

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SELAMENTO SUPERFICIAL E EROÇÃO HÍDRICA EM ARGISSOLO
AMARELO NA BACIA DO ALTO IPANEMA, NO SEMIÁRIDO**

JOEZ ANDRÉ DE MORAES RODRIGUES

**RECIFE – PE
2019**

JOEZ ANDRÉ DE MORAES RODRIGUES

**SELAMENTO SUPERFICIAL E EROÇÃO HÍDRICA EM ARGISSOLO
AMARELO NA BACIA DO ALTO IPANEMA, NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de *Mestre* em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo integrado de água e solo.

ORIENTADORA: Prof^a.Dr^a. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza

CO-ORIENTADOR: Prof^o. Dr. Marcelo Metri Corrêa

RECIFE - PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

R696s Rodrigues, Jozé André de Moraes
Selamento superficial e erosão hídrica em argissolo amarelo na bacia do Alto Ipanema, no Semiárido / Jozé André de Moraes Rodrigues. – 2019.
80 f. : il.

Orientadora: Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza.
Coorientador: Marcelo Metri Corrêa.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Solos – Compactação 2. Solos – Conservação 3. Solos – Erosão 4. Cobertura morta (Agricultura) I. Souza, Thais Emanuelle Monteiro dos Santos, orient.
II. Corrêa, Marcelo Metri, coorient. III. Título

CDD 630

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO**

Selamento superficial e erosão hídrica em Argissolo Amarelo na bacia do Alto Ipanema, no Semiárido

Dissertação defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2019 pela banca examinadora:

Orientadora:

Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Examinadores:

Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dra. Alineaurea Florentino Silva
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA / SEMIÁRIDO

**RECIFE – PE
2019**

A Deus por proporcionar tudo em minha vida,
A minha família, em especial aos meus amados pais,
Ana Vângela e João Luis (in memoriam) por me ensinarem
que por mais difíceis que pareçam ser as dificuldades, serei sempre
capaz de superá-las. E ao meu querido irmão Jânus André,
que sempre manteve o apoio para minhas decisões.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu Bom Deus, que está sempre presente em minha vida, permitindo que os meus sonhos sejam sempre realizados.

À Virgem Maria, que está sempre a interceder por mim.

À minha família pelo apoio e por acreditarem sempre em mim, minha mãe Ana Vângela, meu pai João Luis (in memoriam), ao meu irmão Jânus André, a minha avó Nadir e aos demais membros desta tão amada família, obrigado por estarem em minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida de cursar o mestrado.

À Professora Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos, pela orientação, dedicação, paciência e por ter me dado plena confiança para realização desta pesquisa. Também, ainda, agradeço por ter contribuído de forma ímpar para o meu crescimento profissional e pessoal.

Ao meu Co-orientador, Professor Dr. Marcelo Metri Corrêa pelas contribuições para este trabalho.

Ao Professor Edivan Rodrigues, que ao longo de todo este período mostrou-se sempre disposto a ajudar o projeto, seja com contribuições didáticas, seja com a disponibilização de laboratórios.

Aos Professores Drs. Brivaldo Almeida, Mário Monteiro Rolim e Ênio França pela confiança depositada, principalmente nas atividades vinculadas ao uso dos diversos laboratórios e equipamentos sob a responsabilidade dos mesmos.

Ao professor Veronildo Souza de Oliveira pelos conselhos e por ser sempre bastante prestativo.

Ao técnico em laboratório Maurílio Moraes pelas contribuições na elaboração das lâminas na análise da micromorfologia do solo.

A toda equipe de professores, discentes, secretários e demais profissionais que compõem o Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo durante todo o período do Mestrado.

À Monalisa Alves, por acompanhar e ajudar nas mais diversas análises, além de suas palavras edificantes tanto profissionalmente quanto pessoalmente. À Aglair, Cíntia Lins, Eudes, Marlon, Jardson, Liliane, José Edson, Daniel, Uilka, Keila, Sirleide, Jhon Lennon e Fernanda Andrade pela contribuição de cada um e pela boa convivência nos laboratórios.

Às estagiárias Irivânia Fidelis e Mayara, que estiveram sempre dispostas e com o máximo de dedicação ao projeto. Pelas boas risadas nos momentos de descontração e pela amizade que ficará por toda a vida. Muito obrigado, vocês foram essenciais.

Ao meu grande amigo que o curso me deu, Hélio Lopes. Obrigado por todo apoio e ajuda nas pesquisas. Obrigado pela confiança, pelos conselhos, por todas as risadas e por todas as vezes que estive dando forças para que eu pudesse superar todas as dificuldades.

À todos os amigos e colegas que estiveram sempre ao meu lado, em especial José Tiago, Jonas, Adriano Pereira, Jefferson Rodrigues, Josias Genu, Jéssyca Patrícia, dando apoio e encorajamento para alcançar meus objetivos.

Ao seu Malaquias (in memoriam), por nos receber de braços abertos em sua propriedade e mostrar que para ser feliz não precisamos de muitas coisas.

A todos vocês, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. HIPÓTESE.....	2
3.OBJETIVOS	2
3.1 Objetivo Geral	2
3.2 Objetivos Específicos	2
4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1 Região Semiárida do Brasil	3
4.2 Erosão do Solo	3
4.3 Escoamento Superficial	5
4.4 Selamento Superficial	5
4.5 Micromorfologia do Solo	8
4.6 Uso de Simuladores de Chuvas em Estudo de Erosão.....	9
5. METODOLOGIA.....	10
5.1 Localização da Área de Estudo.....	10
5.2 Características das Parcelas Experimentais.....	12
5.3 Calibração do Simulador de Chuva	13
5.4 Determinação das Características Físicas e Químicas do Solo	15
5.5 Determinação de Estabilidade de Agregados	16
5.6 Avaliação das Características Hidráulicas do Escoamento Superficial	17
5.7 Avaliação da Perda de Água.....	20
5.8 Avaliação das Taxas de Desagregação e Perdas de Solo	20
5.9 Determinação da Concentração de Sedimentos na Enxurrada.....	21
5.10 Análise da Resistência à Penetração do Solo.....	22
5.11 Análise de Selamento Superficial do Solo	22
5.12 Análise da Condutividade Hidráulica em Laboratório.....	25
5.13 Análise Estatística	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6.1 Estabilidade de Agregados.....	28

6.2 Condutividade Hidráulica	29
6.3 Característica da Hidráulica do Escoamento Superficial.....	30
6.4 Escoamento Superficial e Taxas de Infiltração.....	34
6.5 Resistência à Penetração	38
6.6 Selamento Superficial	40
7. CONCLUSÕES.....	54

RODRIGUES, J. A. M. **Selamento superficial e erosão hídrica em Argissolo Amarelo na Bacia do Alto Ipanema, no Semiárido.**2019. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

RESUMO

O uso de técnicas agrícolas incorretas tem causado sérios danos ao solo, em especial ao solo do semiárido brasileiro. Sabe-se que a falta de cobertura do solo é um dos principais aceleradores da degradação, pois sem proteção o solo fica exposto aos impactos das gotas da chuva, as quais desagregam as partículas e as carregam para zonas de menor altitude, além de causar o selamento superficial, dificultando a infiltração. Devido a esses problemas, esta dissertação teve como objetivo caracterizar o selamento superficial e a erosão hídrica em um Argissolo Amarelo na Bacia do Alto Ipanema, sob diferentes coberturas do solo. Para isso, foram instaladas oito parcelas de erosão, nas dimensões de três metros de comprimento por um metro de largura, que receberam os seguintes tratamentos: solo descoberto e solo com cobertura morta de *Brachiaria decumbens*. Foram aplicadas três chuvas simuladas, em intervalos de 24 horas, com intensidade de $54,63 \text{ mm h}^{-1}$, após cada chuva foi investigada a micromorfologia da superfície dos solos, assim como a erosão dos mesmos. Diante das diferentes precipitações que foram simuladas, constatou-se que o uso da cobertura morta reduziu o escoamento superficial em até 42%, a perda de solo e a taxa de desagregação tiveram reduções de 70% em média. A resistência à penetração foi reduzida em até 69,32% e a infiltração aumentou em até 242%. Sendo assim, houve diferenças significativas entre usar ou não a cobertura morta ao nível de 5% de probabilidade. Devido à falta de agregação do solo, não foram identificados selamentos superficiais, porém, a cobertura morta foi eficaz na preservação da porosidade e da microestrutura do solo para a chuva de 0h.

Palavras-chaves: perda de solo, estabilidade do solo, simulador de chuvas.

RODRIGUES, J. A. M. **Surface sealing and water erosion in Yellow Argisols of the Alto Ipanema Basin, in Semiarid.** 2019. 80p. Dissertation (master's degree in agricultural engineering) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

ABSTRACT

The use of incorrect agricultural techniques has caused serious damages to the soil, especially in the Brazilian semi-arid soil. The lack of ground cover is one of the key accelerators of degradation, without protection the soil is exposed to the impacts of rain drops, desegregating the particles and loading the lower altitude areas, causing the surface sealing that waterproofs the soil, making it difficult to infiltrate. This dissertation aimed to characterize surface sealing and water erosion in a Yellow Argisols in the Alto Ipanema Basin, under different ground covers. Eight erosion plots were installed, three meters long and one meter wide, which received the following treatments: uncovered soil and soil with *Brachiaria decumbens* mulch. Three simulated rainfall was applied at intervals of 24 hours, with intensity of 54.63 mm h^{-1} , after which rainfall micromorphology was investigated, as well as erosion. It was observed that the use of mulch reduced surface runoff by up to 42%, soil loss and disintegration rate had reductions of 70% on average. The penetration resistance was reduced by up to 69.32% and infiltration increased by up to 242%. There were significant differences between using or not mulching at the 5% probability level. Due to the lack of soil aggregation, no surface seals were identified, however, mulching was effective in preserving soil porosity and microstructure for the rainfall of 0h.

Key words: soil loss, soil stability, rainfall simulator.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do Argissolo Amarelo na área experimental, nas camadas 0 -20 e de 20 – 40 cm de profundidade.....	16
Tabela 2. Características químicas do Argissolo Amarelo na área experimental, nas camadas 0 – 20 e 20-40 cm de profundidade.....	16
Tabela 3. Distribuição de percentual dos agregados nas diferentes classes, diâmetro médio ponderado (DMP) e módulo de finura (MF), para o Argissolo Amarelo.....	28
Tabela 4. Condutividade hidráulica (K_o) para solo sem cobertura morta (SSC) e com cobertura morta (SCC).....	30
Tabela 5. Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr) e o coeficiente de rugosidade de Manning (n), para solo sem cobertura morta (SSC) e com cobertura morta (SCC).....	30
Tabela 6. Descarga líquida, velocidade de escoamento para o Argissolo Amarelo sem cobertura (SSM) e com cobertura (SCC).....	31
Tabela 7. Altura de escoamento, e viscosidade para Argissolo Amarelo sem cobertura (SSM) e com cobertura (SCC).....	32
Tabela 8. Perda de solo, taxa de desagregação e perda de água para Argissolo Amarelo para solo sem cobertura (SSM) e solo com cobertura (SCC).....	33
Tabela 9. Escoamento superficial, infiltração e tempo inicial de escoamento para o Argissolo Amarelo para solo sem cobertura morta (SSC) e com cobertura morta (SCC).....	34

Tabela 10. Percentual de umidade para o Argissolo Amarelo para o solo sem cobertura (SSC) e solo com cobertura (SCC), antes da aplicação de chuva e após a aplicação de três chuvas sucessivas, separadas por 24h.....36

Tabela 11. Resistência à penetração (RP) e de umidade (U) na capacidade de campo na camada de 0-0,02m, para o Argissolo Amarelo sem cobertura (SCC) e com cobertura morta (SCC).38

Tabela 12. Descrição micromorfológica do solo em razão de duas lâminas de chuva aplicada após 0h e 48h com e cobertura.....42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização espacial da área de estudo, município de Pesqueira, Pernambuco, Brasil.....	10
Figura 2. Dados históricos (1980 a 2018) de precipitação e temperatura do ar para o município de Pesqueira, Pernambuco	11
Figura 3. Tipo de vegetação em diferentes períodos, (A) no período de chuva (B) no período de seca em Mimoso, Pesqueira – PE.	12
Figura 4. Modelo da parcela experimental utilizada para campo.	12
Figura 5. (A) Simulador de chuva e (B) Caixa d'água para alimentação do simulador.	13
Figura 6. Relação entre intensidade média da chuva (mm h ⁻¹) e coeficiente de uniformidade (%) em função da pressão de serviço (kPa) da chuva simulada.	15
Figura 7. Esquema de classificação dos regimes de escoamento gerados durante as simulações de chuva.....	19
Figura 8. Peças cortadas com espessura de 0,5 cm.	23
Figura 9. Colagem das peças nas lâminas de vidro.	24
Figura 10. Polimento manual com pasta diamantada (6 a 12 µm).....	24
Figura 11. Microscópio óptico.	25
Figura 12. Amostras em saturação.	26
Figura 13. Amostras em teste de condutividade hidráulica.....	27

Figura 14. Escoamento superficial e infiltração, relacionados com os tempos (0, 24 e 48h) para o solo sem cobertura morta (SSC) e solo com cobertura (SCC).	37
Figura 15. Micrografia da heterogeneidade da camada superficial na testemunha (A) e no intervalo 0h para SSC (B) e SCC (C).	49
Figura 16. Micrografia da lâmina testemunha com a zona 1 e zona 2.....	50
Figura 17. Micrografia do solo descoberto no intervalo de chuva 0h com a divisão ondulatória entre zonas 1 e 2.	51
Figura 18. Micrografia do solo com cobertura no intervalo de chuva 0h com a divisão ondulatória entre as zonas 1 e 2.....	52
Figura 19. Micrografia da zona 2 do solo inalterada para a testemunha (A), solo sem cobertura no intervalo 0h (B) e 48h (C); solo com cobertura no intervalo 0h (D) e 48h (E).	53

1. INTRODUÇÃO

O solo é um dos componentes básicos para a vida no planeta, sendo uma parte crucial dos sistemas biológicos. Além disso, apresenta-se como depósito de água e suplementos essenciais para a agricultura. Contudo, a falta de cuidados e também de conhecimento tem contribuído para a degradação do solo, principalmente nas regiões semiáridas, onde as práticas agrícolas inadequadas fazem com que o mesmo fique exposto à ação das chuvas, provocando o selamento superficial. O selamento superficial é resultado da desagregação das partículas do solo causado pelo impacto da gota de chuva, sobre o solo descoberto e associado ao fenômeno de salpicamento das partículas dispersadas, causando a obstrução dos poros e formação do encrostamento superficial (BUENTO et al. 2018)

O selamento superficial, também chamado de encrostamento superficial, influencia várias propriedades do solo, como a taxa de infiltração de água, a condutividade hidráulica do solo e o escoamento superficial, favorecendo a erosão (SIQUEIRA, 2015).

No entanto, apesar de todos os efeitos negativos apresentados, poucos estudos referentes ao processo erosivo foram realizados (DECHEN et al., 2015), o que mostra a importância de novas pesquisas e acompanhamentos da formação do selamento superficial, sendo de fundamental importância para o adequado uso e preservação do solo.

Mesmo o selamento superficial sendo o causador da diminuição do volume de água armazenada pelo solo, comprometendo a germinação, reduzindo as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, pouco ainda foi estudado a respeito desse problema, mesmo que existindo alguns trabalhos sobre o solo do semiárido, o selamento ainda é algo que precisa ser pesquisado com mais foco, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde a cobertura vegetal é escassa e os processos de selamento e erosão ocorrem de forma rápida e severa após cada precipitação (MARTINS, 2016).

Sendo assim, estudar e compreender o solo do semiárido brasileiro, em especial as causas, efeitos e combate ao selamento superficial é essencial para que se alcance um equilíbrio e sustentabilidade através de um planejamento de práticas conservacionistas, do uso e manejo do solo,

reduzindo o processo de erosão e selamento causado pelas chuvas (BARROS, 2017).

2.HIPÓTESE

O Argissolo Amarelo apresenta formação de selamento superficial com aplicação de chuvas sucessivas.

