



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

CARTIELE ROSALE BORGES DE NORONHA

**RESILIÊNCIA DE SOLOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO COM
PASTAGEM SOB AÇÃO DE POLIACRILAMIDA**

Orientador: Prof^o. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

Coorientadores: Prof^o Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Prof^o Dr. Marcelo Metri Corrêa

RECIFE

PERNAMBUCO - BRASIL

JANEIRO, 2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

CARTIELE ROSALE BORGES DE NORONHA

**RESILIÊNCIA DE SOLOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO COM
PASTAGEM SOB AÇÃO DE POLIACRILAMIDA**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

**RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL
JANEIRO, 2018**

CARTIELE ROSALE BORGES DE NORONHA

Dissertação intitulada: **RESILIÊNCIA DE SOLOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO COM PASTAGEM SOB AÇÃO DE POLIACRILAMIDA**, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de Mestre, aprovada em 30 de janeiro de 2018.

Prof^o. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida
Presidente da Banca Examinadora (Orientador) - UFRPE

Prof^o Dr. Marcus Metri Corrêa
Membro Interno (DSc) - UFRPE

Prof^o Dr. Wagner Luís da Silva Souza
Membro Externo (DSc) – IFPE/Campus Barreiros

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

N852r Noronha, Cartiele Rosale Borges de.
Resiliência de solos do Agreste pernambucano com pastagem sob ação de poliacrilamida / Cartiele Rosale Borges de Noronha. – Recife, 2018.
74 f.: il.

Orientador(a): Brivaldo Gomes de Almeida.
Coorientador(a): Fernando Cartaxo Rolim Neto, Marcelo Metri Corrêa.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências e apêndices.

1. Compactação 2. Condicionadores de solos 3. Degradação ambiental
4. Recuperação de áreas I. Almeida, Brivaldo Gomes de, orient. II. Rolim Neto,
Fernando, coorient. III. Corrêa, Marcelo Metri, coorient. IV. Título

CDD 620.8

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial a DEUS, aos meus pais José Carlos Borges e Risoneide Maria Borges e ao meu esposo Ricardo Marques de Noronha pelo apoio e paciência durante todo percurso de minha formação. A todos os meus outros familiares. Ao meu orientador Professor Brivaldo Gomes de Almeida. Aos nossos mestres que ao longo do curso contribuíram de alguma forma para o meu conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar força e determinação na busca e realização dos meus sonhos.

Ao meu pai José Carlos Borges, minha mãe Risoneide Maria Borges e meu esposo Ricardo Marques de Noronha, pelo apoio, conforto, incentivo e compreensão durante todos os momentos do curso.

Aos meus irmãos, Carla Risele, Catarine Rosana, Carine Roseana e Carlos Rafael e todos os meus familiares sendo representados por José Carlos Borges Neto (sobrinho) e Ruthiale Vagna (tia).

Ao meu orientador, Professor Dr. Brivaldo Gomes de Almeida, por sua enorme contribuição na realização da pesquisa, sem medir esforços para que a mesma fosse concluída.

Aos meus coorientadores, Professores Dr. Fernando Cartaxo e Dr. Marcelo Metri, pelo suporte na execução da pesquisa.

Ao professor Dr. Kléber Régis pelo auxílio na realização da análise estatística dos resultados do estudo.

Aos meus amigos do mestrado em Engenharia Ambiental que dividiram tantos momentos felizes, de desânimo e angústia em busca de objetivos em comum.

A alguns amigos importantes e presentes na minha vida: Tatiana Ferreira; Edilza Soares; Renata de Cássia; Girley; João Diletieri; Janelly; Edja, entre outros.

Aos docentes da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela contribuição fundamental e essencial para minha formação profissional;

A CAPES por disponibilizar recursos para a realização dos trabalhos.

Aos laboratórios de Física do solo da Sede na pessoa de Thais Fernandes e da UAG nas pessoas de Gabriel, Cássio e Camila.

Ao proprietário do imóvel onde a pesquisa foi realizada, em especial ao seu filho, Afonso Jardim.

E, por fim, a todos aqueles que se disponibilizaram a cooperar para a efetivação deste trabalho, e que não foram poucos, o meu muito obrigado!

*“De grau em grau - Degradação; Degrau por degrau - Recuperação;
De ação em ação - a Solução.”*

Ricardo Marques de Noronha

RESUMO

A compactação do solo agrícola é de grande importância, pois modifica parte do ambiente físico no qual se desenvolve a cultura. O objetivo desta pesquisa foi comparar áreas degradadas de pastagem submetidas à ação de polímero à base de poliacrilamida, tendo-se como referencial comparativo áreas sob mata contígua, sob mesmo solo, avaliando a melhoria da sua qualidade física, por meio de atributos físico-hídricos, em área do município de Garanhuns/PE. O estudo foi desenvolvido em duas subáreas, diferentes entre si quanto ao manejo. A primeira área foi constituída por Mata Regenerada e servirá como testemunha (MR). A outra área apresenta pastagem de pisoteio já implantada e degradada (compactação) denominada (PD). Em cada área houve dois tratamentos – com e sem polímero. Cada tratamento apresentou uma área de 16 m x 16 m (256 m²) que foram subdivididas em áreas menores (4 x 4 m), sendo realizado o sorteio de forma aleatória de oito parcelas para coleta das amostras via anéis volumétricos. Em cada parcela, houve novamente sorteio entre linhas e colunas, utilizando uma malha de 0,20 x 0,20 m. Usou-se o polímero aniônico, à base de poliacrilamida (PAM). A dose aplicada no estado líquido foi 0,001 % calculada a base de massa, aplicada duas vezes na área. Foram coletados nove anéis em cada parcela, totalizando 288 anéis em todo o experimento e coletou-se 256 agregados. Os atributos químicos determinados foram: pH e teor de matéria orgânica. Já os atributos físico-hídricos avaliados foram: análise granulométrica, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo e de partículas, curva característica de retenção de água no solo, porosidade total do solo e distribuição do tamanho de poros, resistência tênsil de agregados e resistência do solo à penetração de raízes. De modo geral, os valores dos atributos químicos do solo não apresentaram variação significativa entre os diferentes usos, com e sem aplicação de polímero. Dentre os atributos físico-hídricos, a granulometria do solo apresentou elevado teor de areia, entre 71 a 82%; A aplicação da PAM aponta para melhoria da condição estrutural dos solos, verificada pelo crescimento significativo no diâmetro médio ponderado (DMP); A subárea de mata apresentou maior condutividade hidráulica que a de pastagem independente da aplicação do polímero; Quanto à CCRAS, a área de pastagem com aplicação de polímero apresentou energia menor que a força da gravidade, fazendo com que ocorra drenagem maior que a área de pastagem sem polímero, causado pelo rearranjo das partículas por meio da ação do PAM. A 1 kPa, a área de pastagem com polímero reteve maior quantidade de água; A porosidade do solo sob mata sem polímero foi maior (46,27 %) quando comparado após a aplicação do polímero (43,53 %). O uso antrópico e o pisoteio do gado aumentou a compactação do solo na pastagem; Quanto à RT, a adição da PAM promoveu aumento da resistência de ruptura dos agregados analisados nas duas subáreas; O uso da PAM proporcionou aumento da RP nas duas subáreas. Conclui-se que a aplicação da PAM na área de pastagem degradada aumentou a estabilidade de seus agregados, favorecendo a retenção de água, contribuindo para melhoria da qualidade do solo.

Palavras-Chave: compactação; condicionadores de solos; degradação ambiental; recuperação de áreas.

ABSTRACT

The compaction of the agricultural soil is of great importance, because it causes a modification of the physical environment in which the crop develops. The objective of this research was to compare degraded pasture areas subjected to the action of polyacrylamide-based polymers, taking as comparative reference areas under contiguous forest, under the same soil, evaluating the improvement of their physical quality, by means of physical-water attributes, in an area of the municipality of Garanhuns / PE. The work was developed in two subareas, different from each other in terms of management. The first area consists of regenerated forest and will serve as a control (MR). The other area presents grazing pasture already implanted and degraded (compaction) called (PD). In each area there were two treatments - with and without polymer. Each treatment had an area of 16 m x 16 m (256 m²), which were subdivided into smaller areas (4 x 4 m), randomly drawn in eight plots to collect samples via volumetric rings. In each plot, there was again draw between rows and columns, using a 0.20 x 0.20 m mesh. Polyacrylamide-based anionic polymer (PAM) was used. The dose applied in the liquid state was 0.001% calculated on the basis of mass, applied twice in the area. Nine rings were collected in each plot, totaling 288 rings throughout the experiment and 320 aggregates were collected. The chemical attributes determined were: pH and organic matter content. The physical-hydraulic attributes evaluated were: granulometric analysis, aggregate stability, saturated hydraulic conductivity, soil and particle density, soil water retention characteristic, total soil porosity and pore size distribution, tensile strength aggregates and soil resistance to root penetration. In general, the values of soil chemical attributes did not show significant variation among the different uses, with and without polymer application. Among the physical-water attributes, the soil granulometry presented a high sand content, between 71 and 82%; The application of PAM indicates an improvement in the structural condition of the soils, verified by the significant growth in the weighted average diameter (MPD); The subarea of forest had higher hydraulic conductivity than that of grazing independent of the application of the polymer; Regarding the CCRAS, the pasture area with polymer application had lower energy than the gravity force, causing drainage greater than the grazing area without polymer, caused by the rearrangement of the particles through the action of PAM. At 1 kPa, the grazing area with polymer retained a greater amount of water; The porosity of the soil under wood without polymer was higher (46.27%) when compared after application of the polymer (43.53%). Anthropic use and cattle trampling increased compaction of the soil in the pasture; As for RT, the addition of PAM increased the rupture strength of the aggregates analyzed in the two subareas; The use of PAM increased RP in the two subareas. It is concluded that the application of PAM in the area of degraded pasture increased the stability of its aggregates, favoring the retention of water, contributing to the improvement of soil quality.

Keywords: compaction; soil conditioners; ambiental degradation; areas recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa de localização do Município de Garanhuns-PE.....	19
Figura 2 -	Índices pluviométricos dos anos de 2016 e 2017 de Garanhuns/PE.....	20
Figura 3 -	Perfil para classificação do solo.....	21
Figura 4 -	Distribuição dos tratamentos em campo.....	24
Figura 5 -	Descrição do arranjo casualizado para coleta das amostras de solo.....	25
Figura 6 -	Aplicação da solução de PAM nas subáreas: a) na pastagem com polímero; b) na mata com polímero; c) na pastagem sem polímero; d) na mata sem polímero..	26
Figura 7 -	Detalhes do processo de coleta das amostras não deformadas: a) delimitação para coleta dos anéis; b) amostrador tipo Uhland utilizado para inserção dos anéis volumétricos ao solo; c) retirada do anel do solo.....	27
Figura 8 -	Detalhes do processo de coleta dos agregados do solo: a) coleta manual na profundidade de estudo; b) acondicionamento.....	28
Figura 9 -	Detalhes do equipamento usado no ensaio de estabilidade via úmida: a) umedecimento das amostras b) aparatos do equipamento c) equipamento d) peneiras.....	31
Figura 10 -	Detalhes do processo de correção da fração grosseira dos agregados: a) dispersão da argila; b) lavagem e separação da fração grosseira.....	32
Figura 11 -	Detalhes do processo de infiltração de água: a) saturação dos poros; b) condutividade hidráulica saturada.....	33
Figura 12 -	Detalhes do processo para obtenção da densidade do solo: a) anéis coletados, com toalet realizado, a ser inserido na estufa; b) anéis no dessecador, após 24 horas; c) uso do paquímetro para medição do anel cilindro.....	34
Figura 13 -	Detalhes do processo para obtenção dos valores para a CCRAS: a) anéis na mesa de tensão; b) câmara de Richards.....	36
Figura 14 -	Detalhes do processo para dados da resistência a tensão: a) separação dos agregados; b) acondicionamento dos agregados c) penetrômetro eletrônico de bancada.....	39
Figura 15 -	Detalhes do processo de resistência à penetração: a) penetrômetro eletrônico de bancada; b) conjunto anel-amostra.....	40
Figura 16 -	Interação e distribuição do diâmetro médio ponderado nas subáreas mata e pastagem.....	43
Figura 17 -	Massa do solo quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água nas subáreas mata e pastagem.....	44
Figura 18 -	Massa dos solos das subáreas mata e pastagem após subtração da fração areia.....	46
Figura 19 -	Interação e distribuição do diâmetro médio geométrico.....	48
Figura 20 -	Interação e distribuição no percentual do índice de estabilidade de agregados.....	48
Figura 21 -	Distribuição no percentual do índice de estabilidade de agregados.....	49
Figura 22 -	Interação da condutividade hidráulica das áreas de mata e pasto, com e sem aplicação da PAM.....	50
Figura 23 -	Valores médios da condutividade hidráulica saturada (ksat) das áreas de mata e pastagem, com e sem aplicação do polímero.....	50
Figura 24 -	Curvas característica de retenção de água no solo sem e com aplicação de PAM na área de pastagem.....	53
Figura 25 -	Curvas características de retenção de água no solo sem e com aplicação de PAM na área de mata.....	55
Figura 26 -	Curvas característica de retenção de água no solo sem e com aplicação de PAM, nas áreas de pastagem e mata.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição morfológica do perfil de referência na área de estudo – Garanhuns/PE.....	22
Tabela 2 -	Análise física do perfil de referência na área de estudo – Garanhuns/PE.....	22
Tabela 3 -	Potencial hidrogeniônico (pH) e teor de matéria orgânica (MO) das amostras de solo na profundidade de 0 – 0,10 m nas subáreas Mata e Pastagem.....	41
Tabela 4 -	Distribuição da fração areia dos solos sob tratamentos.....	42
Tabela 5 -	Índices de estabilidade de agregados dos solos sob tratamento.....	43
Tabela 6 -	Condutividade Hidráulica sob diferentes tratamentos	49
Tabela 7 -	Parâmetros da equação de Van Genuchten para as subáreas estudadas com e sem aplicação de PAM.....	52
Tabela 8 -	Distribuição de tamanho de poros dos solos sob tratamento.....	57
Tabela 9 -	Densidade dos solos (Ds) e de suas partículas sólidas (Dp) sob diferentes tratamentos.....	58
Tabela 10 -	Resistência tênsil dos agregados dos solos das subáreas mata e pastagem sob tratamento.....	60
Tabela 11 -	Resistência do solo à penetração de raízes sob tratamento, determinada sob diferentes tensões	62

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Objetivos	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	14
3. Revisão de literatura	14
4. Material e métodos	19
4.1. Área experimental:.....	19
4.1.1 Localização da área.....	19
4.1.2 Clima.....	20
4.1.3 Solos.....	20
4.2 Tratamentos, delineamento, dose e aplicação do polímero	23
4.3 Coleta das amostras estruturadas e não estruturadas	27
4.4 Ensaio químicos dos solos	29
4.4.1 Potencial hidrogeniônico do solo (pH)	29
4.4.2 Percentual de matéria orgânica (MO).....	29
4.5 Ensaio físico-hídricos dos solos	29
4.5.1 Análise granulométrica	29
4.5.2 Estabilidade de agregados	30
4.5.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat)	33
4.5.4 Densidade do solo (Ds)	34
4.5.5 Densidade de partículas sólidas do solo (Dp).....	35
4.5.6 Curva característica de retenção de água do solo (CCRAS).....	35
4.5.7 Porosidade total do solo (P) e distribuição de tamanho de poros (DTP)	37
4.5.8 Resistência tênsil de agregados (RT).....	38
4.5.9 Resistência do solo à penetração de raízes em laboratório (RPL)	39
4.6 Análises estatísticas	40
5. Resultados e discussão	41
5.1 Atributos químicos	41
5.2 Atributos físico-hídricos.....	41
6. Conclusões.....	63
7. Referências bibliográficas	63

1. Introdução

O recurso utilizado intensamente para a produção de alimentos é o solo. Utilizá-lo de maneira racional e adequadamente é imprescindível para obtenção de resultados satisfatórios nos empreendimentos agrícolas, que visem priorizar ainda a sustentabilidade da produção e do meio ambiente.

O uso racional dos recursos naturais, bem como a sustentabilidade da produção, são temas cada vez mais priorizados no cenário agropecuário do Brasil. O País tem praticado um grande desenvolvimento tecnológico e produtivo no agronegócio direcionado à exportações e aumento de renda dos produtores.

A degradação das pastagens e o uso intensivo do solo com a agricultura convencional atualmente apresentam riscos quanto à sustentabilidade da produção agrícola e pecuária.

A compactação do solo agrícola é de grande importância, pois vai provocar alterações em seu interior, modificando assim, boa parte do ambiente físico no qual se desenvolve a cultura. Dos sintomas observados diretamente nos solos compactados, destacam-se: a) formação de crostas; b) trincas nos sulcos de rodagem dos tratores; c) zonas endurecidas abaixo da superfície; d) empoçamento de água; e) erosão pluvial excessiva; f) necessidade de maior potência nas máquinas de cultivo; g) presença de resíduos vegetais parcialmente decompostos muitos meses após sua incorporação.

A degradação das pastagens é um fator importante que compromete o meio ambiente e a produção animal, sendo um processo dinâmico de queda relativa da produtividade.

Pesquisas têm comprovado que a recuperação de áreas degradadas pelo uso intensivo de pastagem tem sido um desafio, e ações alternativas de remediações têm sido propostas. Dentre estas, o uso de condicionadores químicos tem recebido maior destaque nos últimos anos.

Uma opção de condicionantes químicos em uso atualmente são os polímeros, sendo utilizados para recuperar solos degradados, favorecendo assim a estrutura, a capacidade de movimentação e retenção da água, bem como, a aeração do solo, sendo uma técnica que gera melhorias ao meio ambiente e ganhos econômicos.

