.

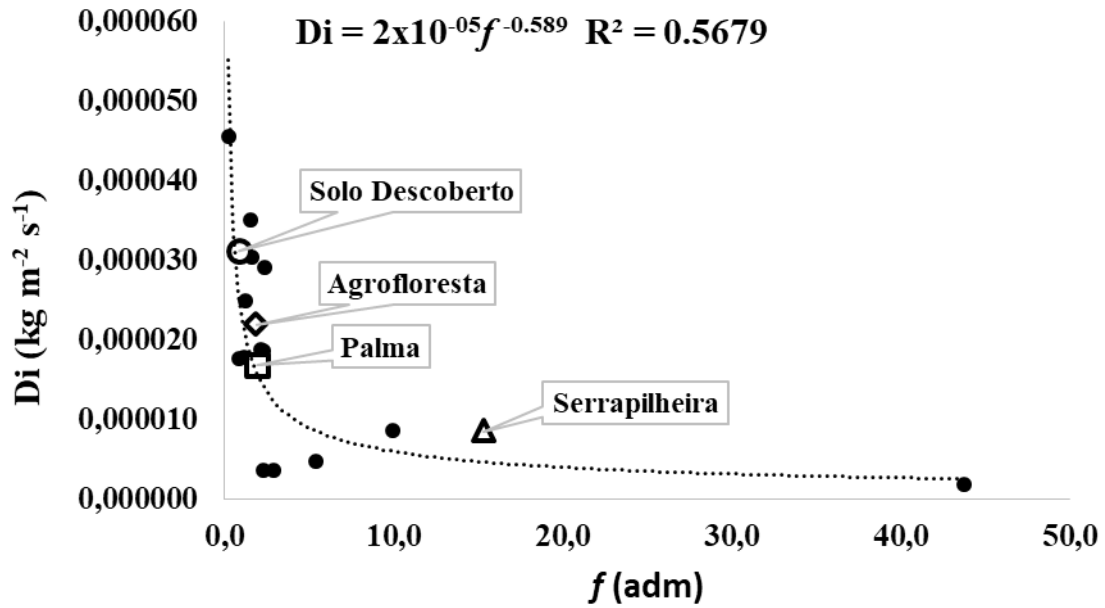


Figura 5. Taxas de desagregação do solo em entressulcos (D_i) em função da variação da rugosidade hidráulica (f) para as condições de solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma e agrofloresta, de um Neossolo Flúvico na bacia hidrográfica do Rio Pajeú.

Os elevados valores de taxa de infiltração de água final ou estabilizada observados no solo ao longo do tempo para a serrapilheira de algaroba e agrofloresta por meio do ajuste de Kostiakov (figura 6), com exceção do solo sob Palma pela compactação apresentada, confirmam os valores baixos de perdas de solo, anteriormente comentados, e os baixos coeficientes de determinação apresentados representam pouca retenção pela matriz do solo.

