



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

**CROSTA SUPERFICIAL E EROSÃO EM ENTRESSULCOS EM DUAS CLASSES
DE SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

DANILLO DUTRA TAVARES

Areia - PB

2016

DANILLO DUTRA TAVARES

**CROSTA SUPERFICIAL E EROSÃO EM ENTRESSULCOS EM DUAS CLASSES
DE SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
da Paraíba como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

Areia - PB

2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

T231c Tavares, Danilo Dutra.

Crosta superficial e erosão em entressulcos em duas classes de solos do Estado da Paraíba / Danilo Dutra Tavares. - Areia: UFPB/CCA, 2016.
xi, 46 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Flávio Pereira de Oliveira.

1. Erosão de solos – Simulação de chuva 2. Erosão em entressulcos 3. Crosta superficial I. Oliveira, Flávio Pereira de (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU 631.4

DANILLO DUTRA TAVARES

**CROSTA SUPERFICIAL E EROSÃO EM ENTRESSULCOS EM DUAS CLASSES
DE SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA**

Aprovado em: 16 de Maio de 2016

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.
DSER/CCA/UFPB
ORIENTADOR

Prof. Raphael Moreira Beirigo, Dr.
DSER/CCA/UFPB
EXAMINADOR

Adriana Ferreira Martins, Dra.
PNPD/CAPES/PPGCS
EXAMINADOR

Com todo amor, carinho, respeito, satisfação e gratidão àqueles que sempre estiveram ao meu lado, que nunca mediram esforços para que eu pudesse estudar e sempre acreditaram em mim, que um dia eu poderia conquistar mais essa vitória.

Dedico aos meus pais Renildes Tavares e Marília Dutra.

DEDICO

A Deus, pelas bênçãos concedidas ao longo da minha vida e por estar sempre me protegendo e guiando; sem Ele não teria chegado onde estou.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por mais essa oportunidade que Ele me proporcionou, mais essa porta aberta no meu caminho. E mesmo com as dificuldades que enfrentei, o Senhor nunca me abandonou, deu-me forças e ajudou-me a chegar até aqui.

Aos meus pais Renildes Tavares e Marília Dutra, aos meus irmãos Bruno Dutra e Artur Dutra, aos meus avós Jacy Tavares e Maria Amaro (in memorian), Severino Pereira (in memorian) e Maria Nilza, essa que sempre me acolheu na sua casa durante todos os dias ao longo do curso e aos demais familiares por todo apoio e confiança em mim depositado ao longo desta caminhada.

Ao meu padrinho Fernando, que sempre me apoiou e ficou até altas horas me deixando usar os seus computadores para que eu pudesse realizar pesquisas e escrever trabalhos.

Aos Professores pelo conhecimento transmitido e capacitação, aos funcionários do Centro de Ciências Agrárias, pelo esforço e dedicação as atividades realizadas contribuindo assim para um bom funcionamento do Campus.

Aos amigos Josevaldo, José Gomes, Mateus e Gustavo que me ajudaram fortemente na realização dos trabalhos de simulação de chuva.

Ao professor Flávio Pereira de Oliveira, pela orientação, apoio, amizade e conhecimento transferido o qual levarei para o resto de minha vida.

A professora Adriana e ao professor Raphael, pela disponibilidade em poder participar da minha banca examinadora.

Ao Técnico de laboratório de Física do Solo Robeval, grande amigo que deu apoio e auxiliou durante o curso e no desenvolvimento das análises, ao técnico de laboratório e professor Francisco de Assis, amigo que tem dado toques importantes na vida acadêmica.

A todos os amigos, que entraram juntos comigo na turma em 2011.1 e aos demais que chegaram ao longo do curso de agronomia da UFPB, companheiros esses que passaram noites estudando, dividiram preocupações e alegrias, tornando os momentos vivenciados nesses anos de curso mais divertidos.

Sumário

Sumário	viii
Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	x
Resumo	xi
Abstract	xii
1. Introdução	1
2. Objetivo geral	3
2.1. Objetivos específicos	3
3. Revisão de literatura	4
3.1. Erosão do solo	4
3.1.1. Erodibilidade do solo	5
3.1.2. Erosão em entressulcos	6
3.1.3. Crosta superficial.....	8
3.2. Classes de solos e a susceptibilidade a erosão	11
3.3. Práticas de prevenção no processo de erosão do solo	11
4. Material e métodos	13
4.1. Local e solo	13
4.2. Caracterização física do solo	14
4.2.1. Análise granulométrica do solo	14
4.2.2. Argila dispersa em água e grau de floculação.....	14
4.2.3. Densidade do solo, partícula e porosidade total.....	14
4.2.4. Estabilidade dos agregados	15
4.3. Instalação e realização do estudo	15
4.4. Aplicação das chuvas simuladas.....	15
4.5. Determinação das perdas de solo e água	15
4.6. Cálculo da taxa de desagregação e da erodibilidade do solo em entressulcos .	15
4.7. Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos	15
5. Resultados e discussão	20
5.1. Caracterização física do solo	20
5.2. Características hidráulicas do escoamento das chuvas simuladas	23
6. Considerações finais	31
7. Referências	32

Lista de tabelas

Tabela 1.	Histórico e descrição dos usos das áreas experimentais estudadas no Latossolo Amarelo Distrófico e Neossolo Regolítico Distrófico	13
Tabela 2.	Análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação e classificação textural da camada superficial	21
Tabela 3.	Densidade do solo, de partículas e porosidade total de áreas na camada superficial do solo	22
Tabela 4.	Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos para as três chuvas simuladas obtidas em condições de laboratório	24
Tabela 5.	Valores médios de erodibilidade do solo em entressulcos, obtidos em condições de laboratório, sob chuva de 85 mm h^{-1} ($l = 2,36 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$) e declividade de $0,10 \text{ m m}^{-1}$ ($S_f = 0,4791$) .	26

Lista de figuras

- Figura 1.** Taxa de desagregação para Neossolo (a) e Latossolo (b) sob diferentes condições de uso do solo nas simulações em relação ao tempo **27**
- Figura 2.** Perda de solo para Neossolo (a) e Latossolo (b) sob diferentes condições de uso nas simulações em relação ao tempo **29**

TAVARES, D. D. **Crosta superficial e erosão em entressulcos em duas classes de solos do estado da Paraíba**. Areia: UFPB, 2016. 46 f. (Monografia – Curso de Agronomia).

Resumo

A erosão do solo é um fenômeno complexo, que envolve a desagregação, o transporte e a deposição das partículas de solo. Diversas são as consequências decorrentes do processo erosivo. No entanto, a erosão em entressulcos é uma das formas mais danosas, pois remove a camada mais superficial do solo, onde se encontram a matéria orgânica, os nutrientes e os insumos agrícolas, que favorecem a produção agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar nos solos com diferente grau de desenvolvimento pedogenético a formação da crosta superficial e como essa interfere na erosão entressulcos a partir da simulação de chuvas em laboratório. Para a realização deste estudo foram selecionados dois solos, conforme o grau de desenvolvimento pedogenético, representativos do estado da Paraíba, sendo Neossolo Regolítico (menos desenvolvido) e Latossolo Amarelo (mais desenvolvido), ambos das localidades de Areia e Pocinhos, respectivamente. Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade. Os testes foram realizados em parcelas experimentais em laboratório onde foram aplicadas em três eventos sequenciados, separados por um período de sete dias. Foram avaliadas taxas de desagregação, perdas de solo e erodibilidade do solo em entressulcos, e caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento. De acordo com os resultados, a primeira simulação obteve as maiores taxas de perdas de solo e taxas de desagregação, havendo uma diminuição dessas taxas das simulações. As diferenças observadas entre as simulações foram decorrentes apenas das condições relativas da resistência do solo, que variam de acordo com a aplicação das simulações de chuva.

Palavras chave: Entressulcos, crosta superficial, simulação de chuva.

TAVARES, D. D. **Surface crust and interrill erosion in two classes of soils of the state of Paraíba.** Areia: UFPB, 2016. 46 f. (Monografia – Curso de Agronomia).

Abstract

Soil erosion is a complex phenomenon that involves detachment, transport and deposition of soil particles. Several are the consequences of erosion. However, the erosion in interrill is one of the most harmful forms because it removes the most superficial layer of soil, where organic matter, nutrients and agricultural inputs, favoring agricultural production. The objective of this study was to evaluate the soils with different levels of development pedogenetic formation of surface crust and how this interferes with interrill erosion from rainfall simulation laboratory. For this study were selected two soils, according to the degree of pedogenetic development, representative of the state of Paraíba, being Entisol (less developed) and Oxisol (most developed), both the towns of Areia and Pocinhos respectively. Soil samples were collected at 0-20 cm deep. The tests were performed on plots in the laboratory where they were applied in three events sequenced, separated by a period of seven days. Detachment rates were evaluated, soil loss and soil erodibility in interrill, and characterization of hydraulic variable flow. According to the results, the first simulation had the highest soil loss rates and detachment rate, with a decrease in these rates over the simulations. The differences between the simulations were due on conditions for soil resistance, which vary according to the application of rainfall simulations.

Keywords: Interrill, surface crust, rainfall simulation.

1. Introdução

A erosão do solo é um fenômeno complexo, que envolve a desagregação e o transporte das partículas de solo, a infiltração da água no solo, o armazenamento de parte da água precipitada e o escoamento superficial (Romkens et al., 2001). O processo de erosão hídrica foi subdividido por Meyer et al. (1975), em erosão em entressulcos e em sulcos, conforme as características dos fluxos e a origem dos sedimentos.

A erosão do solo em entressulcos é resultante do processo de desagregação das partículas do solo pelo impacto das gotas de chuva e do transporte das partículas desagregadas, pela delgada lâmina de escoamento (Foster, 1982). É considerada uma das formas mais danosas, pois remove a camada mais superficial do solo, onde se encontram os maiores teores de matéria orgânica, os nutrientes e os insumos agrícolas, que favorecem a produção agrícola, alterando também as condições para ocorrência dos processos microbianos que se refletem na fertilidade do solo, pela decomposição do material orgânico, disponibilizando os nutrientes para as plantas insumos agrícolas, que favorecem a produção agrícola (Cantalice, 2002). A alta concentração de nutrientes associados aos sedimentos finos indica que não se deve desprezar este tipo de erosão como mecanismo de transporte, sendo importante se estudar e quantificar os sedimentos transportados pelo escoamento (Palis et al., 1990).