Estudos de áreas degradadas sob pastagem não é um tema recente, mas avaliar o efeito de polímeros a base de poliacrilamida nessas áreas, buscando alternativas de manejo que venham contribuir para sustentabilidade do meio ambiente ainda necessita de pesquisas, com propostas práticas que possam auxiliar a tomada de decisões na recuperação dessas áreas.

2. Objetivos

2.1 Geral

Avaliar o uso da poliacrilamida (PAM) nos atributos físicos-hídricos de um latossolo sob pastagem e compará-lo com mata secundária no município de Garanhuns/PE, visando a redução do impacto ambiental e produtivo.

2.2 Específicos

- Avaliar a capacidade de resiliência de solo degradado sob pastagem por meio de comparação com solo de mata secundária, ambos com e sem aplicação de poliacrilamida;
- Descrever aspectos ambientais favoráveis na recuperação de solo compactado.

3. Revisão de literatura

Dois grandes aspectos, chamam a atenção quando se discute sustentabilidade da produção agrícola: a degradação das pastagens e o uso do solo com a agricultura tradicional, com preparo contínuo do solo (BUNGENSTAB, 2012).

Considera-se área degradada àquela que, após distúrbio, teve eliminado os seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência. Em contraste, é considerada área perturbada a que sofreu distúrbio, mas que manteve meios de regeneração bióticos (CARPANEZZI et al., 2001).

A deterioração da qualidade do solo tem sido estudada e debatida pela ciência do solo, devido principalmente, a retirada da cobertura e/ou uso intensivo da mecanização agrícola nas operações de preparo e cultivo do solo (ASSIS; LANÇAS, 2005).

O processo de degradação se instala na pastagem quando o limiar de resistência da planta forrageira é rompido pela desfolha e não são oferecidas condições satisfatórias para a sua recuperação. Como principais causas ou fatores da degradação ou de aceleração do processo de degradação das pastagens, são citados: tipo do solo (características químicas e físicas), espécie cultivada, ocorrência de pragas e doenças, estabelecimento inadequado, compactação e erosão do solo, diminuição do fósforo assimilável (ausência de fertilizações na formação e de manutenção), o manejo inadequado das pastagens, enfatizando-se a superlotação de animais, propiciando o aparecimento de plantas invasoras (DIAS FILHO & SERRÃO, 1982; TOLEDO & SERRÃO, 1982; SPAIN & GUALDRÓN, 1991).

O pisoteio animal pode alterar diretamente a pastagem, devido ao dano mecânico sobre a forragem, e indiretamente sua produtividade, devido à compactação do solo (GREEWOOD & MCKENZIE, 2001).

Assim, a sustentabilidade dos sistemas agropecuários está ancorada na manutenção da produtividade das espécies forrageiras, que por sua vez dependem da manutenção da estrutura da pastagem e da qualidade física, química e biológica dos solos em níveis não impeditivos ao desenvolvimento das plantas (COSTA, 2012).

Os atributos físicos do solo exercem papel determinante na produtividade das pastagens, sendo aqueles que envolvem a estrutura do solo os mais usados no diagnóstico da qualidade do solo e sua recuperação. Com relação a isto, Pieri (1992) criou um índice para avaliar a degradação de solos com base nos resultados do índice de estabilidade estrutural. O autor sugere classes que fornecem noção do grau de degradação do solo, utilizando equação que relaciona os teores de carbono orgânico e frações de argila e silte, necessários para manter a estrutura do solo, relacionando à “resiliência” da estrutura do solo.

Um dos principais atributos do solo relacionados a sua qualidade é a formação de macroagregados estáveis, os quais são responsáveis pela estrutura do solo, entre outras propriedades emergentes (MIELNICZUK et al., 2003).

Solos bem agregados possuem maior porosidade do que solos pobres em agregação, o que resulta numa mais rápida penetração e percolação da água da chuva, além de favorecer a troca gasosa entre o solo e a atmosfera (PIERI, 1992).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) representa um parâmetro chave para análise da intensidade do deslocamento da água no solo. Para a sua determinação existe uma grande variedade de métodos, com diferentes níveis de precisão (MARQUES et al., 2008).

Fornecer informações da velocidade em que a água se movimenta no solo para direcionar a um melhor manejo e uso do solo de determinada localidade (MARQUES, 2008).

A razão entre massa de sólidos e volume do solo - volume de sólidos + espaço poroso - define a densidade do solo (ALMEIDA, 2008).

A porosidade total do solo representa o volume ocupado pelo ar e pela água e é afetada pela forma de arranjo das partículas do solo, ou seja, pela capacidade de formação de agregados (ALMEIDA, 2009).

Prevedello (1996) propôs uma classificação para distribuição de tamanho de poros, onde macroporos foram definidos como poros com raio $> 150 \mu\text{m}$; mesoporos aqueles com raio entre 150 e $25 \mu\text{m}$; microporos quando o raio varia na faixa de 25 a $0,1 \mu\text{m}$. Mais tarde, Klein & Libardi (2002) completaram a classificação denominando de criptoporos aqueles poros com raio $< 0,1 \mu\text{m}$.

Embora estas classificações sejam consagradas na literatura, não há um consenso entre os autores, que propõem classificação mais simplificada, e com tamanho de poros com diferentes valores.

A respeito disto, Kiehl (1979) classificou como macro e microporos, os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que $0,06 \text{ mm}$; enquanto Richards (1965) utilizou o diâmetro de $0,05 \text{ mm}$ como limite de separação entre macro e microporos. Já Klein & Libardi (2002), classificaram como macroporos, os poros com diâmetro maior que $0,05 \text{ mm}$ (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre $0,05$ e $0,0002 \text{ mm}$ (que são esvaziados entre as tensões de 6 e 1500 kPa) e criptoporos, como já citado anteriormente, poros com diâmetro menor que $0,0002 \text{ mm}$ (que perdem a água apenas para tensões $> 1500 \text{ kPa}$).

Assim, observa-se uma variação enorme na definição dos limites de diâmetro entre uma classe e outra, verificando-se que não foi estabelecida uma terminologia padrão para classificar os poros do solo quanto ao tamanho (SÃO MATEUS, 1994).

Os macroporos se formam entre os agregados e são importantes por favorecer a infiltração de água, permitindo a drenagem, influenciando na aeração do solo, permitindo as trocas gasosas (PREVEDELLO, 1996), além de acomodarem as raízes das plantas. Os microporos, geralmente, ficam dentro dos agregados, retêm água disponível para as plantas, como uma esponja, e fornecem abrigo para as bactérias (BENITES et al., 2005).

LIBARDI (2005) em referência aos processos de retenção/disponibilidade de água no solo para as plantas comenta que, os fenômenos de capilaridade e adsorção estão relacionados às denominadas forças mátricas, dando origem ao termo potencial mátrico da água no solo.

A curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) é uma importante ferramenta na descrição do comportamento físico-hídrico e na mecânica dos solos não saturados. A CCRAS é parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas do solo (CICHOTA & JONG VAN LIER, 2004), especialmente em estudos de balanço e disponibilidade de água às plantas, de dinâmica da água e solutos no solo, de infiltração e no manejo da irrigação (TORMENA & SILVA, 2002). Ela relaciona o conteúdo de água retido, sob equilíbrio, em cada potencial matricial, sendo esta relação influenciada pelo tamanho e conectividade dos espaços porosos, que por sua vez são afetados pela estrutura e textura do solo, como também outros constituintes (TULLER & OR, 2005).

A resistência tênsil de agregados de solos (RT) é definida como a força, de compressão ou de tração, por unidade de área requerida para que o agregado se rompa (DEXTER & WATTS, 2000). Do mesmo modo como apresentado para a CCRAS, a RT reflete a distribuição de tamanho de poros, apresentando maiores valores quando da predominância de poros pequenos (ou solos compactados), sendo os menores valores relacionados a solos com estrutura mais preservada.

A resistência do solo à penetração de raízes (RP) é um dos mais frequentemente atributo do solo utilizado para avaliação da sua compactação. Juntamente com o potencial da água e a aeração do solo, a RP tem a vantagem de ser diretamente relacionada com o crescimento das plantas devido ao efeito que exerce nos processos metabólicos e nas funções vitais da planta (LEÃO et al., 2006).

A melhoria na qualidade física de solos, além de tradicionalmente ter sido avaliada por parâmetros físicos de solos como sua porosidade, também tem sido quantificada

pelos efeitos da aplicação de condicionantes químicos em solos com estrutura degradada (MARCELO, 2015).

Os condicionadores de solo têm contribuído para aumentar a capacidade de retenção de água do solo, reduzindo a frequência de irrigação e permitindo a utilização mais efetiva dos recursos solo e água, contribuindo para melhorar o rendimento de culturas agrícolas, como discutido por Oliveira et al. (2004) e como estudado por Venturoli & Venturoli (2011) em recuperação de áreas degradadas.

Dentre os condicionadores de solos os polímeros têm recebido maior destaque. Polímeros são macromoléculas de alta massa molar, formadas por unidades menores, chamados monômeros. Estes reagem por adição ou condensação, produzindo polímeros com diferentes propriedades físico-químicas e mecânicas (GONÇALVES, 2009).

Segundo Pires et al. (2007), os polímeros à base de poliacrilamida (PAM) são constituídos por uma longa cadeia de polímeros de grandes dimensões e elevado peso molecular, com relação às cargas são eletronegativos e solúveis em água.

A eficiência da PAM como condicionador de solos está diretamente relacionada com as concentrações ou quantidades aplicadas ao solo e vários autores apontam que pequenas quantidades de PAM (10-20 kg ha⁻¹) aplicadas sobre a superfície do solo apresentou resultados eficientes quanto a manutenção de alta permeabilidade, diminuindo os níveis de erosão e escoamento superficial (MAMEDOV et al, 2007; SZÖGI et al., 2007; SEPASKHAH & SHAHABIZARD, 2010).

Dependendo das formas que são aplicados, os polímeros podem ter sua eficiência melhorada e, conforme Russell (1988), estes podem ser aplicados diretamente na superfície do solo, ou em camadas subsuperficiais, sendo esta forma mais dificultosa para seu uso na agricultura. De acordo com Madeira et al. (2000), os polímeros também podem ser aplicados dissolvidos na água de irrigação, no estado líquido, atuando positivamente no aumento da infiltração, diminuindo perdas do solo.

A adsorção da PAM às partículas do solo depende das características de ambos. Textura, tipo de argila, conteúdo de matéria orgânica, tipo de íons presentes na solução são as propriedades dos solos dominantes que afetam a adsorção de PAM; enquanto que a massa molecular, o tipo de carga e a densidade de cargas são as principais propriedades de PAM envolvidas no processo (SEYBOLD, 1994).

4. Material e métodos

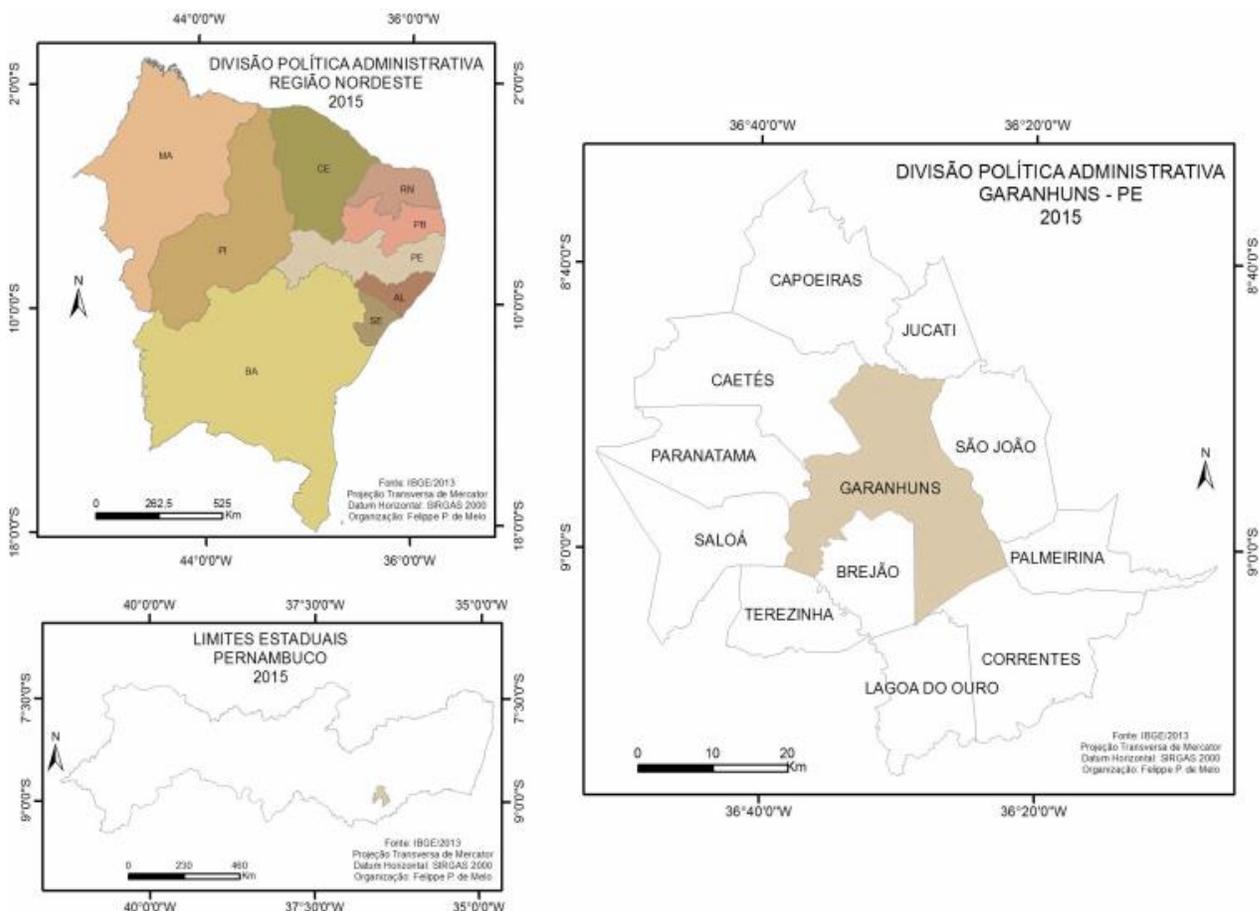
4.1. Área experimental:

4.1.1 Localização da área

O experimento foi realizado no município de Garanhuns, localizado no Agreste Meridional de Pernambuco, distando 229 km da Capital, que ocupa uma área de 458,552 km², sendo 7,11 km² formando o perímetro urbano e 451,44 km² formando a zona rural.

Segundo Monteiro et al. (2007), a região do Agreste pernambucano possui uma produção agropecuária bem diversificada com lavouras de milho, feijão e mandioca entre outras, pecuária de leite e corte e a caprino-ovinocultura. Os municípios de Garanhuns e Brejão já se destacaram no passado como produtores de café arábica. Grande parte desse sucesso deve-se principalmente a condição climática (mais úmido e frio em relação ao seu entorno) e ao tipo de solo.

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Garanhuns-PE



Fonte: http://www2.fct.unesp.br/nera/artigodomes/6artigodomes_2015.pdf

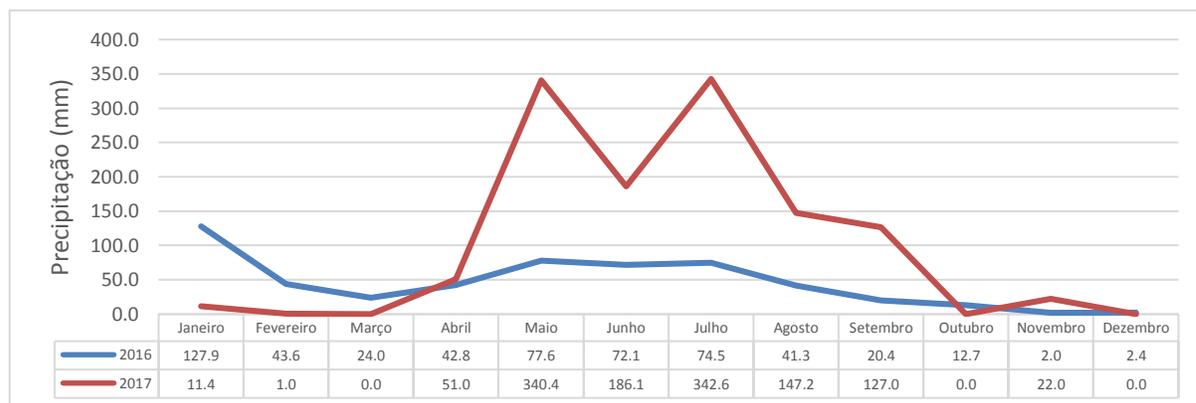
A área experimental está localizada a aproximadamente 6,0 km do Centro de Garanhuns, sob latitude -8° 52' 3,56" e longitude -36° 32' 13,62" com o seguinte itinerário: saindo de Garanhuns com destino ao município de Paranatama/PE, passando pela indústria Unilever, seguir por mais 1,0 km, até o Posto Treze Combustíveis, entrar à direita, encontra-se a propriedade a 500 metros da BR 423, denominada de Sítio Brejo da Pajuçara (Figura 1).

A área total é de 55,0 hectares e a principal atividade está voltada para a pecuária de leite. Até meados dos anos 70, era formada por cafezais sombreados, sendo parte substituída por implantação de pastagem (*Brachiaria decumbens*) e outra área destinada à formação de mata secundária. A área de mata secundária apresenta espécies como Massaranduba, Candeeiro, Sucupira, Laranjinha, entre outras espécies, com presença de serrapilheira, mesmo apresentando dorsel parcialmente aberto.

4.1.2 Clima

Garanhuns é classificado como mesotérmico com regime de chuvas de outono-inverno, com 930 m de altitude. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (2013), a temperatura média anual é de 20,6°C, possuindo verões quentes e secos e invernos amenos e úmidos. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, quando a temperatura média é de 22°C, e os mais frios são julho e agosto, com média de 18,4°C.