3.OBJETIVOS

3.1Objetivo Geral

Analisar o selamento superficial, relacionando-o com a susceptibilidade à erosão de um Argissolo Amarelo na Bacia representativa do Alto Ipanema, Pernambuco.

3.2Objetivos Específicos

- Ampliar o conhecimento científico acerca da dinâmica do processo de selamento superficial e erosão do solo em bacias experimentais do semiárido brasileiro;
- Avaliar a infiltração da água no Argissolo Amarelo da Bacia do Alto Ipanema;
- Investigar o escoamento superficial;
- Analisar a resistência da camada superficial do solo à penetração;
- Avaliar, por meio de análise micromorfológica, a microestrutura da crosta formada decorrente da aplicação e chuva simulada;
- Avaliar o desempenho da *Brachiaria decumbens* como cobertura do solo.

4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1Região Semiárida do Brasil

Atualmente, o semiárido brasileiro possui uma extensão de aproximadamente 982.563,3 km², onde deste total somente a Região Nordeste é responsável por 89,5% dessa área, ou seja, 879.394,2 km². Essa nova demarcação teve como referência a isoietas de 800 mm anuais, além do Índice de Aridez de Thorntwaite (1941) abaixo de 0,50 e Risco de Seca superior a 60%. (IBGE, 2017).

O clima ocupa lugar de destaque na região semiárida, isto porque a precipitação média anual tem uma intrínseca ligação com a sociedade e também com a vegetação e formação do solo (XAVIER et al., 2016), já que de acordo com Nys & Engle (2014) a distribuição das precipitações é muito instável, com longos períodos de seca.

Durante os meses de Fevereiro à Maio ocorre o período de maior probabilidade de chuvas, que costumam ser de altas intensidades contribuindo de forma pontual para a erosão do solo, e nos demais meses do ano ocorre a estiagem (CGEE, 2016). Além de chuvas, existem os aspectos pedológicos, os quais se apresentam com solos pouco profundos, pedregosos e não raramente de horizontes A de textura arenosa, aspectos que contribuem para os processos de erosão do solo (SÀ et al., 2015)

A escassez de trabalhos na região dificulta o entendimento da dinâmica do solo, além de retardar as soluções para os problemas que causam um desequilíbrio ambiental na região. Nesse contexto, Farias et al. (2017) ressaltam a necessidade de forma urgente de ações para o conhecimento e proteção das áreas semiáridas.

4.2 Erosão do Solo

A poluição e assoreamento de corpos hídricos estão intimamente ligados ao solo, principalmente na ocorrência de erosão que contribui com nutrientes e com as próprias partículas para tornar esses problemas ambientais ainda mais graves.

A erosão pode ser definida como um processo da natureza que ocorre por meio de agentes como a chuva, o vento, as águas de rios e até mesmo por ações humanas, causam a desagregação do solo, fazendo com que as partículas soltas atinjam lugares com menor altitude, acarretando em sérios problemas ambientais.

Desta forma, a erosão pode ser tratada como um processo contínuo e natural que provoca perdas de solo e transporte de sedimentos, que são acelerados por diversos fatores, como a agricultura e a urbanização (CONCEIÇÃO, 2014).

Ribeiro (2016) classifica os agentes erosivos em dois tipos: ativos e passivos. Os agentes ativos são aqueles que resultam da própria natureza, como: água, temperatura, vento, gelo, neve, a ação de microorganismos vivos. Os agentes passivos decorrem das condições topográficas do terreno, da cobertura vegetal, da gravidade, do tipo de solo e demais características intrínsecas do material, que resultam em uma maior ou menor susceptibilidade à erosão. No entanto, é importante ressaltar que a ação humana potencializa a atuação desses agentes erosivos.

Contudo, é necessário que haja um maior cuidado com o solo no intuito de amenizar os efeitos provenientes do processo erosivo já que através do escoamento superficial da água da chuva ocorre a desintegração, carregamento e deposição das partículas do solo, juntamente com seus nutrientes e matéria orgânica (DECHEN et al., 2015).

Fatores como a erodibilidade do solo, intensidade da chuva e a ausência de cobertura vegetal são determinantes para o acontecimento do processo erosivo, que segundo Rodrigues et al. (2017), são os principais autores da destruição dos solos agricultáveis a nível global, a medida que podem causar sérias e onerosas consequências agronômicas e ambientais.

Os problemas causados pelos processos erosivos do solo não atingem apenas as áreas agrícolas, as urbanas também sofrem com esse fenômeno natural, que em suas formas mais graves apresentam voçorocas e ravinas, sendo fruto do desmatamento, incorretas técnicas de utilização do solo agricultáveis, estradas, entre outras atividades do homem.

4.3 Escoamento Superficial

Quando a gota da chuva atinge o solo, uma parcela desta água infiltrará e a outra irá escoar pela superfície. A quantidade de água escoada depende de vários elementos, como a duração e intensidade da chuva, a cobertura vegetal, o nível de compactação deste solo e conseqüentemente a capacidade de infiltração.

De acordo com Conceição (2014), ao chover a água vai acumulando-se no solo até atingir o ponto de saturação, que a partir daí acontecerá o acúmulo de água em pequenas depressões do terreno. Caso a precipitação continue dará origem ao processo de escoamento superficial, que irá acontecer no sentido da declividade.

O processo do escoamento superficial é influenciado por diversos fatores, dentre os quais se destacam o uso e ocupação do solo, onde um solo sem cobertura vegetal ou com um alto grau de compactação apresenta uma maior taxa de escoamento (SILVA, 2015). Vale destacar que o uso e ocupação do solo pelo homem, tanto na cidade como no campo, contribui para as mudanças no escoamento superficial, alterando as vazões dos corpos hídricos, aumentando a erosão do solo e conseqüentemente o aumento do processo de assoreamento dos corpos hídricos (SANTOS JÚNIOR & SANTOS, 2013).

Diante de um evento de precipitação intensa, a infiltração e o escoamento superficial são inversamente proporcionais, isto é, à medida que a infiltração reduz, o escoamento superficial aumenta (HONDA & DURIGAN, 2017).

4.4 Selamento Superficial

O contato direto das gotas da chuva com a superfície do solo descoberto gera uma série de conseqüências, entre elas: desintegração de agregados, desprendimento, arrasto e deposição das partículas, ocasionando erosão e mudança na estrutura do solo (SIQUEIRA, 2015). De acordo com Hu et al. (2012) uma das alterações que ocorre com esse impacto das gotas da chuva com a superfície do solo é a formação do encrostamento superficial.

O encrostamento superficial também pode receber vários outros nomes: crostas de superfície, selamento superficial ou endurecimento superficial do

solo. O fato é que segundo Silva (2016) ainda não existe na literatura um consenso a respeito da denominação atribuída a essa alteração da camada superficial do solo.

A formação do selamento ou encrostamento superficial resulta de dois mecanismos que são complementares. O primeiro trata-se de uma desintegração física dos agregados superficiais causada, principalmente, pela energia do impacto das gotas da chuva com o solo, levando a formação de uma camada fina da superfície; o segundo refere-se à dispersão físico-química das partículas de argila do solo, que se movimentam com a água, obstruindo dessa forma os poros imediatamente abaixo da superfície (SIQUEIRA, 2015; AGASSI et al., 1981).

O selamento superficial é de uma fina camada na superfície do solo, contendo uma densidade maior, assim como, também uma maior resistência a penetração, o que conseqüentemente provoca a diminuição da condutividade hidráulica. O selo formado tem espessura variável, podendo ir de 0,1 mm até 50 mm e por isso acaba por provocar efeitos maléficos ao solo, como: erodibilidade, aumento do escoamento superficial e diminuição da permeabilidade (HYVÄLUOMA et al., 2012)

De acordo com Sela et al. (2015), o selamento superficial do solo é um processo natural e generalizado que ocorre de forma frequente nas áreas de solos descobertos, causando a diminuição da condutividade hidráulica e conseqüentemente a infiltração da água no solo, afetando potencialmente o desenvolvimento da vegetação.

Um fator que se deve levar em consideração no selamento superficial é a umidade do solo. A umidade influencia a formação das camadas compactadas do solo, isto porque, ela atua como um lubrificante, o que facilita a reorganização das partículas do solo quando este é submetido a pressões, como por exemplo, o impacto da gota de água da chuva sobre o solo. Porém, a relação entre umidade e selamento superficial do solo varia com o tipo de solo (REICHERT et al., 2007).

Outro ponto importante na formação do selamento superficial é a temperatura, isso porque os sucessivos ciclos de umedecimento e secagem proporcionam inchaços e encolhimentos repetitivos do solo, causando microfissuras que dão origem à fragmentação e formação de pequenas

partículas capazes de obstruírem os poros formando o encrostamento superficial (BORGES et al., 2014).

Desde o início do século XX, estudos têm sido conduzidos envolvendo o selamento ou encrostamento superficial. O fato desse fenômeno causar consequências ambientais e na produção vegetal, desperta o interesse dos pesquisadores (SOUZA et al., 2014), os quais classificam os selos em três tipos: estruturais, deposicionais e erosionais.

Os selos estruturais são formados a partir do impacto direto das gotas d'águas, que provocam o rompimento e conseqüentemente uma reorganização *in situ* dos microagregados e das partículas do solo (SILVA, 2016).

As crostas deposicionais, como o próprio nome sugere, são formadas a partir da deposição das partículas grossas e finas do solo. Esse tipo de selo está relacionado com sedimentação das partículas em microdepressões (BRANDÃO et al., 2007).

Por fim, os selos erosionais que são resultado da erosão dos selos estruturais, onde finas partículas formam uma camada superficial rígida e lisa (SILVA, 2016; BRANDÃO et al., 2007).

Hu et al. (2012) em estudos que avaliaram o desenvolvimento do selamento superficial do solo, em condições de chuvas simuladas, encontraram dois tipos de crostas, as estruturais e as deposicionais. De acordo com os autores, entre os dois tipos de crostas encontradas, ambas têm em comum as origens na quebra dos agregados e na dispersão das partículas, influenciadas pela textura do solo. Em concordância com outros autores, Hu et al. (2012), identificaram que o encrostamento superficial provocou mudanças nas propriedades do solo, dentre as quais listaram: alterações na textura, proveniente do arrasto de material mais fino; modificações na estabilidade estrutural, oriundas durante o processo de formação dos selos; variação da rugosidade superficial, resultando em uma maior perda de solo e redução da permeabilidade do solo, sendo consequência das alterações nos parâmetros da condutividade hidráulica (SAJJADI e MAHMOODABADI, 2015; SOUZA et al., 2014; BADORRECK et al., 2013; BREMENFELD et al., 2013).

Diante de tantas consequências danosas causadas a partir do selamento superficial do solo, fica evidente que é preciso que este encrostamento seja evitado. De acordo com Zonta et al. (2012) uma forma de amenizar a formação das crostas superficiais é fazendo uso da cobertura morta

vegetal, pois evitará o contato direto da gota de água da chuva com o solo, reduzindo assim o desprendimento dos microagregados e o preenchimento dos poros.

Almeida et al. (2016) observaram também que o uso da cobertura morta torna o solo menos suscetível ao selamento da camada superficial, o que faz dessa técnica uma forte aliada na conservação do solo.

4.5 Micromorfologia do Solo

A falta de cobertura nos solos agrícolas impede que o impacto das gotas de água da chuva seja amenizado. Dessa forma, modificações de alguns dos seus atributos físicos são geradas, como: formação de camadas compactadas com diminuição do volume de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água e aumento da sua resistência do solo à penetração e densidade (SOUZA et al., 2014).

As mudanças ocorridas na estrutura do solo podem ser analisadas através do estudo micromorfológico. Esse estudo é uma ferramenta que permite observar a estrutura do solo na sua forma natural, possibilitando melhor visualização no comportamento da estrutura e do espaço poroso em diferentes sistemas de manejo ou em áreas sob processo de degradação a partir de imagens em duas dimensões (2D) (GENNARO et al., 2015). Para esse tipo de análise têm sido utilizados aparelhos microscópicos e lâminas delgadas, para melhor visualização dos constituintes estruturais do solo.

A aplicação da micromorfologia do solo tem sido amplamente utilizada em estudos com o objetivo de caracterizar a porosidade do solo através de tecnologias digitais que promovem o processamento e análise de imagens em duas dimensões (2D) (COOPER et al., 2016).

Marchicet al. (2015) classificam a análise da micromorfologia do solo como uma técnica bastante útil no estudo da gênese do solo e na avaliação e no monitoramento de diversas práticas agrícolas. Castilho et al. (2015) afirmam que através da micromorfologia é possível um melhor entendimento de como a chuva afeta a reorganização e a redistribuição da porosidade do solo.

O uso das análises micromorfológicas do solo tem se tornado cada vez mais comum a partir da evolução dos equipamentos e programas. Com isso, essas análises conseguem precisar a porosidade e permitir comparações entre

solos e entre momentos distintos do mesmo solo, o que ajuda na compreensão das ações a serem tomadas no intuito de preservar a estrutura física do solo.

4.6 Uso de Simuladores de Chuvas em Estudo de Erosão

Estudar as consequências do impacto das gotas da chuva natural no solo é algo bastante difícil de mensurar, pois não se pode controlar a distribuição, a duração e a intensidade da precipitação. O uso de simuladores de chuvas tem se mostrado uma grande alternativa, já que através dessa ferramenta é possível fazer um controle das características da chuva simulada, além de realizar os estudos a qualquer momento, sem depender da precipitação natural (SANTOS, 2015).

O simulador de chuvas é considerado um excelente método de determinação da infiltração de água no solo que representa bem uma realidade local. Dessa forma, deve simular as condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas (CONFESSOR & RODRIGUES, 2018).

Silva (2016), destaca que devido a praticidade e capacidade de repetição de eventos de precipitação através dos simuladores de chuva portáteis, foi possível o desenvolvimento de diversos estudos sobre a dinâmica da erosão dos solos por diversos pesquisadores como Lima et al. (2015), Montenegro et al. (2013), o que faz desse equipamento uma ferramenta primordial para as pesquisas fora e dentro do laboratório.

Por essas razões, o uso do simulador de chuvas tem sido cada vez mais frequente em diversos sistemas de cultivo com diferentes manejos do solo e cobertura nativa, proporcionando o aumento do conhecimento das taxas erosivas, consequentemente das técnicas capazes de amenizarem os efeitos da erosão.

5. METODOLOGIA

5.1 Localização da Área de Estudo

O presente estudo foi realizado em uma área onde se pratica agricultura de sequeiro na bacia representativa do Alto Ipanema que está localizada em Mimoso, zona rural do município de Pesqueira, Pernambuco, Brasil (Figura 1). A área está localizada entre as coordenadas geográficas: Latitude 08°21'28" (S) e Longitude 36°41'45" (W) com altitude de 654 m.

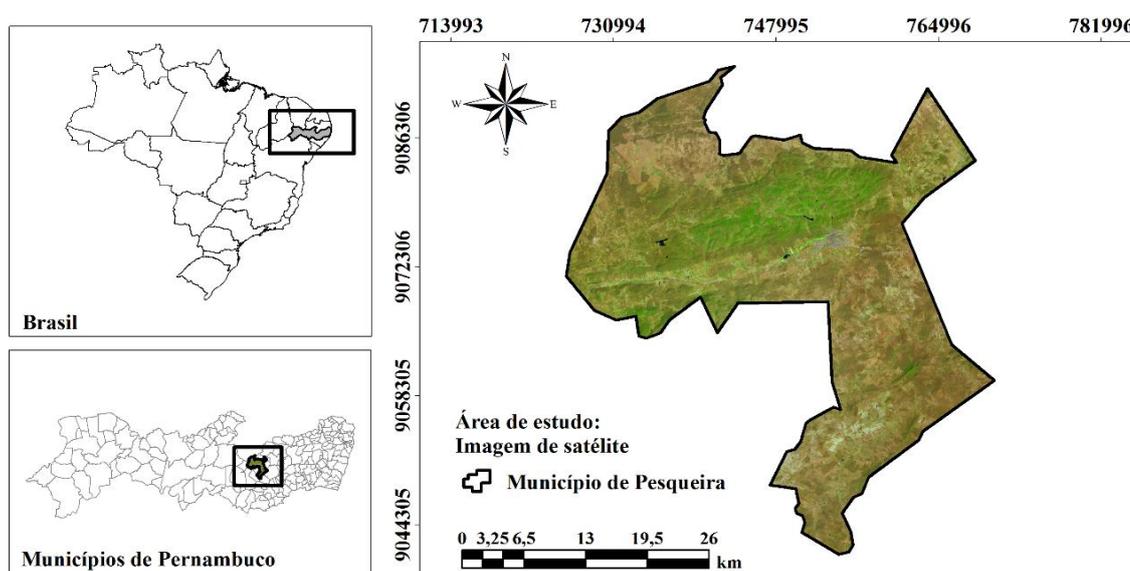


Figura 1. Localização espacial da área de estudo, município de Pesqueira, Pernambuco, Brasil.