A desagregação e o transporte das partículas do solo ocorrem quando há ruptura do equilíbrio natural existente no solo, e as forças advindas de fatores climáticos, como a chuva e o vento, passam a ser capazes de desequilibrar esse sistema. Associadas a outros fatores relativos às condições do terreno sobre o qual a chuva incide, essas forças determinam a intensidade do processo erosivo. Dentre os fatores relacionados às condições do terreno que interferem no processo erosivo, destacam-se a declividade, a capacidade de infiltração de água no solo, a distância percorrida pelo escoamento superficial, a rugosidade superficial, a resistência do solo à ação erosiva da água e a percentagem de cobertura do solo existente à época da ocorrência da chuva (Eltz & Norton, 1997; Meyer & Harmon, 1992; Reichert et al., 1994).

Com o uso e o manejo do solo inadequado, faz com que ocorra a formação de crostas superficiais. Esse processo é decorrente do impacto das gotas de chuva

através da ação física de desintegração dos agregados do solo e da ação físico-química, incluindo a dispersão de agregados, movimento das partículas e a influência da troca de cátions, atuando de modo que obstruem os poros formando uma camada menos permeável na superfície (Zejun et al., 2002). As gotas da chuva, quando colidem com a superfície do solo, geram compressão e cisalhamento, com grande capacidade de desagregação pela dissipação de sua energia cinética (Nearing et al., 1986).

O processo de revolvimento contínuo do solo pelo preparo causa diversos problemas às características físicas do solo, pois fragmenta seus agregados, deixando sobre a superfície maior quantidade de partículas desagregadas, ficando disponíveis para o transporte, o que contribui para diminuir a retenção e a infiltração superficiais de água, além de aumentar a enxurrada e a erosão. (Burwell & Larson, 1969; Cogo, 1981).

O controle da erosão é a ação mais importante da conservação do solo, englobando práticas que visam manter e melhorar a qualidade dos solos (Barreto, 2007). Práticas conservacionistas são uma das formas mais viáveis de controlar a erosão em terrenos onde os fatores chuva, solo e topografia favoreçam a aceleração do processo. Nas áreas onde ocorre à erosão laminar, em que a energia de impacto das gotas de chuva é fundamental no processo de desagregação, os resíduos vegetais na superfície podem reduzir consideravelmente a erosão hídrica. De acordo com Bagatine et al. (2011), métodos conservacionistas devem ser empregados para a prevenção e/ou controle da erosão, é visto que solos sob regiões com vegetação são menos propensos a ação erosiva.

2. Objetivo geral

Avaliar em duas classes de solos a formação da crosta superficial e como essa interfere na erosão entressulcos a partir da simulação de chuvas em laboratório.

2.1. Objetivos específicos

a) Realizar a determinação de atributos físicos em Latossolo Amarelo e Neossolo Regolítico;

b) Caracterizar as variáveis hidráulicas do escoamento sob chuva simulada tais como, velocidade e altura do escoamento, e a resistência ao escoamento sob solo descoberto.

3. Revisão de literatura

3.1. Erosão do solo

Em pesquisas procedidas no Nordeste do Brasil, verificou-se perdas médias anuais de solo que variaram de 27 a 94 t ha⁻¹ (Margolis et al., 1985 e Silva et al., 1989). Essas perdas citadas corroboram com a derrubada anualmente da vegetação nativa para produção de lenha e para plantio no sistema de agricultura itinerante. Nesses locais, após a retirada da madeira aproveitável, o material vegetal é queimado e o local abandonado ao crescimento da vegetação espontânea ou cultivado por alguns anos antes do abandono (Freitas et al., 2008), por consequência se apresentam solos expostos as intempéries do ambiente, favorecendo a perda de sedimentos. Santos et al. (2007), evidencia que nas regiões semiáridas, como é o caso de parte do Nordeste do Brasil, a degradação dos solos pela erosão hídrica é um sério problema e por isso vem sendo estudada nas últimas décadas por órgãos e pesquisadores que se preocupam com os aspectos e as relações socioeconômicas e físicas do semiárido. No Brasil, são perdidos mais de 500 milhões de toneladas de solos todos os anos (Bertoni & Lombardi, 1999). Além do impacto da erosão sobre o potencial produtivo das terras, a enxurrada e os sedimentos originados podem assorear baixadas e corpos d'água bem como servir de fonte dispersa de poluentes ou nutrientes (Clark II et al., 1985) constituindo uma das principais formas de degradação dos recursos hídricos (McCool & Renard, 1990). Quando há um controle eficiente das fontes pontuais de poluição, os sedimentos originados nas áreas de produção agrícola passam a constituir a principal fonte poluidora das águas superficiais (Gomez, 1995; Hasenpusch, 1995).

A erosão do solo tem sido definida como “a desagregação e o transporte de solo por agentes erosivos” (Ellison, 1947). A erosão geológica ou normal é a erosão do solo em seu ambiente natural, não alterado pela atividade humana, incluindo os processos de intemperização e a remoção dos materiais pela gravidade, vento, água e gelo, ativos através do tempo geológico. “A erosão acelerada é a erosão com uma taxa excedente a taxa natural ou de gênese do solo” (Gottschalk, 1965).

Em condições normais, o desgaste da superfície por erosão é compensado pela contínua alteração das rochas, mantendo-se dessa forma o perfil do solo. No entanto, a ruptura do equilíbrio natural pode resultar em erosão acelerada, que atua de forma mais rápida que o processo de formação dos solos, impedindo a regeneração dos mesmos (São Paulo, 1989).

A erosão do solo pode ser estimada de forma quantitativa e qualitativa, Chaves et al. (1996), fala que as duas formas apresentam vantagens e desvantagens. A análise qualitativa não permite a obtenção de valores numéricos, importante para a estimativa da degradação do solo e da sedimentação. Já a análise quantitativa permite a estimativa da erosão absoluta, facilitando o planejamento conservacionista. Entretanto modelos quantitativos exigem um maior conhecimento por parte do usuário, além de requerer mais informações do que os modelos qualitativos.

A erosão hídrica é um dos principais processos associados à degradação ambiental, podendo ser definida como um processo de desagregação e transporte das partículas do solo causado por agentes erosivos (Griebeler et al., 2001; Römken et al., 2001). A erosão hídrica é manifestada pelo desprendimento e transporte acelerado das partículas do solo causado pelo movimento da água. O escoamento superficial das águas da chuva transporta partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução (Rufino et al., 1996). Esse transporte é feito de forma seletiva, com os sedimentos mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo, de colóides minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de elementos minerais (Bertol et al., 2007). Dessa forma, a erosão reduz a capacidade produtiva das culturas, além de causar sérios danos ambientais, como: assoreamento e poluição das fontes de água (Zartl et al., 2001; Cogo et al., 2003).

A erosão hídrica e a produção de sedimentos têm sido consideradas como os problemas ambientais mais importantes do mundo (Bakker et al., 2007), podendo causar a perda de grandes quantidades de nutrientes, matéria orgânica, defensivos agrícolas e sementes, carregados juntamente com os sedimentos removidos pelo escoamento superficial, causando redução da capacidade produtiva dos solos e aumento da transferência de sedimentos e poluentes para os corpos de água (Merten & Minella, 2003; Minella et al., 2007). Estes fatores, conseqüentemente, incorrem em prejuízos econômicos à atividade agrícola e a sociedade como um todo (Bertol et al., 2007).

3.1.1. Erodibilidade do solo

O termo erodibilidade refere-se à vulnerabilidade ou à suscetibilidade de um solo à erosão, que é a recíproca de sua resistência (Hudson, 1995), dependendo das propriedades que influenciam sua resistência à desagregação pelo fluxo

superficial. A erodibilidade de um solo pela água dependerá: (a) das propriedades que atuam na resistência do solo à desagregação pela água e (b) das propriedades que afetam seu transporte pela água (Ellison, 1946). Ambos são processos que dependem da estabilidade dos agregados.

Entre os atributos do solo que afetam a erodibilidade em entressulcos, a distribuição de diâmetro das partículas do solo (granulometria) é um dos principais. Quando mais arenosa é a granulometria do solo, maior é a possibilidade dele sofrer erosão, ou seja, maior a facilidade de desagregação das partículas de solo. Por outro lado, solos mais argilosos favorecem uma maior formação de agregados estáveis em água, reduzindo a erodibilidade do solo (Meyer & Harmon, 1984).

Outro atributo do solo que afeta o fator erodibilidade do solo em entressulcos é o tipo e o teor de óxidos de ferro. A concentração de óxidos de ferro está relacionada com o material de origem, grau intemperismo e com os processos pedogenéticos de acúmulo ou remoção (Kampf & Curi, 2003). Segundo Romkens et al., (1977) e Azevedo & Bonumá (2004), os óxidos de ferro são agentes de ligações entre os constituintes do solo, na qual favorecem uma maior estabilidade dos agregados e retardam a formação de selo superficial (Reichert et al., 1992). Assim, solos com maiores teores de argila, óxidos e matéria orgânica apresentam agregados mais estáveis e por consequência menor erodibilidade do solo em entressulcos (Nunes & Cassol, 2008).

3.1.2. Erosão em entressulcos

A erosão hídrica do solo envolve as etapas de desagregação, transporte e deposição de sedimentos. O processo de erosão hídrica pode ser dividido em erosão em entressulcos e erosão em sulcos, conforme as condições superficiais em que ocorre e da forma de atuação do agente erosivo (Meyer et al., 1975). A erosão em entressulcos é essencialmente independente da erosão em sulcos, ocorrendo em áreas relativamente curtas e geralmente orientadas segundo o microrelevo superficial. Nessas áreas, ocorre escoamento superficial uniforme e laminar, que contribui para o fluxo concentrado nos sulcos.

Segundo Foster et al. (1985) na erosão em entressulcos a desagregação das partículas de solo ocorre pelo impacto das gotas de chuva e o transporte pelo escoamento laminar, incrementado pela turbulência produzida pelo impacto das

gotas de chuva, suspendendo e mantendo suspensas as partículas de solo. A fonte de sedimentos no processo do entressulcos é constituída, basicamente, por materiais da superfície do solo. Já na erosão em sulcos o agente erosivo responsável pela desagregação e pelo transporte é o escoamento concentrado em que, sendo profundo o suficiente, protege a superfície do solo contra o impacto da gota da chuva enquanto a fonte de sedimentos constitui os horizontes superficiais e subsuperficiais (Bryan, 1987).

Na etapa de desagregação a força erosiva é constituída pela energia cinética das gotas da chuva enquanto na resistência do solo atuam forças de natureza físico-química e biológica. A ação de resistência a desagregação na erosão em entressulcos está relacionada com fatores que conferem a estabilidade dos agregados do solo. Entre esses fatores se destacam: o teor da fração da argila na composição granulométrica do solo, o tipo de argila, a qualidade e o teor de matéria orgânica, a presença de óxidos de ferro e alumínio e a concentração e o tipo de cátions presentes na solução do solo (Grissenger, 1966; Line & Meyer, 1989; Levy et al., 1994; Heil et al., 1997; Albuquerque et al., 2000; Nunes & Cassol, 2008).