Figura 2 – Índices pluviométricos dos anos 2016 e 2017 no município de Garanhuns/PE



Fonte: Adaptação a partir de APAC (2017)

A média pluviométrica é de 874 milímetros anuais, sendo novembro o mês mais seco (21 mm) e julho o mais chuvoso (135 mm). Conforme dados da Agência Nacional

de Águas e Climas (APAC), os índices pluviométricos apontam oscilações no município de Garanhuns/PE, sendo as dos anos de 2016 e 2017 apresentados da Figura 2.

4.1.3 Solos

Os solos do agreste pernambucano são bastante variados, podendo ser encontrados desde Neossolos Litólicos, Neossolo Regolíticos, passando por Planossolos, Argissolos até Latossolos (EMBRAPA, 2000).

Figura 3 – Perfil representativo da área, usado para classificação do solo



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Para efeito de comprovação, um perfil representativo da área foi aberto para identificação dos horizontes e definição da classificação morfológica do solo estudado (Figura 3), descritos nas Tabelas 1. Assim, o solo em estudo foi classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos et al., 2013), definido como Latossolos Amarelo Distrocoeso com A húmico. São solos normalmente profundos, intemperizados, bem drenados, friáveis e, em geral, com média a boa disponibilidade de água para as plantas.

Tabela 1 - Descrição morfológica do perfil de referência na área do estudo - Garanhuns/PE.

Horizonte	Profundidade	Cor		Textura	Estrutura			Consistência			
		Seca	Úmida		Grau	Tamanho	Tipo	Seco	Úmido	Plasticidade	Pegajosidade
A1	0 a 20 cm	ND.	10 YR 3/4	F.Arenosa	Moderado	Peq. Méd.	Granular	ND.	M.Friáv	Lig.Plástico	Lig.Pegajosa
A2	20 a 42 cm	ND.	10 YR 3/3	F.Argilo Arenosa	Moderado	Peq. Méd.	Granular	ND.	M.Friáv	Plástico	Pegajosa
A3	42 a 70 cm	ND.	10 YR 3/3	Argila Arenosa	Moderado	Peq.Méd.	Bl. Sub.	ND.	Friável	Plástico	Pegajosa
Ba	70 a 110cm	ND.	10 YR 4/4	Argila Arenosa	Fraco	Peq.Méd.	Bl. Sub.	ND.	Friável	Plástico	Pegajosa
Bw ou Bt	110 a150+ cm	ND.	10 YR 5/6	Argila Arenosa	Fraco	Médio	M.Bl.Su b.	ND.	Friável	Plástico	Pegajosa

* ND = Não Determinado

Tabela 2 – Análise física do perfil de referência na área de estudo – Garanhuns/PE.

Horizonte	Profundidade (cm)	% Areia	% Silte	% Argila	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Densidade de partículas (g cm ⁻³)
A1	0 a 20	76,09	10,80	13,11	1,35	2,67
A2	20 a 42	66,94	4,98	28,08	1,38	2,70
A3	42 a 70	58,81	5,05	36,14	1,36	2,70
Ba	70 a 110	55,66	7,14	37,20	1,35	2,67
Bw ou Bt	110 a150+	49,54	8,15	42,31	1,41	2,67

Observações:

Relevo: topo plano de relevo ondulado; perfil coletado sob mata secundária de floresta subperenifólia; drenagem: apresenta-se bem drenado; erosão: não aparente; pedregosidade/rochas: ausente; a geologia do município é composta pelas rochas cristalinas metamórficas do Complexo Belém de São Francisco, Complexo Cabrobó e de Depósitos Colúvioeluviais, sendo comum encontrar nos topos das elevações um capeamento delgado de sedimentos argilo-arenosos depositados no Período Terciário semelhantes aos da Formação Barreiras (SANTOS 1995; CPRM, 2005; EMBRAPA, 2000); horizonte Bt/Bw apresenta cascalhos e calhaus quartzosos angulares e subangulares e esféricos a subesféricos, policristalinos, dispersos no mesmo perfil; perfil coletado úmido; não foi observado atividade de microorganismos geófagos ou formigas no perfil; Demais horizontes apresentam pouca quantidade de cascalhos quartzosos; raízes: muitas finas e grossas no A1 e A2; poucas finas e grossas no A3; raras finas e grossas nos demais horizontes.

4.2 Tratamentos, delineamento, dose e aplicação do polímero

O estudo foi desenvolvido em uma área, dividida em duas subáreas, diferentes entre si apenas quanto ao tipo de utilização agrícola manejo, mas em condições semelhantes de relevo, altitude e solo, sendo aqui identificadas pelas letras MR (mata regenerada) e PD (pastagem degradada).

A primeira subárea, constituída por MR, servirá como controle. A outra subárea (PD) apresenta pastagem (*Brachiaria decumbens*) já implantada e degradada. Em cada subárea houve dois tratamentos, com e sem aplicação de polímero, que serviram para comparar a capacidade de resiliência do solo sob cada tratamento.

Desse modo os tratamentos nas subáreas sob mata e pastagem receberam, respectivamente, as seguintes legendas: MSP (mata sem polímero); MCP (mata com polímero); PSP (pastagem sem polímero); PCP (pastagem com polímero). Cada tratamento apresentou uma área de 16m x 16m (256 m²), totalizando 1.024 m², identificados a seguir (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição dos tratamentos em campo: PCP - subárea sob pastagem com polímero; PSP - subárea sob pastagem sem polímero; MCP - subárea sob mata com polímero; MSP - subárea sob mata sem polímero.



Fonte: Adaptações a partir do Google Earth, 2017.

O delineamento experimental foi definido com base na representatividade amostral e rigor estatístico para obtenção do grau de liberdade que possibilite avaliação dos efeitos da aplicação do polímero nos atributos físico-hídricos do solo (Figura 5).

Sendo assim, em cada área de 16m x 16m, foram realizadas subdivisões em áreas menores de 4m x 4m, totalizando 16 subáreas, sendo realizado o sorteio de forma aleatória de oito parcelas para coleta das amostras via anéis volumétricos (maiores detalhes são comentados no item 4.3).

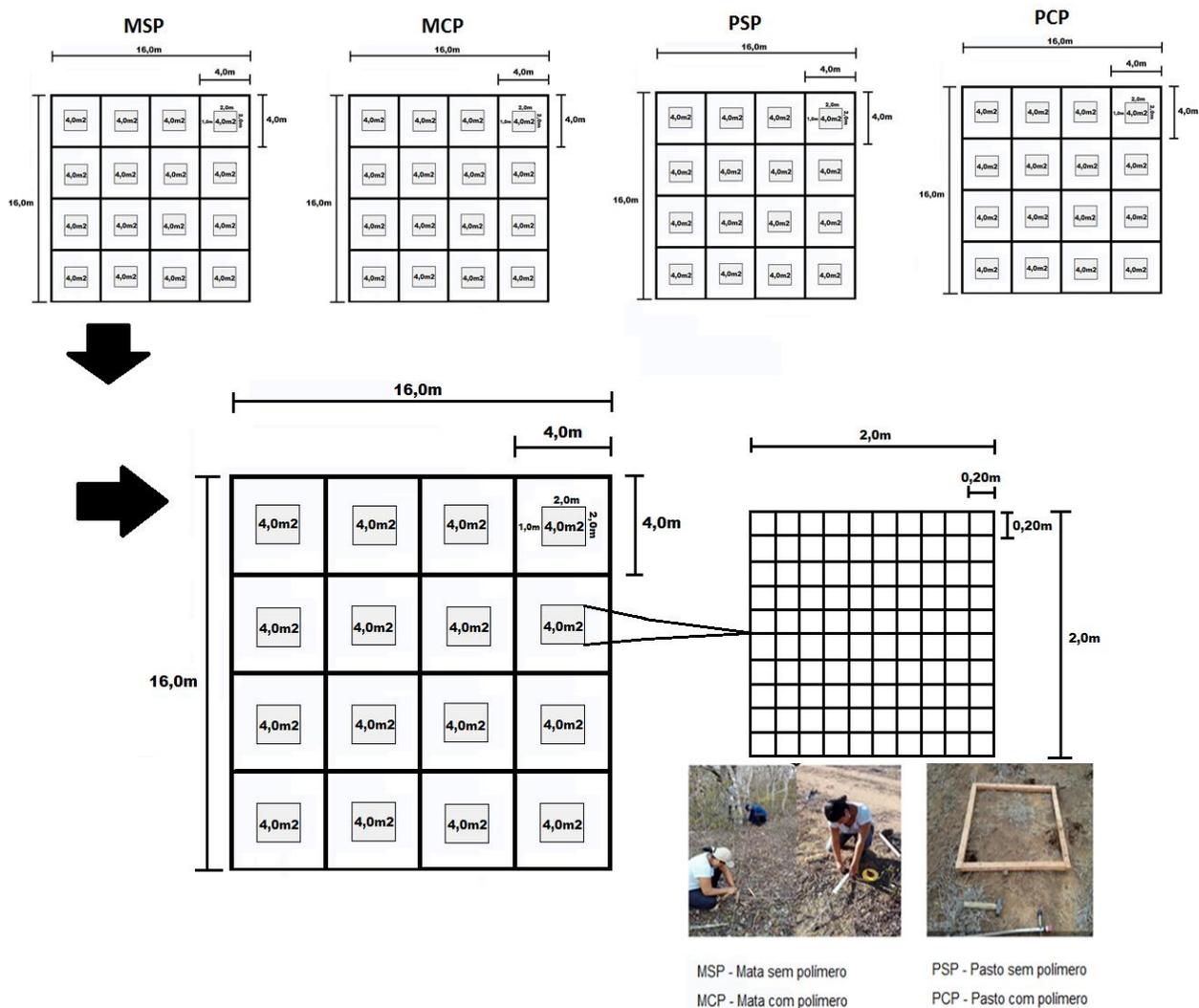
Em cada parcela, houve novamente sorteio entre linhas e colunas, utilizando uma malha de 0,20m x 0,20m, sendo coletados nove anéis em cada parcela, com 72 anéis por cada área, totalizando 288 anéis em todo o experimento (detalhes item 4.3).

Usou-se o polímero aniônico, à base de poliacrilamida (PAM), denominado “Superfloc A- 130”, fabricado pela Cytec, que possui alto peso molecular e não é tóxico ao ambiente. A dose aplicada no estado líquido foi 0,001 %, calculada a base de massa,

sendo aplicada na concentração de 100 mg de polímero/L de água, conforme sugere MELO (2009).

Nas áreas de pastagem e mata destinadas aos ensaios com PAM, este foi aplicado via água de irrigação, segundo o cálculo de reposição da evapotranspiração de referência diária (4 mm), valor representativo para a microrregião de Garanhuns/PE, calculado pelo método FAO Penman-Monteith (BORGES JÚNIOR, 2012).

Figura 5 - Descrição do arranjo esquematizado para coleta das amostras de solo



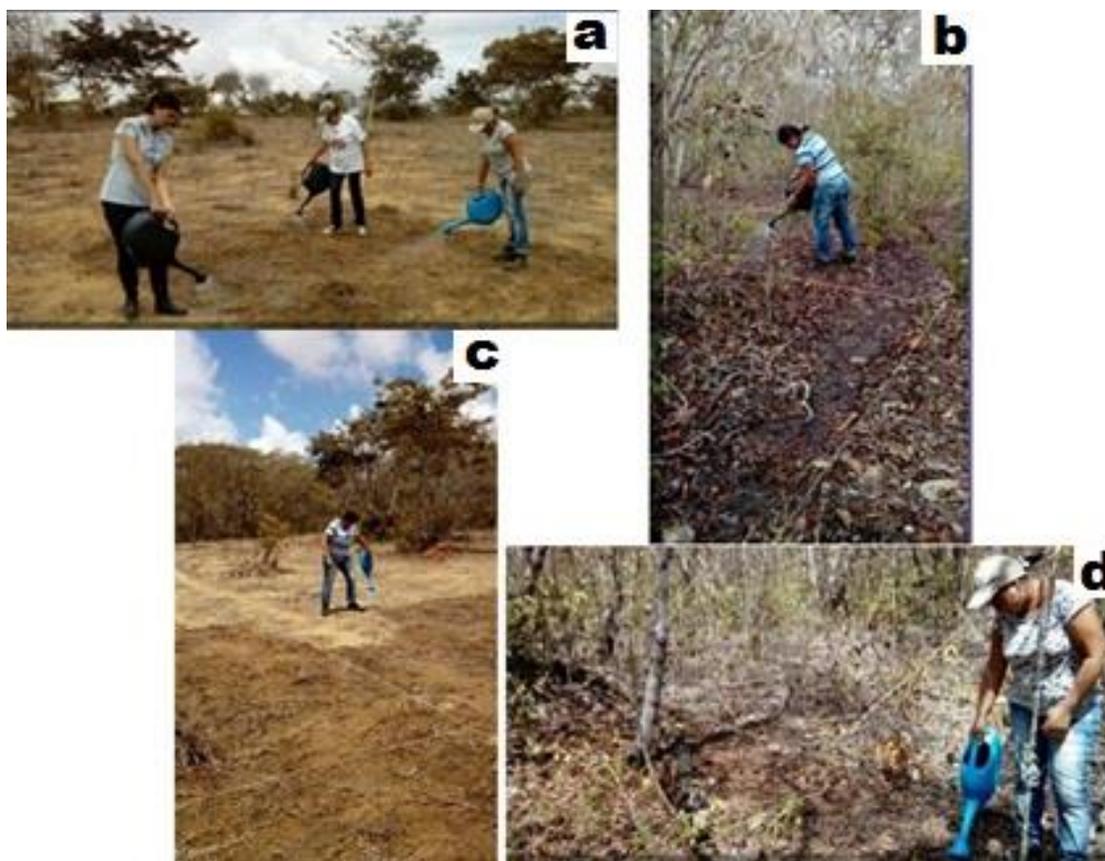
Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Foram realizadas duas aplicações em cada subárea, sendo adicionados 1.024 L da solução, distribuídos na área completa em virtude do longo período de estiagem (seis anos) e dos potenciais envolvidos, deixando assim a área de estudo mais uniforme

possível. O intervalo entre as aplicações foi definido pelo turno de rega da irrigação, resultando uma aplicação a cada três dias. Detalhes do processo da aplicação são ilustrados na Figura 5.

Nos tratamentos sem aplicação de PAM (MSP e PSP) foram inseridos apenas água, no mesmo volume utilizado nos outros dois tratamentos (1.024 L), para dar a mesma condição de umidade nas subáreas de controle durante os ensaios de campo.

Figura 6 - Aplicação da solução de PAM nas subáreas: a) na pastagem com polímero; b) na mata com polímero; c) na pastagem sem polímero; d) na mata sem polímero



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

4.3 Coleta das amostras estruturadas e não estruturadas

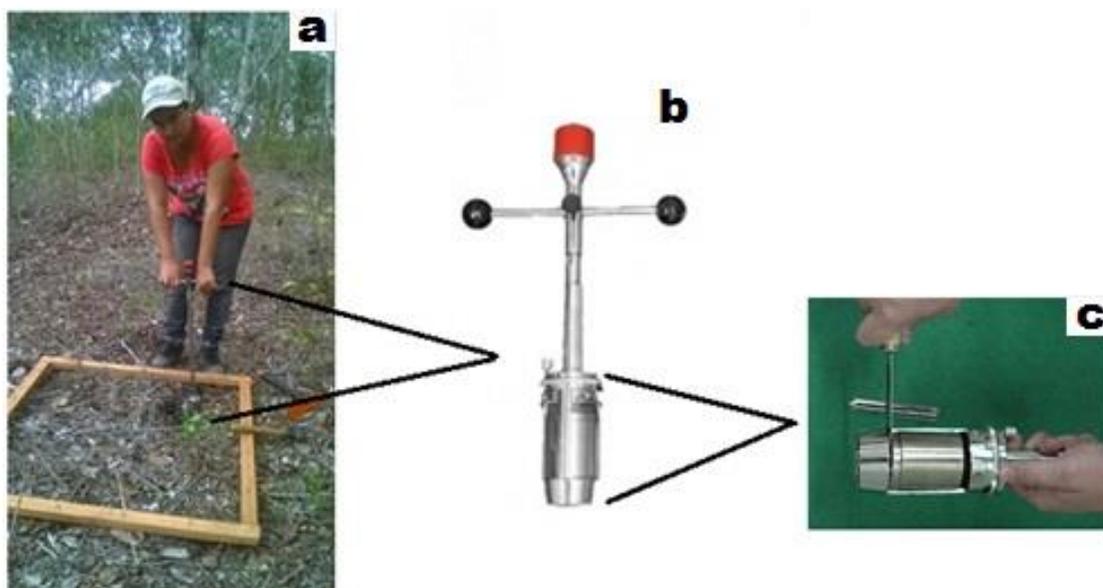
As amostras foram coletadas de forma a manter a sua estrutura original (não deformadas), utilizando para isto anéis volumétricos de aço (dimensões altura e diâmetro interno de 0,05 x 0,05 m), inseridos ao solo no campo com auxílio de amostrador tipo Uhland (Figura 7).

A profundidade de coleta foi definida com base na distribuição do sistema radicular da pastagem, bem como os horizontes explorados pelas raízes das gramíneas, sendo de 0,0 a 0,15 m.

Após inserção, cada conjunto anel-amostra foi devidamente envolvido em plástico filme, plástico bolha e acondicionado em caixa de isopor para seu transporte ao laboratório.

Coletaram-se ainda em cada parcela, oito amostras estruturadas em forma de agregados do solo, sendo 64 por cada área, totalizando 256 agregados, destinados aos ensaios de resistência tênsil de agregados e sua estabilidade via úmida.