O clima local é classificado, segundo Köppen, como BShw' semiárido quente. De acordo com MONTENEGRO & MONTENEGRO (2006) a temperatura média anual é de 23 °C, a região possui ainda uma média anual de 607 mm de precipitação como mostra a figura 2, além de uma evapotranspiração potencial de 2000 mm por ano.

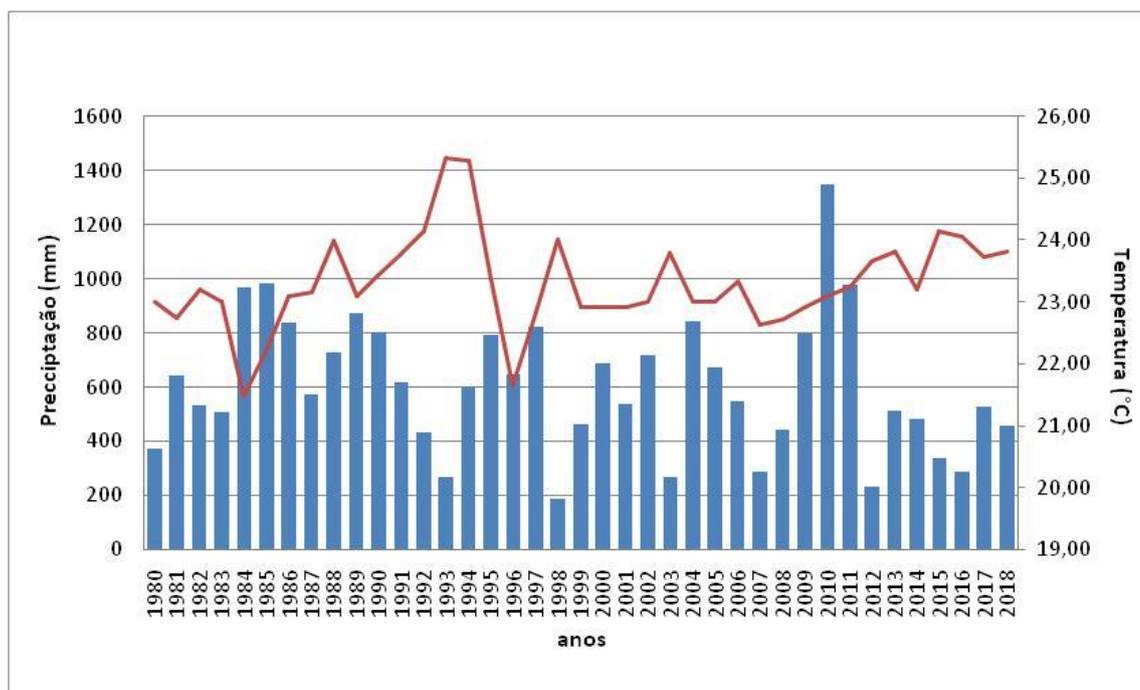


Figura 2. Dados históricos (1980 a 2018) de precipitação e temperatura do ar para o município de Pesqueira, Pernambuco

Fonte: Agencia Pernambucana de Águas e Climas e Instituto Nacional de Meteorologia.

Estudos do IBGE (2017) revelam que o Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite (1948) é menor do que 0,50 confirmando a classificação de Köppen, ou seja, clima semiárido e quente.

A região é marcada pela presença dos seguintes tipos de solos: Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico e o Planossolo. (EMBRAPA, 2009).

A cobertura vegetal predominante na área de estudo é a Caatinga (Figura 3), destacando-se coberturas de diferentes densidades e pastagem (MONTENEGRO & RAGAB, 2010).



Figura 3. Tipo de vegetação em diferentes períodos, (A) no período de chuva (B) no período de seca em Mimoso, Pesqueira – PE.

5.2 Características das Parcelas Experimentais

As unidades experimentais foram constituídas por uma parcela medindo três metros de comprimento, por um metro de largura, com a maior dimensão no sentido da declividade do solo, que era de 7%. Construídas com chapas metálicas, as parcelas contavam com 25 cm de altura, sendo aproximadamente 10 cm cravados no solo. Na parte inferior, possuíam uma calha para coleta da enxurrada (Figura 4).



Figura 4. Modelo da parcela experimental utilizada para campo.

Sobre as parcelas, foram adotados dois tratamentos, solo descoberto e solo coberto com cobertura morta de capim (*Brachiaria decumbens*) seco ao ar, com densidade de 3 Mg ha^{-1} , além de três chuvas simuladas com intervalo de 24 horas entre elas.

O capim utilizado foi proveniente de uma capinação com uma roçadeira à gasolina na sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Este capim estava com 20 cm de altura em média e foi exposto ao ar livre para que fosse secado. Após a secagem, o material foi levado para o distrito de Mimoso, em Pesqueira – PE, para a sua utilização no experimento.

A escolha do capim *Brachiaria decumbens* está associada à disponibilidade desse capim na região do experimento, sendo de fácil acesso para os produtores agrícolas locais.

5.3 Calibração do Simulador de Chuva

Foi utilizado um simulador de chuvas (Figura 5, A e B) com 3m de altura em relação ao nível do solo, formado por uma armação retangular e apoiado sobre quatro pés de tubos de aço removíveis, o qual possui um motor com sistema eletrônico que realiza movimentos oscilantes, com um bico aspersor tipo Veejet 80-100 (SANTOS 2006). O simulador foi alimentado por uma bomba submersa que captou água de uma caixa de capacidade de 1000 Litros.



Figura 5. (A) Simulador de chuva e (B) Caixa d'água para alimentação do simulador.

Foram simuladas chuvas representando dados provenientes de uma avaliação histórica de 29 anos de observações na bacia representativa do Alto Ipanema (SANTOS & MONTENEGRO, 2012). As precipitações tiveram uma duração de 30 minutos com uma intensidade de $54,63 \text{ mm h}^{-1}$ e índice de erosividade (EI30) de $1202,87 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

As chuvas foram aplicadas em intervalos de 24 horas, sendo 0h, 24h e 48h, a partir da primeira chuva.

A energia cinética por milímetro de chuva foi igual a $0,271 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, calculada pela equação de Wischmeier & Smith (1958) (SANTOS & MONTENEGRO, 2012).

A energia cinética por incremento (Eci) de chuva foi então determinada pela equação 1:

$$E_{ci} = E_c * vol \quad (1)$$

em que:

Vol - quantidade de chuva do incremento (lâmina precipitada), (mm);

E_c - Energia cinética por milímetro (MJ ha^{-1}).

A energia cinética total foi obtida pelo somatório da energia cinética de cada incremento, sendo igual a $22,02 \text{ MJ ha}^{-1}$

Foi utilizado um coeficiente igual a 0,78 para conversão da energia cinética da chuva simulada, conforme recomendado por Young e Burwell (1972).

Logo, a erosividade da chuva (EI30) foi calculada pela equação 2:

$$EI30 = E_{ct} * I \quad (2)$$

em que:

EI30 - Índice de erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

E_{ct} - energia cinética total (MJ ha^{-1} de chuva);

I - intensidade de precipitação em 30 minutos (mm h^{-1}).

Para observação da influência do selamento superficial nas taxas erosivas foram aplicadas três chuvas sucessivas espaçadas de 24 horas (0h, 24h e 48h). A Figura 6 apresenta o gráfico da calibração do simulador de chuva.

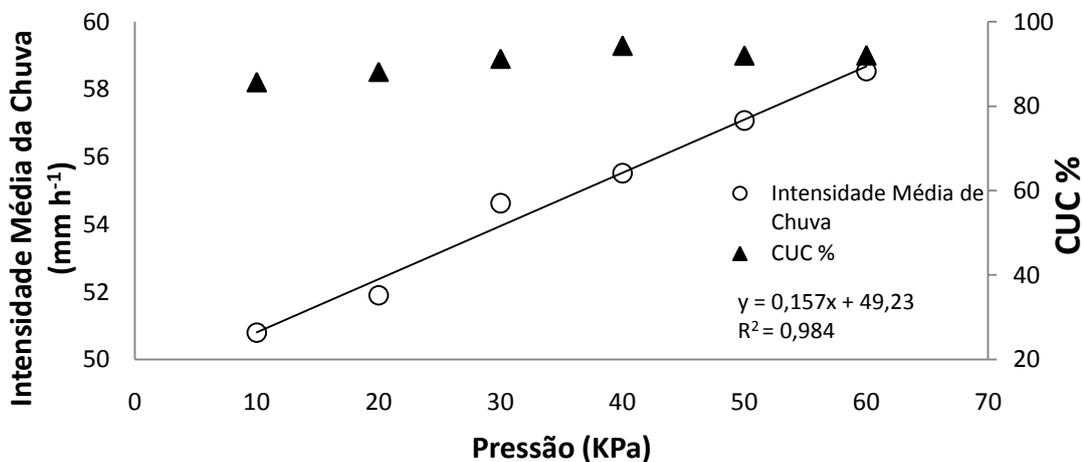


Figura 6. Relação entre intensidade média da chuva (mm h⁻¹) e coeficiente de uniformidade (%) em função da pressão de serviço (kPa) da chuva simulada.

5.4 Determinação das Características Físicas e Químicas do Solo

Foram coletadas cinco amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-20 e de 20-40 cm com o objetivo de caracterizar física e quimicamente o solo, onde se determinaram os seguintes atributos físicos do solo: análise granulométrica realizada pelo método do densímetro, com estimativa da argila dispersa total usando-se hidróxido de sódio como dispersante pelo método proposto por Donagemma et al. (2017); densidade do solo determinada pelo método do cilindro volumétrico proposto por Almeida et al. (2017); densidade de partículas pelo método do balão volumétrico recomendado por Viana et al. (2017), grau de flocculação calculado com base nas quantidades de argila total e argila dispersa em água de acordo com o método sugerido por Donagemma e Viana (2017); umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), macroporosidade ($Macp$), microporosidade ($Micp$), porosidade total do solo (Pt) pelo método indicado por Almeida et al. (2017) e condutividade hidráulica (K_o), pelo método proposto por Teixeira et al. (2017).

Para os atributos químicos foram realizadas as seguintes análises: pH em água, utilizando-se potenciômetro; sódio e potássio extraídos com Mehlich

e determinados por fotometria de emissão de chama, Ca e Mg extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica pelo método proposto por Teixeira et al. (2017); a acidez potencial (H+Al), extraída por acetato de cálcio pH 7 e determinada por titulação com NaOH pelo método sugerido por Campos et al. (2017) e carbono orgânico do solo determinada pelo método volumétrico do dicromato de potássio e avaliado por titulometria recomendado por Fontana e Campos (2017) . As características físicas e químicas do solo utilizado no experimento estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características físicas do Argissolo Amarelo na área experimental, nas camadas 0 -20 e de 20 – 40 cm de profundidade.

Camada	Areiat.	Areia g.	Areia f.	Argila	Silte	ADA	GF	Pt	Ds	Dp	CT
cm	g kg ⁻¹					%		g cm ⁻³			
0 - 20	621,55	457,82	163,73	120,49	261,98	25,10	78,33	34,05	1,67	2,53	Franco
20 - 40	604,62	445,34	159,8	120,64	279,70	25,13	78,33	34,79	1,65	2,53	Arenoso

Legenda: Areia total (Areia t.), areia grossa (Areia g.), areia fina (Areia f.), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (Gf), porosidade total (Pt*), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), classe textural (CT).

Tabela 2. Características químicas do Argissolo Amarelo na área experimental, nas camadas 0 – 20 e 20-40 cm de profundidade.

Camada	Ca	Mg	K	Na	H+Al	C.O.	pH
Cm	cmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹	H ₂ O
0 – 20	0,019	0,064	0,62	1,03	0,12	12,18	6,90
20 – 40	0,019	0,066	0,41	0,41	0,11	11,02	6,88

Legenda: Cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), acidez potencial (H+Al), carbono orgânico (C.O.).

5.5 Determinação de Estabilidade de Agregados

Através do método de Kemper e Chepil (1965) foi determinada a estabilidade de agregados. Para esta análise, 100 g de solo foram previamente umedecidos de forma lenta, por meio de capilaridade. Após o umedecimento, os agregados do solo que foram divididos em duas partes de 50 g, foram

submetidos ao peneiramento em água, utilizando-se um aparelho capaz de realizar movimentos verticais, como proposto por YODER (1936).

O peneiramento consistiu de dois conjuntos de cinco peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm. Esses conjuntos de peneiras ficaram submersos em água enquanto o aparelho proporcionava agitações verticais de 42 ciclos a cada minuto, durante 15 minutos.

Os agregados contidos em cada peneira foram acomodados em recipientes metálicos e levados à estufa por um período de 24 horas, em temperatura constante de 105°C. Após este procedimento, foi possível a determinação do diâmetro médio ponderado, DMP (KEMPER & ROSENAU, 1986), do módulo de finura, MF (FREIRE & PIEDADE JR., 1979) e o AGRI, somatório dos percentuais, a 2,00 mm (WENDLING et al., 2005), através das equações 3, 4 e 5.

$$DMP = \sum_{i=1}^n (c_p * p) \quad (3)$$

$$MF = \sum [(4-2) + (2-1) + (1-0,5) + (0,5-0,25) + (<0,25)] \div 100 \quad (4)$$

$$AGRI = w_{i>2} * 100 \quad (5)$$

Onde:

DMP – Diâmetro médio ponderado (mm);

C_p - É o centro de cada classe de peneira;

P - O peso seco da amostra (%);

MF- Módulo de finura dos agregados;

Σ - Somatório da porcentagem acumulada de agregados em cada classe;

w_{i>2} - Representa a proporção de agregados >2,00 mm.

5.6 Avaliação das Características Hidráulicas do Escoamento Superficial

A determinação da velocidade do escoamento superficial foi feita através da medição do tempo gasto para um corante azul ou percorrer 2 metros no

interior da parcela, de acordo com o método proposto por Bezerra e Cantalice (2006).

A medição foi feita em intervalos de 3 minutos a partir do início do escoamento, e também no mesmo intervalo foram feitas as coletas da enxurrada após a formação e deslocamento da lâmina.

De acordo com Farenhorst e Bryan (1995); Katz et al. (1995) para se chegar ao valor médio do escoamento, em m s^{-1} , foi necessário o uso de um fator de correção ($\alpha=2/3$) na obtenção da velocidade do escoamento superficial.

A altura da lâmina escoada (h) foi calculada através da equação 6:

$$h = \frac{q}{V} \quad (6)$$

onde:

h - altura da lâmina de escoamento (m);

q - descarga líquida total por unidade de largura em ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$);

V - velocidade média do escoamento (m s^{-1}).

A descarga líquida por unidade de largura (q), expressa em $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$, foi obtida através da quantificação do volume da enxurrada coletada na calha posicionada em uma das extremidades da parcela e depois dividido pela largura da parcela. O tempo de cada coleta era de 10 segundos

A partir de um termômetro, foi medida a temperatura da água em $^{\circ}\text{C}$ para cada repetição e a partir disso foi possível conhecer a viscosidade cinemática da água conforme proposto por Julien (1995) através da equação 7:

$$v = [(1,14 - 0,031 \cdot (T - 15) + 0,00068 \cdot (T - 15)^2)] \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

onde:

v - viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$);

T - temperatura da água em $^{\circ}\text{C}$.