O escoamento superficial tem início quando a intensidade de precipitação torna-se maior do que a taxa de infiltração da água no solo, sendo consequência da superação da detenção e da retenção superficial, da interceptação vegetal, da demanda matricial do solo e da evaporação, que são as abstrações hidrológicas dos volumes precipitados. Associado ao escoamento superficial ocorre o transporte das partículas do solo, que sofrem deposição somente quando sua velocidade é reduzida (Griebeler et al., 2001).

Na erosão em entressulcos, a maior parte do material desagregado é transferida para os sulcos, através do escoamento difuso (Young & Wiersma, 1973; Meyer et al., 1975). No entanto, a transferência de sedimentos da região de onde esses sedimentos foram desagregados para a região dos sulcos, é um processo governado pelo princípio de que a carga de sedimentos a ser transportada é limitada ou pela disponibilidade de sedimentos ou, ainda, pela capacidade de transporte do escoamento difuso (Foster, 1982). Na maioria das vezes, o que limita este processo é a disponibilidade de sedimentos a serem transportados o que, por sua vez, é função das taxas de destacamento dos sedimentos da massa do solo (Toy et al., 2002). Desta forma, é oportuno considerar que a erosão em entressulcos é um processo dependente não apenas das condições envolvidas na fase de

desagregação, mas, também, pela capacidade de transporte do escoamento difuso. A este respeito, Kinnell (2005) tem proposto que o transporte de sedimentos na região em entressulcos pode ocorrer de três maneiras: a) transporte devido ao efeito de salpicamento (rain splash); b) transporte devido ao escoamento difuso induzido pela ação da precipitação e c) transporte pelo escoamento difuso sem ação de precipitação.

De outra parte, tem-se verificado que a fase de transporte também afeta a taxa de desagregação de vez que partículas maiores se depositam durante o deslocamento e promovem a ação de proteção da superfície do solo contra a ação de desagregação dos sedimentos (Merten, et al., 2001; Kinnel, 2006). O escoamento difuso, devido à sua condição hidráulica de pouca espessura de lâmina de água em relação do elemento rugoso, tem parte de sua tensão cisalhante total dissipada em função da resistência de forma (Rauws & Govers, 1988). Assim, a tensão cisalhante relacionada ao transporte de sedimentos e a desagregação do solo (tensão efetiva) são reduzidas (Abrahams & Person, 1991). Por outro lado, o escoamento difuso sob ação da precipitação poderá ter sua capacidade de transporte aumentada quando algumas condições referentes à relação entre a altura de lâmina de água e o tamanho de gotas forem satisfeitas (Kinnell, 1991; 2003; 2005; 2006).

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

3.1.3. Crosta superficial

A formação do encrostamento superficial é um processo importante em solos de muitas regiões tropicais e subtropicais (Souza et al., 2007), resultante de processos complexos e dinâmicos nos quais as partículas do solo são consolidadas em uma estrutura superficial coesa, cuja espessura pode variar de 0,1 mm até 50 mm (Valentin & Bresson, 1992). Se referindo também à formação de uma camada delgada de partículas rearranjadas na superfície do solo caracterizada pela alta densidade, pequena porosidade e baixa capacidade de infiltração de água no solo (Da Silva & Kato, 1997).

O manejo altera diversas características e propriedades físicas do solo que por sua vez afetam no selamento superficial e, conseqüentemente na erosão. O preparo, uma das principais operações de manejo do solo, objetiva modificar a estrutura, erradicar plantas daninhas e manejar resíduos culturais, aumentando a porosidade total na camada preparada (Burwell et al., 1966). No entanto, Carpenedo & Mielnickzuk (1990) afirmam que o principal efeito do revolvimento é refletido na perda da qualidade estrutural do solo. A desagregação de solo ocasionada pelo seu revolvimento, o tipo de cobertura oferecida e a declividade do local são fatores que podem aumentar a erodibilidade e a formação da crosta, a partir do momento que a argila é carregada verticalmente provocando o entupimento dos poros. Isso ocorre porque, na maioria das vezes, o preparo é executado com excessiva intensidade e sobre o solo em condições inadequadas de umidade, o que justifica sua redução e, se possível, a completa eliminação (Bertol et al., 2000). A formação do selo superficial ocorre principalmente em solo descoberto (Reichert et al., 1992; Barcelos et al., 1999) e é diminuída em solo com estrutura mais estável (Reichert et al., 1992; Reichert & Norton, 1994) ou em sistemas conservacionistas que mantêm os resíduos culturais sobre o solo (Alves & Cabeda, 1999; Barcelos et al., 1999). Schaefer et al. (2002) e Brandão et al. (2006) só não detectaram a formação de encrostamento superficial em solos com 100% de cobertura.

A formação de crostas superficiais em solos descobertos e por conseqüência o aumento dos efeitos degradantes da erosão do solo estão intrinsecamente ligados a condições inadequadas de uso e manejo do solo. Este assunto está relacionado com o empobrecimento do solo no local de origem da erosão e com a contaminação do ambiente fora do seu local (Bertol et al., 2010). Para Bertol et al., (2007) isso ocorre porque diferentes tamanhos de sedimentos têm distintas capacidades de adsorção de produtos químicos, o que deve influenciar a seleção de sistemas de manejo e de práticas conservacionistas do solo. Assim, a erosão dos solos agrícolas constitui-se na mais importante fonte de poluição de origem difusa.

Para a agricultura a formação da crosta tem um particular efeito relacionado com diminuição da disponibilidade de água para as raízes das plantas e de um aumento da resistência do solo à emergência de plântulas (Awadhwai & Thierstein, 1985).

3.2. Classes de Solos e a susceptibilidade a erosão

O termo “Latosol”, deriva de “laterite” e “solum”, palavras de origem latina, que significam tijolo e solo. De acordo com Embrapa (2006), são solos minerais, não hidromórficos, em avançado estágio de intemperização, perfis com cor e textura homogêneos, possuindo textura de solo variando de franco-arenosa até muito argilosa, imediatamente abaixo do horizonte superficial A, apresentam horizonte Bw, indicando avançado estágio de intemperização. Geralmente são solos fortemente drenados, profundos, com sequência de horizontes A, Bw e C, pouco diferenciados. O horizonte Bw apresenta cores variando do amarelo ao vermelho, com ocorrência de cores brunadas e acinzentadas. Possuem boa estrutura física, no entanto de baixa fertilidade (Cardoso et al., 2009).

Quanto a suas limitações de utilização na agricultura, se arremete segundo Santos et al. (2015), a problemas de compactação, o enraizamento é limitado em profundidade por ser álico ou distrófico, ou seja, de fertilidade química reduzida e também devido à elevada coesão dos agregados, que por sua vez dão a característica de dureza a esse solo quando o mesmo está seco o que acarreta na dificuldade de penetração radicular, no entanto tem forte resistência aos processos erosivos, devido um maior aporte de matéria orgânica devido a vegetação, alta capacidade de retenção de água, maiores teores de argila que funcionam como agregante do solo, dando maior estabilidade aos agregados e resultando em menor susceptibilidade a erosão hídrica.

O prefixo “neo”, do gregonéos, que quer dizer novo, os Neossolos são considerados solos jovens. São solos minerais ou orgânicos pouco desenvolvidos, com ausência do horizonte B diagnóstico, sem atender aos requisitos para as classes dos Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos, por seu subdesenvolvimento possui baixa atuação dos processos pedogenéticos e por características dos materiais de origem, assim geralmente são encontrados horizontes A, C e R (Embrapa, 2006). De acordo com Oliveira (2008), seu menor desenvolvimento não está apenas ligado aos seus fatores de origem, mas também ao relevo e clima que conjuntamente ou isoladamente atuam no processo.

Por esses solos possuírem baixa intensidade de processos de intemperização, geralmente possuem textura arenosa, assim podem ser considerados ecologicamente muito frágeis, e o uso agrícola destes deveria ser

evitado (Zuo et al., 2008). De acordo com Santos & Zaroni (2015), o uso destes solos deve ser restringido quando estiverem próximos aos cursos d'água ou área de preservação das matas ciliares. Os Neossolos mais rasos apresentam, em locais de relevo acidentado, fortes limitações para o uso agrícola, justificado pela dificuldade à mecanização e à forte suscetibilidade aos processos erosivos, isto está em conformidade ao descrito por Silva et al. (2013), que diz serem esses solos de boa fertilidade natural, por se tratarem de ambiente rico em minerais primários facilmente intemperizáveis tornando um reservatório de nutrientes, com predominância de potássio, cálcio e magnésio, no entanto com limitações sendo a matéria orgânica e a capacidade de retenção de água muito baixas, alta susceptibilidade a erosão hídrica, dificuldade de mecanização e a baixa profundidade.

3.3. Práticas de prevenção no processo de erosão do solo

O conhecimento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo auxilia na seleção das áreas a serem utilizadas na exploração agrícola, bem como na determinação do tipo e do grau com que as práticas de preservação devem ser empregadas para reduzir a degradação pela erosão hídrica do solo. Sabe-se que a maior parte dos efeitos de redução da produção de sedimentos deve ser atribuída ao aumento da cobertura do solo proporcionado pelos cultivos conservacionistas. O uso e o manejo do solo alteram as forças de resistência a desagregação, especialmente as operações de preparo do solo que envolve uma mobilização do solo maior ou menor, exercendo grande influência sobre a estabilidade dos agregados. De maneira geral, sistemas que mobilizam menos o solo, como o cultivo mínimo e o plantio direto, promovem a elevação do carbono orgânico na superfície do solo sendo que esta condição, por sua vez, propicia um aumento da estabilidade dos agregados de tamanho maior (Melissa et al., 2006; Onweremadu et al., 2007; Razafimbelo et al., 2008; Simansky et al., 2008; Aratani et al., 2009; Jacobs et al., 2009; Veiga et al., 2009).

As práticas de correção do solo e de adubação também influenciam a maior ou a menor resistência do solo a desagregação. O uso de fertilizantes sintéticos e a adubação orgânica promovem uma produção maior de biomassa o que, por sua vez, favorece a maior estabilidade de agregados. Porém, em algumas situações o uso de

corretivos ou fertilizantes pode promover a dispersão dos microagregados (Spera et al., 2008).

Na prática agrícola, a consolidação advém do uso de técnicas que pregam uma menor mobilização do solo, como cultivos mínimos e plantio direto, significando fisicamente, um aumento na estabilidade estrutural do solo que ocorre por conta de uma compressão, originada fisicamente de uma tensão efetiva induzida pelo potencial matricial que ocorre durante a distribuição da umidade após a chuva (Nearing et al., 1988). Tal elevação da estabilidade estrutural do solo implica em uma maior resistência à erosão, ou seja, uma menor erodibilidade do solo.

