

DIEGO VANDEVAL MARANHÃO DE MELO

**QUALIDADE DE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS
COSTEIROS DE PERNAMBUCO EM FUNÇÃO DO USO DE
POLIACRILAMIDA**

**RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL
2013**

DIEGO VANDEVAL MARANHÃO DE MELO

**QUALIDADE DE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS
COSTEIROS DE PERNAMBUCO EM FUNÇÃO DO USO DE
POLIACRILAMIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de Mestre.

RECIFE - PE

2013

DIEGO VANDEVAL MARANHÃO DE MELO

Dissertação intitulada: **QUALIDADE DE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DE PERNAMBUCO EM FUNÇÃO DO USO DE POLIACRILAMIDA** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de Mestre, e aprovada em 26 de Fevereiro de 2013.

Brivaldo Gomes de Almeida
**PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA
(ORIENTADOR)**

Edivan Rodrigues de Souza
(EXAMINADOR)

José Coelho de Araújo Filho
(EXAMINADOR)

Bradford Paul Wicox
(EXAMINADOR)

“Amor e paz, sim! E que eu não queira para você, o que eu, também, não quero para mim...”

...e até para os pobres hipócritas, que não gostam de mim; não quero para vocês, o que vocês querem para mim”

Mato Seco

“O homem faz guerra. O homem quer paz. O homem se enterra. O homem nem sabe mais. Problema faz depressão, o sistema faz opressão; e você, faça mais do que pegadas neste chão”

Projota

À família, aos amores e à vida

OFEREÇO

Ao Professor Mateus Rosas Ribeiro (*in memoriam*), que antes de ser o iluminado RIBEIRO, M.R. era, simplesmente, um homem do bem.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Eliane Maria Valença Maranhão, educadora de profissão e rainha por natureza, pelo exemplo que me faz admirá-la a cada dia, trazendo-me a lucidez de que, diante de sua nobreza, serei um eterno aluno;

À minha avó, Nilda Valença Maranhão, por me criar quando criança, adolescente e adulto, pela sensação de paz que me faz sentir ao vê-la sentada no nosso sofá, fazendo-me esquecer as minhas angústias;

À minha irmã, Louise Maranhão de Melo, pela amizade, pela parceria, pelo incentivo ao caminho que escolhi, pelo exemplo e pela oportunidade de conhecer alguém que nasceu com um dom;

À minha namorada, Ariane Candeias Vieira, pelo amor recíproco, pelo companheirismo, por cuidar de mim como uma leoa cuida do seu filhote, por fazer-me uma pessoa feliz;

Aos meus tios, Edvar Valença, Evaldo Valença, Edson Valença, Edjar Valença Edina Valença pela presença em cada momento da minha vida, pelo alicerce familiar que contribuiu para formação da minha personalidade;

Ao meu orientador, Brivaldo Gomes de Almeida, pela confiança depositada, pelo comprometimento, pelos ensinamentos e pela oportunidade;

Ao meu co-orientador, Edivan Rodrigues de Souza, pela amizade, pelos conselhos, pela influência na minha evolução profissional e científica e pelo exemplo de vida;

Aos pesquisadores Paulo Klinger e José Coelho pelo profissionalismo, pelas importantes contribuições e disponibilidade na descrição e seleção dos perfis e horizontes de estudo;

Aos amigos que a Ciência do Solo me presenteou: Flávio Silveira, Remy Farias, Elaine Delarmelinda, Gerson Barros, Igor Tenório, Monaliza Mirela, Laércio Santos, Hidelblandi Farias, Kairon Rocha, Robson Santos, Fabíola Estrela, Wagner Luís, Maércio Medeiros, Cíntia Lins, Jailson Cunha, Laércio Neves, Edivan Uchôa, Guilherme Pessoa, Emanuel Ernandes, Jane Miranda, pela simbiose, pela protocoperação, pelo comensalismo, inquilinismo e parasitismo resultantes da nossa interação no ecossistema;