O número de Reynolds (Re) foi obtido pela equação 8:

$$Re = \frac{V \cdot h}{\nu} \quad (8)$$

onde:

Re - número de Reynolds, adimensional;

V - velocidade média do escoamento (m s^{-1});

h - altura do escoamento (m);

ν - viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

A obtenção do número de Froude (Fr) foi através da equação 9:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (9)$$

onde:

Fr - número de Froude (adimensional);

V - velocidade média do escoamento (m s^{-1});

g - aceleração da gravidade (m s^{-2});

h - altura do escoamento (m).

Diante dos números de Reynolds e de Froude foi possível classificar os regimes de escoamento gerado pela simulação de chuvas para cada teste de acordo com a figura 7.

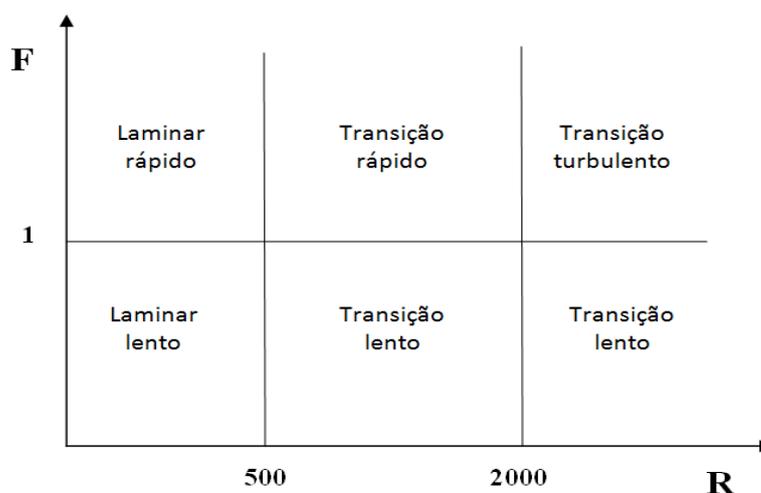


Figura 7. Esquema de classificação dos regimes de escoamento gerados durante as simulações de chuva.

Fonte: Bezerra (2004)

O coeficiente de Manning (n), que determina a rugosidade foi obtido pela equação 10 proposta por Braida e Cassol (1999).

$$n = \frac{h^{5/3} \cdot S^{1/2}}{q} \quad (10)$$

onde:

n - coeficiente de rugosidade de Manning ($s \cdot m^{-1/3}$);

h - altura da lâmina de escoamento (m);

q - descarga líquida por unidade de largura ($m^2 \cdot s^{-1}$);

S - declive da parcela ($m \cdot m^{-1}$).

5.7 Avaliação da Perda de Água

Diante da equação 11, foi possível calcular a perda de água, determinando o volume da enxurrada.

$$PA = \left(\frac{Les}{Lppt} \right) * 100 \quad (11)$$

onde:

PA - perda de água (%);

Les - lâmina escoada (mm);

Lppt - lâmina total precipitada (mm).

5.8 Avaliação das Taxas de Desagregação e Perdas de Solo

Para a determinação das taxas de desagregação do solo (D), foi utilizada a equação 12:

$$D = \frac{Mss}{Ap \cdot Dc} \quad (12)$$

onde:

D - taxa de desagregação do solo ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$);

Mss - massa do solo seco desagregado (kg);

Ap - área da parcela (m^2);

Dc - duração da coleta em (s).

A perda de solo foi calculada através da equação 13:

$$P_s = \frac{\sum(Q \cdot C_s \cdot t_c)}{A_p} \quad (13)$$

onde:

P_s - perdas de solo (kg m⁻²);

Q - vazão (L s⁻¹);

C_s - concentração de sedimento (kg L⁻¹);

t_c - intervalo entre as coletas (s);

A_p - área da parcela (m²).

5.9 Determinação da Concentração de Sedimentos na Enxurrada

As amostras de água da enxurrada coletadas na calha coletora durante 10 segundos foram armazenadas em potes plásticos com capacidade volumétrica de 1 litro. Em laboratório, essas amostras foram pesadas e deixadas em repouso durante 24 horas para que o solo presente na água pudesse ser decantado. Após esse procedimento, a parte sobrenadante foi succionada e o solo levado para estufa de ventilação forçada por 72 horas com temperatura constante de 65°C.

Ao sair da estufa, o solo seco foi novamente pesado e tirado a tara do pote, obtendo assim a quantidade de solo seco presente no volume da enxurrada.

Através da equação 14, foi calculada a concentração de sedimentos.

$$C_s = \frac{M_{ss}}{M_{vol}} \quad (14)$$

onde,

C_s - concentração de sedimentos (kg kg⁻¹);

M_{ss} - massa do solo seco (kg);

M_{vol} - massa da enxurrada (kg).

5.10 Análise da Resistência à Penetração do Solo

O teste de resistência à penetração foi usado para avaliar o quanto o solo encontrava-se com sua superfície compactada. Para esta análise foram coletadas amostras do solo sempre antes e depois das três chuvas simuladas (0, 24 e 48h) através de anéis volumétricos de PVC com diâmetro e altura de 5 cm. A extração do solo nos anéis foi realizada com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland. As amostras foram envolvidas por plástico filme e acondicionadas de modo a não perderem a umidade e a estrutura até que fossem levadas ao laboratório.

Em laboratório as amostras receberam um pré-tratamento, onde se retirou o excesso de solo dos anéis, de modo que o solo ficasse na mesma linha de altura do anel. Em baixo de cada anel, foi colocada uma tela sustentada por ligas elásticas. O objetivo dessa tela era permitir que o solo ganhasse umidade por fluxo ascendente de água e ao mesmo tempo impedir que o solo fosse perdido.

O passo seguinte foi colocar as amostras em uma bandeja contendo água para saturar, até que a superfície do solo estivesse espelhada. Em seguida, as amostras foram colocadas na mesa tensão e submetidas a uma tensão de aproximadamente 10kPa para atingirem o ponto de capacidade de campo. Feito isso, as amostras foram pesadas e levadas ao penetrômetro de bancada, o qual possui uma carga nominal de 20 kg e velocidade de operação de 1cm a cada minuto. A agulha utilizada foi de 4 mm de diâmetro que penetrava no solo 0,02m e os resultados eram projetados em um computador através de gráficos de Força (Kgf) x Tempo (min). Esses dados foram salvos e posteriormente trabalhados no Software MS Office Excel 2007 para transformar os valores de força (kPa) em Pressão (MPa).

5.11 Análise de Selamento Superficial do Solo

Para a análise de selamento superficial foi utilizada o método de descrição de lâminas polidas de solo. Para isso, foram utilizadas seções de

tubos de PVC com diâmetro e altura de 5 cm que serviram de amostradores de solo.

Antes de iniciar as simulações de chuvas, foi coletada uma amostra para servir de testemunha. Após as chuvas de 0 e 48h foram coletadas amostras nas parcelas com os dois tratamentos: solo coberto e solo descoberto. Após as coletas, as amostras ficaram expostas ao ar por dez dias para secarem e atingirem uniformidade do teor de umidade.

Após o processo de secagem, as amostras foram saturadas com acetona e, posteriormente, impregnadas com resina Aradur HY 951, que foi diluída em estire (hidrocarboneto aromático não saturado), seguindo o método proposto por MURPHY (1986).

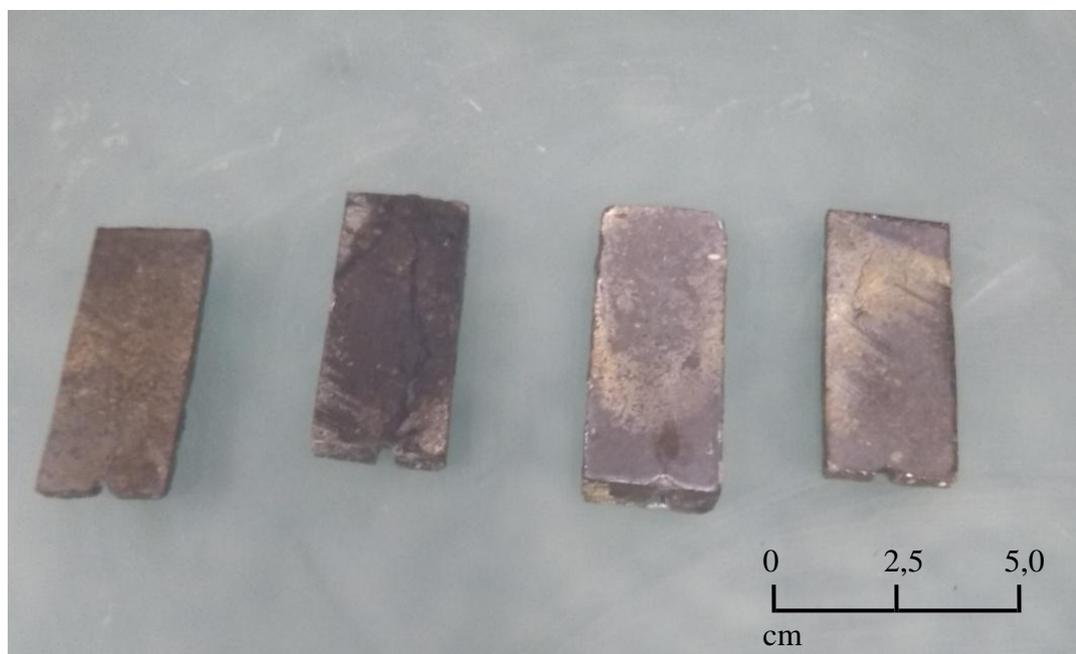


Figura 8. Peças cortadas com espessura de 0,5 cm.

Já impregnadas, as amostras foram cortadas em peças verticais à superfície com cerca de 0,5 cm de espessura (Figura 8). As peças foram coladas com araldite GY 260 em lâminas delgadas de secção fina (2,6 x 7,6 cm) para microscópio óptico (Figura 9), tendo a face do bloco polida com uma lixadeira mecânica. Foram confeccionadas lâminas delgadas para amostras coletadas após aplicação das chuvas simuladas 0h e 48h, com e sem cobertura morta.



Figura 9. Colagem das peças nas lâminas de vidro.

Com parte da espessura já reduzida, procedeu-se manualmente um polimento com pasta adiamantada (6 a 12 μm) até as lâminas atingirem a espessura desejada (30 μm) (Figura 10). O controle da espessura foi realizado com observações frequentes através do microscópio para que se atingisse a coloração cinza do quartzo. Todo esse preparo das lâminas delgadas foi realizado no Departamento de Geologia da UFPE.



Figura 10. Polimento manual com pasta diamantada (6 a 12 μm).

Com as lâminas delgadas confeccionadas, foi efetuada a descrição micromorfológica das amostras no Laboratório de Cristalquímica e Micromorfologia do Solo na UFRPE/UAG, a fim de apresentar as feições e a

caracterização geral das lâminas para os diferentes tratamentos e tempos após chuva simulada. Com auxílio do microscópio óptico (Figura 11) procedeu-se a descrição micromorfológica, seguindo os critérios propostos por Bullock et al. (1985).



Figura 11. Microscópio óptico.

5.12 Análise da Condutividade Hidráulica em Laboratório

Para a análise da condutividade hidráulica, foi utilizado o método proposto por Teixeira et al. (2017) com modificações, para o qual foram coletadas amostras indeformadas antes e depois dos três intervalos de chuvas simuladas (0, 24 e 48h) nos dois tipos de tratamentos, solo descoberto e solo com cobertura morta, totalizando 48 amostras.

Após a coleta, as amostras foram devidamente identificadas e envolvidas por plástico filme para que mantivessem a estrutura preservada. No laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, as amostras receberam um pré-tratamento, onde o excesso de solo dos anéis foi removido para que o solo ficasse na mesma linha de altura do anel. Na parte inferior de cada anel, foi colocada uma tela sustentada por ligas elásticas

para que se evitasse a perda de solo e também permitisse a passagem ascendente da água. Na parte superior, foi encaixado outro anel de mesmo diâmetro (5 cm) e 2,5 cm de altura, fixado ao anel inferior por fita adesiva. Após esse procedimento, as amostras foram acomodadas em uma bandeja de plástico com uma espuma de 1,5 cm de espessura, evitando o contato direto das amostras com a base da bandeja.

O próximo passo foi colocar água na bandeja onde estavam as amostras. A água estava previamente aquecida para facilitar a eliminação de todo o ar existente tanto na água como a espuma, facilitando assim a saturação das amostras. Depois de todo esse pré-tratamento, a bandeja foi totalmente envolvida por plástico filme até que as superfícies do solo nos cilindros estivessem espelhadas, ou seja, atingissem a saturação (Figura 12).



Figura 12. Amostras em saturação.

Ao atingirem a saturação as amostras receberam uma proteção de papel filtro na parte superior, com objetivo de permitir a passagem da água, porém evitar que houvesse um contato direto do solo com a carga constante de água ao iniciar a análise.

O passo seguinte foi acomodar as amostras em uma plataforma de apoio e ajustar as garrafas PET de 500 ml contendo água de modo que o pico na tampa da garrafa mantivesse o nível da carga hidráulica constante em 2 cm de altura (Figura 13).



Figura 13. Amostras em teste de condutividade hidráulica.

Com o início da percolação da água, é anotado o tempo de início de cada cilindro, medindo o volume percolado a cada 10 minutos. O teste terminou quando os coeficientes de variação das três últimas leituras do volume percolado forem menores que 20% para cada amostra.

Com o volume coletado, foi possível chegar à condutividade hidráulica do solo através da equação 15.

$$K = \left(\frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \right) \quad (15)$$

Onde,

K – condutividade hidráulica (cm h⁻¹);

Q – volume percolado (ml);

L – altura do cilindro com solo (cm);

A – área do cilindro (cm²);

H – altura do cilindro com solo e da coluna de água (cm);

t – tempo de percolação (h).

5.13 Análise Estatística

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de 3 x 2 x 4, onde se teve um tipo de solo, três aplicações sucessivas de chuvas simuladas (0, 24 e 48h), com solo sem cobertura morta (SSC) e solo com cobertura morta (SCC) e quatro repetições.

Para que se reduzisse o coeficiente de variação dos dados encontrados, os mesmos foram transformados para \sqrt{x} .

Através do teste de análise de variância (ANOVA), avaliou-se uma série de variáveis como: características hidráulicas do escoamento superficial, perda de água e solo, estabilidade de agregados e resistência à penetração.

Com a utilização do Software Sisvar 5.6, foram feitas as análises estatísticas por comparação de médias dos tratamentos através do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estabilidade de Agregados

A distribuição do percentual dos agregados estáveis em água nas diferentes classes, o diâmetro médio ponderado (DMP) e módulo de finura (MF) nas camadas 0-20 e 20 – 40 cm encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Distribuição de percentual dos agregados nas diferentes classes, diâmetro médio ponderado (DMP) e módulo de finura (MF), para o Argissolo Amarelo.

Prof.	Classes de Agregados					DMP	MF
	%						
Cm	>2	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	<0,25	mm	
0 -20	11,59 a	12,98 a	13,72 a	13,88 a	18,53 a	0,77 a	1,97 a
20 - 40	12,96 a	13,29 a	12,93 a	13,88 a	18,81 a	0,82 a	2,03 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% para profundidade de 0 - 20 cm e de 20-40 cm.

De acordo com a tabela 3, percebe-se que estatisticamente, que não houve diferença entre nenhuma classe de agregados nas duas profundidades estudadas: de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm.

A semelhança encontrada para as análises das duas profundidades confirma que o teor de matéria orgânica é bastante parecido nas duas camadas, isto porque, o processo de formação de agregados está relacionado ao teor de matéria orgânica (SILVA, 2016). De fato, o solo amostrado estava em desuso e há tempo não recebia nenhum resíduo orgânico, o que explica a baixa quantidade de carbono orgânico. Além disso, a área estudada não recebia preparos iniciais do solo, que de acordo com Abrão et al. (2017), interferem diretamente na distribuição da estabilidade dos agregados do solo, já que os tratamentos culturais envolvem a aplicação de adubos orgânicos que favorecem à formação de maiores agregados do solo.