Bezerra & Cantalice (2006) verificaram que a presença de resíduos na superfície diminui o impacto das gotas da chuva e o escoamento superficial, o que reduz a desagregação das partículas do solo e controla a erosão. Martins Filho et al. (2009), estudando perdas de solo e nutrientes por erosão em um Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar, verificaram que as taxas de infiltração de água no solo são maiores nas áreas com 50% e 100% de cobertura por resíduos vegetais e, nessa ordem, a erosão é reduzida em até 68% e 89% em relação ao solo sem resíduos, para as áreas com colheita mecanizada.

Os resíduos vegetais na superfície do solo interceptam as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e selamento superficial. Também há redução na velocidade da enxurrada com consequentemente redução na sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo, com efeitos marcantes na conservação do solo e da água (Cassol & Lima, 2003). A presença de resíduos vegetais na superfície do solo aumenta a rugosidade hidráulica dessa superfície, reduzindo a velocidade e aumentando a profundidade do fluxo superficial (Volk et al., 2004, Vale Junior et al., 2009). Plantas com alto índice de cobertura e elevada produtividade de fitomassa propiciam melhor proteção ao solo, amortecendo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo reduzindo, consequentemente, os processos erosivos (Cardoso et al., 2012).

4. Material e métodos

4.1. Local e solo

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural, de Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba – DSER/CCA/UFPB. Para a realização deste estudo foram selecionados dois solos, conforme o grau de desenvolvimento pedogenético, representativos do estado da Paraíba:

- **Mais intemperizado:** Latossolo Amarelo (LA) - Areia (PB)
- **Menos intemperizado:** Neossolo Regolítico (NR) – Pocinhos (PB)

Amostras de solo foram coletadas a campo na camada superficial de 0-20 cm de profundidade. Após secagem ao ar, foram destorroadas e passadas em peneiras com malha de 10 mm. Na **Tabela 1**, observa-se que em cada classe de solo foram selecionadas duas áreas com diferentes condições de uso: I. Área sob mata Nativa e II. Área cultivada.

Tabela 1. Histórico e descrição dos usos das áreas experimentais estudadas no Latossolo Amarelo Distrófico e Neossolo Regolítico Distrófico.

Condições	Descrição
Neossolo Regolítico	
Cultivada	Área com recente cultivo de milho, em fase de incorporação.
Mata Nativa	Vegetação de Savana Estépica arborizada (IBGE, 2012).
Latossolo Amarelo	
Cultivada	Área cultivada por décadas com culturas como macaxeira, milho, feijão, braquiárias, fava.
Mata Nativa	Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012).

4.2. Caracterização física do solo

4.2.1. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica dos solos amostrados foi realizada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) (Embrapa, 2011), usando hidróxido de sódio (NaOH-1N) como agente dispersante mais agitação mecânica.

4.2.2. Argila dispersa em água e grau de flocculação

A argila dispersa em água foi obtida por meio da análise granulométrica do solo, conforme o método de Bouyoucos (Embrapa, 2011), porém, sem o uso do dispersante químico.

Para a argila total foi utilizado o mesmo procedimento anterior, porém, usando hidróxido de sódio (NaOH – 1N) como agente dispersante.

O grau de flocculação foi obtido pela seguinte fórmula:

$$Gf = \frac{Arg - Arg_{H_2O}}{Arg} \times 100$$

onde Gf é o grau de flocculação (%), Arg é o teor de argila dispersa em hidróxido de sódio – NaOH (g kg⁻¹), e Arg_{H₂O} é o teor da argila dispersa em água (g kg⁻¹).

4.2.3. Densidade do solo, partícula e porosidade total

A densidade do solo e a densidade de partículas foram determinadas segundo metodologias descritas em Embrapa (2011). A densidade do solo teve como princípio a impermeabilização de um torrão, feita com parafina fundida, de maneira a permitir mergulhá-lo em água ou outro líquido e determinar seu volume. Enquanto que, a densidade de partículas teve como princípio a utilização da água destilada para medir o volume deslocado por uma massa conhecida de solo em um balão volumétrico de 100 ml.

A porosidade total foi estimada por meio da expressão:

$$Pt = [1 - (\frac{Ds}{Dp})]$$

onde Pt é a porosidade total ($m^3 m^{-3}$), Ds é a densidade do solo ($g cm^{-3}$) e Dp a densidade de partícula ($g cm^{-3}$).

4.2.4. Estabilidade dos agregados

Para diâmetro médio ponderado por via seca (DMPAs) e separação dos agregados foram utilizadas amostras de aproximadamente 50 g de agregados com diâmetro inferior a 9,52 mm, passadas em peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,106 e 0,053 mm de malha e um vibrador Produtest, durante um minuto (Silva & Mielniczuk, 1997). O diâmetro médio ponderado por via úmida (DMPAu) e a separação dos agregados por via úmida, foi orientada pela metodologia descrita por Tisdall et al. (1978), modificada por Carpenedo & Mielniczuk (1990), utilizando-se as mesmas malhas de peneira para a separação dos agregados secos. A partir da relação entre diâmetro médio ponderado dos agregados úmidos e o diâmetro médio ponderado dos agregados secos, se obteve o índice de estabilidade de agregados (IEA), segundo Silva & Mielniczuk (1997).

4.3. Instalação e realização do estudo

Os testes foram realizados em parcelas experimentais com área útil de 0,18 m^2 , com dimensões de 0,41 m por 0,43 m e profundidade de 0,55 m. O volume da parcela foi preenchido com uma camada de solo de acordo com a densidade de empacotamento, obtida pelas análises físicas. Posteriormente, já nas parcelas, foram umedecidas com antecedência de 1 hora, deixando o solo com umidade na capacidade de campo.

4.4. Aplicação das chuvas simuladas

As chuvas simuladas em laboratório foram efetuadas utilizando-se simulador de chuvas, semelhante ao descrito por Meyer & Harmon (1979), com um bico aspersor tipo *Vee-Jet* 80100, operando com uma pressão constante de 41 kPa na

saída de água do bico, situado a 3,1 m acima da superfície do solo. Os testes consistiram na aplicação de chuva simulada com intensidade média ajustada em 85 mm h⁻¹ durante 75 minutos. Sob cada solo foram aplicadas chuvas simuladas, em três eventos consecutivos separados por um período de sete (7) dias.

4.5. Determinação das perdas de solo e água

Amostras do escoamento superficial foram coletadas durante um minuto a cada três minutos de chuva. As taxas de perdas de solo e a concentração de sedimentos foram obtidas pela pesagem do material coletado nos potes plásticos com capacidade de 500 mL, colocados na extremidade da calha coletora.

As amostras de enxurrada coletadas foram levadas ao laboratório, onde os potes com solo e água foram pesados. Em seguida, foi adicionados 5 mL de sulfato de alumínio e potássio dodeca hidratado [KAl (SO₄)₂.12H₂O] a 5% para acelerar o processo de sedimentação. Os potes permaneceram em repouso por 24 horas e com auxílio de uma mangueira plástica, retirou-se por sifonamento o máximo possível de água sobrenadante. E então, o sedimento das amostras foi passado para latas, pesado e posteriormente colocado em estufa a 105°C por 24 h para se obter a massa de solo seco. A massa de água foi calculada, subtraindo-se a massa de solo perdida da massa total da enxurrada. A relação entre a massa de solo seco e a massa de mistura água-sedimento expressa a concentração de sedimentos em peso (kg kg⁻¹). A relação entre a massa de água e a massa da mistura água-sedimento expressa a concentração de água na amostra, em kg kg⁻¹, tendo-se admitido a mesma expressa com base em volume, dado por L L⁻¹

4.6. Cálculo da taxa de desagregação e da erodibilidade do solo em entressulcos

As taxas de desagregação do solo em entressulcos foram determinadas para cada intervalo de amostragem através da divisão da massa de solo desagregado na unidade de tempo, pela área da parcela, sendo, portanto, expressa em kg m⁻² s⁻¹.

$$PSi = \frac{\Sigma(Q C t)}{A}$$

onde PSi é a perda total de solo em entressulcos ($kg\ m^{-2}$); Q é a descarga total ($L\ s^{-1}$); C é a concentração de sedimentos na enxurrada ($kg\ L^{-1}$); t é o intervalo de tempo entre duas amostragens (s); A é a área da parcela (m^2).

As taxas de desagregação do solo em entressulcos foram determinadas conforme a expressão a seguir:

$$D_i = \frac{M_{ss}}{A\ dc}$$

onde D_i é a taxa de desagregação do solo em entressulcos ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$); M_{ss} é a massa do solo seco desagregado (kg); A é a área da parcela (m^2); dc é a duração da coleta (s).

A erodibilidade nos entressulcos foi calculada pela equação (Elliot et al., 1989):

$$K_i = \frac{D_i}{I^2 S_f}$$

onde K_i é erodibilidade do solo em entressulcos ($kg\ s\ m^{-4}$); D_i é a taxa máxima de desagregação do solo nos entressulcos ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$); i é a intensidade da chuva ($m\ s^{-1}$), e S_f , o fator de correção para o declive.

Esse fator é dado pela equação (Liebenow et al., 1990):

$$S_f = 1,05 - 0,85 \exp^{-4\text{sen}(\theta)}$$

onde θ é o ângulo do declive (graus) e \exp é a base dos logaritmos neperianos. Este fator S_f é 0,2 para declive plano e 1 para declive de 45° .

4.7. Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos

A descarga líquida (q_i), em $m^2\ s^{-1}$, foi determinada a partir das coletas de enxurrada em potes plásticos, colocados na extremidade da calha de descarga, durante o tempo cronometrado, e dividido pela largura da parcela.

A velocidade superficial do escoamento (V_s), foi determinada através da cronometragem do tempo gasto para que um corante, azul de metileno, percorra a

distância entre dois pontos fixos na parcela. As velocidades médias do escoamento (V_m) foram determinadas pelo produto das velocidades superficiais do escoamento e um fator de correção $\alpha = 2/3$, tendo em vista a distribuição do perfil de velocidade (Katz et al., 1995).

Com base na determinação da descarga líquida (q_i) e da velocidade média do escoamento (V_m) foram estimadas outras características hidráulicas.

A altura da lâmina do escoamento foi estimada através da equação derivada por Woolhiser & Liggett (1967) e Singh (1983) para fluxo em um plano sob chuva de duração finita e dada pela seguinte expressão:

$$h = \frac{q_i}{V_m}$$

onde h é a altura da lâmina de escoamento (m); q_i é a descarga líquida total por unidade de largura ($m^2 s^{-1}$) e V_m é a velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$).