Aos grandes Derjagin, Landau, Verwey, Overbeek (DLVO), Diderik van der Waals, Arrhenius, Bronsted, Lowry, Lewis e Le Chatelier por alimentar-me destas fontes.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. Qualidade do solo.....	15
2.2. Tabuleiros Costeiros.....	16
2.3. Solos com horizontes “coesos”.....	18
2.4. Poliacrilamida (PAM).....	22
3. OBJETIVOS.....	26
3.1. Objetivo Geral.....	26
3.2. Objetivos Específicos.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. Localização e características climáticas das áreas de estudo.....	27
4.2. Caracterização e classificação dos perfis de estudo e seleção dos horizontes.....	28
4.3. Condicionador químico, tratamentos e atributos avaliados.....	32
4.4. Coleta de amostras e aplicação de PAM em laboratório.....	32
4.4.1. Coleta de amostras em blocos não deformados, preparação dos agregados e aplicação dos tratamentos.....	32
4.4.2. Coleta de amostras em blocos não deformados, obtenção de amostras contidas em anéis volumétricos e aplicação dos tratamentos...	33
4.4.3. Aplicação dos tratamentos em terra fina seca ao ar (TFSA).....	34
4.5. Determinação dos atributos físicos indicadores da coesão.....	35
4.5.1. Agregados estáveis em água e distribuição por classe de diâmetro.....	35
4.5.2. Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS).....	36
4.5.3. Condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}).....	37
4.5.4. Porosidade total (Pt), umidade na macro, meso e microporosidade.....	37
4.5.5. Resistência do solo à penetração de raízes.....	39
4.5.6. Argila dispersa em água (ADA).....	39

4.5.7. Limite de plasticidade (LP).....	39
4.5.8. Atributos químicos.....	40
4.6. Análise estatística.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1. Estabilidade de agregados.....	41
5.2. Distribuição de agregados por tamanho.....	43
5.3. Propriedades físico-hídricas.....	48
5.4. Propriedades químicas e físico-químicas.....	60
6. CONCLUSÕES.....	65
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos dois perfis avaliados.....	27
Figura 2. Perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (P1): (a) separação e descrição dos respectivos horizontes; (b) detalhes da preparação de cada horizonte para amostragem dos blocos do solo.....	28
Figura 3. Perfil do Latossolo Amarelo Distrocoeso (P2): (a) delimitação e descrição dos horizontes; (b) preparação dos horizontes para coleta dos blocos.....	28
Figura 4. Detalhes do processo de coleta das amostras: (a) saturação dos blocos; (b) separação manual dos agregados; (c) tamanho médio dos agregados.....	33
Figura 5. Etapas de obtenção de amostras: (a) acondicionamento dos blocos não deformados; (b) coleta de amostras na forma de anéis volumétricos.....	34
Figura 6. Amostras de solos em mesa de tensão.....	36
Figura 7. Aparatos de determinação da resistência do solo à penetração de raízes, com detalhes no conjunto célula de carga-agulha.....	39
Figura 8. Índice de sensibilidade (Is) para diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹).....	45
Figura 9. Agregados estáveis em água dos horizontes Bt1 e BA (coesos) em três intervalos de diâmetro (> 2,00; 0,25-2,00; <0,25 mm) em função da aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0; 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	46
Figura 10. Índice de sensibilidade (Is) para diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹).....	48
Figura 11. Porosidade total (Pt) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	53
Figura 12. Relação macroporosidade:porosidade total (Mac/Pt) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	54
Figura 13. Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt e BA com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização física dos dois perfis de solos (P1 e P2) avaliados.....	30
Tabela 2. Caracterização química dos dois perfis de solos (P1 e P2) avaliados.....	31
Tabela 3. Distribuição das classes de diâmetros de agregados estáveis em água dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	41
Tabela 4. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	44
Tabela 5. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	47
Tabela 6. Valores médios da condutividade hidráulica do solo em meio saturado (K _{sat}) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	48
Tabela 7. Macro, meso e microporosidade dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	51
Tabela 8. Resistência à penetração do sistema radicular (RP), com umidade equilibrada à tensão de -10 kPa, dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	55
Tabela 9. Limites de plasticidade (LP) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	59
Tabela 10. Valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	61
Tabela 11. Teores de alumínio trocável dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	62
Tabela 12. Teores de argila dispersa em água (ADA) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg ⁻¹) e do tratamento controle (H ₂ O destilada).....	63

MELO, Diego Vandeval Maranhão de. Qualidade do solo dos tabuleiros costeiros de Pernambuco em função do uso de poliacrilamida. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