Figura 7 - Detalhes do processo de coleta das amostras não deformadas: a) delimitação para coleta dos anéis; b) amostrador tipo Uhland utilizado para inserção dos anéis volumétricos ao solo; c) retirada do anel do solo.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017 e www.sondaterra.com.br

Para tanto, com auxílio de uma pá, o solo foi removido do campo, tendo-se o cuidado de separar, manualmente, os agregados de solo, num diâmetro variando em torno de 0,7 a 0,10 m, sendo estes devidamente acondicionados para preservar sua estrutura durante o processo de transporte ao laboratório (Figura 8).

Figura 8 - Detalhes do processo de coleta dos agregados do solo: a) coleta manual na profundidade de estudo; b) acondicionamento



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Foram ainda coletadas amostras não estruturadas, com objetivo de se determinar aqueles atributos físicos que não necessitam de manutenção da estrutura (granulometria e densidade de partículas), além do fator f , bem como para os ensaios de caracterização física e química dos solos. Para isto, foi utilizado um trado tipo holandês inserido ao solo e coletadas amostras nas mesmas profundidades definidas para aquelas obtidas a partir dos anéis e dos agregados. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malhas de 2 mm de abertura, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA).

4.4 Ensaio químicos dos solos

4.4.1 Potencial hidrogeniônico do solo (pH)

O pH do solo foi determinado em água destilada, na proporção de 1:2,5 (TFSA : água) sendo a medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H⁺ na solução do solo obtida por meio de eletrodo combinado (EMBRAPA, 2009).

4.4.2 Percentual de matéria orgânica (MO)

O percentual de MO foi obtido utilizando a mufla, seguindo o método descrito por Pereira (2006): secagem prévia das amostras em estufa a 105°C, por um período de 24 h, visando eliminar toda a água presente nos resíduos, como a higroscópica, a capilar ou a de cristalização. Após esse período, os cadinhos de cerâmica com as amostras foram acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados a uma temperatura de 600 °C, por 6 h. Posteriormente, o conjunto (cadinho+resíduos) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado.

O teor de MO foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105 °C a 600 °C, conforme a equação (1).

$$MO_{(\%)} = \left[\frac{P - (T - C)}{P} \right] \times 100 \quad (1)$$

em que: P = peso da amostra depois de aquecida a 105°C (g); T = peso da cinza + cadinho (g); C = tara do cadinho (g).

4.5 Ensaio físico-hídricos dos solos

4.5.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica dos solos (fração argila, silte e areia) foi realizada pelo método do densímetro, conforme descrito em Almeida (2008), onde 50 g das amostras sob dispersante (Calgon = Hexametáfosfato de Sódio + Carbonato de Sódio = 0,25 L) e 250 mL de água foram submetidas ao agitador tipo Wagner por 16 horas, transferida para proveta de 1L, até o volume de 0,94 L, agitando-se manualmente com haste e permanecendo em repouso por 24 horas.

Após esse período, foram realizadas as leituras do material em suspensão com o uso do densímetro de Bouyoucos, além da leitura do branco (apenas dispersante).

Em seguida, utilizou-se a peneira de 0,053 mm para retenção e determinação da fração areia total, colocadas na estufa à 105°C por 24 horas.

A fração areia total foi subdividida em função do diâmetro (\varnothing) de cada subclasse: muito grossa ($2 > \varnothing_{\text{mm}} = 1$); grossa ($1 > \varnothing_{\text{mm}} = 0,5$); média ($0,5 > \varnothing_{\text{mm}} = 0,25$); fina ($0,25 > \varnothing_{\text{mm}} = 0,10$) e muito fina ($0,10 > \varnothing_{\text{mm}} = 0,05$). A areia total foi inserida no conjunto de peneiras com agitação mecânica de 10 minutos, pesando a retenção de areia em cada peneira (1,00; 0,50; 0,25; 0,10 e 0,053 mm).

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada do mesmo modo que a fração argila total (AT), exceto pela ausência do dispersante químico. Com os dados da AT e ADA, foi calculado o grau de floculação (GF), conforme equação (2).

$$GF_{(\%) } = \left(\frac{AT-ADA}{AT} \right) \times 100 \quad (2)$$

4.5.2 Estabilidade de agregados

A caracterização dos agregados do solo foi realizada por peneiramento via úmida (Yoder, 1936), conforme modificações sugeridas em Nimmo e Perkins (2002), comentadas a seguir.

As amostras foram compostas por agregados menores que 7,1 mm, e maiores que 3,35 mm, tendo, portanto, diâmetro médio de 5,225 mm.

Esta modificação foi adotada devido a textura do solo (mais arenosa), que não favorece a subdivisão de agregados menores, obtendo-se desta forma uma melhor representação dos agregados.

Após coleta, os torrões foram acondicionados em embalagens plásticas. No laboratório estes torrões foram desagregados, observando as superfícies de fraqueza dos mesmos, até que os agregados passassem pela peneira de 7,1 mm e fossem retidos na de 3,35 mm. Para os ensaios, utilizaram-se 25 g desses agregados.

Os agregados colocados em papel filtro e foram pré-umedecidos por capilaridade, utilizando álcool 96°, por 10 minutos.

Posteriormente estas amostras foram submetidas ao processo de peneiramento

úmido, utilizando-se um conjunto de peneiras de malhas: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,105 mm, num oscilador vertical, com cerca de 26 oscilações por minutos, durante 15 minutos (Figura 9).

Figura 9 - Detalhe do equipamento usado no ensaio de estabilidade via úmida: a) umedecimento das amostras; b) aparatos do equipamento; c) equipamento; d) peneiras



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Posteriormente, as massas de agregados retidos em cada peneira foram colocadas em latas de alumínio e levadas para estufa à 105 °C por 24 h. Para converter a massa inicial de agregados secos ao ar em agregados secos em estufa, uma subamostra dos agregados foi utilizada para determinação do seu fator de correção.

Para se ter a opção de avaliar o efeito dos tratamentos na estabilidade de agregados, com e sem a presença da fração areia, foram realizados procedimento para tal correção, comentados a seguir.

Após pesagem de classe de agregados, estes foram transferidos para recipientes plásticos e solução dispersante (Calgon = Hexametáfosfato de Sódio e Carbonato de Sódio) para separar a fração areia dos agregados das outras frações (argila e silte), deixadas em repouso por 24 h, sendo em seguida transferidas para peneira com 53 µm de abertura, e lavadas em água corrente (Figura 10).

Figura 10 - Detalhes do processo de correção da fração grosseira dos agregados: a) dispersão da argila; b) lavagem e separação da fração grosseira



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

O material retido na peneira foi seco e em estufa (25h, 105 °C) e pesados. De posse desses dados, esta fração grosseira foi descontada da massa de agregados da sua respectiva classe.

Desse modo, a distribuição dos agregados por classe de diâmetro foi expressa pelo diâmetro médio ponderado (DMP) por meio da equação (3) e pelo diâmetro médio geométrico (DMG), conforme equação (4).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot W_i) \quad (3)$$

em que: X_i é o diâmetro médio das classes (mm); W_i é a proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = \exp \frac{\sum_{i=1}^n n \cdot \log X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (4)$$

em que: n é a porcentagem de agregados estáveis em cada classe.

Para mensurar o uso de PAM no DMP e no DMG úmidos dos tratamentos de estudo em relação ao tratamento controle, usou-se o índice de sensibilidade (I_s) sugerido por Bolinder et al. (1999), que se basearam no princípio de comparação relativa entre os tratamentos quanto à ação do PAM.

O Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) foi obtido pela equação:

$$IEA = \frac{DMP_u}{DMP_s} \quad (5)$$

em que o DMPu é o DMP obtido pelo peneiramento em água e o DMPs é o obtido em peneiramento seco. O Is foi calculado a partir da equação (6).

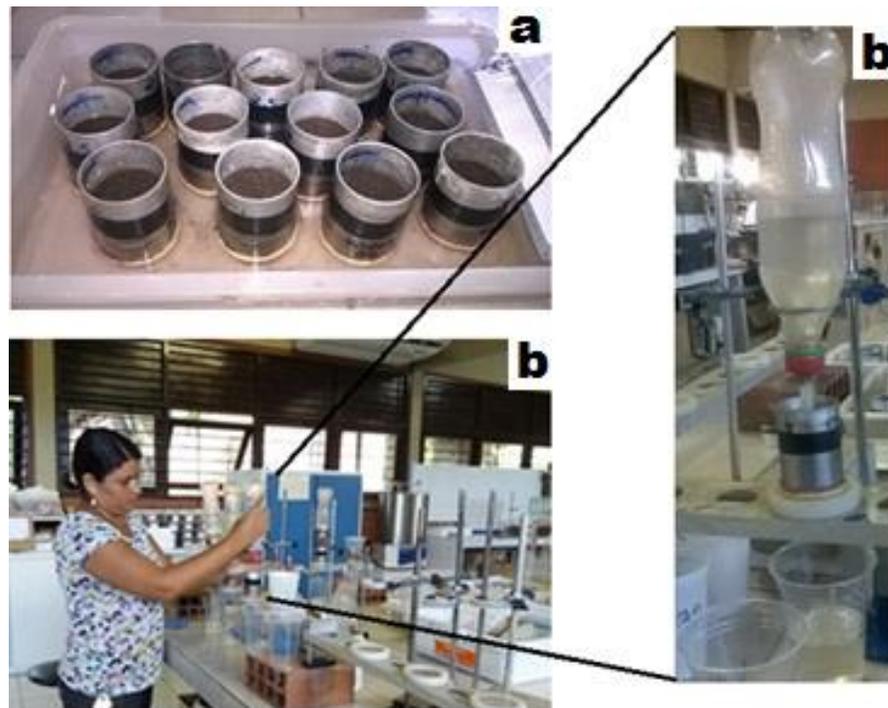
$$I_s = \frac{A_s}{A_c} \quad (6)$$

onde: A_s , é o valor do DMP (ou DMG) do horizonte considerado submetido a cada solução aquosa de PAM; A_c , valor do DMP do horizonte considerado submetido ao tratamento controle.

4.5.3 Condutividade hidráulica saturada (K_{sat})

Os ensaios para obtenção da K_{sat} foram realizados em laboratório (K_{satL}), conforme sugerido em Reynolds & Elrick (2002), utilizando as amostras coletadas em anéis volumétricos, previamente saturadas e adaptadas a um permeâmetro de carga constante, ficando uma hora em estabilidade, e posteriormente a cada 10 minutos anotado o volume de água coletado (Figura 11).

Figura 11 - Detalhes do processo de infiltração de água: a) saturação dos poros; b) condutividade hidráulica saturada



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

A medida quantitativa da K_{satL} foi obtida por meio da aplicação da Lei de Darcy, usando a equação (7).

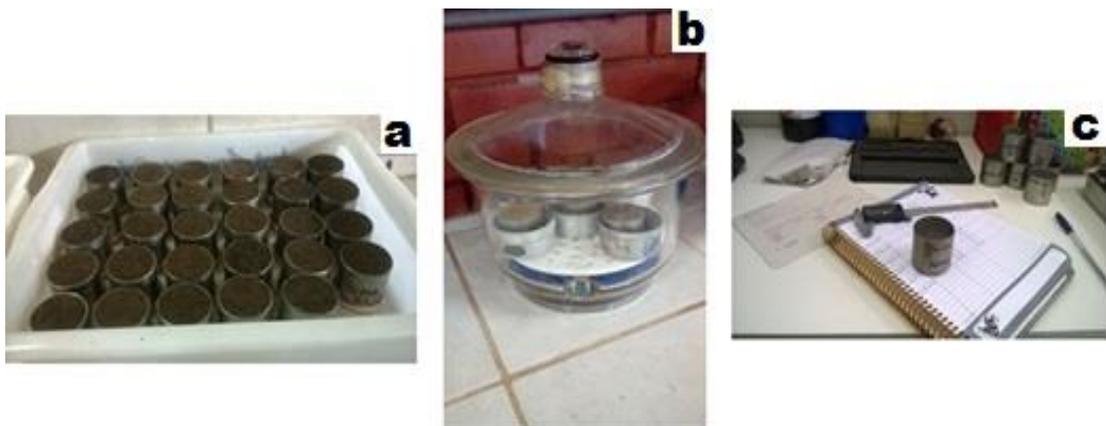
$$K_{satL} = \frac{V_a \cdot L}{A \cdot T \cdot (\Psi_C - \Psi_B)} \quad (7)$$

em que: K_{satL} é a condutividade hidráulica saturada, expressa em $cm \ h^{-1}$; V_a é o volume de água coletado (cm^3); L é a altura do corpo de prova (cm); A é a área da seção transversal do anel (cm^2); T é o tempo de fluxo da água pelo corpo de prova (h); Ψ_C é o potencial total na parte de cima do corpo de prova (cm de coluna de água = cca); Ψ_B é o potencial total na parte de baixo do corpo de prova (cca).

4.5.4 Densidade do solo (D_s)

A D_s foi obtida por meio do método do anel volumétrico, conforme sugerido por Grossman & Reinsch (2002), determinada por meio da coleta do solo em cilindro de aço inoxidável ($0,05 \times 0,05 \ m$), retirando o excesso de solo das extremidades de cada cilindro, de modo que o volume do solo fosse equivalente ao volume do cilindro. As amostras foram colocadas em estufa a $105 \ ^\circ C$ por 24 horas (Figura 12).

Figura 12 - Detalhes do processo para obtenção da densidade do solo: a) anéis coletados, com toalet realizado, a ser inserido na estufa; b) anéis no dessecador, após 24 horas; c) uso do paquímetro para medição do anel cilindro



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

A partir da massa do solo seco e do volume de cada cilindro calculou-se a D_s , obtida conforme equação (8).

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (8)$$

em que: D_s é a densidade do solo (g cm^{-3}); M_s é a massa de sólidos, obtida pela quantidade de amostra contida no anel volumétrico e seca a 105°C (g); V_t é o volume do anel volumétrico (cm^3).

4.5.5 Densidade de partículas sólidas do solo (D_p)

A D_p foi realizada empregando-se o método do balão volumétrico (MBV), descrito conforme EMBRAPA (1997). Prepararam-se as amostras de solo, obtendo-se a TFSA, sendo seca em estufa a 105°C por 24 horas (TFSE) e resfriamento em dessecador. O líquido penetrante usado foi o etanol.

4.5.6 Curva característica de retenção de água do solo (CCRAS)

Nos ensaios para construção da CCRAS foram utilizadas as amostras coletadas em anel volumétrico, após ensaios da K_{satL} .

As amostras foram re-saturadas por 24 h, em seguida cada conjunto anel-amostra foi submetido às tensões de 1, 6 e 10 kPa em mesa de tensão (OLIVEIRA, 1968) e à 1500 kPa em câmeras de Richards (DANE & HOPMANS, 2002), com placas porosas de 15 bar (Figura 13).

Figura 13 - Detalhes do processo para obtenção dos valores para a CCRAS: a) anéis na mesa de tensão; b) placas de cerâmicas e câmara de Richards



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Ao atingirem o equilíbrio em cada tensão, os conjuntos anel-amostra foram pesados, sendo imediatamente determinada a resistência do solo à penetração de raízes (RP). Na sequência, as amostras foram secas em estufa à 105 °C, por 24 h, para determinação do conteúdo de água em cada tensão (momento quando foi obtido os dados para cálculo da D_s , conforme item 4.5.4). As CCRAS foram construídas a partir das médias dos dados das umidades obtidas com as sete repetições utilizadas nos tratamentos de cada subárea.

A obtenção da CCRAS, bem como, os testes paramétricos foram efetuados utilizando-se o software RETC (Retention Curve), com ajustes utilizando a planilha do Microsoft Excel.

4.5.7 Porosidade total do solo (P) e distribuição de tamanho de poros (DTP)

Com os dados gerados a partir das CCRAS, foi obtida a DTP, calculando-se inicialmente a P. Assim, a partir da saturação da amostra, foi possível determinar a P ($m^3 m^{-3}$), calculada pelo emprego da equação (9).

$$P = \frac{V_{\text{poros}}}{V_t} = \frac{V_{\text{sat}}}{\text{Volume do anel}} \quad (9)$$

em que: V_{poros} é o volume de poros do solo, aqui assumido como o volume de água contido nos poros do solo saturado (V_{sat}), obtido pela diferença entre o peso do conjunto anel-solo saturado e anel-solo seco à 105 °C (m^3), V_t é o volume do solo, obtido a partir do volume do anel volumétrico, expresso em m^3 .

Na distribuição de tamanho de poros foi usada a classificação de Prevedello (1996). Já para os poros com raios menores 0,1 μm , foi utilizada a classificação de Klein e Libardi (2002), que denominaram estes poros de criptoporos. Seguindo tais classificações e usando a equação de capilaridade ($\text{raio}_{\text{poro}} = 2 \sigma \cos\alpha / (g \text{ Da } \Psi)$), a macroporosidade foi obtida após equilíbrio do conjunto anel-amostra na tensão de 1 kPa, conforme equação (10).

$$\text{Macro} = \frac{V_{\text{macro}}}{V_t} = \frac{(\text{Peso solo saturado} - \text{Peso solo equilibrado à 1kPa})/\text{Da}}{V_t} \quad (10)$$

em que: Macro = macroporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{macro} é o volume de macroporos, obtido pela diferença de peso entre o solo saturado e o solo equilibrado na tensão de 1 kPa, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (Da); V_t é o volume do solo, obtido pelo volume do anel volumétrico, expresso em m^3 .

Depois de equilibrada a tensão de 1 kPa, a mesoporosidade foi obtida na sequência, após aplicação e equilíbrio de tensão correspondente a 6 kPa, e calculada seguindo a equação (11).

$$\text{Meso} = \frac{V_{\text{meso}}}{V_t} = \frac{(\text{Peso solo equilibrado à 1kPa} - \text{Peso solo equilibrado à 6kPa})/\text{Da}}{V_t} \quad (11)$$

em que: Meso = mesoporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{meso} é o volume de mesoporos, obtido pela diferença entre o solo equilibrado à 1 kPa e a 6 kPa, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (Da).