O número de Reynolds foi obtido por meio da equação de Simons & Senturk (1992) e dada por:

$$Re = \frac{V_m h}{\nu}$$

onde Re é o número de Reynolds, adimensional; V_m é a velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$); h é a altura da lâmina de escoamento (m) e ν é a viscosidade cinemática da água ($m^2 s^{-1}$). A viscosidade cinemática do escoamento varia em função da temperatura. O valor foi obtido com a utilização da equação de Julien (1995), que é expressa conforme a temperatura da água, dada por:

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

onde T é a temperatura da água em °C.

O número de Froude foi obtido por meio da equação apresentada por Simons & Senturk (1992) e expressa por:

$$Fr = \frac{V_m}{\sqrt{g h}}$$

onde Fr é o número de Froude, adimensional; V_m é a velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$); g é a aceleração da gravidade ($m s^{-2}$); e h é a altura da lâmina de escoamento (m).

A resistência ao escoamento foi determinada pelo fator de perda de carga de Darcy-Weisbach (Chow, 1959) e dada pela expressão:

$$f = \frac{8 g h S}{V_m^2}$$

onde f é o fator de perda de carga, adimensional; g é a aceleração da gravidade ($m s^{-2}$); h é a altura da lâmina do escoamento (m); S é a inclinação do declive ($m m^{-1}$); e V_m é a velocidade do escoamento ($m s^{-1}$).

A rugosidade superficial foi determinada pelo coeficiente de Manning (n) o qual, conforme Braida & Cassol (1999), pode ser expresso por:

$$n = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{q_i}$$

onde n é o coeficiente de rugosidade de Manning ($s m^{-1/3}$); h é a altura da lâmina de escoamento (m); q_i é a descarga líquida ($m^2 s^{-1}$); S é o declive da parcela ($m m^{-1}$).

A tensão cisalhante do escoamento em entressulcos foi obtida por meio da equação dada por Chow (1959):

$$\tau = \gamma h S$$

onde τ é a tensão de cisalhamento do escoamento (Pa); γ é o peso específico da água ($N m^{-3}$); h é a altura da lâmina de escoamento (m); e S é a declividade da parcela ($m m^{-1}$).

5. Resultados e discussão

5.1. Caracterização física do solo

Os resultados da análise granulométrica e a classificação textural para as áreas preservada e cultivada do Neossolo e Latossolo são apresentados na **Tabela 2**. Os teores de argila foram maiores na área preservada dos dois solos, sendo que no Latossolo obteve os maiores teores em comparação com o Neossolo. Os teores de areia, por sua vez, foram maiores no Neossolo. Essa diferença nos teores de argila e areia deve-se à menor proteção oferecida ao solo, nas áreas preservada e cultivada, dados esses que corroboram com Schaefer et al. (2002), estudando um Argissolo perceberam que no tratamento com menor proteção oferecida ao solo, os teores de argila foram reduzidos e os teores de areia aumentaram. Com relação aos teores de silte, esses foram maiores na área cultivada de ambos os solos, este resultado deve-se as práticas de preparo do solo, onde removem essas partículas para a superfície do solo. Quanto à classificação textural, essa teve diferença entre a área cultivada e preservada do Latossolo, sendo Franco Argilo Arenosa e Argilo Arenosa, respectivamente, essa diferença pode ter ocorrido devido aos sucessivos processos de revolvimento do solo na área cultivada e um aporte vegetativo maior que é incrementado ao solo na área preservada. No Neossolo não houve diferença entre as duas áreas, sendo classificado como Franco Arenosa.

Os maiores teores apresentados para o presente estudo foi no Neossolo para as duas áreas, no Latossolo a área cultivada obteve o dobro do valor encontrado na área preservada. A argila dispersa em água ou natural é aquela mais propensa ao processo erosivo Souza (2010), isso demonstrando que o Neossolo é mais susceptível a erosão. Segundo Almeida Neto et al. (2009), a tendência da fração coloidal de dispersar-se, colocando-se em suspensão na água, é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente ou por ação antrópica, a resposta do solo à ação de forças desagregantes depende, em grande parte, de suas características químicas, físicas, mineralógicas e biológicas.

Outro fator, também importante, relacionado com a resistência ao destacamento do solo, consiste no grau de flocculação das argilas (Reichert & Norton, 1995). Entre as áreas o maior grau de flocculação é visto no Latossolo,

enquanto que o Neossolo obteve os menores, concordando com os dados encontrados por Brandão et al. (2006) na sua pesquisa acerca da resistência hidráulica de solos sob chuvas simuladas, onde encontrou valores em contrastes para Neossolo e Latossolo, ou seja, no primeiro observou maior valor de argila dispersa em água e menor grau de floculação.

Tabela 2 - Análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação e classificação textural da camada superficial.

Condição	Classe Textural			Argila dispersa	Grau de Floculação	Classificação Textural
	Areia	Silte	Argila			
----- g Kg ⁻¹ -----						
Neossolo						
Cultivada	737	145	118	35	702	Franco Arenosa
Preservada	703	100	197	38	806	Franco Arenosa
Latossolo						
Cultivada	490	182	328	26	921	Franco Argilo Arenosa
Preservada	515	75	410	13	968	Argilo Arenosa

A partir da **Tabela 3** é possível verificar a densidade de solo, assim como a de partículas, também a porosidade total e o índice de estabilidade dos agregados das diferentes condições de uso do solo. Foi visualizado que no solo Latossolo, a condição preservada possui o menor valor de densidade de solo, entretanto obteve o maior valor na densidade de partículas. No Neossolo a densidade de partícula entre as diferentes condições, o menor valor foi encontrado na área preservada, já na densidade do solo, a área preservada apresenta o maior valor, enquanto que a área cultivada sua densidade do solo é menor, esse fato pode ter ocorrido devido ao incremento de material vegetal que foi depositado ao solo ao final dos cultivos e ao preparo do solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por Corrêa et al. (2009), onde verificaram maiores densidades do solo na área de vegetação nativa, em relação às de uso com áreas cultivadas. Levando em consideração a densidade do solo e a relação com a erosão hídrica, solos que apresentam maiores densidades do solo estão mais susceptíveis a esse processo, devido ao decréscimo da taxa de infiltração resultando em um favorecimento da taxa de escoamento superficial.

Para porosidade total, foi verificado maior valor de poros na área preservada do Latossolo, esse dado pode ser justificado pela sua menor densidade do solo e assim promovendo maior aeração, enquanto que a área cultivada obteve valor menor (**Tabela 3**), corroborando com os dados encontrados por Araújo et al. (2004), em que o solo sob cultivo apresentou maiores valores de densidade do solo e menores valores de porosidade total comparado com o solo sob mata nativa. Solos que possuem maior agregação têm maior porosidade e menor densidade, sendo assim, estes fatores são indicadores da característica de agregação dos solos, de acordo com Tormena et al. (2002), a agregação influencia a porosidade uma vez que solos com grande valor de estabilidade de seus agregados tendem a preservar seus poros e por consequência diminuir seu valor de Densidade do solo.

Tabela 3 - Densidade do solo, de partículas e porosidade total de áreas na camada superficial do solo.

Condição	Densidade		Porosidade	IEA
	Solo	Partícula	Total	
	----- Kg dm ⁻³ -----		- m ³ m ⁻³ -	
Neossolo				
Cultivada	1,51	2,60	0,45	0,49
Preservada	1,66	2,58	0,36	0,66
Latossolo				
Cultivada	1,46	2,61	0,44	0,55
Preservada	1,40	2,62	0,46	0,74

IEA = Índice de estabilidade dos agregados (IEA).

O índice de estabilidade dos agregados variou de 0,49 a 0,66 para o Neossolo, mostrando que na área preservada obteve maior índice em relação à área cultivada, o mesmo aconteceu no Latossolo onde se observou um índice de 0,55 na área cultivada e de 0,74 na área preservada (**Tabela 3**). Solos com maiores teor de argila e matéria orgânica são mais resistentes à desagregação (Oades, 1988; Morgan, 1995). No Neossolo, assim como no Latossolo, foram evidenciados que os maiores valores do índice de estabilidade dos agregados foram encontrados na área

preservada, o que faz acreditar que a menor mobilização do solo e o maior aporte vegetal da área preservada nos dois solos, assim é possível afirmar que solos que promovem maiores incrementos de matéria orgânica são capazes de condicionar sumariamente a agregação, já que a matéria orgânica é o agente que atua mais intensivamente como agregante do solo (Wendling et al., 2005).

5.2. Características hidráulicas do escoamento das chuvas simuladas

Foi verificado que houve uma pequena diferença das variáveis entre as simulações nos dois tipos de solo (**Tabela 4**). O Número de Reynolds (Re), que usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido sobre uma superfície, em todas as simulações foi $Re < 500$, o número de Froude (Fr), que representa a razão entre uma velocidade característica e a velocidade de onda gravitacional, em todas as simulações foi $Fr < 1$. Desse modo, entre as condições, caracterizaram o regime de escoamento como laminar lento. Os valores de descarga líquida (q) na ordem de $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e altura de lâmina (h) na ordem de grandeza de 10^{-3} m caracterizam erosão em entressulcos. Esse resultados corroboram com os valores encontrados por Bezerra et al. (2004), em parcelas com solo descoberto sob chuva simulada em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Na realização das simulações ocorreu uma elevação no valor do coeficiente de rugosidade de Manning, que foi observada após cada aplicação de chuva simulada nos dois solos. Essa tendência também foi verificada por Eltz & Norton (1997) e Govers et al. (2000), atribuindo-se esse fato à consolidação do solo pelo impacto das gotas de chuva e ao rearranjo dos agregados do solo após terem sido umedecidos.

Tabela 4 - Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos para as três chuvas simuladas obtidas em condições de laboratório.