RESUMO

Polímeros solúveis em água caracterizam-se como eficientes agentes flocculantes, cuja aplicação em solos com horizontes de caráter coeso condiciona a melhoria da qualidade física e, assim, amplia a aptidão agrícola destes solos. A poliacrilamida (PAM) é caracterizada pela sua versatilidade como condicionador químico, sendo um dos mais importantes polímeros comerciais para fins agrícolas. Assim, essa pesquisa propôs avaliar a qualidade de solos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco com a aplicação de PAM como condicionador químico. Para isto, foram avaliados três horizontes (sendo um coeso e dois não coesos) de um ARGISSOLO AMARELO e, para fins comparativos, foi selecionado o horizonte que expressa a máxima coesão de um LATOSSOLO AMARELO. Como tratamentos, foram aplicadas soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0; 100,0 mg kg⁻¹) e água destilada (controle). Os atributos avaliados foram: estabilidade e distribuição de agregados, resistência do solo à penetração do sistema radicular; condutividade hidráulica do solo saturado; porosidade total (macroporosidade+mesoporosidade+microporosidade), limite de plasticidade, argila dispersa em água, capacidade de troca de cátions e Al³⁺ trocável. Os dados foram avaliados por meio de estatística descritiva e teste de comparação de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As soluções de PAM aumentaram a estabilidade estrutural dos horizontes coesos, porém a melhoria físico-hídrica destes horizontes foi controlada pelas características intrínsecas dos horizontes e da molécula de PAM utilizada na pesquisa. Estudos com outras formulações de PAM relacionados ao caráter coeso fazem-se necessárias para sua atenuação e entendimento das interações polímero-solo.

Termos para indexação: Poliânions, flocculação-dispersão, horizonte coeso.

MELO, Diego Vandeval Maranhão de. Cohesive soil quality as a function of use of polyacrylamide in the coastal tablelands in Pernambuco State, Northeast Brazil. Dissertation (Master in Soil Science). Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 2013.

ABSTRACT

Water soluble polymers are characterized as efficient flocculating agent whose application in soils with cohesive horizons influence, potentially, improving the physical quality and thus extends the agricultural potential of these soils. In this context, the polyacrylamide (PAM) is characterized by its versatility as a chemical amendment, one of the most important commercial polymers for agricultural purposes. Thus, this research proposed to assess the soils quality of the Coastal Tablelands of Pernambuco State inferred by the reduction of the cohesion and improving physical and hydraulic properties by application of PAM as chemical amendment. Therefore, we evaluated three horizons (one cohesive and two non cohesive) of an cohesive Yellow Argisol and, for comparative purposes, we selected the horizon that expresses the maximum cohesion of a Yellow Latosol. We examined PAM aqueous solutions (12.5, 50.0, 100.0 mg kg⁻¹) and distilled water (control). The attributes avaluated were: aggregate stability and aggregate size distribution, resistance penetration, saturated hydraulic conductivity, porosity (macroporosity + mesoporosity + microporosity), characteristics of the water retention curve, plasticity limit, water dispersible clay, cation exchange capacity and Al³⁺ exchangeable. Treatment mean comparisons were made using the Scott-Knott honestly significant difference test at a significance level of 0,05. The PAM solutions increased structural stability of cohesive horizons, but the improving physical of cohesive horizons was controlled by the intrinsic characteristics of the horizons and of the PAM molecule used in the research. Studies with other formulations of PAM related cohesive character are necessary for their mitigation and understanding of soil-polymer interactions.

Index Terms: Polyanions, flocculation-dispersion, cohesive horizon.

1. INTRODUÇÃO

O conceito da qualidade do solo é sugerido por vários autores (DORAN & PARKIN, 1994; DORAN et al., 1996; KARLEN et al., 1997; REEVES, 1997; DORAN, 2002; LIMA et al., 2013) devido às variadas percepções no que diz respeito às prioridades individuais em relação à sua função e à finalidade do seu uso (DORAN & PARKIN, 1994). Além disso, devido à complexidade do solo como componente físico dos ecossistemas e do ambiente agrícola, a qualidade do solo é normalmente segmentada em “qualidade física”, “qualidade química” e “qualidade biológica” (DEXTER, 2004).