A microporosidade foi obtida após subtração do peso do conjunto anel-solo equilibrados a 6 kPa e 1500 kPa, conforme equação (12).

$$\text{Micro} = \frac{V_{\text{micro}}}{V_t} = \frac{(\text{Peso solo equilibrado à 6kPa} - \text{Peso solo equilibrado à 1500kPa}) / \text{Da}}{V_t} \quad (12)$$

em que: Micro = microporosidade, expressa em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$; V_{micro} é o volume de microporos, obtido pela diferença entre o solo equilibrado à 6 kPa e a 1500 kPa, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (Da).

A criptoporosidade foi determinada como a diferença entre o peso do conjunto anel-solo equilibrado a 1500 kPa e o peso do conjunto anel-solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas, de acordo com a equação (13).

$$\text{Cripto} = \frac{V_{\text{cripto}}}{V_t} = \frac{(\text{Peso solo equilibrado à 1500kPa} - \text{Peso solo seco em estufa}) / \text{Da}}{V_t} \quad (13)$$

em que: Cripto = criptoporosidade, expressa em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$; V_{cripto} é o volume de criptoporos, obtido pela diferença entre o peso do solo equilibrado à 1500 kPa e o peso solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (Da).

4.5.8 Resistência tênsil de agregados (RT)

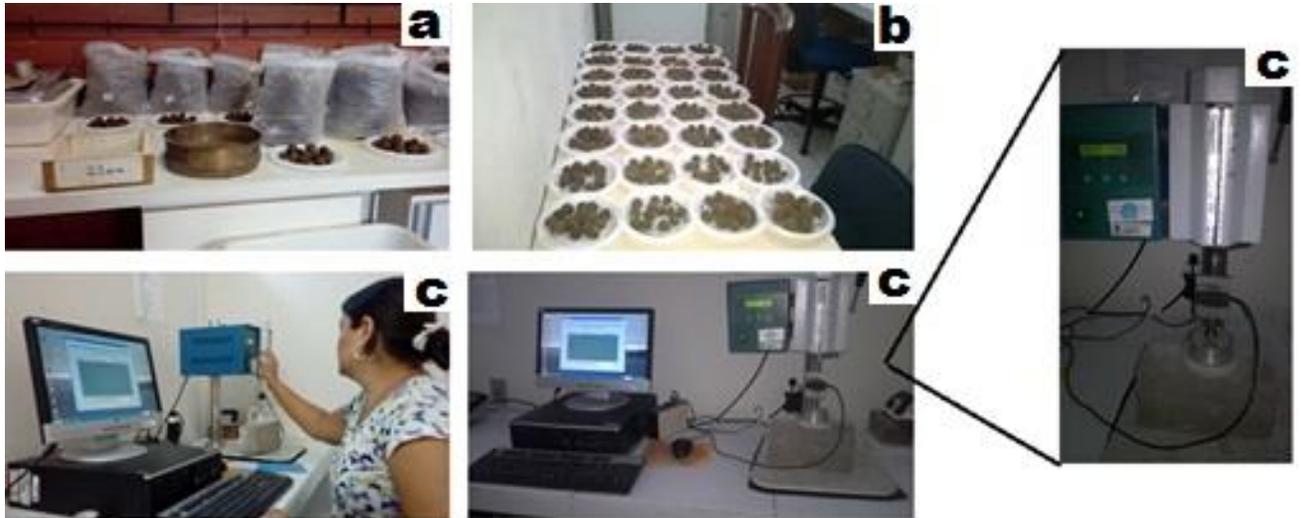
Os agregados destinados aos ensaios de RT foram obtidos por peneiramento à seco, utilizando-se peneiras com abertura de malha entre 20 e 25 mm, sugerido por Imhoff et al. (2002), a partir de torrões, quebrando-os progressivamente em unidades menores.

Para realização das análises, dez agregados foram separados de cada torrão (amostra de solo), totalizando 320 testes individuais.

Esse parâmetro físico foi realizado com auxílio de um penetrômetro eletrônico de bancada, com célula de carga de 20 kg, que aplica uma tensão constante a uma taxa de 4 mm min^{-1} até a ruptura dos agregados.

O motor de propulsão, acoplado a célula de carga, conectada a uma chapa plana (disco com 2 cm de diâmetro por 1 cm de espessura), promove a ruptura tênsil, com a formação de uma fenda no agregado. Um sistema de aquisição de dados registra a força aplicada ao agregado, necessária para sua ruptura (Figura 14).

Figura 14 - Detalhes do processo para dados da resistência a tênsil: a) separa o dos agregados; b) acondicionamento dos agregados c) penetr metro eletrônico de bancada



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Sendo assim, a RT, expressa em kPa, foi calculada, conforme Dexter e Kroesbergen (1985), pelo uso da equa o (14).

$$RT = 0,576 \left(\frac{F}{D_e^2} \right) \quad (14)$$

em que 0,576   o valor da constante de proporcionalidade da rela o entre a força compressiva aplicada e a resistência tênsil gerada no interior do agregado; F   a força máxima aplicada para ruptura do agregado (N), e D_e   o diâmetro efetivo (m), calculado conforme proposto em Watts e Dexter (1998), usando a equa o (15).

$$D_e = D_m \left(\frac{M_i}{M_o} \right)^{0,33333} \quad (15)$$

Sendo: D_m o diâmetro médio do agregado (m), obtido pela média aritmética das malhas das peneiras usadas na sua separa o, neste caso, 0,0222 m $[(0,019+0,0254)/2]$; M_i   a massa do agregado individual (g); e M_o   a massa média dos agregados (g).

4.5.9 Resistência do solo   penetra o de raízes em laboratório (RPL)

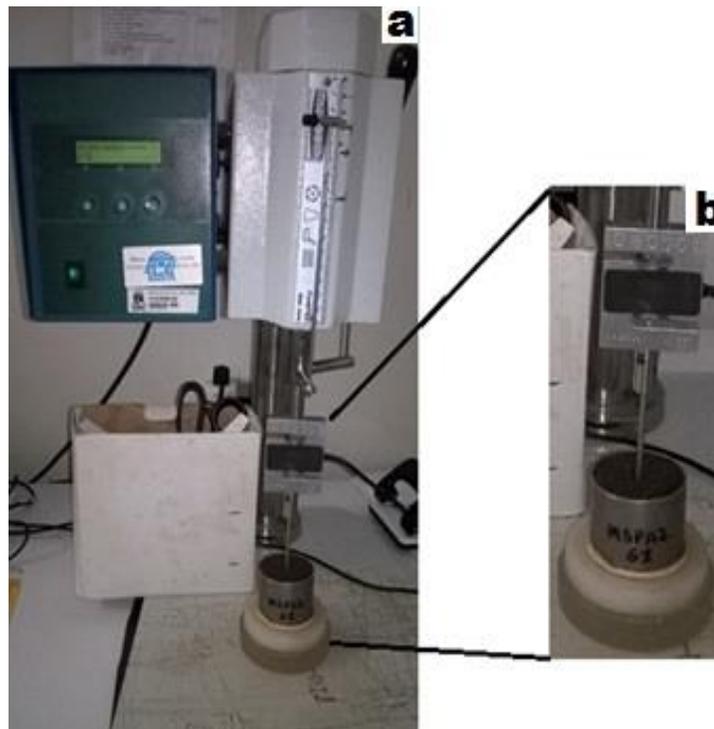
Os ensaios de RPL também foram realizados por meio de um penetr metro eletrônico de bancada (Figura 15), substituindo a placa de ruptura (utilizada na RT) por

uma agulha que simula as raízes no solo. A agulha apresenta base na forma de cone com 4 mm de espessura e foi inserida na amostra com uma velocidade de $0,03 \text{ mm s}^{-1}$. O aparelho é acoplado a um computador para a aquisição dos dados, obtendo-se os resultados em unidade de MPa.

Como os dados de RPL são influenciados pela umidade, as amostras (conjuntos anel-amostra) tiveram suas umidades padronizadas, após equilíbrio em determinada energia de retenção (Ψ) obtida via mesa de tensão (1, 6 e 10 kPa) e câmara de Richards (1500 kPa).

Após equilíbrio de cada Ψ , o conjunto anel-amostra foi pesado, realizando-se em seguida os ensaios de RPL, com sete repetições por teste, pesando-as novamente após ensaio, quando as amostras foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, por 24 h.

Figura 15 - Detalhes do ensaio de resistência do solo à penetração de raízes: a) penetrômetro eletrônico de bancada; b) conjunto anel-amostra



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

4.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliação da normalidade. Posteriormente, os dados em normalidade foram analisados utilizando o

software SAS 14.1. Para avaliar os diferentes parâmetros, foi aplicado o teste F (ANOVA) e, nos casos com diferenças significativas, as comparações das médias dos tratamentos foram realizadas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Usou-se ainda o software RETC e a planilha Microsoft do Excel para construção das CCRAS.

5. Resultados e discussão

5.1 Atributos químicos

De modo geral, os valores do pH do solo não apresentaram variação significativa entre os usos com Mata e Pastagem, com e sem aplicação de polímero (MCP, MSP, PCP e PSP). Entretanto, com relação a MO, os solos sob Mata apresentaram os maiores teores (75 g kg^{-1}) quando comparados aos de pastagem (50 g kg^{-1}), devido ao maior aporte de material vegetal na mata.

Tabela 3 – Potencial hidrogeniônico (pH) e teor de matéria orgânica (MO) das amostras de solo na profundidade de 0 – 0,10 m nas subáreas Mata e Pastagem

Manejo	pH (H ₂ O)	MO	
		(g kg ⁻¹)	(%)
MSP	4.94 Aa	75.0	7.5%
MCP	4.97 Aa	75.0	7.5%
PSP	4.76 Aa	50.0	5.0%
PCP	4.75 Aa	50.0	5.0%

Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade. MSP = Mata sem polímero; MCP = Mata com polímero; PSP = Pasto sem polímero; PCP = Pasto com polímero.

5.2 Atributos físico-hídricos

Análise granulométrica

Analisando os dados da fração granulométrica, que apresenta grande importância tanto na identificação dos solos quanto na compreensão de seus comportamentos (estimativa da permeabilidade do solo e resistência à erosão, por exemplo), não foi observada diferença significativa na área de mata e de pasto, com ou sem o uso de polímero na fração argila, apresentando um percentual entre 8 e 17 % (Tabela 3).

Tabela 4. Distribuição da fração areia dos solos sob tratamentos

Tratamentos	Fração Granulométrica							
	AT ¹	AMG ²	AG ³	AM ⁴	AF ⁵	AMF ⁶	Silte ⁷	Argila ⁸
	%							
MCP	81,17 ns	8,52	11,51	21,75	38,62	19,60	10,60 ns	8,23 ns
MSP	80,09 ns	8,56	11,48	21,76	38,73	19,46	8,64 ns	11,27 ns
PCP	72,00 ns	5,35	30,54	24,16	33,96	5,99	11,82 ns	16,19 ns
PSP	71,11 ns	4,12	31,16	25,34	34,05	5,33	12,01 ns	16,78 ns

1 = Areia Total ($2,00 > \varnothing_{mm} > 0,05$); 2 = Areia Muito Grossa ($2,00 > \varnothing_{mm} > 1,00$); 3 = Areia Grossa ($1,00 > \varnothing_{mm} > 0,50$); 4 = Areia Média ($0,50 > \varnothing_{mm} > 0,25$); 5 = Areia Fina ($0,25 > \varnothing_{mm} > 0,10$); 6 = Areia Muito Fina ($0,10 > \varnothing_{mm} > 0,05$); 7 = Silte ($0,05 > \varnothing_{mm} > 0,002$); 8 = Argila Total ($\varnothing_{mm} < 0,002$).

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de média ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo.

O solo em estudo apresentou elevado teor de areia, entre 71 a 82% porém, juntamente com o silte, não apresentaram diferença significativa em tipo de solo. A fração predominante em todas as áreas é a fração menos grosseira, formada pela soma de areia media + areia fina + areia muito fina.

No entanto, o histórico de manejo da área descreve que tanto na subárea de mata quanto na de pastagem cultivou-se o café sombreado, cultura típica da região do Agreste Meridional Pernambucano, sendo que além da ação antrópica, essa cultura deixa o solo exposto e descoberto, podendo favorecer a perda da camada superficial, principalmente por erosão e de mudanças de partículas entre os horizontes.

Estabilidade de agregados

A aplicação da PAM nas diferentes áreas de estudo aponta para melhoria da condição estrutural dos solos, verificada pelo crescimento significativo no diâmetro médio ponderado (DPM), tanto na área de mata quanto na área sob pastagem (Tabela 5).

Tabela 5. Índices de estabilidade de agregados dos solos sob tratamento

Tratamento	Estabilidade de Agregados			
	DMP ¹	DMG ²	IEA ³	IS ⁴
	MPa			
MCP	3,14 Aa	1,54 Aa	92,10 Aa	1,029
MSP	3,05 Aa	1,53 Aa	94,00 Aa	1,000
PCP	2,85 Bb	1,42 Bb	81,89 Bb	0,934
PSP	3,15 Aa	1,51 Bb	90,03 Aa	0,931

1- Diâmetro Médio Ponderado; 2- Diâmetro Médio Geométrico; 3 - Índice de Estabilidade de Agregados; 4 - Índice de Sensibilidade

Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Esses resultados corroboram os de Andrade (2014) que, avaliando os efeitos da aplicação de condicionadores em diferentes horizontes de Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolo Amarelo Distrocoeso, constatou que a PAM promoveu aumento na porcentagem dos agregados maiores.

Ainda com relação aos valores do DMP, avaliando a interação entre os sistemas de manejo e os tratamentos com e sem polímero (Figura 16), observa-se maior variação na área de pastagem com aplicação do PAM quanto ao DMP em relação às áreas de mata.

Figura 16 – Interação e distribuição do diâmetro médio ponderado nas subáreas mata e pastagem



De acordo com Salton et. al (2008), em uma fase preliminar, a formação de microagregados (diâmetro inferior a 0,25 mm) está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes e

hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis, com tamanho superior a 0,25 mm.

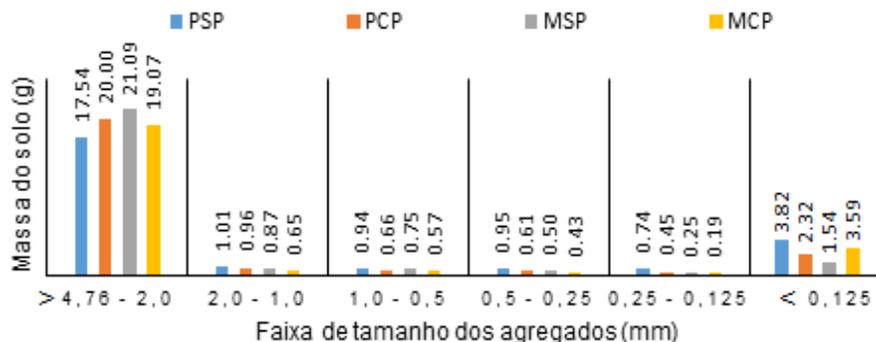
Essas estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. Estes autores afirmam ainda que a maior estabilidade dos agregados é atribuída aos agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos.

Este fato pode explicar o efeito da PAM nos solos da mata, onde os seus agregados parecem já ter atingido uma condição mais estável, com uma melhor organização hierárquica dos agregados do solo. Mesmo assim, a adição de polímeros ao solo confere uma prática que pode ser somada a estes fatores, também conferindo um aumento significativo na estabilidade do solo.

De fato, observa-se que nos solos sob pastagem a poliacrilamida promoveu melhor estabilização dos seus agregados quando comparada com os da mata, principalmente os maiores agregados, podendo ser justificada pelo mecanismo de interação com o solo, na interface solo-água, onde é formada uma rede de proteção agregados-solo com a PAM (SOJKA et al., 2007), obtendo-se, desse modo, macro agregados; como também ressaltado por Andrade (2014).

Este maior efeito da PAM no rearranjo dos agregados dos solos sob pastagem degradada é também ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Massa do solo quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água nas subáreas mata e pastagem



Observa-se que as maiores massas de solo foram encontradas nas subáreas de mata com maior faixa de tamanho de agregados com maior diâmetro (> que 4,76 a 2,00 mm). Nesse mesmo diâmetro, a subárea de pastagem com aplicação do PAM apresentou 20,00 g, enquanto que na sem PAM teve-se o menor valor 17,54 g. Efetivamente, quanto maior for o valor do DMP maior será a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores.

Estes resultados sugerem que a aplicação da PAM proporcionou uma maior integração das partículas juntamente com a presença das raízes nas primeiras camadas do solo com pastagens, favorecendo essa agregação, caracterizando a eficiência do PAM na estabilidade dos macroagregados (> 4,76 e 2,00 mm), ficando evidente o potencial desse polímero no auxílio de recuperação de áreas degradadas de pastagem, proporcionando uma melhoria nesse atributo físico do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos (MELO, 2013; PORTUGAL, 2010; SALTON, 2008). Melo (2013), em estudos realizados no perímetro irrigado de Custódia, semi-árido de Pernambuco, em área afetada pela salinização e outra não salina, observou que o uso de polímero aumentou o percentual de agregados estáveis.

Portugal (2010), avaliando a estabilidade de agregados entre áreas com laranjeiras, canavial e pastagem, tendo como referencial comparativo uma área de mata, observou redução considerável da proporção de agregados estáveis em água na classe maior que 2 mm, sendo essa redução considerada indesejável pois, segundo Salton (2008), a estrutura tem grande influência nos ciclos de carbono e de nutrientes, na capacidade de receber, estocar e transmitir água, na difusão de gases, na penetração das raízes e na capacidade de resistir à erosão, que são fatores determinantes para o crescimento das plantas.