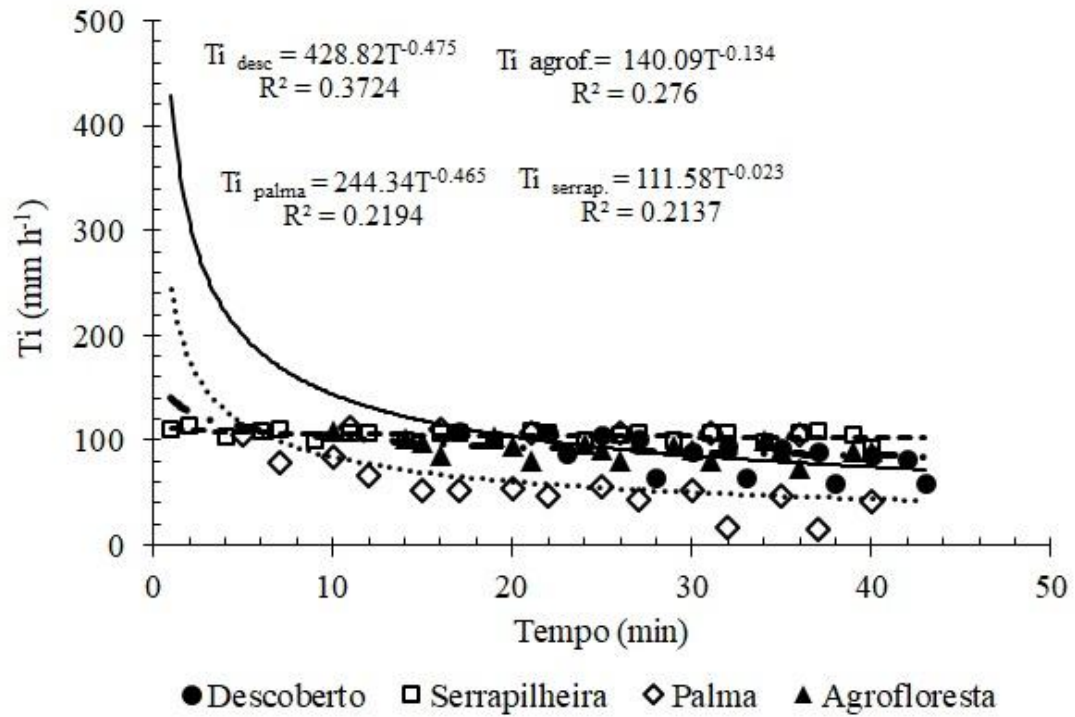


Figura 6. Taxas de infiltração de água no solo para as condições de solo descoberto, serrapilheira de algaroba, palma forrageira e agrofloresta, de um Neossolo Flúvico na bacia hidrográfica do Rio Pajeú.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo mostraram que a presença de cobertura vegetal no solo é de suma importância no controle/prevenção dos processos erosivos. Referente às características hidráulicas do escoamento e de erosão, podemos destacar que o sistema com serrapilheira de algaroba, seguido pelo com agrofloresta obtiveram as melhores respostas na maioria dos parâmetros observados, a exemplo de menores valores em descargas líquidas, velocidade do escoamento, taxas de infiltração estabilizada de água no solo e rugosidade hidráulica, demonstrando assim, uma maior eficiência que os demais no controle da erosão em entressulcos.

REFERÊNCIAS

- Altieri, M. A., Parviz, K. (2008). Fazendas duradouras: alterações climáticas, pequenos agricultores e comunidades agrícolas tradicionais. Vol. 6. Rede do Terceiro Mundo (TWN).
- Amorim, R. S., Silva, D. D., Pruski, F. F., Matos, A. D. (2001). Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(1), 124-130.
- Armstrong, A., Quinton, J. N., Heng, B. C. P., Chandler, J. H. (2011). Variability of interrill erosion at low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(1), 97-106.
- Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W., Rouhipour, H. (2007). Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 711-724.
- Assouline, S. (2004). Rainfall-induced soil surface sealing. *Vadose Zone Journal*, 3(2), 570-591.
- Assouline, S., Ben-Hur, M. (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66(3), 211-220.
- Atucha, A., Merwin, I. A., Brown, M. G., Gardiazabal, F., Mena, F., Adiazola, C., Lehmann, J. (2013). Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. *Plant and Soil*, 368(1-2), 393-406.
- Barnes, N., Luffman, I., Nandi, A. (2016). Gully erosion and freeze-thaw processes in clay-rich soils, northeast Tennessee, USA. *GeoResJ*, 9, 67-76.
- Bezerra, S. A., Barros Cantalice, J. R., Cunha Filho, M., Silva Souza, W. L. D. (2010). Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do Semiárido do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(4).
- Bezerra, S. A., Cantalice, J. R. B. (2006). Interrill erosion under different conditions of soil cover of sugarcane. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(3), 565-573.
- Cantalice, J. R. B., Silveira, F. P. M., Singh, V. P., Silva, Y. J. A. B., Cavalcante, D. M., Gomes, C. (2017). Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands. *Catena*, 148, 111-116.
- Barros Cantalice, J. R., Augusto Bezerra, S., Lima Oliveira, O. F., Oliveira de Melo, R. (2009). Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. *Revista Caatinga*, 22(2).
- Cassol, E. A., Cantalice, J. R. B., Reichert, J. M., Mondardo, A. (2004). Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(7), 685-690.
- da Silva Martins, S. C. A., Nogueira, N. O. (2015). Captação de água da chuva em propriedades rurais. *Nucleus*, 12(1), 87-106.

Defersha, M. B., Quraishi, S., Melesse, A. (2011). The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7), 2367-2375.

Defersha, M. B., Melesse, A. M. (2012). Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*, 90, 47-52.

El Kateb, H., Zhang, H., Zhang, P., Mosandl, R. (2013). Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: a field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 105, 1-10.

Gu, F. F., Ni, H. G., Qi, D. M. (2007). Roughness coefficient for unsubmerged and submerged reed. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 19(4), 421-428.

Foltz, R. B., Copeland, N. S., Elliot, W. J. (2009). Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2542-2550.

Fohrer, N., Eckhardt, K., Haverkamp, S., Frede, H. G. (1999). Effects of land use changes on the water balance of a rural watershed in a peripheral region. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 40(5), 202-206.

Freitas, F. J. D., Barros Cantalice, J. R., Bezerra, S. A., Rodrigues de Oliveira Silva, M. D., Medeiros do Santos, P., Matos Correa, R., Barbosa Figueira, S. (2008). Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4).

Fu, S., Liu, B., Liu, H., Xu, L. (2011). The effect of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena*, 84(1), 29-34.

Govers, G., Giménez, R., Van Oost, K. (2007). Rill erosion: exploring the relationship between experiments, modelling and field observations. *Earth-Science Reviews*, 84(3), 87-102.

Hu, Y., Fister, W., Kuhn, N. J. (2013). Temporal variation of SOC enrichment from interrill erosion over prolonged rainfall simulations. *Agriculture*, 3(4), 726-740.