Com relação ao diâmetro médio das partículas (DMP), esta variável tem sua quantificação diretamente ligada aos teores de argila e carbono orgânico (VASCONCELOS et al., 2013). Os autores relatam que na maioria das vezes um baixo DMP revela que o solo está mais susceptível às perturbações e conseqüentemente à erosão, concluindo-se que quanto maior o DMP maior será o teor de matéria orgânica, implicando numa maior estabilidade dos agregados.

Por fim, tem-se o módulo de finura (MF) que é usado para representar o quanto que os agregados são finos ou mais grossos. Segundo Bernadi (2006), quanto maior o MF, mais gráudo e estável são os agregados.

6.2 Condutividade Hidráulica

Diante das mais variadas propriedades físicas do solo, a condutividade hidráulica é uma das mais importantes, isso porque ela é capaz de determinar tanto qualitativamente quanto quantitativamente o movimento da água no perfil do solo (JUNQUEIRA et al., 2018).

Analisando a tabela 4 percebe-se que a condutividade hidráulica (K_0) foi estatisticamente diferente tanto para os intervalos de chuvas como para o solo com ou sem cobertura morta.

Entre os intervalos, a diferença estatística deve-se ao fato que a cada chuva o solo tornava-se mais adensado, dificultando a percolação da água no solo.

Tabela 4. Condutividade hidráulica (K_o) para solo sem cobertura morta (SSC) e com cobertura morta (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	Condutividade Hidráulica (k_o)	
	cm/h	
	SSC	SCC
	Argissolo Amarelo	
0h	2,11 aA	2,93 aB
24h	0,95 bA	1,75 bB
48h	0,41 cA	0,79 cB

6.3 Característica da Hidráulica do Escoamento Superficial

Observando a tabela 5 percebe-se que o Número de Reynolds (Re) nos dois tratamentos foram menores que 500, e o número de Froude foi menor que 1, podendo ser classificado o escoamento como laminar lento (SILVA, 2011). O que de acordo com Bezerra (2004) são características para que aconteçam erosões entre os sulcos, concordando com os resultados obtidos por Cassol e Lima (2003) e Bezerra e Cantalice (2006).

Tabela 5. Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr) e o coeficiente de rugosidade de Manning (n), para solo sem cobertura morta (SSC) e com cobertura morta (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	Re		Fr		n	
	SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC
0h	31,10 bA	18,04 bB	0,10 bA	0,07 aB	0,00064 aA	0,00080 bB
24h	35,80 abA	30,64 aB	0,14 abA	0,06 aB	0,00045 aA	0,00154 aB
48h	38,88 aA	35,40 aB	0,18 aA	0,06 aB	0,00029 aA	0,00180 aB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A presença da cobertura morta foi determinante para se obter valores de rugosidade significativamente maiores do que o tratamento sem cobertura. A presença da cobertura aumentou a resistência ao escoamento superficial, contribuindo assim para uma menor erosão do solo (Tabela 5).

Com relação à descarga líquida (Tabela 6) percebe-se que na ausência da cobertura morta o valor torna-se significativamente maior do que quando se usa a cobertura para os mesmos intervalos de chuva. Para o mesmo tratamento foi encontrada diferença significativa entre os intervalos de 0 e 24, e de 0 e 48 horas, esta diferença deve-se ao fato de que no primeiro intervalo de simulação de chuva (0h) o solo encontrava-se não saturado e por isso houve uma maior infiltração até que o escoamento superficial fosse gerado e com ele comesçassem as erosões laminares. Porém, nos demais intervalos (24 e 48h), ao iniciar a simulação, o solo já se encontrava em situação de saturação proveniente da chuva anterior, o que gerou rapidamente o escoamento superficial e conseqüentemente a erosão laminar.

Tabela 6. Descarga líquida, velocidade de escoamento para o Argissolo Amarelo sem cobertura (SSM) e com cobertura (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	Descarga Líquida		Velocidade do escoamento	
	$m^2 s^{-1}$		$m s^{-1}$	
	SSC	SCC	SSC	SCC
0h	$2,9 \times 10^{-5}$ bA	$1,6 \times 10^{-5}$ bB	0,01454 bA	0,00919 aB
24h	$3,4 \times 10^{-5}$ aA	$3,3 \times 10^{-5}$ aB	0,01901 aA	0,01034 aB
48h	$3,6 \times 10^{-5}$ aA	$2,9 \times 10^{-5}$ aB	0,02266 aA	0,01032 aB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Analisando a velocidade do escoamento superficial (Tabela 6), fica nítido que o uso da cobertura morta reduziu significativamente quando comparado com o solo descoberto. Essa redução deve-se ao fato de que a cobertura morta com densidade de 3 Mg ha^{-1} aumentou a rugosidade (n), dificultando o fluxo de água ao longo da parcela, assim como observados por Silva (2016), e constatado pela não diferença estatística entre os intervalos de chuva para esse tratamento.

Silva et al. (2018) destacam que o uso da cobertura morta apresenta uma série de benefícios como a retenção de água no solo e redução na velocidade do escoamento superficial.

De acordo com Abrantes et al. (2015) o uso da cobertura morta além de diminuir a velocidade do escoamento superficial, também aumenta a altura da lâmina líquida, como pode ser visto na tabela 6, indo de acordo com outros estudos (Chen et al., 2007; Santos et al., 2009), isto porque a camada de cobertura morta dificulta o escoamento da água pela barreira física criada, fazendo com que esta água se acumule na superfície do solo, como descrito por Lima et al. (2014).

Tabela 7. Altura de escoamento, e viscosidade para Argissolo Amarelo sem cobertura (SSM) e com cobertura (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	Altura do escoamento		Viscosidade Cinemática	
	m		$m^2 s^{-1}$	
	SSC	SCC	SSC	SCC
0h	$1,95 \times 10^{-3} aA$	$2,47 \times 10^{-3} bB$	$9,29 \times 10^{-7} aA$	$9,44 \times 10^{-7} aA$
24h	$1,87 \times 10^{-3} aA$	$2,83 \times 10^{-3} aB$	$9,56 \times 10^{-7} aA$	$9,23 \times 10^{-7} aA$
48h	$1,66 \times 10^{-3} aA$	$3,22 \times 10^{-3} aB$	$9,43 \times 10^{-7} aA$	$9,43 \times 10^{-7} aA$

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Analisando a viscosidade cinemática da água (tabela 7) percebe-se que entre os tipos de coberturas, assim como também, entre os intervalos de aplicação da chuva (0, 24 e 48h) não houve diferenças significativas, isso se deve ao fato de que a temperatura da água utilizada para a simulação não sofreu grandes variações, já que a viscosidade cinemática da água está diretamente ligada à temperatura.

É possível perceber que ao ser comparado o solo com cobertura morta e o solo sem cobertura, há uma redução significativa da taxa de desagregação e da perda de solo, mostrando que o uso de cobertura morta sobre a superfície do solo diminui a degradação do solo pela desagregação das partículas a partir do impacto causado pelas gotas de chuva (Tabela 8). Porém, como observado também por Silva (2016) em estudo com o mesmo tipo de solo (Argissolo

Amarelo) e a mesma cobertura (capim *Brachiaria decumbens*), entre os intervalos de aplicações da chuva simulada (0, 24 e 48h) não houve diferenças significativas tanto para o solo com cobertura, quanto para o solo descoberto, quando observadas a perda de solo e a taxa de desagregação.

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC (2019), a bacia hidrográfica do Alto Ipanema possui uma área de 6.209,67 km², que ao ser levada em consideração para uma projeção de perda de solo em toda a bacia, resultaria em 39.431,41 toneladas para o intervalo de 0h; 33.345,93 toneladas para o intervalo de 24h e 37.195,92 toneladas para o intervalo de 48h, o que evidencia a grande quantidade de solo perdido sempre que há chuvas na área estudada.

Da mesma forma, ao ser projetada a taxa de desagregação para toda a bacia hidrográfica, verifica-se grandes valores, como: 218,59 toneladas por segundos no primeiro intervalo (0h); 201,19 toneladas por segundos no segundo intervalo (24h) e 220,44 toneladas por segundos para o terceiro intervalo (48h).

A quantidade de solo desagregada e perdida pode chegar a números bastante elevados quando projetados para a área total da bacia, o que pode causar grandes consequências, tendo em vista que não apenas o solo está sendo degradado, mas também os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas estão sendo carregados juntamente com o solo.

Tabela 8. Perda de solo, taxa de desagregação e perda de água para Argissolo Amarelo para solo sem cobertura (SSM) e solo com cobertura (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	Perda de Solo		Taxa de desagregação		Perda de água	
	Kg m ⁻²		Kg m ⁻² s ⁻¹		%	
	SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC
0h	0,00916 aA	0,00281 aB	5,02 x 10 ⁻⁵ aA	1,50 x 10 ⁻⁵ aB	10,63 bA	6,34 bB
24h	0,00782 aA	0,00245 aB	4,55 x 10 ⁻⁵ aA	1,31 x 10 ⁻⁵ aB	12,32 abA	10,41 aB
48h	0,00813 aA	0,00214 aB	4,70 x 10 ⁻⁵ aA	1,15 x 10 ⁻⁵ aB	13,93 aA	12,24 aB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

6.4 Escoamento Superficial e Taxas de Infiltração

O uso de resíduos vegetais na superfície do solo reduziu em aproximadamente 42% o escoamento superficial para o primeiro intervalo de chuva simulada, seguindo a redução em 19% para o segundo intervalo e de 12% no terceiro (Tabela 9). Na prática, esses números indicam que a técnica utilizada para barrar o escoamento mostrou-se eficiente, uma vez que, ao amenizar o escoamento, reduz-se a erosão do solo.

Outra variável apresentada na tabela 9 é a infiltração da água no solo estudado. Essa grandeza mostrou-se significativamente influenciada pelo uso ou não da proteção do solo com o capim. A condição de solo sem cobertura, apresentou reduções da infiltração de água no solo de 70%, 52% e 71% para os intervalos de 0h, 24h e 48h, respectivamente, em relação ao solo coberto. Levando-se em conta que se trata de uma região com escassez de água, o volume maior de água infiltrada resulta em um maior aproveitamento do solo para a agricultura por parte dos pequenos produtores rurais daquela localidade.

Tabela 9. Escoamento superficial, infiltração e tempo inicial de escoamento para o Argissolo Amarelo para solo sem cobertura morta (SSC) e com cobertura morta (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	Escoamento Superficial		Infiltração		Tempo Inicial do escoamento	
	mm h ⁻¹		mm h ⁻¹		minutos	
	SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC
0h	47,50 aA	27,70 aB	7,61 aA	26,06bB	4,94 aA	5,68 aB
24h	48,00aA	38,65 bB	7,92 aA	16,49 aB	2,22 bA	5,24 aB
48h	50,25 aA	43,80 bB	3,10 aA	10,86 aB	1,88 bA	4,82 aB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Diante da redução do escoamento superficial e da maior infiltração no solo, percebe-se que o início do escoamento também foi alterado de forma significativa com a presença da cobertura com o capim. Este acontecimento deve-se ao fato de que a barreira criada pela cobertura morta impediu que a

água escoasse pelo solo de forma livre, ou seja, criou uma resistência que retardou o início do escoamento, e ao ocasionar esse atraso, aumentou o tempo de contato da água com o solo, contribuindo desta forma para uma maior infiltração.

Entre os intervalos de chuva, verifica-se para o solo sem cobertura (SSC) houve diferença significativa no intervalo 0h em comparação com os intervalos 24 e 48h, o que pode ser explicado pelo fato do teor de umidade ser baixo no solo, inicialmente, promovendo um retardo. Entretanto para o solo coberto (SCC) não houve diferença significativamente entre os intervalos, demonstrando a eficiência da cobertura no retardo do escoamento superficial mesmo ocorrendo precipitação antecedente.

Deuschle (2016) afirma que o uso da cobertura é uma prática de controle de erosão do solo que além de interceptar e absorver o impacto das gotas da chuva, também, é responsável por promover a estrutura do solo e evitar o selamento superficial. No entanto, os benefícios vão além dos já mencionados, como o aumento da infiltração e redução do escoamento superficial, o que adia o início do escoamento.

Silva (2016) alerta que a umidade do solo que antecede o experimento não pode ser desprezada, uma vez que quando o solo já se encontra com uma umidade um pouco mais elevada, haverá uma tendência de ocorrer um maior escoamento superficial em menor tempo. Nesse sentido, a umidade antecedente (Tabela 10) foi mais elevada no tratamento sem cobertura morta (SSC) do que a apresentada pelo solo com cobertura morta (SCC), isto porque houve precipitação nos dias que antecederam o experimento com o solo descoberto, já que os testes não foram realizados no mesmo período.

No entanto, mesmo o solo descoberto tendo partido de uma umidade inicial superior à encontrada no solo protegido (Tabela 10), fica evidente que o uso da cobertura morta proporcionou um aumento gradativo da umidade em que é possível afirmar que esta técnica de proteção favoreceu para que o solo armazenasse mais água do que o solo descoberto, já que inicialmente o solo protegido encontrava-se com menos de 1% de umidade e no final do experimento chegou a ter mais de 12%, ou seja, teve uma amplitude de variação na umidade de mais de 11%, já no desprotegido esta amplitude não variou mais do que 6%, o que confirma a ideia dos benefícios trazidos pelo uso da cobertura morta.

Tabela 10. Percentual de umidade para o Argissolo Amarelo para o solo sem cobertura (SSC) e solo com cobertura (SCC), antes da aplicação de chuva e após a aplicação de três chuvas sucessivas, separadas por 24h.

Inicial		Após 0h		Após 24h		Após 48h	
Umidade do Solo (g/g)							
SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC	SSC	SCC
0,084	0,007	0,128	0,101	0,135	0,111	0,140	0,122

A figura 14 apresenta os dados de escoamento superficial e infiltração de água no solo ao longo do tempo. É possível observar que o uso da cobertura morta apresentou um comportamento diferenciado para o escoamento superficial e a infiltração quando comparados com o que aconteceu com o solo descoberto. Para BORGES (2013) a técnica de usar resíduos vegetais sobre o solo resulta em um aumento da infiltração, bem como, uma redução do escoamento superficial.

Para Spohret al. (2009), os fatores que influenciam a infiltração de água no solo interferem também no escoamento superficial resultante. De modo geral, sob uma intensidade constante de chuva, a infiltração e o escoamento superficial são processos antagônicos: à medida que um diminui (infiltração) o outro aumenta (escoamento), até atingirem certo equilíbrio dinâmico (estabilização).

Ao comparar os dois tratamentos (SSC e SCC) no escoamento superficial, percebe-se que após atingir a saturação, o solo descoberto tem pouca variação na quantidade de água escoada para os três intervalos de chuva, o que não se repete na situação de solo com cobertura. Isso pode ser explicado pela presença da cobertura morta que funciona como uma barreira, dificultando o escoamento superficial. Porém, à medida que as chuvas foram sendo simuladas (0, 24 e 48h), a cobertura morta tinha mais dificuldade para barrar o escoamento, o que pode ser comprovado pelo aumento desse escoamento a cada chuva simulada, apresentando a diferença, entre as curvas, mais evidente do que na condição do solo descoberto. No entanto, mesmo com o aumento do escoamento superficial no solo com cobertura, a quantidade de água escoada foi menor do que quando o solo encontrava-se totalmente descoberto.