Com relação às outras faixas de tamanhos (2-1 mm; 1-0,25 mm; 0,25 – 0,124 mm e < 0,125 mm) observa-se que, naturalmente, já havia um predomínio na quantidade de agregados de menor diâmetro da área sob pastagem em relação a mata antes da aplicação de PAM (Figura 17). Isto pode ser justificado pelas práticas de aração e gradagem na subárea sob pastagem, que promovem a redistribuição de tamanhos dos agregados, com quebra daqueles de maior tamanho e aumento da

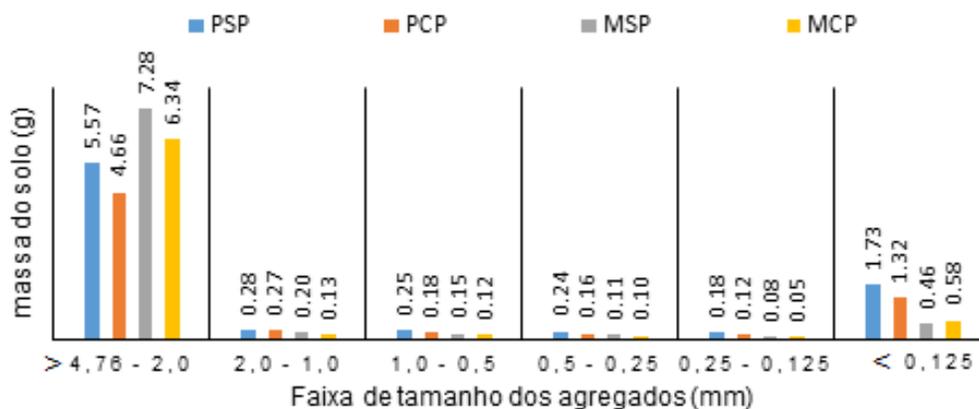
proporção dos agregados de menor diâmetro, acarretando em menores índices de DMP (Tabela 5; Figura 17).

Esse resultado também foi observado nas pesquisas de Moraes et. al (2009), que avaliando a estabilidade de agregados em solos sob diferentes sistemas de produção orgânica concluíram que as áreas com preparo convencional apresentaram menores valores de DMP.

Apesar de alguns autores não descontarem a fração areia nos cálculos dos índices de estabilidade de agregados (IEA), por afirmarem que essas partículas participam do processo de agregação do solo (Castro Filho et al., 1998), outros, como Palmeira et al. (1999), são categóricos em afirmar que o material inerte (cascalho, areia, raízes, restos de cultura, etc.) não faz parte do agregado, sendo estes subtraídos nos cálculos dos IEA (Figura 18).

Nesta pesquisa os IEA também foram calculados a partir da subtração das frações grosseiras e são apresentados na Tabela 5.

Figura 18 – Massa dos solos das subáreas mata e pastagem após subtração da fração areia



Percebe-se que os macroagregados (classe com diâmetro > 4,76 a 2,00 mm) das subáreas que receberam a aplicação de PAM apresentam-se inferiores às que não receberam a aplicação de PAM, quando descontada a fração areia, demonstrando que a presença do polímero contribuiu na agregação das diversas partículas existentes no solo, incluindo as frações mais grosseiras (Figura 18).

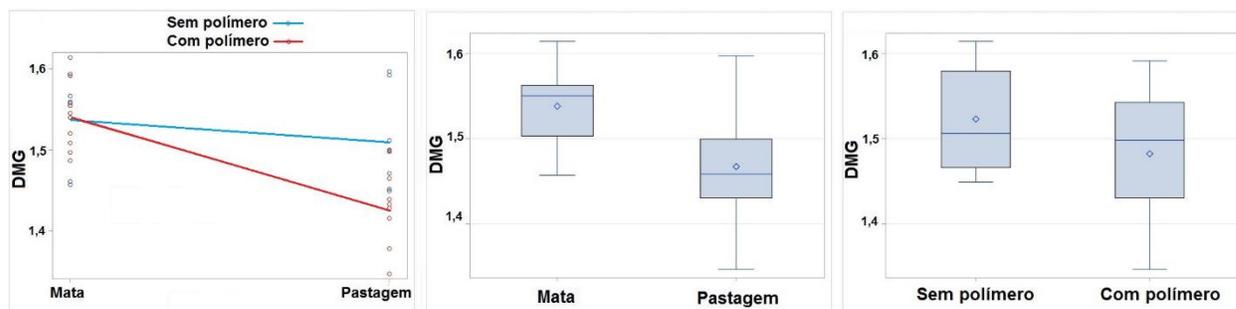
Com relação ao abordado anteriormente, Campos (2003) afirma que em solos com presença de tais frações, a maior proporção de carbono estaria juntamente à fração areia, enquanto, nos solos argilosos, comporia as frações mais finas. Desse modo, quanto maior a superfície específica da partícula, maior será a capacidade de interação dessa partícula à matéria orgânica. O solo estável retém boa quantidade de água e a fração areia por si só não tem essa função. No entanto, o uso do PAM proporcionou aumento de macroagregados com a fração areia, favorecendo assim as condições físico-hídricas do solo.

Neste contexto, pode-se assegurar que as raízes das gramíneas também apresentam grande importância na formação de agregados, como afirma diversos trabalhos, entre eles o de Silva & Mielniczuk (1997a), que avaliaram a distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água em dois tipos de solos do Rio Grande do Sul e verificaram maior diâmetro de agregados do solo sob o sistema com pangola em comparação a aveia/milho, siratro e solo descoberto.

Estudos realizados por Yu et al. (2003) justificaram que o aumento da estabilidade dos agregados proporcionado pelos polímeros, conforme resultados também apresentados neste estudo, ocorrem porque as macromoléculas dos polímeros de cadeias longas (como as da PAM) são adsorvidas na superfície externa dos agregados dos solos, ligando-os e assim aumentando a resistência dos seus agregados sob ação da água.

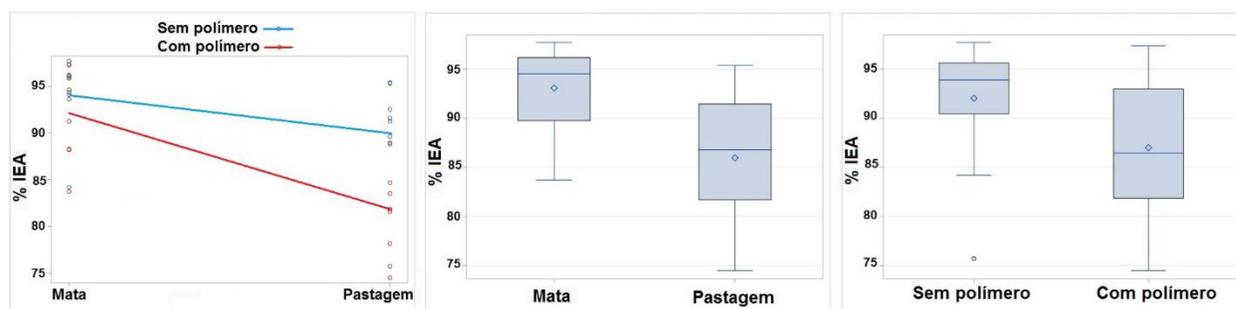
Com relação aos valores do diâmetro médio geométrico (DMG), comparando-se as subáreas com e sem PAM, percebe-se que a de mata mantiveram as mesmas tendências em relação a estabilidade dos agregados em água, expressa em DMP. Já na área de pastagem apresenta os mesmos efeitos quanto à presença do PAM, e de maneira geral promoveram a ocorrência de agregados de maiores tamanhos (Tabela 5; Figura 19).

Figura 19 – Interação e distribuição do diâmetro médio geométrico



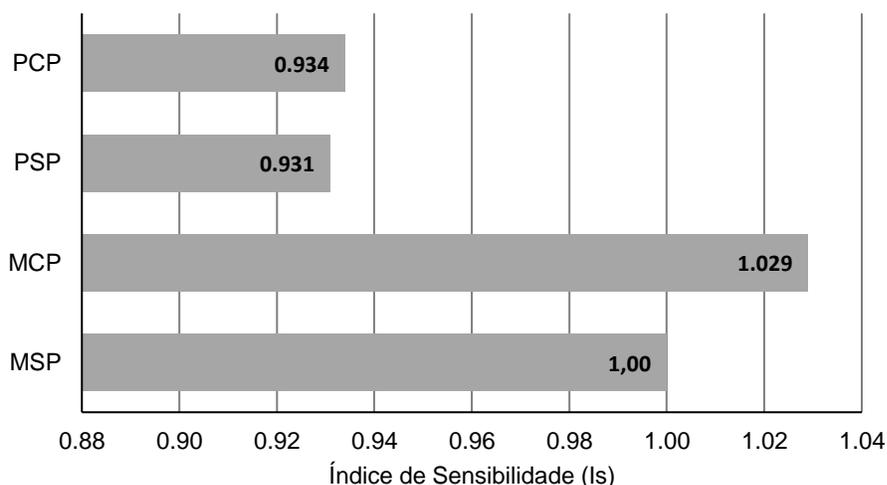
Os elevados valores dos IEA, variando de 81 a 94 %, comprovam que os solos, em todas as áreas estudadas, apresentam alta agregação (Tabela 5; Figura 20).

Figura 20 – Interação e distribuição no percentual do índice de estabilidade de agregados



Quanto ao Índice de Sensibilidade (Is), a subárea de mata com aplicação do PAM apresentou maior resultado (1,029) seguindo-se da subárea de pastagem também com aplicação de PAM (0,934), considerando a área de mata sem aplicação do PAM como padrão, ou seja, área que apresenta condição física do solo mais estável (Tabela 5; Figura 21).

Figura 21 – Distribuição no percentual do índice de estabilidade de agregados



Condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat)

A subárea de mata com e sem polímero apresentou maior Ksat que a de pastagem com e sem polímero, sendo que a sob pastagem com aplicação de polímero também foi superior quantitativamente à sem PAM (Tabela 6).

Tabela 6. Condutividade Hidráulica sob diferentes tratamentos

Tratamento	KsatL cm.min ⁻¹
MCP	1,08 Aa
MSP	1,08 Aa
PCP	0,43 Ba
PSP	0,29 Ba

Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

As subáreas de mata apresentaram maiores Ksat em relação às de pastagem (Figura 23), justificando pelo fato da maior incidência de macroporos encontrados na mata, bem como a presença de raízes grandes e finas.

Já na subárea de pastagem, com PAM ocorre aumento de 67% em relação à subárea sem PAM, o que demonstra o efeito da PAM na melhoria da Ksat em solos

degradados. A textura do solo mais arenosa também contribui para os resultados obtidos da Ksat.

Figura 22 – Interação da Condutividade Hidráulica das subáreas de mata e pastagem, com e sem aplicação da PAM

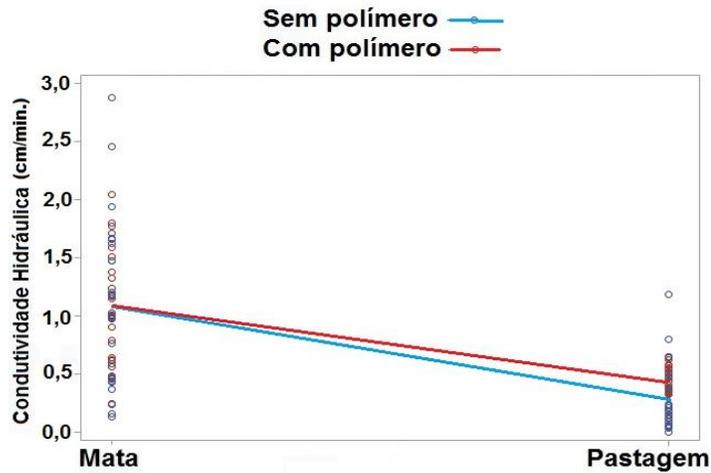
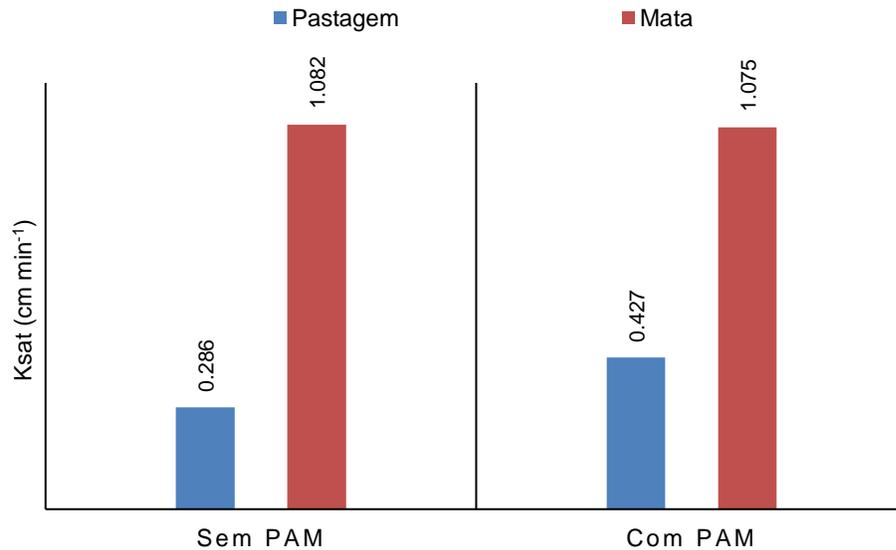


Figura 23 – Valores médios da condutividade hidráulica saturada (ksat) das áreas de mata e pastagem, com e sem aplicação do polímero



Andrade (2014), avaliando os efeitos da aplicação de PAM em solos em relação aos seus índices de estabilidade, afirma que os resultados de Ksat demonstram a

influência da textura e da porosidade dos solos em análise, o que também foram confirmados no presente estudo.

Já Libardi (2005) atribui a aeração da matriz do solo e a condução de água durante o processo de infiltração como sendo função dos macroporos; já os mesoporos, também conduzem água, porém durante o processo de redistribuição hídrico ao longo do perfil.

Resultados inversos foram encontrados na subárea de pastagem, que apresentou relação direta com a densidade do solo (1,44 a 1,46 g cm⁻³), com maior grau de adensamento, onde a diminuição do espaço poroso reduz, conseqüentemente, a capacidade de infiltração de água, sendo demonstrado pelos baixos valores de Ksat.

Desse modo, comprova-se que o uso da PAM no solo da subárea sob pastagem aumentou quantitativamente a Ksat, favorecendo a percolação de água nos poros do solo.

Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS)

As curvas características de retenção de água dos solos (CCRAS) refletiram as condições de retenção diante das subáreas estudadas. Trata-se de Latossolo Amarelo com composição granulométrica essencialmente arenosa, variando a quantidade de areia de 711 a 811 g kg⁻¹ e apresentaram menor proporção das areias com diâmetros maiores (muito grossa e grossa), variando apenas de 20 a 36% da areia total.

Tais valores, aliados aos elevados percentuais de areia média e fina, com valores entre 65 e 80 % da areia total, e somados aos teores de argila e silte encontrados nesses solos, mesmo considerados baixos, podem ter contribuído para a boa retenção de água nesses solos.

Estudos realizados por Silva et al. (2015) apontam que a composição granulométrica descreve a capacidade que o solo possui em reter água. Assim, em relação às tensões aplicadas, e de posse dos parâmetros ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980), os autores puderam observar que nas curvas que o Neossolo (88 % de areia) possui uma θ_{cc} e um θ_{pmp} de 0,063 cm³ cm⁻³ e 0,009 cm³ cm⁻³, respectivamente. Enquanto, o Nitossolo (69% de areia total) possui uma θ_{cc} e θ_{pmp} de 0,159 cm³ cm⁻³ e 0,058 cm³ cm⁻³, respectivamente. Esses valores apontam para o fato

de quanto maior a faixa granulométrica de areia na composição do solo, menor será a retenção de água neste.

Muggler et al. (1996) afirmaram que em solos com teores baixos de silte e argila, o efeito da combinação da fração fina com a argila podem explicar aumento de retenções de água em solos arenosos.

Ao se analisar os valores encontrados da retenção de água nos solos arenosos deste estudo, por meio das CCRAS ajustadas ao modelo de Van Genuchten (1980), observou-se que o parâmetro "n" assumiu valores superiores a um 1,0 (um), ficando entre 1,6 e 2,3 (Tabela 7). Nesse caso, nas áreas de mata, observa-se menor uniformidade na distribuição de tamanho de poros visto que o resultado se encontra mais distante de (1,0).

Tabela 7. Parâmetros da equação de Van Genuchten para as subáreas estudadas com e sem aplicação de PAM.

Tratamentos	Parâmetros da equação ¹				
	$\alpha_{(MPa^{-1})}^2$	m^3	n^4	$\theta_r (cm^3 cm^{-3})^5$	$\theta_s (cm^3 cm^{-3})^5$
MCP	0,767	0,528	2,122	0,132	0,436
MSP	0,799	0,563	2,290	0,139	0,463
PCP	0,975	0,376	1,604	0,140	0,452
PSP	0,784	0,476	1,908	0,162	0,449

1 = Parâmetros da equação de Van Genuchten; 2 = Fator de ajuste (kPa^{-1}); 3 = Parâmetro de ajuste (sem dimensão); 4 = Fator de ajuste (sem dimensão); 5 = Conteúdo volumétrico residual da água no solo ($cm^3 cm^{-3}$); 6 = Conteúdo volumétrico saturado da água no solo ($cm^3 cm^{-3}$)

Observa-se ainda que nas áreas com aplicação da PAM, os valores de "n" comparados com as áreas sem aplicação do condicionante foram reduzidos (PCP = 1,60: PSP = 1,90; MCP = 2,12:MSP = 2,29, ver Tabela 7), favorecendo maior uniformidade na distribuição do tamanho dos poros.

De acordo com Engler (2007), valores de "n" próximos a um (1,0) refletem uma menor inclinação no ponto de inflexão. Este fato indica, portanto, uma maior uniformidade na distribuição do tamanho dos poros, tornando o significado do ponto de inflexão menor, condição característica de solos com maior fração areia.