Condição	Simulação	q m ² s ⁻¹	V m s ⁻¹	h m	v m ² s ⁻¹	n m ^{1/3} s ⁻¹	τ Pa	f adimensional	Re	Fr
Neossolo										
Cultivada	1	2,91. 10 ⁻⁵	0,0287	1,04. 10 ⁻³	8,66. 10 ⁻⁷	0,266	0,00052	1,51	33,6	0,29
Preservada		3,32. 10 ⁻⁵	0,0271	1,23. 10 ⁻³	8,81. 10 ⁻⁷	0,309	0,00062	1,84	37,7	0,25
Cultivada	2	3,29. 10 ⁻⁵	0,0186	1,77. 10 ⁻³	8,81. 10 ⁻⁷	0,554	0,00088	3,72	37,4	0,14
Preservada		3,13. 10 ⁻⁵	0,0242	1,33. 10 ⁻³	8,81. 10 ⁻⁷	0,367	0,00072	2,64	35,5	0,22
Cultivada	3	3,19. 10 ⁻⁵	0,0138	2,34. 10 ⁻³	8,81. 10 ⁻⁷	0,910	0,00117	6,76	36,2	0,09
Preservada		3,27. 10 ⁻⁵	0,0243	1,37. 10 ⁻³	8,98. 10 ⁻⁷	0,366	0,00069	2,29	36,4	0,22
Latossolo										
Cultivada	1	3,27. 10 ⁻⁵	0,0199	1,68. 10 ⁻³	8,98. 10 ⁻⁷	0,527	0,00084	3,52	36,5	0,16
Preservada		3,09. 10 ⁻⁵	0,0243	1,30. 10 ⁻³	9,16. 10 ⁻⁷	0,352	0,00065	2,16	33,7	0,22
Cultivada	2	3,00. 10 ⁻⁵	0,0138	2,17. 10 ⁻³	8,98. 10 ⁻⁷	0,861	0,00109	6,19	33,4	0,09
Preservada		3,01. 10 ⁻⁵	0,0274	1,11. 10 ⁻³	9,16. 10 ⁻⁷	0,284	0,00056	1,64	32,9	0,27
Cultivada	3	3,12. 10 ⁻⁵	0,0186	1,67. 10 ⁻³	8,66. 10 ⁻⁷	0,533	0,00084	3,52	36,0	0,15
Preservada		3,15. 10 ⁻⁵	0,0283	1,14. 10 ⁻³	8,98. 10 ⁻⁷	0,291	0,00057	1,70	35,1	0,27

Descarga líquida total (q), velocidade média (V), altura da lâmina de escoamento (h); viscosidade cinemática (v); coeficiente de rugosidade de Manning (n); fator de perda de carga (f); tensão de cisalhamento do escoamento (τ); número de Reynolds (Re) e Froude (Fr).

Ainda na **Tabela 4**, verificou-se que a viscosidade cinemática (v), apresentou resultados com diferença quanto as diferentes simulações a que foi submetida, isso pode ser justificado por esta variável depender apenas da temperatura da água, e nos testes foi vista variação de 24 a 27 °C, na variável velocidade média (V), apresentou na primeira simulação o seu maior valor, seguido da segunda e terceira respectivamente, nas duas condições do Neossolo e para a área cultivada do Latossolo, isso é justificado porque na primeira simulação o solo estava na sua capacidade de campo e nas demais a água teve que se infiltrar antes de começar o escoamento, o que pode ter interferido nos resultados da velocidade média, o valor de descarga líquida (q) na segunda e terceira simulação entre as condições do Latossolo ficaram bem próximas, quase que apresentando os mesmos valores. A altura de lâmina de escoamento (h) obteve maiores valores absolutos sob a condição da área cultivada tanto para o Neossolo quanto para o Latossolo, sendo a

mesma situação observada para a rugosidade (n). Com o passar das simulações de chuva nas áreas preservada e cultivada, do Neossolo e do Latossolo, proporcionou ao solo maior resistência à desagregação, reflexo da maior tensão de cisalhamento do escoamento (τ). Ou seja, uma maior energia foi necessária para desagregar o solo e, portanto, menor concentração de sedimento. A perda de carga (f) em termos da hidráulica do escoamento representa a parcela da energia relacionada com as forças de resistência ao deslocamento do escoamento superficial, a maior perda de carga foi verificada para área cultivada em comparação com a área preservada, aumentando com o passar das simulações, tanto no Neossolo, quanto no Latossolo.

Na **Tabela 5**, encontramos o fator de erodibilidade do solo em entressulcos (K_i), que é dependente apenas das características intrínsecas do solo, como a textura. Então a variação do fator de erodibilidade do solo em entressulcos pode ser em função das variações na granulometria dos solos. Contudo, geralmente, a taxa de desagregação e a erodibilidade do solo nas áreas em entressulcos são menores para os solos de textura mais argilosa. No Latossolo é observado que a área preservada apresentou os maiores teores de argila (**Tabela 4**) e conseqüentemente as menores taxas de desagregação e erodibilidade do solo, já na área cultivada ocorreu o contrário, isso devido aos menores teores de argila. Já no Neossolo a área preservada mesmo com maior teor de argila apresentou as maiores taxas de desagregação e erodibilidade do solo, enquanto que a área cultiva com o menor teor de argila deteve as menores taxas de desagregação e erodibilidade do solo, esse fato pode ter ocorrido devido incorporação dos restos culturais ao solo na área cultivada que são transformados em matéria orgânica, e assim pode ter havido interação com a matéria orgânica, como constatado por Reichert et al. (2001), ao afirmarem que as características intrínsecas dos solos do Brasil, teores de argila e matéria orgânica, justificam as diferenças em valores de erodibilidade do solo obtidas.

A hipótese de existência de uma relação entre a erodibilidade do solo em entressulcos e a estabilidade dos agregados foi observada nitidamente no Latossolo, considerando que sob uma mesma chuva, em solos com agregados mais estáveis, haverá menor desagregação e, portanto, menos material estará disponível para ser transportado pelo fluxo superficial e, como consequência, menor será a erosão hídrica em entressulcos, em comparação com solos com agregados menos estáveis.

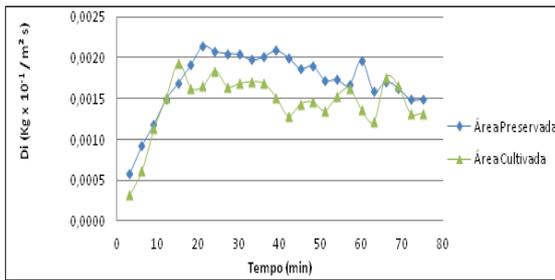
Tabela 5 - Valores médios de erodibilidade do solo em entressulcos, obtidos em condições de laboratório, sob chuva de 85 mm h^{-1} ($i = 2,36 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$) e declividade de $0,10 \text{ m m}^{-1}$ ($S_f = 0,4791$).

Condição	Simulação	<i>Di</i>	<i>Ki</i>
		- $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -	- kg s m^{-4} -
<u>Neossolo</u>			
Cultivada	1	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$5,43 \cdot 10^6$
Preservada		$1,72 \cdot 10^{-3}$	$6,44 \cdot 10^6$
Cultivada	2	$0,65 \cdot 10^{-3}$	$2,42 \cdot 10^6$
Preservada		$0,69 \cdot 10^{-3}$	$2,59 \cdot 10^6$
Cultivada	3	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^6$
Preservada		$0,31 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^6$
<u>Latossolo</u>			
Cultivada	1	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$5,94 \cdot 10^6$
Preservada		$0,61 \cdot 10^{-3}$	$2,30 \cdot 10^6$
Cultivada	2	$1,21 \cdot 10^{-3}$	$4,52 \cdot 10^6$
Preservada		$0,54 \cdot 10^{-3}$	$2,02 \cdot 10^6$
Cultivada	3	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$3,73 \cdot 10^6$
Preservada		$0,39 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^6$

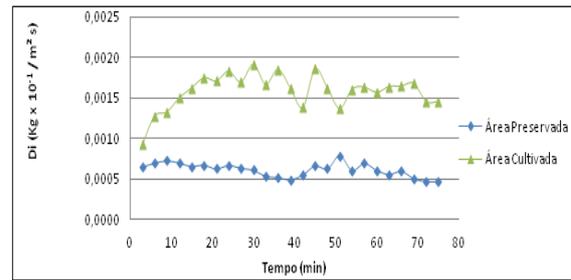
Di é a taxa de desagregação entressulcos do solo e *Ki* representa a erodibilidade do solo entressulcos.

Na **Figura 1**, são apresentados os valores das taxas médias de desagregação do solo em entressulcos (*Di*) para as diferentes condições de uso, distribuídos no tempo para as três simulações avaliadas.

1ª Simulação

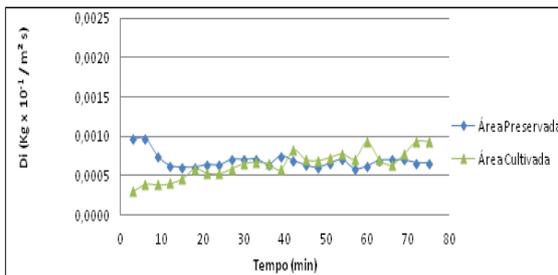


(a)

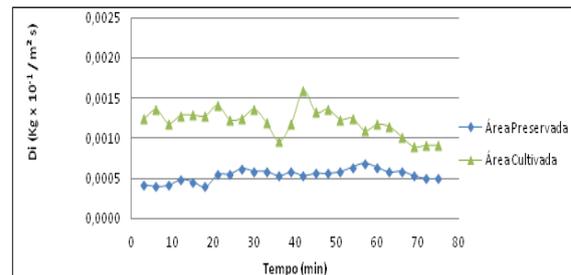


(b)

2ª Simulação

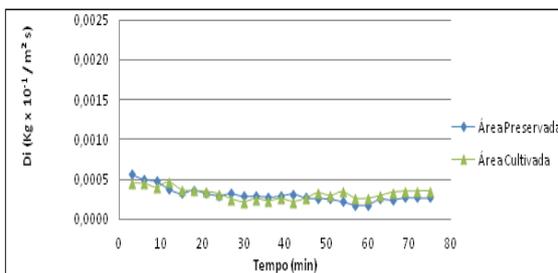


(a)

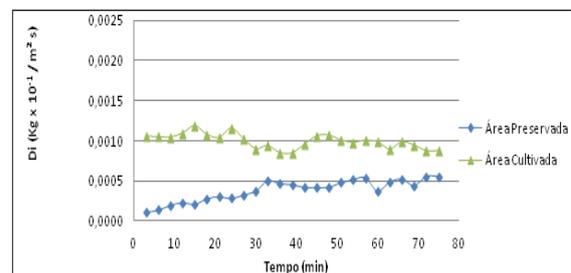


(b)

3ª Simulação



(a)



(b)

Figura 1 - Taxa de desagregação para Neossolo (a) e Latossolo (b) sob diferentes condições de uso do solo nas simulações em relação ao tempo.

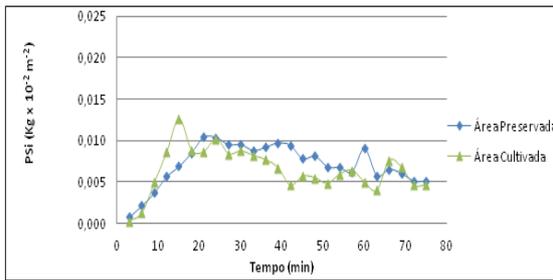
Observa-se que na área cultivada deteve maior desagregação, sendo que apenas na primeira simulação a área preservada do Neossolo apresentou uma maior taxa de desagregação em comparação à área cultivada, isso deve-se a maior quantidade de sedimento que estava disponível na primeira simulação para ser desagregado, mas no decorrer dos testes, pode-se ver que as taxas de desagregação tornam-se semelhantes entre as diferentes áreas. No Latossolo observa-se que a área preservada a desagregação é bem menor em comparação a área cultivada, isso desde o primeiro teste. Em termos relativos, os valores mais elevados de Di ocorreram para a 1ª simulação e os menores para a 3ª simulação. A

2ª simulação apresentou valores intermediários entre a 1ª e 3ª simulação, esse comportamento se assemelha aos encontrados por Bezerra & Cantalice (2006), quando observaram a redução da taxa de desagregação com o passar das simulações para condições de solo descoberto e com resíduo de palha de cana-de-açúcar. Com a tendência de queda da taxa de desagregação ao final do teste, esse fato pode ser entendido por formação da crosta na superfície do solo. Já que essa altera as condições hidrológicas da superfície do solo devido à destruição dos agregados, afetando as taxas de infiltração (Magunda et al., 1997; Pruski et al., 1997).