Hui, E. Q., Hu, X. E., Jiang, C. B., ZHU, Z. D. (2010). A study of drag coefficient related with vegetation based on the flume experiment. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 22(3), 329-337.

Järvelä, J. (2002). Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. *Journal of Hydrology*, 269(1), 44-54.

Julien, P. Y. (2010). *Erosion and sedimentation*. Cambridge University Press.

Lee, J. K., Roig, L. C., Jenter, H. L., Visser, H. M. (2004). Drag coefficients for modeling flow through emergent vegetation in the Florida Everglades. *Ecological Engineering*, 22(4), 237-248.

Liu, Q. Q., Xiang, H., Singh, V. P. (2006). A simulation model for unified interrill erosion and rill erosion on hillslopes. *Hydrological processes*, 20(3), 469-486.

Meyer, L. D., Harmon, W. C. (1979). Multiple-intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, 22(1), 100-0103.

- Moghadam, B. K., Jabarifar, M., Bagheri, M., Shahbazi, E. (2015). Effects of land use change on soil splash erosion in the semi-arid region of Iran. *Geoderma*, 241, 210-220.
- Mohammad, A. G., Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, 81(2), 97-103.
- Morgan, R. P. C. (1996). *Soil Conservation*. England, Longman Limited, 2a edição, 198 p.
- Nearing, M. A. (1997). The mechanics of soil detachment by raindrops and runoff. *Eurasian soil science*, 30(5), 552-556.
- Nepf, H. M. (2012). Hydrodynamics of vegetated channels. *Journal of Hydraulic Research*, 50(3), 262-279.
- Norton, L. D. (1987). Micromorphological study of surface seals developed under simulated rainfall. *Geoderma*, 40(1-2), 127-140.
- Oliveira, F. P. D., Buarque, D. C., Viero, A. C., Merten, G. H., Cassol, E. A., Minella, J. P. G. (2012). Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. Vol. 16, n. 4 (2012), p. 337-346*.
- Paula, D. T. D., Martins Filho, M. V., Farias, V. L., Siqueira, D. S. (2016). Clay and phosphorus losses by erosion in oxisol with sugarcane residues. *Engenharia Agrícola*, 36(6), 1063-1072.
- Piscoya, V. C. (2012). Manejo em bacia hidrográfica do riacho Jacu: produção de sedimentos, dimensionamento de faixa de vegetação ciliar e salinidade da água em barragem subterrânea.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices*. Prentice Hall.
- Quinton, J. N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R. D. (2010). The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, 3(5), 311-314.
- Rahma, A. E., Wang, W., Tang, Z., Lei, T., Warrington, D. N., Zhao, J. (2017). Straw mulch can induce greater soil losses from loess slopes than no mulch under extreme rainfall conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 141-151.
- Römken, M. J., Helming, K., Prasad, S. N. (2002). Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, 46(2), 103-123.
- Sampaio, E. V. (2002). *Vegetação e flora da caatinga*. APNE/CNPI.
- Schoneboom, T., Aberle, J., Dittrich, A. (2010, September). Hydraulic resistance of vegetated flows: Contribution of bed shear stress and vegetative drag to total hydraulic resistance. In *River flow* (pp. 269-276).
- Shi, Z. H., Fang, N. F., Wu, F. Z., Wang, L., Yue, B. J., & Wu, G. L. (2012). Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology*, 454, 123-130.
- Silva, G. R. V. D., Souza, Z. M. D., Martins Filho, M. V., Barbosa, R. S., & Souza, G. S. D. (2012). Soil, water and nutrient losses by interrill erosion from green cane cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(3), 963-970.

Silva, Y. J. A. B. 2011. Interference of hydraulic roughness generated by unsubmerged vegetation on sediment transport in capibaribe river. 48p. (Dissertação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Silva, D. D., & Rego Neto, J. (1992). Avaliação de barragens submersíveis para fins de exploração agrícola no semi-árido. In Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Natal, Anais ABID (Vol. 1, No. 9, pp. 335-361).

Silveira, F. P. D. M. (2013). Erosão em entressulcos e parâmetros de rugosidade vegetal em área de pastagem.

Simons, D. B., & Şentürk, F. (1992). Sediment transport technology: water and sediment dynamics. Water Resources Publication.

Singh, V. P. (1983). Analytical solutions of kinematic equations for erosion on a plane II. Rainfall of finite duration. *Advances in Water Resources*, 6(2), 88-95.

Solos, E. (1997). Manual de métodos de análise de solo. *Rio de Janeiro: Embrapa Solos*.

Solos, E. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro*.

Woolhiser, D. A., & Liggett, J. A. (1967). Unsteady, one- dimensional flow over a plane—The rising hydrograph. *Water Resources Research*, 3(3), 753-771.

Wu, F. C., Shen, H. W., & Chou, Y. J. (1999). Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), 934-942.

Yen, B. C. (2002). Open channel flow resistance. *Journal of hydraulic engineering*, 128(1), 20-39.