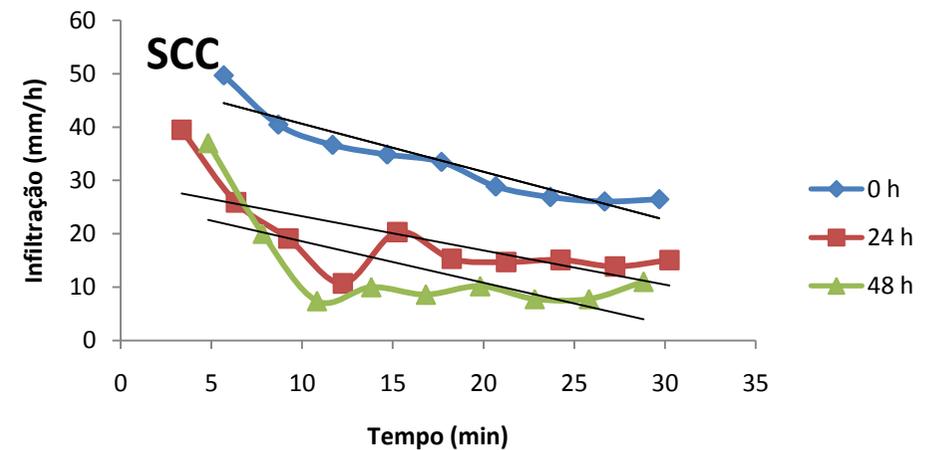
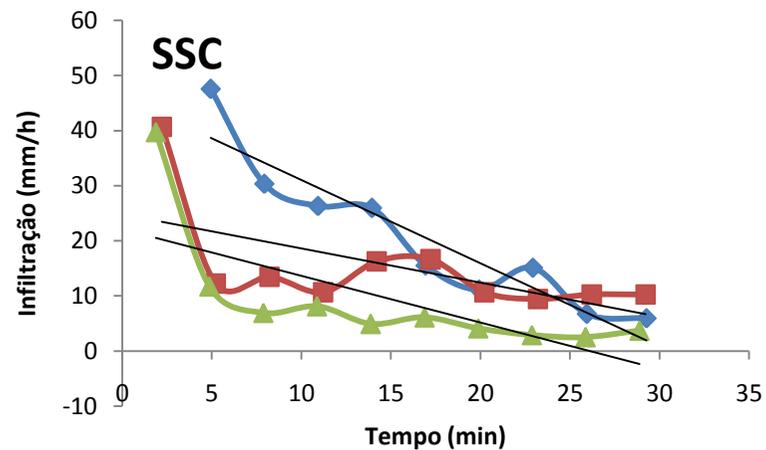
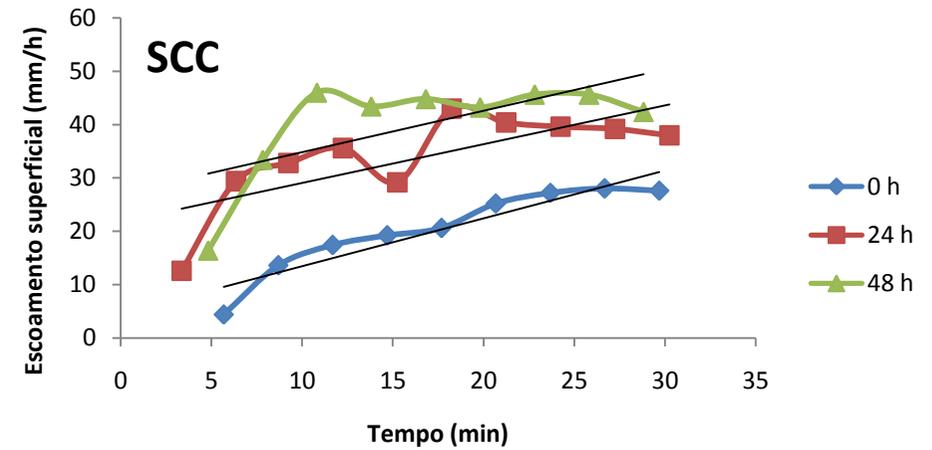
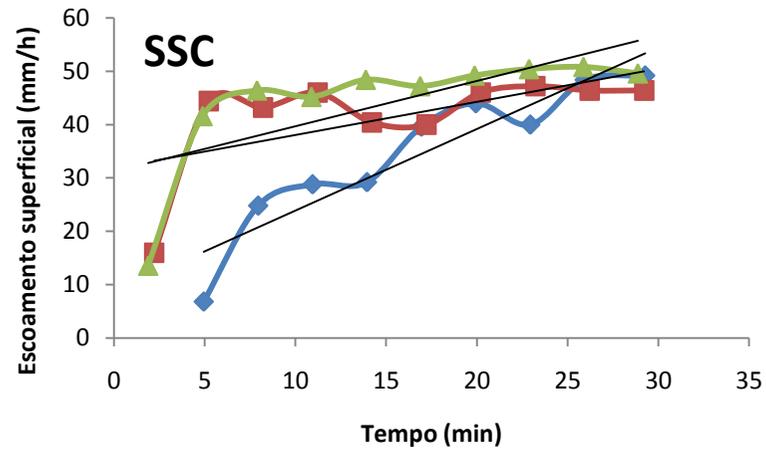


Figura 14. Escoamento superficial e infiltração, relacionados com os tempos (0, 24 e 48h) para o solo sem cobertura morta (SSC) e solo com cobertura (SCC).

Na infiltração da água no solo a situação é semelhante à que ocorre no escoamento superficial, ou seja, para o solo sem cobertura não há muita variação da quantidade de água infiltrada quando se observam os três intervalos de chuvas. Por sua vez, no solo com cobertura morta existe uma maior variação na quantidade de água infiltrada para os intervalos de chuva simulada. Mais uma vez a explicação para isso é a cobertura morta, que ao dificultar o escoamento superficial colabora para que a água tenha mais tempo em contato com o solo e conseqüentemente favoreça a infiltração. No intervalo inicial (0h) há uma maior infiltração, isso porque o solo encontra-se seco, ideal para que haja a infiltração, porém, nos demais intervalos (24 e 48h) o solo já se encontra com um teor de umidade alta, o que dificulta a infiltração, o que pode ser percebido pelo menor volume de água infiltrado à medida que as chuvas eram simuladas. Contudo, mesmo havendo uma diminuição gradativa da infiltração no solo com cobertura, os números da infiltração desse tratamento foram sempre maiores do que quando o solo encontrava-se descoberto para os mesmos intervalos de chuva.

6.5 Resistência à Penetração

Ao ser analisada a resistência à penetração da camada superficial do solo, foi constatado que houve diferença significativa entre os tratamentos adotados (Tabela 11).

Tabela 11. Resistência à penetração (RP) e de umidade (U) na capacidade de campo na camada de 0-0,02m, para o Argissolo Amarelo sem cobertura (SSC) e com cobertura morta (SCC).

Tempo de Aplicação da Chuva	RP		U	
	MPa		g/g	
	SSC	SCC	SSC	SCC
0h	2,06 aA	0,90 aB	0,064aA	0,105aB
24h	2,38 aA	1,16 aB	0,123bA	0,150bB
48h	2,46 aA	1,44 aB	0,133bA	0,164bB

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha para cada variável observada, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

De acordo com Silveira et al. (2010), das propriedades físicas do solo, a mais adequada para expressar o grau de compactação é a resistência à penetração, resultando na maior ou menor facilidade que as raízes têm para penetrar no solo. Sendo assim, a resistência à penetração é um dado relevante como indicativo da dinâmica do crescimento e desenvolvimento das raízes.

Tanto nas parcelas cobertas como nas descobertas não se observou diferenças significativas entre os intervalos de chuva. Porém, entre o solo com cobertura morta (SCC) e solo sem cobertura morta (SSC) existiu diferença significativa entre os valores calculados, o que indica que a técnica de cobrir o solo com resíduos vegetais é eficiente no combate ao selamento superficial.

Valores de resistência a penetração na ordem de 2 a 3 MPa são tidos como um problema para as raízes, uma vez que, nessas condições muitas das culturas teriam suas raízes com um desenvolvimento limitado (Hamza & Anderson, 2005). Observando os dados da tabela 10, vale destacar que para o solo sem cobertura as raízes enfrentariam dificuldades de crescimento, já que para este tratamento a RP ficou entre o intervalo crítico de 2 a 3 MPa. Por outro lado, ao usar a cobertura morta os valores de resistência à penetração caem de forma muito satisfatória, saindo do intervalo crítico e proporcionando um ambiente sem maiores limitações para o desenvolvimento radicular.

Para ambos os tratamentos (SSC e SCC) as maiores resistências à penetração deram-se após a aplicação da chuva às 48h, fato que evidencia o adensamento do solo devido às respectivas chuvas simuladas.

Em conformidade com o experimento de Silva (2016), observou-se que para uma umidade resultante de 10 kPa de tensão, houve diferença entre as parcelas que estavam sem cobertura e as que estavam cobertas, nas quais as descobertas apresentaram maiores resistências à penetração e menores umidades percentuais. O que ratifica a ideia de que a cobertura morta reduz o encrostamento superficial do solo, aumenta a infiltração e a umidade e, conseqüentemente, favorece para que o solo tenha menos erosão.

6.6 Selamento Superficial

Na Tabela 12 apresentam-se as descrições micromorfológicas do solo em razão de cinco lâminas: testemunha, chuva aplicada após 0h e 48h, para as condições de solo com e sem cobertura.

Quanto aos componentes do solo, a lâmina testemunha apresentou a zona 1 com as seguintes proporções: material grosso (70%), porosidade (20%), material fino (10%). Após a aplicação da chuva 0h, tanto o tratamento sem cobertura como o com cobertura, apresentaram a zona 1 da seguinte forma: material grosso (70%), porosidade (25%), material fino (5%), evidenciando que a chuva reduziu o teor de material fino, onde deu lugar a formação de espaços vazios, aumentando dessa forma a porcentagem de porosidade.

Ainda, analisando os componentes proporcionais do solo, a zona 2 foi a mesma para a testemunha e para os dois intervalos (0 e 48h) em ambos os tratamentos (SSC e SCC): material grosso (70%), porosidade (15%), material fino (15%). Com as simulações das chuvas, percebeu-se que as lâminas correspondentes ao intervalo 48h não apresentaram zona 1, isso deve-se ao fato de que a continuidade da chuva ocasionou a erosão por completa da zona 1, permanecendo-se apenas a zona 2 inalterada, pois as chuvas foram efetivamente erosivas até 2 cm de profundidade.

As análises para a testemunha mostraram que as zonas 1 e 2 apresentaram materiais grossos pobremente selecionados, ou seja, há grãos de vários tamanhos, compostos por: quartzo e feldspato. O primeiro apresentou-se de formas: subalongada à esférica e subarredondadas à angular, tendo na zona 1 dominância por grãos mais finos, com distribuição paralela a superfície e na zona 2 grãos de tamanhos variados, com distribuição aleatória e com bordas lisas, podendo apresentar fraturas. O segundo possuiu tamanhos variados com classes de alteração 1, 2 e 3, tipo pelicular e linear irregular nas zonas de fraturas.

Ao ser comparado com a testemunha, observou-se que para o intervalo 0h nos tratamentos SSC e SCC foram mantidas as características dos materiais grossos para ambas as zonas, surgindo na zona 2 a presença de carvão e raízes, ficando nitidamente perceptível no SSC a distribuição paralela à superfície dos materiais grossos na zona 1, enquanto que na zona seguinte a distribuição foi de forma aleatória.

No intervalo de 48h, os materiais grossos apresentaram as mesmas características da testemunha e do intervalo 0h, exceto pelo fato de haver apenas a zona 2, a qual apresentou distribuição aleatória.

Tabela 12. Descrição micromorfológica do solo em razão de duas lâminas de chuva aplicada após 0h e 48h com e cobertura.

	Testemunha	SSC	SSC	SCC	SCC
		0h	48h	0h	48h
Geral	<p>Duas zonas na lâmina:</p> <p>Z1 = topo da lamina (superfície do terreno), com espessura de aproximadamente 0,5 cm, com orientação paralela e transição abrupta para a Z2.</p> <p>Z2 = centro e base da lamina, (subsuperfície), com materiais mais grossos distribuídos de maneira aleatória.</p>	<p>Duas zonas na lâmina:</p> <p>Z1 = topo da lamina (superfície do terreno), com espessura de aproximadamente 2 cm, materiais mais finos distribuídos com orientação ondulada e transição abrupta para Z2.</p> <p>Z2 = centro e base da lamina (subsuperfície), com materiais mais grossos distribuídos</p>	<p>Uma zona, com características semelhantes a Z2.</p>	<p>Duas zonas na lâmina:</p> <p>Z1 = espessura de 0,5 - 1 cm. Domínio de grãos médios e finos. Transição ondulada e clara entre as zonas 1 e 2.</p> <p>Z2 = materiais mais grossos distribuídos de maneira aleatória. Representa 80 a 90 % da lâmina.</p>	<p>Uma zona, com características semelhantes a Z2.</p>

		de maneira aleatória.			
Proporção dos Componentes	Z1 = MG (70%), P (20%), MF (10%). Z2 = MG (70%), P (15%), MF (15%).	Z1 = MG (70%), P (25%), MF (5%). Z2 = MG (70%), P (15%), MF (15%).	Z2 = MG (70%), P (15%), MF (15%).	Z1 = MG (70%), P (25%), MF (5%). Z2 = MG (70%), P (15%), MF (15%).	Z2 = MG (70%), P (15%), MF (15%).
Material Grosso	Z1 e Z2 = Pobrememente selecionado, composto por: quartzo e feldspatos. -Quartzo: subalongado a esférico; subarredondados a angulares.	Z1 e Z2 = Pobrememente selecionado, composto por: quartzo e feldspatos. Na Z2, idem a Z1, mais carvão e raízes. - Quartzo: subalongado a esférico; subarredondados a angulares.	Z2 = Pobrememente selecionado, composto por: quartzo, feldspatos, carvão e raízes. - Quartzo: subalongado a esférico; subarredondados a angulares. - Feldspatos: classes 1, 2 e 3 de	Z1 e Z2 = Pobrememente selecionado, composto por: quartzo e feldspatos. Na Z2, idem a Z1, mais carvão e raízes. - Quartzo: subalongado a esférico; subarredondados a	Z2 = Pobrememente selecionado, composto por: quartzo, feldspatos, carvão e raízes. - Quartzo: subalongado a esférico; subarredondados a angulares. - Feldspatos: classes 1, 2 e 3 de

	<p>Z1 – dominada por grãos mais finos.</p> <p>Z2 – variados tamanhos de grãos;</p> <p>Bordas lisas, podendo apresentar fraturas.</p> <p>- Feldspatos: tamanhos variados, classes de alteração 1, 2 e 3, tipo pelicular e linear irregular nas zonas de fraturas.</p> <p>Z1 – distribuição paralela a superfície.</p> <p>Z2 – distribuição aleatória.</p>	<p>- Feldspatos: classes 1, 2 e 3 de alteração, tipo pelicular e irregular nas zonas de fraturas.</p> <p>Z1 – distribuição paralela à superfície.</p> <p>Z2 – distribuição aleatória.</p>	<p>alteração, tipo pelicular e irregular nas zonas de fraturas.</p> <p>Distribuição aleatória.</p>	<p>angulares.</p> <p>- Feldspatos: classes 1, 2 e 3 de alteração, tipo pelicular e irregular nas zonas de fraturas</p> <p>Z1 – distribuição ondulada.</p> <p>Z2 – distribuição aleatória.</p>	<p>alteração, tipo pelicular e irregular nas zonas de fraturas</p> <p>Distribuição aleatória.</p>
--	--	---	--	---	---

Material Fino	Z1 e Z2 = Bruno amarelado claro (LT) e amarelo pálido (LI), límpido e isótico.	Z1 e Z2 = Bruno amarelado claro (LT) e amarelo pálido (LI), límpido e isótico.	Z2 = Bruno amarelado escuro (LT) e amarelo pálido (LI), límpido e isótico.	Z1 = Amarelado brunado. Z2: Amarelo brunado, com mais presença de argila.	Z2 = Amarelo brunado.
Fábrica-b	Z1 e Z2 = Indiferenciada.	Z1 e Z2 = Indiferenciada.	Indiferenciada.	Z1 e Z2 = Indiferenciadas.	Indiferenciada.
Distribuição relativa	Z1 = Mônica – Gefúrica – Quitônica. Z2 = Porfírica	Z1 = Mônica – Gefúrica – Quitônica. Z2 = Porfírica	Porfírica	Z1 = Mônica - Quitônica. Zona 2 = Porfírica	Porfírica
Microestrutura	Z1= Complexa = Grão simples e grãos com películas e pontes. Z2 = Maciça.	Z1 = Laminar Z2 = Maciça.	Maciça.	Z1 = Complexa - grãos simples e com películas. Z2 = Maciça.	Maciça.
Porosidade	Z1 = Empacotamento simples.	Z1 = Empacotamento simples, cavidades	Poucas cavidades irregulares.	Z1 = Empacotamento simples.	Poucas cavidades irregulares. Presença de canais

	Z2 = Poucas cavidades irregulares.	(poucas) e vesículas (base da zona 1). Z2 = Poucas cavidades irregulares.		Z2 = Poucas cavidades irregulares. Presença de canais	
Feições Pedológicas	Ausentes.	Z1 = Preenchimento denso completo, amarelo-brunado, impura (argila+silte), orientação fraca, extinção ausente.	Ausentes.	Ausentes.	Excrementos = bruno-avermelhado, moderada coalescência, moderadamente preservados, em cavidades regulares próximos a fragmentos de raízes.