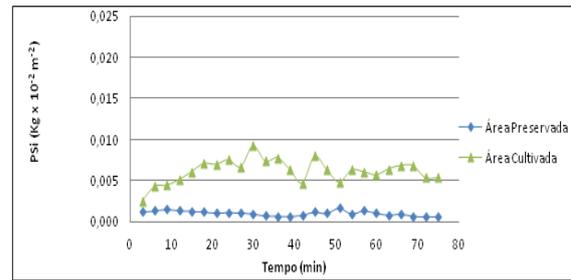
A taxa de desagregação acompanha os gráficos da perda de solo, onde é possível verificar que houve sua diminuição com o passar das simulações, mostrando que as perdas de solo e taxa de desagregação foram diretamente proporcionais, corroborando com os dados observados por Freitas et al. (2008) no seu trabalho com um Luvisolo no semi-árido, onde as perdas de solo e taxa de desagregação foram diretamente proporcionais,

A partir da **Figura 2**, são observadas perdas de solo em entressulcos (PSI) para as três simulações de chuva. Observa-se o mesmo comportamento das taxas de desagregação, onde é visto que na 1ª simulação houve a maior perda de solo em relação às demais, ou seja, foi diminuindo com o passar dos testes, isso corrobora com o dado encontrado por Maier et al. (2013), onde ele visualizou em um Neossolo submetido a diferentes manejos, diminuição da perda de solo do primeiro ao terceiro teste, mostrando que este fato está mais intimamente ligado devido ao suprimento de sedimento que podem ser desagregados do que pela capacidade de transporte dos mesmos. É válido ressaltar também que a magnitude dos valores de perda de solo pode variar conforme a textura do solo, seu grau de compactação e com o tipo e quantidade de cobertura, dentre outros.

1ª Simulação

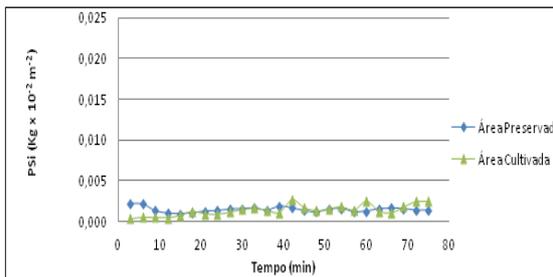


(a)

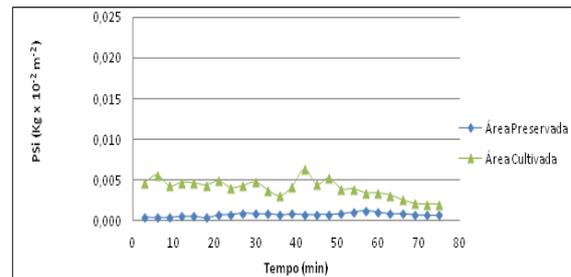


(b)

2ª Simulação

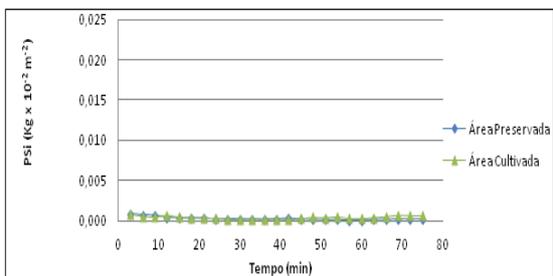


(a)

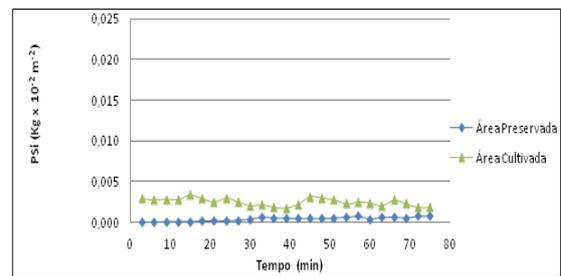


(b)

3ª Simulação



(a)



(b)

Figura 2 - Perda de solo para Neossolo (a) e Latossolo (b) sob diferentes condições de uso nas simulações em relação ao tempo.

Observou-se também, que entre as diferentes condições no Neossolo não se obteve muita diferença entre as perdas de solo, enquanto que entre as diferentes condições do Latossolo está bem claro que a perda de solo na área preservada é bem menor que na área cultivada (**Figura 2**). Esses resultados são explicados pela grande mobilização realizada na área cultivada, uma vez que o sistema convencional promove maior mobilização do solo. Quanto à área preservada, as menores perdas de solo pode ser relacionada ao fato de que a vegetação nativa deposita grande quantidade de serapilheira e dessa maneira possibilita a diminuição

do cisalhamento provocado pelas gotas da chuva ao entrarem em contato com o solo, ocasionando em maior infiltração e melhor resistência a perda do solo.

É importante considerar que as diferenças observadas entre as simulações são decorrentes apenas das condições relativas da resistência do solo em relação ao destacamento e ao transporte, que variam de acordo com a aplicação das simulações de chuva.

6. Considerações finais

O regime de escoamento superficial obtido nas condições estudadas foi laminar subcrítico.

A terceira simulação apresentou a menor taxa média de desagregação devido à formação da crosta superficial, a taxa da perda de solo teve o mesmo comportamento das taxas de desagregação.

A área preservada do Latossolo apresenta maior resistência ao escoamento com relação às demais.

7. Referências

ABRAHAMS, A.; PERSONS, A. J. Resistance to overland flow on desert pavement and its implications for sediment transport modeling. *Water Resources Research*, v. 27, p. 1827-1836, 1991.

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre erodibilidade entressulcos e estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 141-151, 2000.

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1571-1581, 2009.

ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 753-761, 1999.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 677-687, 2009.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 28, p. 337-345, 2004.

AWADHWAL, N. K.; THIERSTEIN, G. E. Soil crust and its impact on crop establishment: a review. *Soil & Tillage Research*, v. 5, p. 289-302, 1985.

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, p. 609-617, 2004.

BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 999-1011, 2011.

BAKKER, M.; GOVERS, G.; VAN DOORN, A.; QUETIER, F.; CHOUVARDAS, D.; ROUNSEVELL, M. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe. The importance of landscape pattern. *Geomorphology*, v. 98, n. 3-4, p. 213-226, 2007.

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

BARRETO, A. G. O. P. História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. 120p. (Dissertação de Mestrado).

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.

BERTOL, I.; ENGEL, F. L.; MAFRA, A. L.; BERTOL, O. B.; RITTER, S. R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil Tillage Research*, v. 94, p. 142-150, 2007.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F.; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ciência Rural*, v. 3, p. 91-95, 2000.

BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 245-252, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 4 ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BEZERRA, S. A. Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da cana-de-açúcar. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004. 51p. (Dissertação de mestrado).

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes Condições de cobertura do solo, Sob cultivo da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, p. 565-573, 2006.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos de um Podzólico Vermelho-Escuro franco arenoso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 20, p. 127-134, 1996.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 23, p. 711-721, 1999.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; MENEZES, S. J. M. C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 13-21, 2006.

BRASIL, IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira 2 ed. (Revisada) (Manuais Técnicos em Geociências no 1). Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2012. 275 p.

BRYAN, R. B. Processes and significance of rill development. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, v. 8, p. 1-15, 1987.

BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage-induced random roughness and pore space. Soil Science Society American Proceedings, v. 33, p. 449-452, 1969.

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R.; SLONEKER, L. L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. Journal Soil Water Conservation, v. 21, p. 61-63, 1966.

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

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI JUNIOR, C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, p. 631-637, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco argilo arenoso com resíduos vegetais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 685-690, 2004.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CHAVES, H. M. L.; SILVA, P. A.; CARLOS, R. J. Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional. O caso do Vale do São Francisco. In: Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo, Viçosa, p. 1961-1963, 1996.

CHOW, V. T. Open Channel Hydraulics. New York, NY : McGraw-Hill, 1959. 680 p.

CLARK II, E. H.; HAVERKAMP, J. A.; CHAPMAN, W. Eroding soils. The off-farm impacts. Washington, D. C. The Conservation Foundation. 1985, 252 p.

COGO, N. P. Effect of residue cover, tillage induce roughness, and slope lenght on erosion and related parameters. West Lafayette, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Mestrado).

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 743-753, 2003.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. v. 14, p. 358-365, 2009.

EDWARDS, W. M.; LARSON, W. E. Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. *Transactions of the American Society of Agricultural Enginners*, v. 12, p. 463-465, 1969.

ELLISON, W.D. Soil detachment and transportation. *Soil Conservation*, v. 11, p. 171-190, 1946.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. P. I - *Agricultural Engineers*, v. 12, p. 145-146, 1947.

ELLIOT, W. J.; LIEBENOW, A. M.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K. D. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987-88. Washington : The Ohio State University : USDA. Agricultural Research Service, 1989. p. A2-A25. (NSERL. Report, 3).

ELTZ, F. L. F.; NORTON, L. D. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage, and canopy cover. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, p. 1746-1755, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011, 230 p.

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

FOSTER, G. R.; YOUNG, R. A.; RÖMKENS, M. J. M.; ONSTAD, C. A. Process of soil erosion by water. In: Follet, R. F. and Stewart, B. A. Soil erosion and crop productivity. ASA-CSSASSSA, 1985, South Segoe Road, Madison, USA.

FREITAS, F. J.,; CANTALICE, J. R. B.,; BEZERRA, S. A.,; DE OLIVEIRA, M. D. R.,; LIMA, P. A.,; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1743-1751, 2008.

GOMEZ, B. Assessing the impact of the 1985 farm bill on sediment-related nonpoint source pollution. J. Soil and Water Conservation, v. 50, n. 4, p. 374-377, 1995.

GOTTSCHALK, L. C. Reservoir sedimentation. In: CHOW, V.T., ed. Handbook of applied hydrology. Mc-Graw- Hill, New York, v. 34, p. 1-17, 1965.