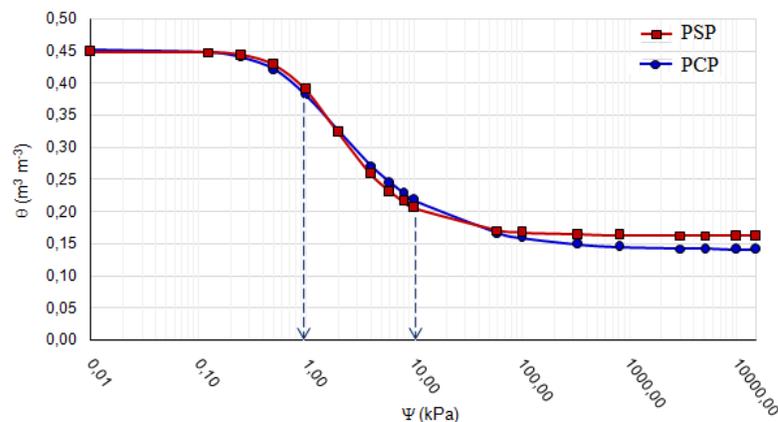
Em relação à aproximação do resultado padrão (1,0), foram encontrados por Parahyba et al. (2015), sendo os valores de “n” em seus estudos entre 1,4 e 2,5 nos Latossolos.

Quanto ao parâmetro "α" das CCRAS, observam-se valores, entre 0,767 e 0,975 (Tabela 6). Ao avaliar o desenvolvimento de uma metodologia para determinação do movimento de água no solo, Engler (2007) observou que o parâmetro "α", referente à CCRAS do modelo de Van Genuchten (1980), está associado ao ponto de inflexão da curva (ponto de entrada de ar) e que valores elevados deste parâmetro indicam a presença de poros maiores, que drenam água sob baixas tensões.

No trabalho de Parahyba et al. (2015) esse parâmetro apresentou-se baixo em relação ao encontrado nesse estudo, sendo entre 0,01 e 0,20, além de observar grandes variações nos valores do parâmetro "α", impossibilitando assim associá-lo a uma tendência que definisse o comportamento hídrico dos solos.

A subárea de pastagem com aplicação de polímero (PCP) apresentou maior energia de retenção que a força da gravidade, principalmente entre as tensões de 1 e 10 kPa. Este fato aumentou, ligeiramente, a retenção de água nesta faixa de potencial, evitando assim a drenagem da água, quando comparada à subárea de pastagem sem aplicação de polímero (PSP), como apresentado na Figura 24, indicado pelas setas.

Figura 24 – Curvas Característica de Retenção de Água no Solo nos solos da subárea de pastagem: sem e com aplicação de PAM



Este fato pode ser explicado pelo rearranjo das partículas por meio da ação do PAM nos solos de pastagem sob ação da PAM. A partir da tensão de 10 kPa, a CCRAS do solo sem aplicação da PAM (PSP) apresentou maior retenção de água, pois, neste

caso, a maior quantidade de micro e criptoporos aumenta a retenção de água, mas com sua indisponibilidade para as plantas. Isto comprova que ação da PAM promoveu uma redistribuição nos tamanhos dos poros do solo, favorecendo aqueles de maior tamanho, que retem, mas disponibiliza, água para as plantas.

Nesse caso, de acordo com Reichardt (1990), praticamente toda a água é retida nos potenciais maiores (baixas tensões), com ocorrência de queda brusca da umidade, principalmente a partir da capacidade de campo (10 kPa), característica de solos arenosos devido à predominância da macroporosidade.

Os solos arenosos são rapidamente esvaziados sob baixas tensões, por geralmente apresentarem poros maiores, restando pequenas quantidades de água retida sob potenciais menores (mais negativos).

Estudos realizados por Siueia Júnior (2016), comparando características físico-hídrica para diferentes classes de solo, apontam que a maior variação na retenção de água é evidenciada pela maior inclinação da curva, que ocorreu nas tensões inferiores a 33 kPa, enquanto que para tensões mais elevadas, a umidade variou pouco devido à água prontamente disponível ser diminuída a altas tensões, restando a água adsorvida, sendo mais dificilmente retirada do solo.

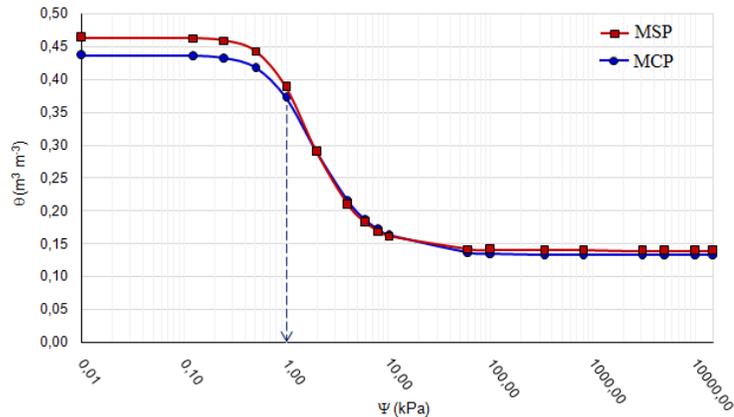
Segundo Ferreira et al. (1999) a maior retenção de água em baixas tensões ocorre em função da mineralogia oxídica da fração argila dos Latossolos que promove a formação de microagregados com menos de 1 mm e arredondados predominando poros de empacotamento composto entre eles, com grãos não envoltos de plasma, formando um aspecto maciço poroso, promovendo maior proporção de poros grandes e menor densidade do solo.

Comparando as subáreas de mata com e sem polímero, observa-se que o efeito da PAM foi mais evidente a até a tensão de 1 kPa, onde o solo de mata com PAM (MCP) teve seus espaços, antes mais “afrouxados”, reduzidos pela ação do polímero, diminuindo assim a quantidade de poros maiores, que promoveu, conseqüentemente uma menor quantidade de água retida nos seus poros (Figura 25, ver seta azul tracejada).

A partir desta tensão o comportamento das CCRAS foi similar, comprovando a maior ação da PAM apenas, neste caso de mata, nos maiores poros.

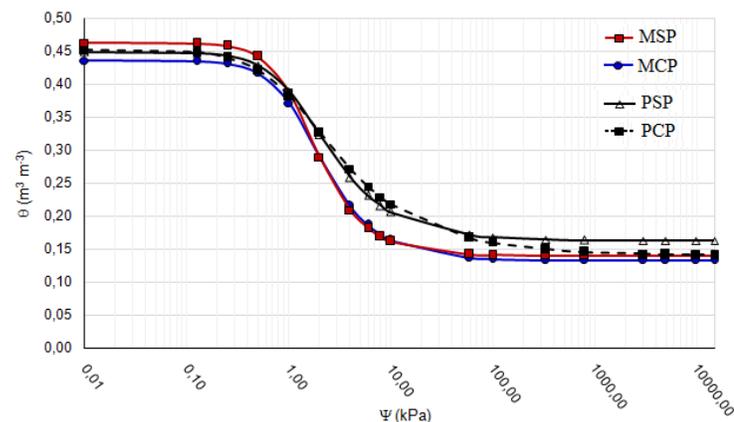
Resultados semelhantes foram encontrados por Marcelo (2015) que analisando água nos macroporos, sob tensões de até 10 cca (1 kPa), comprovou que o mecanismo de adsorção do polímero ao solo levou à redução dos espaços entre os agregados, tendo menor retenção de água nas mais baixas tensões (0 a 10 cca).

Figura 25 – Curvas Características de Retenção de Água no Solo sem e com aplicação de PAM na subárea de Mata: a) mata sem aplicação de PAM; b) mata com aplicação de PAM



Analisando as quatro CCRAS, obtidas por meio dos ensaios nas quatro subáreas estudadas, nota-se que houve influência da aplicação de PAM, sendo em determinadas tensões, aumentando ou diminuindo a retenção de água. Percebe-se que à 0,1 kPa a área de mata sem aplicação de polímero (MSP) apresentou energia menor que a força da gravidade, drenando mais água, sendo explicada pela presença de poros maiores em sua estrutura (Figura 26).

Figura 26 – Curvas Característica de Retenção de Água no Solo sem e com aplicação de PAM, nas subáreas de Pastagem e Mata



Já à 0,1 kPa, a subárea de pastagem com polímero (PCP) reteve maior quantidade de água, sendo justificado pela reestruturação de poros na presença do PAM. As demais tensões (1, 6, 100 e 1500 kPa), destaca-se maior retenção na subárea de pastagem sem polímero (PSP), podendo ser explicada pela presença de poros menores, cuja área encontra-se compactada, até mesmo em altas pressões, estando inacessíveis aos vegetais. Nestas subáreas, após a aplicação da PAM, houve um rearranjo na distribuição dos tamanhos dos poros, favorecendo aqueles de maior tamanho, como vista na CCRAS da subárea com PAM (PCP).

Porosidade total (PT) e distribuição de tamanho de poros (DTP)

Para uma análise das alterações dos poros do solo devido aos efeitos de um determinado manejo é recomendada uma classificação mais detalhada, obtida a partir de intervalos de tamanho distintos (SÃO MATEUS, 1994). A esse respeito, muitos conceitos têm surgido no sentido de estabelecer um padrão para a classificação dos poros quanto ao tamanho, considerando a geometria e a configuração do espaço poroso (MARQUES, 2000).

Diante dos resultados obtidos adotando-se as classificações de Prevedello (1996) e de Klein & Libardi (2002), observa-se que a aplicação do PAM promoveu alterações no arranjo estrutural do solo.

A porosidade do solo sob mata sem polímero (MSP) foi maior (46,27 %) quando comparado com a subárea após a aplicação do polímero (43,53 %).

Nota-se ainda que a aplicação de condicionantes químicos aos solos, de maneira geral, não interferiu na porosidade total entre as duas subáreas estudadas, porém interferiu na distribuição de poros entre as subáreas com diferentes tipos de cultivos: Mata e Pastagem (Tabela 8).

Tabela 8. Distribuição de tamanho de poros dos solos sob tratamento

Tratamento	Porosidade					θ_{cc}^5	AD ⁶
	Total	Macro ¹	Meso ²	Micro ³	Cripto ⁴		
%							
MCP	43,53 B	5,91 Aa	15,13 Ba	10,47 Aa	12,00 Aa	31,52	19,51
MSP	46,27 A	8,89 Aa	14,05 Ba	10,37 Aa	12,84 Aa	33,42	20,57
PCP	45,18 A	5,61 Aa	20,70 Aa	4,73 Ba	14,13 Aa	29,35	15,22
PSP	44,90 A	4,11 Ba	19,18 Aa	5,80 Ba	15,83 Aa	30,77	14,94

1 = Macroporosidade; 2 = Mesoporosidade; 3 = Microporosidade; 4 = Criptoporosidade; 5 = Umidade volumétrica na capacidade de campo ($\theta_{equilibrada}$ à 100 cca); 6 = Água disponível (AD = $\theta_{cc} - \theta_{pmp}$)

Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Parte deste comportamento pode ser explicada pela ação da PAM em reduzir macroporos, no caso de solos arenosos, como os estudados nesta pesquisa. Percebe-se que na subárea de mata, rica em matéria orgânica, a macroporosidade é maior em relação à área de pastagem, visto que as operações de cultivo do solo reduziram a macroporosidade, apresentando características de compactação.

A matéria orgânica do solo atua como agente cimentante e condicionante da estrutura granular do solo, que favorece a macroporosidade e principalmente interagregados (CAETANO et al., 2013; VASCONCELOS et al., 2014; CHERUBIN et al., 2015;).

Desse modo, a redução dos macros e mesoporos interferem na função dos poros responsável pela maior condução da água, tendo como principal consequência a redução da condutividade hidráulica, como comprovado na área de mata deste estudo.

Conforme Klein & Libardi (2002), a compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas e, segundo Silva et al. (1986), a transformação de macroporos em microporos é decorrente desta compactação. Os microporos apresentam fundamental importância no armazenamento e na retenção de água no solo, proporcionando fluxo de água, tanto na horizontal quanto na vertical.

No entanto, Assis & Lanças (2005) afirmam que a gradagem e compactação do solo provoca a quebra de agregados do solo ocasionando a presença de grande quantidade de partículas finas, resultando no selamento parcial ou total dos poros.

A quantidade de água disponível para as plantas também variou entre as diferentes áreas de cultivo, sendo maior nas áreas de mata.

Densidade do solo (Ds) e de suas partículas sólidas (Dp)

A Ds é um atributo que reflete o arranjo das partículas do solo e, portanto, está intimamente associada às características do sistema poroso (FERREIRA, 2010). Sendo assim, qualquer manifestação na disposição das partículas do solo reflete-se diretamente na sua densidade.

Os dados referentes a Ds apontam menores valores nas subáreas de mata (1,34 a 1,35 g cm⁻³) em relação às subáreas de pastagem (1,44 a 1,46 g cm⁻³), mostrando que o uso antrópico e o pisoteio do gado aumentou a compactação do solo sob pastagem (Tabela 8).

De acordo com Costa (2012), solos sob pastagens em vias de degradação, a Ds pode variar de 1,40 a 1,56 g cm⁻³ na camada mais superficial (0-20 cm). Áreas sob pastagem, mas com alto grau de degradação, promove a presença de solo exposto (estimativa de 30 % de solo exposto), o que favorece ciclos de umedecimento e secagem, que podem provocar o adensamento do solo (OLIVEIRA et al., 1996).

Tabela 9. Densidade dos solos (Ds) e de suas partículas sólidas (Dp) sob diferentes tratamentos

Tratamento	Ds	Dp
	g cm ⁻³	
MCP	1,33 Ba	2,58 Aa
MSP	1,34 Ba	2,59 Aa
PCP	1,44 Aa	2,67 Aa
PSP	1,45 Aa	2,68 Aa

Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Em trabalho de revisão a respeito do impacto animal sobre o solo, Cantarutti et al. (2001) mostraram que, em geral, a compactação devido ao tráfego animal ocorre nos primeiros centímetros do solo, podendo estes efeitos ser encontrados até os 15 cm, fato também observado neste trabalho, visto que a camada estudada foi entre 0-10 cm.

Na pesquisa de Caetano et al. (2013), os autores indicam que a elevação da mesoporosidade nas camadas superficiais é um sinal do aumento da Ds, causada pelo intenso movimento de máquinas em áreas de cultivo ou o constante pisoteio de animais em pastagem sem manejo adequado.

Tais resultados estão de acordo com Bono et al. (2013), que relataram maior Ds em áreas cultivadas comparando com áreas de matas nativas. No entanto, na literatura encontra-se alguns autores que apontam que a relação entre diferentes sistemas de cultivo pode apresentar resultados inversos referentes a Ds, podendo ser menor ou maior em comparação com área de mata, como é o caso dos relatos de Lourente et al. (2011), que não verificaram diferenças significativas para a Ds em diferentes manejos comparados com área de mata nativa.

O sistema com pastagem apresentou valor de Ds superior a $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ ($1,44$ a $1,46 \text{ g cm}^{-3}$), considerado por Klein & Câmara (2007) como prejudicial às plantas para Latossolos, indicando pior condição física do solo na pastagem.

No presente estudo, na área com aplicação de polímero, a Ds não apresentou redução significativa comparando com a área sem aplicação de polímero (Tabela 9). De fato, como a Ds é a razão entre a massa de sólidos e o volume do solo, para haver alterações significativas, a massa de sólidos deveria aumentar ou diminuir também significativamente, o que não observado pela incorporação do PAM ao tratamento pasto com polímero.

Fato semelhante foi observado por Marcelo (2015), que incorporando PAM e gesso aos solos, esses condicionadores de solos não ocasionaram expansão nem contração do solo, pois a massa desses condicionadores após aplicação ao solo é baixa, contribuindo para que a massa total de sólidos não tivesse alteração e, como consequência, a não alteração dos valores de Ds.

A Dp também se apresentou maior nas áreas de pastagens, devido, provavelmente, ao maior percentual de argila observado, que pode ter promovido elevação nos valores deste parâmetro (Tabela 9).

Tais resultados foram encontrados também por Albuquerque et al. (2015), onde em sua pesquisa em área de floresta e pastagem, numa profundidade de 0-20 cm, a Dp dos solos sob floresta foi menor ($2,56 \text{ g cm}^{-3}$) comparada sob pastagem ($2,68 \text{ g cm}^{-3}$).

Resistência tênsil de agregados (RT)

Quanto à RT, a adição da PAM promoveu aumento da resistência para a ruptura dos agregados analisados nas duas subáreas, como se pode observar na Tabela 10.

Tabela 10. Resistência tênsil dos agregados dos solos das subáreas mata e pastagem sob tratamento

Tratamento	RT _____ MPa _____
MCP	15,00 Aa
MSP	14,69 Aa
PCP	9,66 Ba
PSP	8,25 Ba

Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Nota-se que os maiores resultados de RT ocorreram nas subáreas de mata (entre 14 e 15 MPa), sendo também justificado pela presença de matéria orgânica, que, juntamente com o polímero e outras partículas aglutinadoras naturais existentes no solo da mata, agiram como agente cimentante, promovendo maior agregação.

Na subárea de pastagem sem a aplicação do PAM, observa-se menor resistência 8,25 MPa sendo que com a adição do polímero, esse número aumentou para 9,66 Mpa não havendo diferença significativa.

Segundo estudos de Andrade (2014), onde apontou que a aplicação da PAM, principalmente na concentração de 100 mg kg^{-1} , o seu mecanismo de ação aglutinadora promoveu uma melhor estruturação dos solos, em detrimento aos maiores valores de RT promovidos por esta maior agregação, quando comparada com o controle.