Legenda: Zona 1 (Z1), Zona 2 (Z2), Material grosso (MG), Porosidade (P), Material Fino (MF), Luz transmitida (LT), Luz incidente (LI).

O material fino apresentou-se, nas zonas 1 e 2, tanto para a testemunha quanto para o tratamento sem cobertura, no intervalo 0h, nas cores Bruno amarelado claro, na luz transmitida, e amarelo pálido para a luz incidente, além de ser límpido e isótico, caracterizando o predomínio do quartzo e a perda de argila. Para o intervalo 48h SSC, as características foram mantidas, exceto na zona 1, a qual não esteve presente na lâmina. Para o tratamento com cobertura morta, o intervalo 0h apresentou a zona 1 com coloração amarelada brunada, indicando perda de argila, porém, na zona 2 encontra-se uma maior quantidade de argila, mantida a cor predominante amarelada brunada. Para o intervalo de 48h SCC, não foi observada a zona 1, porém, a zona dois apresentou-se na coloração amarelada brunada com uma maior quantidade de argila, indicando que houve uma transição do material argiloso inicialmente na zona 1 para a zona 2.

De acordo com as análises, tanto a testemunha quanto os tratamentos solo descoberto e solo com cobertura nos intervalos 0 e 48h apresentaram fábricas-b indiferenciadas. Para a distribuição relativa, a testemunha e o solo descoberto no intervalo 0h apresentaram-se de forma Mônica – Gefúrica – Quitônia na zona 1, já para o solo coberto, a distribuição observada foi Mônica – Quitônica para a mesma zona e mesmo intervalo de chuva. A distribuição relativa na zona 2 apresentou-se inalterada para todas lâminas, sendo elas de forma Porfírica.

Para a microestrutura, foi possível perceber grandes variações quando se compara a testemunha com as chuvas de 0 e 48h para o solo descoberto. Inicialmente, o solo apresentava-se na zona 1 com uma microestrutura complexa, formada por grãos simples e também grãos com películas e pontes, evidenciando a existência de argila. Com a primeira chuva (0h), microestrutura da zona 1 passou a ser laminar, resultado de uma reorganização do solo como efeito da ação da chuva. Com a última chuva (48h) não foi observado a zona 1. Entretanto, não foram observadas mudanças na zona 2 após as chuvas, permanecendo a mesma com uma microestrutura maciça. Para o solo com cobertura, a zona 1 manteve-se complexa com grãos simples e com películas, evidenciando que a cobertura morta preservou a microestrutura do solo. Assim como observado no tratamento anterior, a zona 2 também permaneceu inalterada, com microestrutura maciça.

As mudanças provocadas pelo impacto das gotas de água da chuva também são evidentes na porosidade, já que inicialmente o solo apresentava-se na zona 1 com uma porosidade de empacotamento simples, e com a primeira chuva com o solo descoberto além dessa característica foi possível observar o surgimento de algumas cavidades e também vesículas na base dessa zona. Com o solo coberto, a primeira chuva não apresentou mudanças em relação à testemunha, ou seja, a cobertura morta foi eficiente para que a porosidade fosse mantida. Para o intervalo 48h nos dois tratamentos a zona 1 não foi observada. No entanto, a zona 2 foi percebida em todas as lâminas com a porosidade composta por poucas cavidades, acrescentando-se a isso a presença de canais no tratamento com cobertura.

Inicialmente, o solo não apresentava feições pedológicas, porém após a primeira chuva com o solo descoberto foram identificadas na zona 1 algumas feições com preenchimento denso completo, de cor amarelo-brunado, além de impura (silte e argila) presente na porosidade entre grãos maiores de uma das camadas, com orientação fraca e extinção ausente. Para o mesmo intervalo com o solo protegido, as feições foram ausentes. No intervalo 48h, o solo descoberto apresentou feições ausentes, enquanto que com o solo com cobertura foram identificados excrementos e feição na cor bruno avermelha de moderadas coalescência e preservação. Essas feições encontram-se em cavidades regulares próximas a fragmentos de raízes.

Observando as lâminas percebe-se que os selos superficiais não foram registrados. Um forte indício de que a falta de agregação nos solos não possibilitou formação do encrostamento superficial, o que se encontra em conformidade com os resultados obtidos por Silva (2016). No entanto, a perda da zona 1 em ambos os tratamentos no intervalo de 48h evidenciou que a força de cisalhamento da chuva foi de tamanha proporção que nem mesmo o uso da cobertura morta conseguiu evitar esse efeito.

Outro ponto importante a ser considerado em relação a não observação do selo superficial deve-se à insuficiência da ação dos ciclos de umedecimento e secagem na reorganização do material fino. Esses ciclos são relevantes para formação do encrostamento superficial.

De acordo com BORGES et al. (2014), a formação do selamento superficial é resultante de uma série de fatos, entre eles: oscilações de temperaturas e repetitivos ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Sendo assim, a cobertura morta foi eficaz na preservação da porosidade e da microestrutura do solo para a chuva de 0h, fato que não percebido para a chuva no intervalo de 48h.

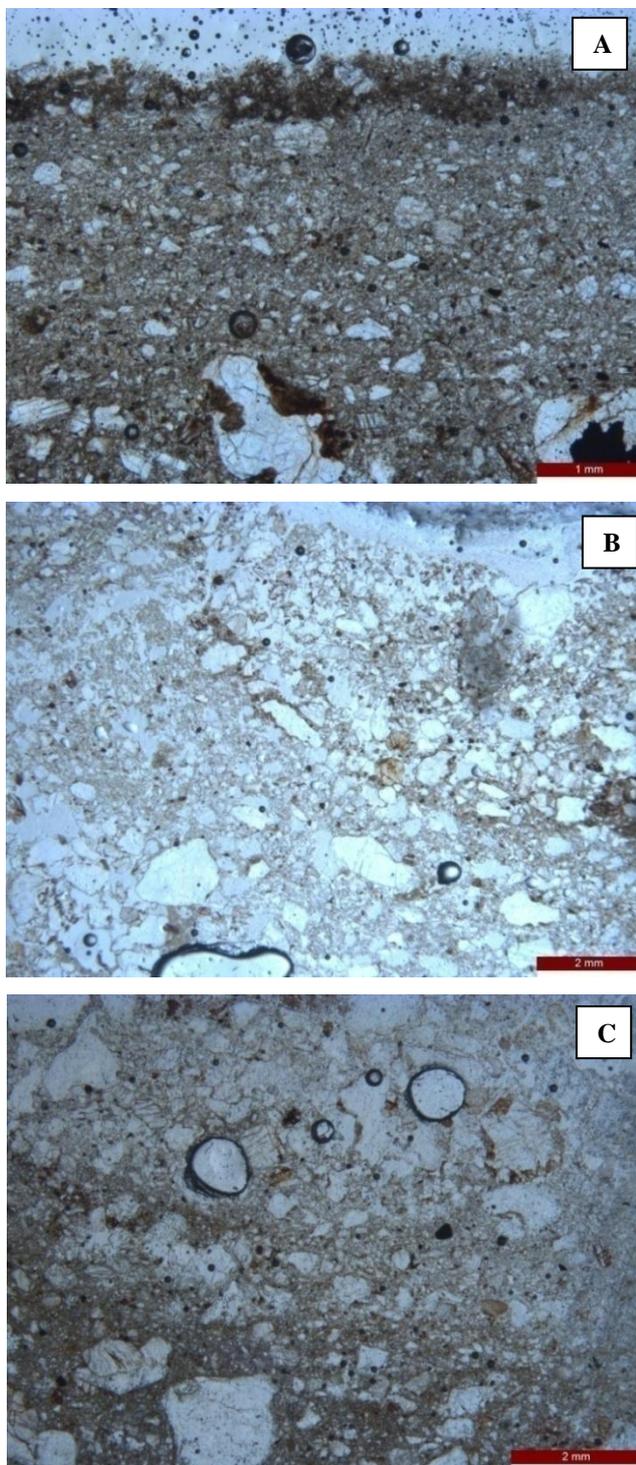


Figura 15. Micrografia da heterogeneidade da camada superficial na testemunha (A) e no intervalo 0h para SSC (B) e SCC (C).

De uma forma geral, a distribuição dos grãos foi heterogênea para a testemunha e para intervalo 0h com e sem cobertura (Figura 15). Além disso, apresentaram duas zonas (1 e 2) bem distintas. A heterogeneidade na zona 1 foi resultado da exposição do solo às chuvas (ROSA et al., 2013). Já para o intervalo 48h, com e sem cobertura, encontraram-se apenas a zona 2, o que sugere que a zona 1 foi erodida pela ação das chuvas simuladas.

Observando a lâmina testemunha (A), foi possível destacar claramente duas zonas: zona 1 = próxima à superfície com espessura de aproximadamente 0,5 cm e com transição abrupta e paralela para a próxima zona. A zona 2 foi de subsuperfície, contendo materiais mais grossos distribuídos de maneira aleatória (Figura 16).



Figura 16. Micrografia da lâmina testemunha com a zona 1 e zona 2.

No entanto, após a chuva no intervalo de 0h para o solo sem cobertura (SSC) ficaram evidentes as primeiras mudanças em relação à testemunha. Passou-se a observar com uma menor expressividade as duas zonas na lâmina. A zona 1, que estava próxima a superfície passou a ter espessura de aproximadamente 2 cm, composta por materiais mais finos (areia fina + areia média + argila). Enquanto que a zona 2 apresentou uma menor quantidade de argila, distribuídas de forma ondulada e abrupta (figura 17).

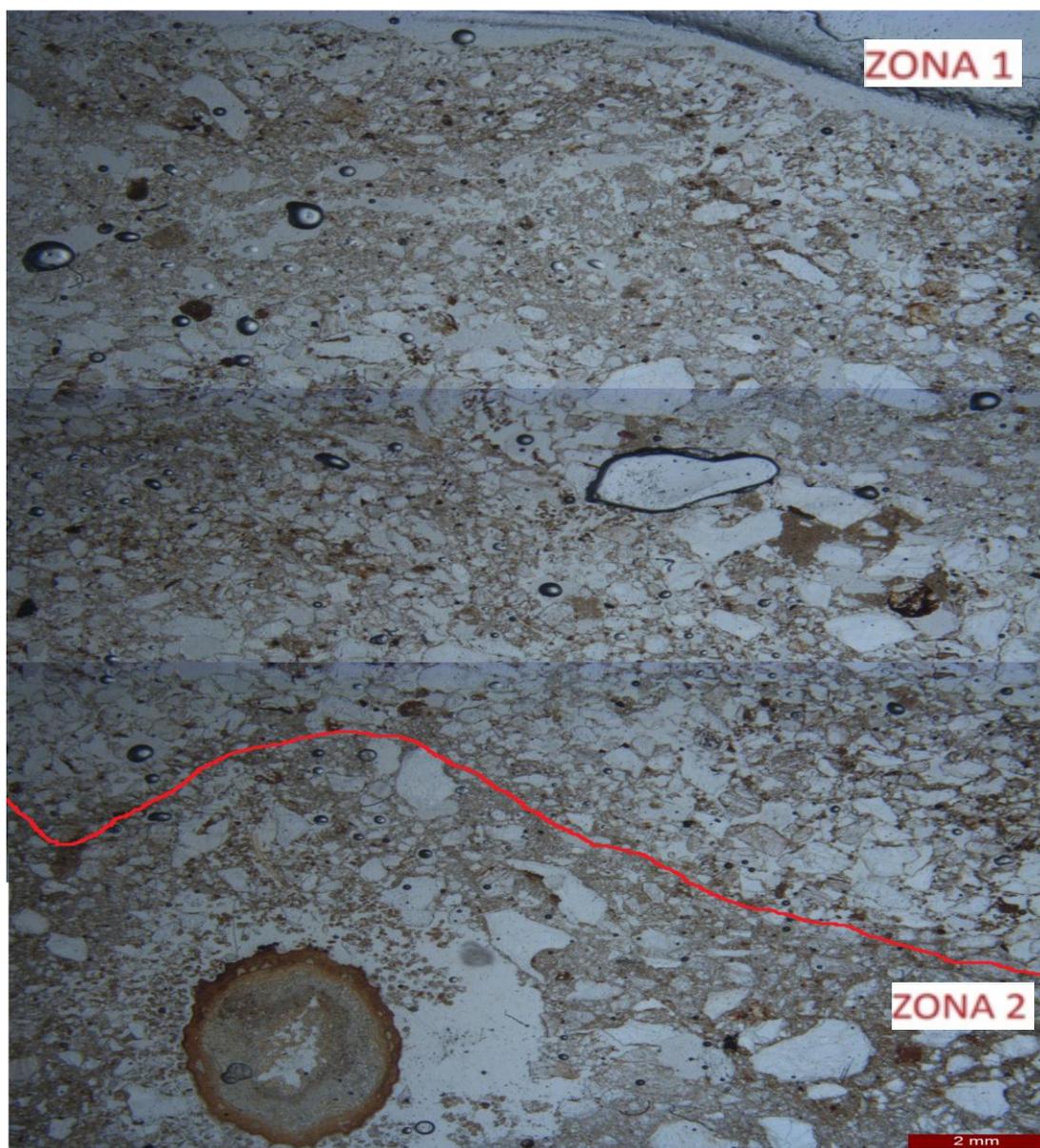


Figura 17. Micrografia do solo descoberto no intervalo de chuva 0h com a divisão ondulatória entre zonas 1 e 2.

A perda de argila e a reorganização da areia fina provavelmente deram surgimento às vesículas. Para o solo com cobertura (SCC) o intervalo 0h apresentou-se com menos perturbações. A zona 1 manteve-se com 0,5 cm com pontos que chegam a no máximo 1cm, tendo o domínio de grãos médios e finos. A transição dessa zona para a segunda foi de forma ondulada e clara (figura 18).



Figura 18. Micrografia do solo com cobertura no intervalo de chuva 0h com a divisão ondulatória entre as zonas 1 e 2.

A zona 2 em todas as lâminas manteve-se inalterada, ou seja, a ação da chuva não causou efeitos nesta zona (Figura 19).