A qualidade física do solo é de grande relevância para toda zona de enraizamento, que para a maioria das culturas, é de aproximadamente 1 m da superfície do perfil. Porém os primeiros 10 cm controlam muitos processos críticos ambientais e agronômicos como a germinação de sementes e crescimento da plântula, agregação, erosão, encrostamento superficial, aeração, infiltração e escoamento (REYNOLDS et al., 2002; REYNOLDS et al., 2007).

Para Reynolds et al. (2007), os principais indicadores da qualidade física do solo são a capacidade de campo, água disponível às plantas, macroporosidade, densidade do solo e o índice de estabilidade estrutural.

Decorrente da grande importância social e para o setor agrícola nacional, principalmente, pela citricultura, pelo cultivo de cana-de-açúcar, pela pecuária extensiva e semi-extensiva (CINTRA et al., 1997; REZENDE, 2000; CINTRA et al., 2004; SOUZA et al., 2006; SILVA et al., 2007), o agroecossistema dos Tabuleiros Costeiros têm recebido destaque nas pesquisas envolvendo a qualidade dos solos na sua área de abrangência (SILVA & CABEDA, 2005; SOUZA et al., 2006; SILVA et al., 2007; BARRETO et al., 2012; GOMES et al., 2012).

Relacionado à Formação Barreiras, unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, há a ocorrência de solos que apresentam horizontes com comportamento físico discrepante em função do teor de água, sendo inferido principalmente pela consistência, os quais são extremamente duros, quando secos e, friáveis, quando úmidos (JACOMINE, 2001; GIAROLA et al., 2001; LIMA NETO et al., 2010). Este comportamento é considerado o principal problema para a atividade agrícola da região dos Tabuleiros Costeiros.

Nas últimas décadas, tem-se desenvolvendo pesquisas com o objetivo de mensurar, quantitativamente, a coesão em solos (CINTRA & LIBARDI, 1998; SILVA et al., 1998; GIAROLA et al., 2003; LIMA et al., 2004; SILVA & GABEDA, 2005) sendo, assim, mais uma ferramenta útil nos estudos envolvendo o caráter coeso.

Em relação ao manejo e práticas remediadoras que possibilitem o aumento do potencial agrícola dos solos dos Tabuleiros Costeiros, a utilização de práticas mecânicas e o manejo da irrigação são unanimidade em pesquisas e entre os produtores, havendo poucas pesquisas propondo a atenuação da coesão por condicionadores químicos.

Pesquisas envolvendo o uso de polieletrólitos como condicionadores químicos com o objetivo de melhoria da qualidade física de solos iniciaram na década de 1950 (BARVENIK, 1994; LENTZ & SOJKA, 1994; TROUT et al., 1995) em razão do potencial floculante de suas macromoléculas (ZHU et al., 2009).

A poliacrilamida (PAM) é um dos mais importantes polímeros comerciais, sobretudo para fins agrícolas, onde pesquisas mais avançadas tiveram início nas últimas duas décadas (LENTZ & SOJKA, 1994). Seu uso na agricultura difundiu-se em razão da sua versatilidade como condicionador de solos, formulações com ampla variação de características moleculares, envolvendo a massa molecular, o tipo iônico e a densidade de cargas elétricas. Além disso, a PAM é considerada a mais eficiente, de menor custo financeiro e de uso mais conveniente que os polímeros inicialmente estudados (WALLACE & WALLACE, 1986; BUSSCHER et al., 2009; LENTZ & SOJKA, 2009; SEPASKHAH & SHAHABIZAD, 2010).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade do solo

O solo se comporta como um sistema dinâmico e vivo, apesar de, erroneamente, ser visto como um sistema inerte, apenas servindo como um suporte para atividades humanas. Assim, este sistema ativo, compreende uma matriz de constituintes inorgânicos e orgânicos que delimitam um conjunto de espaços vazios que contém líquido e gases (FRANCAVIGLIA et al., 2004).

Assim como a água e o ar, o solo é um componente integrante do nosso ecossistema que, juntamente com a água, constitui o mais importante recurso natural. Porém, a nível mundial, tem ocorrido uma diminuição significativa da qualidade do solo em função de mudanças adversas nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas e pela contaminação por produtos químicos orgânicos e inorgânicos (ARSHAD & MARTIN, 2002).