Já nos estudos realizados por Almeida (2008), a aplicação da PAM nos agregados dos solos coesos de Pacajus/CE, que usou concentrações maiores que 100 mg kg^{-1} , não diminuiu a sua RT, sugerindo mais estudos com redução das taxas aplicadas, como seguida aqui neste estudo.

O autor ainda afirma que com a aplicação da PAM combinado com o gesso, usado para diminuir a viscosidade do polímero, refletiu na melhoria da qualidade física dos solos coesos da Austrália, reduzindo os valores da RT desses solos.

Andrade (2014) afirma que a PAM tem alto peso molecular e também alta viscosidade, o que pode ter contribuído para uma adsorção somente na superfície externa dos agregados, revestindo sua superfície. Isto promoveu uma maior agregação das partículas do solo e uma maior estabilidade dos agregados, não refletindo na redução da resistência para ruptura dos agregados.

Resistência do solo à penetração de raízes em laboratório (RPL)

A compactação do solo é um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Ela surge principalmente devido à utilização de máquinas e implementos em condições inadequadas de manejo, superpasteio, solo exposto às intempéries, entre outros fatores. Neste sentido a RP torna-se, portanto, um fator limitante para a produção agropecuária.

Analisando a RPL nas quatro subáreas de estudo, as subáreas sob mata apresentaram menores valores médios quando as amostras estavam equilibradas à tensão de 1 kPa (0,44 MPa com aplicação de PAM e 0,07 MPa sem aplicação de PAM), visto tratar-se de um Latossolo Amarelo, com textura franca arenosa no horizonte A1, profundidade estudada neste experimento (Tabela 11).

Tabela 11. Resistência do solo à penetração de raízes sob tratamento, determinada sob diferentes tensões.

Tratamentos	RPL ¹			
	$\theta_{1 \text{ kPa}}^2$	$\theta_{6 \text{ kPa}}^3$	$\theta_{10 \text{ kPa}}^4$	$\theta_{1500 \text{ kPa}}^5$
	MPa			
MCP	0,44 Aa	1,48 Aa	1,69 Aa	1,29 Aa
MSP	0,07 Aa	0,08 Aa	1,27 Ab	1,96 Aa
PCP	1,58 Aa	1,90 Aa	1,98 Aa	2,61 Ba
PSP	0,44 Ba	0,67 Aa	1,81 Ab	3,74 Ab

1 = Resistência do solo à penetração de raízes em laboratório sob diferentes tensões; 2 = Umidade volumétrica à 1 kPa; 3 = Umidade volumétrica à 6 kPa; 4 = Umidade volumétrica à 10 kPa; 5 = Umidade volumétrica à 1500 kPa. Letras maiúsculas idênticas na coluna e letras minúsculas nas linhas não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Dados semelhantes foram encontrados por Melo (2013) que em dois perfis avaliados quanto à RP, também aplicando o PAM, o horizonte E apresentou menores valores médios, pelo fato de ter um maior volume de poros grandes e ser mais arenoso.

Já nas subáreas de pastagem, houve interação significativa ($p > 0,05$) onde a PAM foi inserida, aumentando essa resistência, como pode ser visto na Tabela 11.

O uso da PAM aplicado na solução aquosa proporcionou aumento da resistência à penetração nas duas subáreas aplicadas, apresentando interação significativa, o que justifica uma maior agregação das partículas do solo. Tal aumento (Tabela 11, umidade volumétrica à 6 kPa) também foi encontrado por Melo (2013) e Andrade (2014) em estudos de solos coesos com aplicação de PAM.

Sendo assim, segundo Mullins et al. (1987) a força exercida pelas ligações existentes entre as partículas do solo e o potencial mátrico tem efeito similar à aplicação de uma força externa, promovendo assim uma maior RP nos solos.

À tensão de 10 kPa, não houve interação significativa, e mesmo com a umidade equilibrada próxima à capacidade de campo (CC), umidade ideal de manejo de campo, os valores de RP ficaram abaixo de 2,0 MPa. Já nos estudos de Melo (2013), a essa mesma tensão (considerada numa faixa de baixa tensão), com aplicação de PAM, houve valores de RP acima de 2,0 MPa.

Já à 1.500 kPa, comparando os experimentos com e sem aplicação de PAM, pode-se observar que a presença de polímero apresentou menores resultados de resistência

à penetração comparando com as subáreas sem o PAM. No entanto, sob essa tensão, não há disponibilidade de água para os vegetais. Na subárea de pastagem sem PAM, o valor médio da RP foi de 3,74 MPa, sendo o valor mais elevado nos solos dessa pesquisa.

Na pesquisa realizada por Marcelo et al (2016), analisando solos coesos, estes apresentam RP alta, variando entre 2,0 e 5,0 MPa, comprovando que os solos coesos apresentaram uma elevada degradação, com baixa qualidade ambiental. O uso da PAM reduziu sua coesão, apresentando resultados positivos.

6. Conclusões

O uso do polímero, com apenas duas aplicações, não modificou os valores da densidade do solo, densidade de partículas sólidas do solo, nem a granulometria dos solos das subáreas estudadas; sendo eficiente na modificação dos demais atributos físico-hídricos do solo.

A aplicação da PAM na subárea de pastagem degradada aumentou a estabilidade de seus agregados, favorecendo a retenção de água, contribuindo significativamente para melhoria da qualidade do solo e aumentou quantitativamente a Ksat, favorecendo a percolação de água nos poros do solo.

Nota-se ainda que a aplicação de condicionantes químicos aos solos, de maneira geral, não interferiu na porosidade total entre as duas subáreas estudadas, porém interferiu na distribuição de poros entre as subáreas com diferentes tipos de cultivos: Mata e Pastagem.

7. Referências bibliográficas

ALBUQURQUE, F. S.; RODRIGUES, L. N.; MAGALHÃES, Y. M. C.; NERY, A. R. **Densidade e porosidade de um latossolo amarelo distrófico sob pastagem e floresta.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Fortaleza/CE, 2015.

ALMEIDA, A. B. **Propriedades físicas de um latossolo vermelho manejado com material orgânico e submetido à compactação.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009.

ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros Físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**, 105 p., Tese Doutorado. ESALQ/USP, 2008.

ANDRADE, K. R.; **Atributos Físico-hídricos de Solos Coesos da Zona da Mata de Pernambuco sob Ação de Condicionadores Químicos**. 115 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. **Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:515-522, 2005.

BENITES, V. de M.; MADARI, B.; BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. Matéria orgânica do solo. In: Walt, P. G. S (ed) **Manejo do solo e recomendação de adubação para o estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, p. 93-120, 2005.

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. **The response of soil quality indicators to conservation management**. Canadian Journal of Soil Science. V. 79 (1), p. 37-45. 1999.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S; ANDRADE, C. L. T. **Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 4, 2012.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. **Qualidade física do solo em um Latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37: p. 743-753, 2013.

BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2. ed. Brasília – DF: Embrapa, 2012.

CAETANO, J. O.; VERGINASSI, A.; ASSIS, P. C. R.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. **Indicadores de Qualidade de um Latossolo Vermelho sob Diferentes Sistemas de uso e Manejo**. *Gloal Science and Technology*, Rio Verde, v. 06, n. 01, 2013.

CAMPOS, D. V. B. de. **Uso da técnica de 13C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na região da mata atlântica**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, p. 175, 2003.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.527-538, 1998.

CARPANEZZI, A. A.; STA, L. G. da S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, CF. de A. **Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas; a observação de laboratórios naturais**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., v. 3. 1990, Campos do Jordão. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, p. 216-221, 1991.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F. da; SILVA, V. R. da; BASSO, C. J. **Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39: p. 615-625, 2015.

CICHOTA, R. & JONG van LIER, Q. **Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção de água no solo**. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 28:585-596, 2004.

CHIEZA, E. D. **Sistemas de Cultivos de Milho Consorciados ou não com Plantas de Cobertura de Solo de Verão: Aspectos Produtivos, Socioeconômicos e de Qualidade do Solo.** Dissertação de Mestrado, Santa Maria, RS, Brasil, 2010.

COSTA, M. A.T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G. do; MEDEIROS, F. M. de. **Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 36, núm. 3, pp. 993-1004. Viçosa, 2012.

DANE, J.H.; HOPMANS, J.W. **Pressure plate extractor.** In J. H. Dane e G. C. Topp (Eds.) SSSA book series: 5. Methods of soil analysis Part 4-Physical methods (pp. 688–690). Madison, WI: Soil Science Society of America Inc. 2002.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. **Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates.** Journal Agricultural Engineering Research, v.31, p.139-147, 1985.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. **Tensile strength and friability.** In. SMITH, K.; MULLINS, C. (Ed.). Soil and environmental analysis: physical methods. 2 nd ed. New York: Marcel Dekker, 2000.

DIAS FILHO, M. B.; SERRAO, E. A. S. **Recuperação, melhoramento e manejo de pastagens na região de Paragominas, Pará.** (Embrapa-CPATU. Documentos, 5). Belém: Embrapa-CPATU, p. 24, 1982.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco.** Boletim de Pesquisa 11. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 382, 2000.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Editor técnico: Fábio César da Silva. 2. Ed. Rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997.

ENGLER, M. P de C. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação da mobilidade de água no solo**. São Paulo. 2007. 70 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2007.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo**. In: LIER, Q. J. V. Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 298, 2010.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. **Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23: 507-514, 1999.

GREWOOD, K.I. & MCKENZIE, B. M. **Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: A review**. Australian Journal of Experimental Agriculture, 41:1231-1250, 2001.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. **Bulk density and linear extensibility**. In: DANE, J. H.; TOPP. G. C. (Ed.). Methods of soil analysis. Soil Science Society of America Journal, Madison. pt. 4, p. 201-225, 2002.

GONÇALVES, I. D. T. F.; COSTA, I. C. **Aplicação de Polímero Superabsorvente para Proteção de Encostas de Barreiras**. In. IV CONNEPI Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Belém – Pará, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades - Garanhuns-PE**, 2010. Disponível em www.cidades.ibge.gov.br. Acessado em: 03 de agosto de 2016.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A.R. **Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols**. Soil Science Society American Journal, v.66, p.1656-1661, 2002.

INM - Instituto Nacional de Meteorologia. **Médias Climatológicas**. p. 32 a 33, 2013.

KLEIN, V.A. & CAMARA, R.K. **Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:221-227, 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. **Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 26, p. 857-867, 2002.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, A.P.B. **Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture**. Soil Tillage Res., 88:297-285, 2006.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, p. 335, 2005.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. **Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MADEIRA, M. M.; MARTINS, O. C.; SERRALHEIRO, R. P. & SANTOS, F. L. **Conservação do solo e da água em regadio**. IN: Congresso Iberico sobre Planejamento e Gestão de Água, 2000.

MAMEDOV, A.I.; BECKMANN, S. HUANG, C.; LEVY, G. J. **Aggregate stability as affected by polyacrylamide molecular weight, soil texture, and water quality.** Soil Science Society of American Journal. v.71, n.6, p. 1909-1918, 2007.

MARCELO, V. F; ALMEIDA, B. G de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SOUZA, W. L. da S. **Disponibilidade Hídrica de Solo Coeso sob a ação de Poliacrilamida: Qualidade Física Ambiental.** RBCIAMB, n. 42, 2016.

MARCELO, V. F. **Manejo da qualidade física de solos coesos em tabuleiro costeiro de Pernambuco.** Recife, 2015.

MARQUES, J. D. de O. **Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo.** 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JÚNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. **Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas.** Acta Amazonica. vol 38 (2), p. 193-206, 2008.

MELO, D., V., M. **Qualidade de Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco em Função do Uso de Poliacrilamida.** 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

MELO, D., V., M. **Uso de polímero na estabilidade de agregados de um Neossolo Flúvico do Sertão de Pernambuco.** IX JEPEX – Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e**

nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3. p.209-248, 2003.

MONTEIRO, A. A.; TAMANINI, R.; SILVA, L. C. C. da; MATTOS, M. R. de; MAGNANI, D. F.; d'OVIDIO, L.; NERO, L. A.; BARROS, M. de A. F.; PIRES, E. M. F.; PAQUEREAU, B. P. D.; BELOTI, V. **Características da produção leiteira da região do agreste do estado de Pernambuco, Brasil.** Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 4, p. 665-674, out./dez. 2007.

MORAES, A. G. de L.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C dos; SILVA, E. M. R. da. **Distribuição dos Agregados e Diâmetro Médio Ponderado Avaliados em Diferentes Sistemas de Produção Orgânica.** Revista Brasileira de Agroecologia, vol. 4, n. 2, novembro, 2009.

MUGGLER, C. C.; CURI, N.; SILVA, L. N. & LIMA, J. M. **Características pedológicas de ambientes agrícolas nos Chapadões do Rio Corrente, Sudeste da Bahia.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.31, n.3, p. 221 - 231, 1996.

NIMMO, J.R.; PERKINS, K.S. **Aggregate stability and size distribution.** In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods. Soil Science Society of American Book Series. n. 5, p. 812-815, 2002.

OLIVEIRA, L. B. **Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 3, p. 197-200. 1968.

OLIVEIRA, R. A., L. S.; REZENDE, M. A.; MARTINEZ & G. V. MIRANDA. **Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 8: 160-163, 2004.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; REGAZZI, A.J. & FIGUEIREDO, M.S. **Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos brasileiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20:509-515, 1996.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA C.F.A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. **Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.2, p.189-195, 1999.

PARAHYBA, R. da B.V.; ALMEIDA, B. G. de; ROLIM NETO, F. C; ARAÚJO, M. do S. B. de; SILVA, M. S. L. da. **Retenção de água em solos arenosos da Bacia Sedimentar do Tucano, Bahia.** XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, RN, 2015.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; ANJOS, L.H.C.dos; BENITES, V.M.; ESPÍNDULA JR., A.; EBELING, A.G. **Organic carbono determination in histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil.** Science Agriculture. (Piracicaba, Braz.), v.63, n.2, p.187-193, Mar./Apr. 2006

PIERI, C. J. M. G. **Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah.** Springer – Verlag, Berlin, Germany, 1992.

PIRES, R. O; REIS, J. L.; SANTOS, F. L.; CASTANHEIRA, N. L. **Aplicação da poliacrilamida no controle da erosão e do escoamento superficial na rega por rampa rotaatita.** Revista de Ciências Agrárias. V. 30, 172-178 p. 2007.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo. Com problemas resolvidos.** Curitiba. p. 446, 1996.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. & COSTA, L. M. **Propriedades Físicas e Químicas do Solo em Áreas com Sistemas Produtivos e Mata na Região da Zona da Mata Mineira.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:575-585, 2010.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed. Manole Ltda. Cap. 3, p. 27 – 65, 1990.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. **Constant head well permeameter (vadose zone)**. In: J. h. DANE; G. C. TOPP, Eds, Methods of soil analysis, part 4, physical methods. Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, p. 844-858, 2002.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society for Testing and Materials, p. 128-152, 1965.

RUSSELL, E. W. **Russell's soil conditions and plant growth**. 11 th ed. New York: Longman scientific & technical, p. 991, 1988.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M. CONCEIÇÃO, P.C; FABRÍCIO, A.C. & BROCH,D.L. **Agregação e Estabilidade de Agregados do Solo em Sistemas Agropecuários em Mato Grosso do Sul**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:11-21, 2008.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B.**Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

SÃO MATEUS, M. S. C. **Determinação em laboratório da condutividade hidráulica de solos não saturados**. 1994. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SEPASKHAH, A. R.; SHAHABIZAD, V. **Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator**. Biosystems Engineering. v. 106. n. 4. p.513-520, 2010.

SEYBOLD, A. R.; SHAHABIZAD, V. **Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator.** Biosystems Engineering. V. 106. N. 4. p. 513-520. 2010.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O.A. **Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 10:91-95, 1986.

SILVA, T. T. S; MONTEIRO, D. R.; ALMEIDA, B. G. de; FIRMINO, M. C.; LIMA, V. L. A. de. **Comportamento da Curva de Retenção de Água em diferentes tipos de solo.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza, CE. 2015.

SIUEIA JÚNIOR, M. **Interação Nitrogênio e Enxofre na produção e qualidade pós-colheita do Tomateiro.** Dissertação (Mestrado). Distrito Federal, UnB, 2016.

SOJKA, R.E., BJORNEBERG, D.L., ENTRY, J.A., LENTZ, R.D. & ORTS, W.J. **Polyacrylamide in agriculture and environmental land management.** *Advances in Agronomy.* 92, p. 75–162, 2007.

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. **Degradación y rehabilitación de pasturas.**In: LASCANO, C.E.; SPAIN, J.M. (Eds.). Establecimiento y renovación de pasturas. Cali: CIAT. 269-283, 1991.

SZÖGI, A.A.; LEIB, B.G.; REDULLA, C.A.; STEVENS, R.G.; MATHEWS, G.R.; STRAUSZ, D.A. **Erosion control practices integrated with polyacrylamide for nutriente reduction in rill irrigation runoff.** *Agricultural Water Management.* v.91. n. 1-3, p.43-50, 2007.

TOLEDO, J. M.; SERRAO, E. A. S. **Producción de pastos y ganado en la Amazonia.** In: AMAZÔNIA: INVESTIGACIÓN SOBRE AGRICULTURA Y USO DE TIERRAS. Cali, Colombia: CIAT, p.297-323, 1982.

TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. **Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26:305-314, 2002.

TULLER, M. & Or, D. **Water films and scaling of soil characteristic curves at low watercontents.** Water Resources Research. v. 41, 2005.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R. de; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. **Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.4, p.381–386, 2014.

VENTUROLI, F. & S. VENTUROLI. **Recuperação florestal em uma área degradada pela exploração de areia no Distrito Federal.** Ateliê Geográfico 5: 183-195, 2011.

WATTS, C.W.; DEXTER, A.R. **Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content.** Europe Journal Soil Science, v.49, p.73-84, 1998.

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

YU, J., LEI, T., SHAINBERG, I., MAMEDOV, A.I. & LEVY, G.J. **Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum.** Soil Science Society of America Journal, 67, p. 630-636, 2003.