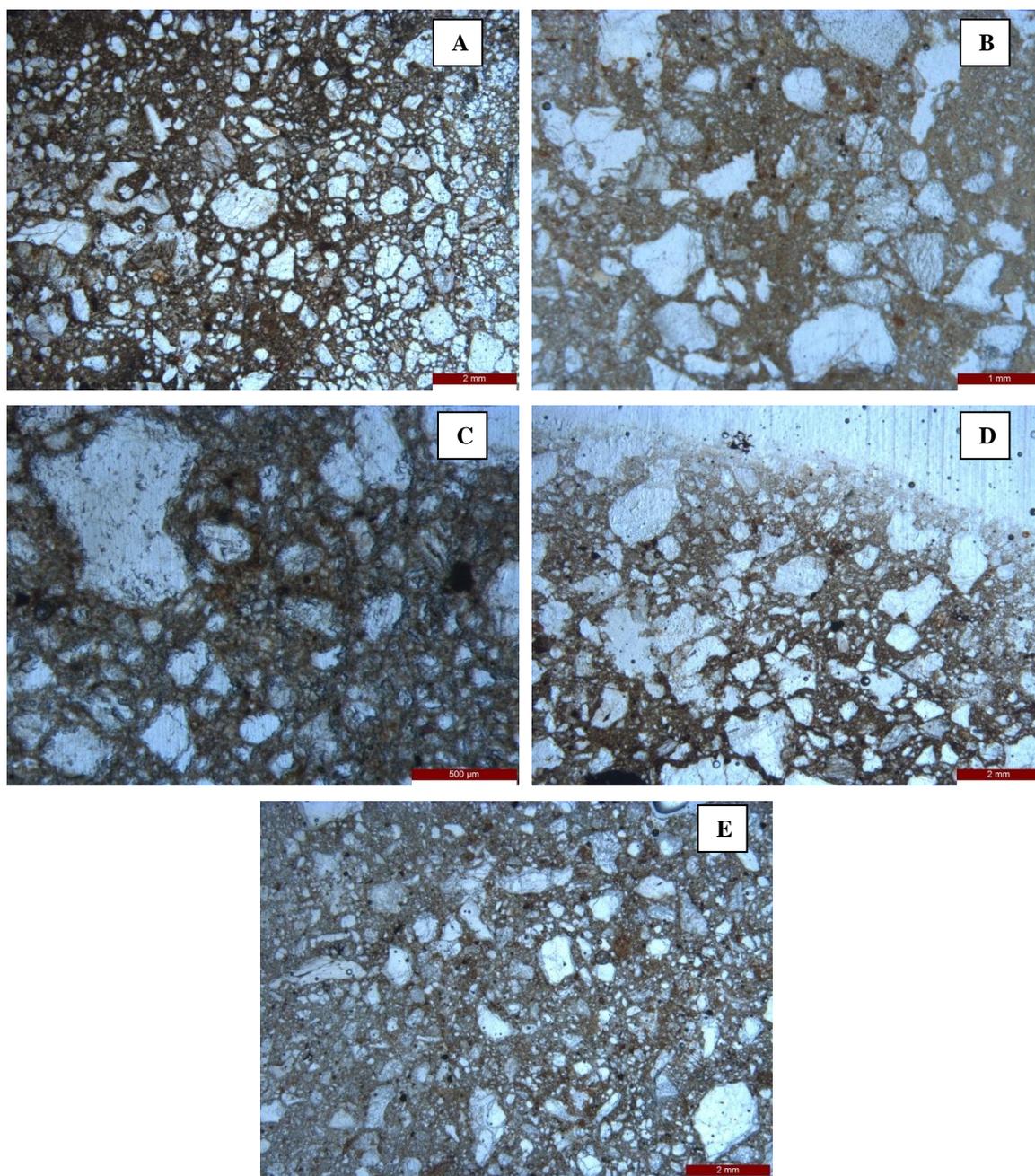


Figura 19. Micrografia da zona 2 do solo inalterada para a testemunha (A), solo sem cobertura no intervalo 0h (B) e 48h (C); solo com cobertura no intervalo 0h (D) e 48h (E).

7. CONCLUSÕES

1. O uso da cobertura morta reduziu a perda de solo em até 73,68%, a taxa de desagregação em até 75,53%, a perda de água em até 40,36% e a resistência à penetração em até 56,31%.
2. O solo coberto com resíduos vegetais obteve um acréscimo de infiltração de até 250,32% e também um retardo no início do escoamento superficial.
3. A utilização da cobertura morta reduziu os valores de resistência à penetração, saindo do intervalo crítico (2 a 3 MPa) e proporcionando condições adequadas para o desenvolvimento radicular.
4. Tanto no solo com cobertura quanto no solo sem cobertura houve erosão entressulcos devido ao regime de escoamento laminar lento.
5. A cobertura proporcionada pela *Brachiariadecumbens* preservou a microestrutura do solo coberto, enquanto que sua ausência evidenciou alteração da porosidade e microestrutura, além da perda de argila.
6. Devido à falta de agregação do solo, não foram identificados selamentos superficiais, porém, a cobertura morta foi eficaz na preservação da porosidade e da microestrutura do solo para a chuva de 0h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.2, p.166–172, 2015.

ABRÃO, S. F.; ROSA, S. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; EBLING, A. A. Agregação de um cambissolo húmico em povoamentos de *pinus taeda*. Com diferentes rotações. **RevistaCiênciaFlorestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 445-455, abr.-jun., 2017.

AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, Kansas, v. 45, p. 848-851, Sept./Oct. 1981

ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

ALMEIDA, B. G.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Porosidade. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 51, n. 9, p. 1110-1119, 2016.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS. Bacias Hidrográficas. Disponível em:

http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=16. Acesso em: 10 de março 2019.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS. Bacias Hidrográficas. Disponível em:

<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>.

Acesso em: 16 de março 2019.

BADORRECK, A.; GERKE, H. H.; HÜTTL, R. F. Morphology of physical soil crusts and infiltration patterns in an artificial catchment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, p. 1-8, May 2013.

BARROS, D. K. **Erosividade das chuvas no município de Picos, PI**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Piauí. Teresina – PI. 2017.

BERNADI, T. Laboratório de materiais de construção e agregados. Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Joinville. 2006.

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

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**. 30:565-573, 2006.

BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. S.; SILVA JUNIOR, A. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*ZeamaysL.*) em Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1862-1873, 2014.

BORGES, T. K. S. **Desempenho de técnicas conservacionistas no controle da umidade, erosão hídrica e na produtividade do milho no semiárido pernambucano**. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife- PE, 96p. 2013.

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, n.3, p.711-721, 1999.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.129-138, 2007.

BREMENFELD, S.; FIENER, P.; GOVERS, G. Effects of interrill erosion, soil crusting and soil aggregate breakdown on in situ CO₂ effluxes. **Catena**, Dundee, v. 104, p. 14-20, May 2013.

BUENO, J. M.M; DALMOLIN, R. S. D; MIGUEL, P; HORST, T. Z. Erosão em áreas de encosta com solos frágeis e sua relação com a cobertura do solo. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 102-112, 2018.

CAMPOS, D. V. B.; TEIXEIRA, C. P.; PÉREZ, D. V.; SALDANHA, M. F. C. Acidez Potencial do Solo. In: Paulo César Teixeira; Guilherme Kangussu Donagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

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

CASTILHO, SELENE CRISTINA DE PIERRI; COOPER, MIGUEL; SILVA, LAURA FERNANDES SIMÕES. Micromorphometric analysis of porosity changes in the surface crusts of three soils in the Piracicaba region, **Acta Scientiarum. Agronomy**, Piracicaba, v. 37, n. 3, p.385-395, 2015.

CGEE - Centro de Gestão e Estudo Estratégicos. A questão da água no Nordeste. 2016. Disponível em: <www.cgEE.org.br/eventos/Agua_nordeste/contextualização.htm> .Acesso em: out. 2017.

CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B.; HUANG, Y. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. **Catena**, v.70, p.200-208, 2007.

CONCEIÇÃO, J. R. Metodologia Para Identificação De Áreas Prioritárias Para Redução Da Erosão Hídrica Em Bacias De Mananciais De Abastecimento Público Do Paraná: Estudo De Caso Bacia Do Passaúna. **Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Alemanha**. Curitiba PR, 2014.

CONFESSOR, J. G; RODRIGUES, S. C. Método para calibração, validação e utilização de simuladores de chuvas aplicados a estudos hidrogeomorfológicos em parcelas de erosão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.19, n.1, (Jan-Mar) p.221-229, 2018.

COOPER, MIGUEL ; BOSCHI, RAQUEL STUCCHI; SILVA, VITOR BOSCHI; SILVA, LAURA FERNANDA SIMÕES. Software for micromorphometric characterization of soil pores obtained from 2-D image analysis. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 73, n. 4, p. 388-393, Aug. 2016

DECHEN, S.C.F; TELLES, T. S; GUIMARÃES, M. F; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v.74, n. 2 p., 224-233, 2015.

DEUSCHLE, D. Controle do escoamento superficial e das perdas de solo em sistema plantio direto na escala de lavoura. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise Granulométrica. In: Paulo César Teixeira; Guilherme Kangussu Donagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; Argila Dispersa em Água e Grau de Floculação. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro.** 2. ed. rev. Atual. Embrapa solo, 230p. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, Serviço de Produção de Informação, 2009.

FARENHORST, A.; BRYAN, R. B. Particlesizedistributionofsedimenttransportedbyshallowflow. **Catena**, v.25, n.2, p.47-62, 1995.

FARIAS, R. C.; LACERDA, A. V.; GOMES, A. C.; BARBOSA, F. M.; DORNELAS, C. S. M. Riqueza florística em uma área ciliar de Caatinga no Cariri Ocidental da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 7, p. 109-118, 2017.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. Carbono Orgânico. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FREIRE, W. J.; PIEDADE JÚNIOR, C. O módulo de finura dos agregados do solo como índice de estabilidade estrutural. **Engenharia Agrícola**, v.3, p.29-36, 1979.

GENNARO, L. A.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. F. S.; COOPER, M.; CAMPOS, M C. C. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.2, p.608–614, 2015.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **SoilTill. Res**, v.82, p.121-145, 2005.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, São Paulo , v. 44, n. 3, p. 315-327, set. 2017.

HU, X; LIU, L.Y; LI, S.J; CAI, Q.G; LU, Y.L; GUO, J.R. Development of soil crusts under simulated rainfall and crust formation on a loess soil as influenced by polyacrylamide. **Pedosphere**, Amsterdam, v. 22, p. 415-424, June 2012.

HYVÄLUOMA, J; THAPALIYA, M; ALARAUDANJOKI, J; SIRÉN, T; MATTILA, K; TIMONEN, J; TURTOLA,E.. Using microtomography, image analysis and flow simulations to characterize soil surface seals. **ComputersandGeosciences**, London, v. 48, p. 93-101, Nov. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>>. Acesso em 18 de outubro de 2017.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal.php?&mRelEstacao=82890&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/01/1980&mRelDtFim=01/12/2018&mAtributos=,,,,,,1,,,>. Acesso em 16 de março de 2019

JULIEN, P.Y. ErosionandSedimentation.Melbourne, Cambridge University Press. 280 p.1995.

KATZ, D. M.; WATTS, F.J.; BURROUGHS, E. R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. Journal of the Hydraulics Division, **ASCE**, New York, v.121, n.1, p. 547-553, 1995.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. SIZE DISTRIBUTION OF AGGREGATES. IN: BLACK,C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E.

(Eds.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Part1. **Madison: American Society of Agronomy**, 2. ed. p. 499-510. 1965.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: **American Society of Agronomy**. Part1, p.425-442. Agronomy 9, 1986.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, E. M.; MONTEIRO, A. L. N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.4, p.697-706, 2015.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; MONTEIRO, A. L. N.; PEREIRA, E. G.; SANTOS, L. M.; MACHADO, L. S.(2014). Características hidráulicas do escoamento superficial sob diferentes intensidades de chuva e práticas agrícolas. In Anais do VI Congresso Sobre Uso e Manejo do Solo, Recife, Março, 2014, 1, p. 53-55.

MARCHINI, D. C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.19, n.6, p.574–580, 2015.

MARTINS, C. S. R. **Diferentes formas da cobertura vegetal e a erosão entressulcos sob chuva simulada**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE. 2016.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V.P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109 p.139–149, 2013.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em

planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.30-37, 2006.

MONTENEGRO, A.A.A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semiarid catchment to different land use and climate change scenarios: modelling study. *Hydrological Processes*, v. 24, p. 2705-2723, 2010.

NYS, E. D.; ENGLE, N. 2014. Living with the semi-arid and proactive drought management in Northeast Brazil: a new perspective. Washington, DC: World Bank Group. Available from: <http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/brief/brazil-publications-agua-brasil-series-water>.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. & REINERT, D.J. Compactação do solo em Sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Ci. Solo**, Viçosa, 5:49 -134, 2007

RIBEIRO, F. L. C. **Análise de processos erosivos superficiais nas áreas das minas Alegria Norte e Alegria Sul**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa – UFV.

RODRIGUES, J. A, M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Cervo – MG. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 531 - 542, 2017.

ROSA, J. D.; COOPER, M.; DARBOUX, F.; MEDEIROS, J. C. Processo de formação de crostas superficiais em razão de sistemas de preparo do solo e chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa. v.37, p.400-410, 2013.

SÁ, I. B; CUNHA, T. J. F; TAURA, T. A; DRUMOND, M. A. Mapeamento da desertificação da Região de Desenvolvimento Sertão do São Francisco com base na cobertura vegetal e nas classes de solos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.08, numero especial, p. 510-524, 2015.

SAJJADI, S. A.; MAHMOODABADI, M. Aggregate breakdown and surface seal development influenced by rain intensity, slope gradient and soil particle size. **Solid Earth**, Göttingen, v. 6, n. 1, p. 311-321, Mar. 2015.

SANTOS JÚNIOR, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. **Estação Científica UNIFAP**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 19-30, jan./jun. 2013.

SANTOS, C. G. Desenvolvimento de um sistema de controle automático para simulador de chuvas. Dissertação de mestrado. Universidade federal de Santa Maria. Santa Maria. Santa Maria – RS. 2015.

SANTOS, T. E. M. Avaliação de técnicas de conservação de água e solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. 60p. 2006. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco**, Recife-PE, 2006.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.871–880, 2012.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, M. E. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.217–225, 2009.

SELA, S; T. SVORAY; S. ASSOULINE. The effect of soil surface sealing on vegetation water uptake along a dry climatic gradient, **Water Resour. Res.**, 51, 7452–7466, doi:10.1002/2015WR017109, 2015.

SILVA, F. F. **Selamento superficial e erosão hídrica em solos representativos da bacia do Alto Ipanema, Pesqueira-PE, com e sem a utilização de cobertura morta**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

SILVA, G. R. V. **Erosão em entressulcos em área cultivada com cana-de-açúcar e a relação com a quantidade de palha em superfície.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

SILVA, H. D., FAVARETTO, N., CAVALIERI, K., DIECKOW, J., VEZZANI, F., PARRON, L., ... & FERRARI NETO, H. (2015). Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE).**

SILVA, W.; SILVEIRA, A. M. E.; TAVARES, R.; MARTINS, G. S.; LIMA, J. S. **Revista AgrarianAcademy.** Goiânia, v.5, n.9, p. 124. 2018.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J.F., SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade *versus* resistência à penetração Para um argissolo amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência de Solo.** Viçosa, 2010.

SIQUEIRA, R. H. S. Caracterização do encrostamento superficial do solo cultivado com cafeeiros submetido ao controle de plantas daninhas com herbicida de pré-emergência. Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG. 2015.

SOUZA, E. S; ANTONINO, A. C. D; HECK, R. J; MONTENEGRO, S. M. G; LIMA, J. R. S; SAMPAIO, E. V. S. B; ANGULO-JARAMILLO, R; VAUCLIN, M. Effect of crusting on the physical and hydraulic properties of a soil cropped with Castor beans (*Ricinus communis* L.) in the northeastern region of Brazil. **SoilandTillageResearch**, Amsterdam, v. 141, n. 8, p. 55-61, Aug. 2014.

SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; GALLÁRRETA, C. G.; PRÉCHAC, F. G.; PETILLO, M. G. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.74-81, jan-fev, 2009.

TEIXEIRA, C. P.; CAMPOS, D. V. B.; PIRES, L. O. B. Sais Solúveis. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, C. P.; CAMPOS, D. V. B.; SALDANHA, M. F. C. pH do Solo. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Condutividade Hidráulica. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VASCONCELOS, R. A.; BARROS, M. F. C.; SILVA, E. F. F.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. B.; SILVA, N. M. L. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1318–1325, 2013.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade de Partículas. In: Paulo César Teixeira; Guilherme KangussuDonagemma; Ademir Fontana; Wenceslau Geraldes Teixeira. (Org.). Manual de Métodos de Análise do Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

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

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys Union*, v.39, p.285- 291, 1958.

XAVIER, R. A; MACIEL, J. S; SILVA, V. M. A. Análise espacial das chuvas na bacia do rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.09, n.05, p. 1357-1369, 2016.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

YOUNG, R. A.; BURWELL, R. E. Prediction of runoff and erosion from natural rainfall using a rainfall simulator. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.36, n.5, p.827-30, 1972.

ZONTA, J.H.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, M.R. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 377-388, 2012.