GOVERS, G.; TAKKEN, I.; HELMING, K. Soil roughness and overland flow. Agronomie, v. 20, p. 131-146, 2000.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 411-417, 2001.

GRISSENGER, E. H. Resistance of selected clays system to erosion by water. Water Resources Research, v. 2, p. 131-138, 1966.

HASENPUSCH, K. Nährstoffeinträge und Nährstofftransport in den Vorflutern zweier landwirtschaftlich genutzter Gewässereinzugsgebiet. (FAL-Braunschweig) Sonderheft 158, 1995. 218 p. (Tese de Doutorado).

HEIL, J. W.; JUO, A. S. R.; MCINNIS, K. Soil properties influencing surface sealing of some sandy soils in the Sahel. Soil Science, v. 162, p. 459-469, 1997.

HUDSON, N. Soil conservation. 3 ed. Ames : Iowa State University Press, 1995. 391 p.

JACOBS, A.; RAUBER, R.; LUDWING, B. Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of two Haplic Luvisols after 40 years. *Soil and Tillage Research*, v. 102, p. 158-164, 2009.

JULIEN, P. Y. *Erosion and sedimentation*. Melbourne : Cambridge University Press, 280p. 1995.

KAMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. Editora UFV, v. 3, p. 1-54, 2003.

KATZ, D. M.; WATTS, F. J.; BURROUGHS, E. R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. *Journal Hydrology Division*, New York, v. 121, p. 546-553, 1995.

KINNEL, P. I. A. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v. 34, p. 161-168, 1991.

KINNEL, P. I. A. Particle travel distances and bed sediment compositions associated with rain-impacted flows. *Earth Surface Processes and Landform*, v. 26, p. 749-758 2003.

KINNEL, P. I. A. Sediment transport by medium to large raindrops impacting flows and subterminal velocity. *Soil Science Society of America*, v. 69, p. 902-905, 2005.

KINNEL, P. I. A. Simulations demonstrating interaction between coarse and fine sediment loads in rain-impacted flow. *Earth Surface Processes*, v. 31, p. 355-367, 2006.

LEVY, G. J.; LEVIN, J.; SHAINBERG, I. Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Science Society American Journal*, v. 58, p. 203-209, 1994.

LIEBENOW, A. M.; ELLIOT, W. J.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K. O. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v. 33, p. 1882-1888, 1990.

LINE, D. E.; MEYER, L. D. Evaluating interrill and rill erodibilities for soils of different textures. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, v. 32, p. 1995-1999, 1989.

MAGUNDA, M. K.; LARSON, W. E.; LINDER, D. R.; NATER, E. A. Changer in microrelief and their effects on infiltration and erosion during simulated rainfall. Soil Technology, Amsterdan, v. 10, n. 1, p. 57-67, 1997.

MAIER, C.; KAUFMANN, V.; MERTEN, G. H.; CASTRO, N. M. R.; OLIVEIRA, F. P. Efeito da crosta superficial na erosão entressulcos de um Neossolo Litólico submetido a diferentes usos e manejo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, p. 149-163, 2013.

MARGOLIS, E.; GALINDO, I. C. L.; MELLO NETTO, A. V. Comportamento de sistemas de cultivo da mandioca em relação à produção e às perdas por erosão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 15, p. 357-362, 1991.

MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J.; BARRETO. G. B. Perdas por erosão no estado de São Paulo. Bragantina, 1961, 110p.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T., PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J. SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. Revista Engenharia Agrícola, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

McCOOL, D. K.; RENARD, K. G. Water erosion and water quality. Advances in Soil Science, v, 13, p. 175-185, 1990.

MELISSA, A. S. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 329-337, 2006.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. Projeto de monitoramento ambiental de microbacias hidrográficas – RS-RURAL, subprojeto 7. Porto Alegre, IPH-UFRGS, 2003. 89p.

MERTEN, G. H.; NEARING, M. A.; BORGES, A. L. O. Effect of sediment load on soil detachment and deposition in rills. *Soil Science Society of America Journal*, v. 65, p. 861-868, 2001.

MEYER, L. D.; FOSTER, D. R.; RÖMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: *Sedimentyield workshop*, 1975, Oxford. *Proceedings*. Washington, USDA, 1975. p. 177-189.

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Interrill runoff and erosion: Effects of row-sideslope, rain energy, and rain intensity. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, v. 35, p. 1199-1203, 1992.

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

MEYER, L.D.; HARMON, W.C. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, Wisconsin, USA, v. 48, p. 1152-1157, 1984.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MORIN, J.; BENYAMINI, Y. Rainfall infiltration into bare soils. *Water Resources Research*. v. 13, p. 813-817, 1977.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. 2ª edição. Oxford: Blackwell Publishing, 1995. 198p.

NEARING, M. A.; BRADFORD, J. M.; HOLTZ, R. D. Measurement of force vs time relations for waterdrop impact. *Soil Science Society American Journal*, v. 50, p. 1532-1536, 1986.

NEARING, M. A ; WEST, L. T.; BROW, L. C. A consolidation model for estimating changes in rill erodibility. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 31, n. 3, p. 696-700, 1988.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2839-2845, 2008.

OADES, J. M. The retentions of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 5, p. 35-70, 1988.

OLIVEIRA, J. B. *Pedologia Aplicada*. 3 ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592p.

ONWEREMADU, E. U.; ONYIA, V. N.; ANIKWE, M. A. N. Carbon and nitrogen distribution in water stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Warri area, southeaster Nigeria. *Soil Tillage Research*, v. 97, p. 195-206, 2007.

PALIS, R. G.; OKWACH, G.; ROSE, C. W.; SAFFIGNA, P. G. Soil erosion processes and nutrient loss. I. The interpretation of enrichment ratio and nitrogen loss in runoff sediment. *Journal Soil Research*, v. 28, n. 3, p. 623-639, 1990.

PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. T. Infiltração da água num Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, p. 77, 1997.

RAUWS, G.; GOVERS, G. Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. *Journal of Soil Science*, v. 39, p. 111-124, 1988.

RAZAFIMBELO, T. M; ALBRECH, A.; OLIVE, R.; CHEVALLIER, T.; LARDY, L. C.; FELLER, C. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayed soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. *Soil and Tillage Research*, v. 98, p. 140-149, 2008.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D.; HUANG, C. Sealing, amendment, and rain intensity effects on erosion of highclay soils. *Soil Science Society American Journal*, v. 58, p. 1199-1205, 1994.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Surface seal micromorphology as affected by fluidized bed combustion bottom-ash. *Soil Technology*, v. 7, p. 303-317, 1995.

REICHERT, J. M.; SCHAFER, M. J.; ELTZ, F. L. F.; NORTON, L. D. Erosão em sulcos e entressulcos em razão do formato de parcela em Argissolo Vermelho-Amarelo arênico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 965-973, 2001.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 289-298, 1992.

ROCKENBACH, C. A Erosão em entressulco sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Porto Alegre, 1992. 108p. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do sul. (Dissertação de Mestrado).

ROMKENS, M. J. M.; HELMING, K.; PRASAD, S. N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, v. 46, p. 103-123, 2001.

ROMKENS, M. J. M.; ROTH, C. B.; NELSON, D. W. Erodibility of select clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Science Society American Journal*, Madison, Wisconsin, USA, v. 41, p. 954-960, 1977.

RUFINO, R.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Perdas de solo e água por erosão na sucessão soja/trigo cultivados em plantio convencional e direto. *Congresso Brasileiro Plantio Direto: para uma Agricultura Sustentável*, 1, Ponta Grossa, 1996. Anais... Ponta Grossa, 1996. p. 111-113.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. *OKARA: Geografia em debate*, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SANTOS, F. S. Adubação boratada na cultura do crambe em Latossolos. Cascavel: UEOPR, 2015, 36 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Agência EMBRAPA de informação tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_16_2212200611542.html>. Acesso em: 27 mar, 15.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Saneamento. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEEP/IPT, 1989.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos micro-estruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 669-678, 2002.

SCHAFER, M. J.; REICHERT, J. M.; E. A. CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; REINERT, D. J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 419-430, 2001.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, p. 213-220, 1997.

SILVA, I. F.; CAMPOS FILHO, O. R.; ANDRADE, A. P.; COELHO, E. A. C.; DINIZ, E. J. Influência do cultivo isolado e do consórcio sobre as perdas de solo e água numa terra roxa estruturada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 13, p. 111-115, 1989.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, S.; SOUSA, A. R.; de ALBUQUERQUE, S. F.; NUNES FILHO, J.; da SILVA, A. B.; LOPES, G. Características físicas e químicas de um neossolo, Regolítico, Eutrófico do Agreste pernambucano. In: Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 34, 2013. Florianópolis. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

SIMANSKY, V.; TOBIASOVA, E.; CHIPIK, J. Soil tillage and fertilization of Orthic Luvisol and their influence on chemical proprieties, soil structure stability and carbon distribution in water-stable macro-aggregates. *Soil and Tillage Research*, v. 100, p. 125- 132, 2008.

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 cinematic for erosion on a plane: II Rainfall of finite duration. *Advanced Water Research*, Brisbane, v. 6, p. 88-95, 1983.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; GOUVEIA NETO, G. C.; SILVA, J. M.; SILVA, I. F. Efeito do encrostamento superficial nas propriedades hidráulicas de um solo cultivado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 2, p. 69-74, 2007.

SOUZA, M. D. Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais. *Embrapa Meio Ambiente, Documentos*, v. 37, 2004.

SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2613-2620, 2008.

TISDALL, J. M.; COCKROFT, B.; UREN, N. C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical dsireption. *Australian journal Soil Research*, Melbome, v. 16, p. 9-17, 1978.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. D.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control. New York: John Wiley; Sons, 2002. 337p.

VALE JUNIOR, J. F.; BARROS, L. S.; SOUSA, M. I. L.; UCHÔA, S. C. P. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acácia mangium* em Roraima. *Revista Agroambiente On-line*, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2009.

VALENTIN, C.; BRESSON, L. M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma*, v. 55, p. 225-245, 1992.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Aggregate stability as affected by short and long-term tillage systems and nutrient sources of Hapludox in southern Brasil. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 33, p. 767-777, 2009.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 4, p. 585-596, 2004.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, K. C. L.. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, p. 487-494, 2005.

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

YOUNG, R. A.; WIERSMA, J. L. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. *Water Resources Research*, v. 9, p. 1629-1639, 1973.

ZARTL, A.S.; KLIK, A.; HUANG, C. Soil detachment and transport processes from interrill and rill areas. *Phys, Chem Earth*, v. 26, p. 25-26, 2001.

ZEJUN, T.; TINGWU, L.; QINGWEN, Z.; JUN, Z. The sealing process and crust formation at soil surface under the impacts of raindrops and polyacrylamide. 12th ISCO Conference Beijing. 2002.

ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 202-212, 2008.