A qualidade do solo é difundida principalmente como a capacidade de um solo específico em funcionar como um sistema vivo essencial, em ecossistemas naturais ou manejados, garantindo a saúde e a produtividade de animais e plantas, mantendo ou melhorando a qualidade do ar e da água e fornecendo suporte à saúde e habitação humana (DORAN & SAFLEY, 1997). A manutenção ou a melhoria da qualidade do solo é crucial para a produtividade agrícola e segurança ambiental de gerações futuras (REEVES, 1997).

Segundo Anderson (2003), a intensificação do uso do solo nas últimas décadas, principalmente pela agricultura, tem provocado o receio que sua qualidade poderia ser alterada de forma irreversível, o que afetaria de forma negativa suas propriedades em função da redução, principalmente, da sua fertilidade natural.

Vários atributos referentes às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo têm sido propostos como indicadores úteis da qualidade do solo, que atuam de forma independente (REEVES, 1997; BOLINDER et al., 1999; ARSHAD & MARTIN, 2002; ANDERSON, 2003; GIACOMETTI et al., 2013) em função da busca rápida, em um curto espaço de tempo, para diagnosticar a qualidade do solo de forma mais exata. Destes, a matéria orgânica é considerada elemento chave da qualidade do solo e da sustentabilidade

agrícola, uma vez que, afeta as características físicas, químicas e biológicas (REEVES, 1997).

Diante da existência de vários ecossistemas e das várias funções que o solo pode desempenhar, não há uma metodologia para caracterizar a qualidade do solo por um conjunto universal de indicadores (BOUMA, 2002). Assim, os indicadores de qualidade do solo podem ser selecionados de acordo com a função de interesse (NORTCLIFF, 2002).

Karlen & Stott (1994) sugeriram um índice de qualidade do solo, a partir da seleção de funções associadas à sua qualidade, que, atualmente, é a abordagem mais comumente usada para avaliar os efeitos de diferentes manejos do solo que influenciam na qualidade.

Lima et al. (2013), compararam, em termos funcionais, conjuntos de indicadores de qualidade do solo selecionados pelos próprios autores como, também, indicadores selecionados por agricultores. Os autores avaliaram o efeito de práticas de manejo no armazenamento e disponibilidade de água, fornecimento de nutrientes e atividade biológica e concluíram que a qualidade do solo foi melhor associada quando utilizado o conjunto maior de indicadores. Entretanto, o uso do conjunto menor de indicadores mostrou a mesma tendência, sugerindo que, um número reduzido de indicadores, quando escolhidos cuidadosamente, pode fornecer importantes informações para tomada de decisões de manejo.

Vários trabalhos têm sido propostos para avaliar a qualidade de solos da região dos Tabuleiros Costeiros do Brasil (SOUZA et al., 2006; SILVA et al., 2007; BARRETO et al., 2012; GOMES et al., 2012).

2.2. Tabuleiros Costeiros

O termo “Tabuleiros Costeiros” é uma referência a topografia predominantemente plana, do tipo tabular e, com menos frequência, suavemente ondulada (JACOMINE, 2001). Este ecossistema compreendem superfícies na forma de mesetas (CINTRA et al., 1997) e ocupam uma faixa sedimentar costeira, relacionados a sedimentos terciários, desde o litoral do

Rio de Janeiro até o Amapá. Estão distribuídos na zona úmida costeira das regiões Norte, Nordeste, Sudeste e do (RIBEIRO, 1998; JACOMINE, 2001).

Geologicamente, são formações do período Terciário localizados entre os morros do cristalino e a baixada litorânea, com altitudes que variam entre 30 a 200 metros (LIBARDI & MELO FILHO, 2001), porém não ultrapassando trezentos metros, podendo chegar às proximidades do nível do mar, no caso do sul da Bahia (RIBEIRO, 1996). Estão relacionados aos depósitos sedimentares do Grupo Barreiras (Formação Barreiras), derivados de materiais argilosos, argilo-arenosos e arenosos, que constitui sua unidade geomorfológica (LIMA et al., 2004).

Em todo o território brasileiro, a região dos Tabuleiros Costeiros ocupa uma área de 200.000 km² (JACOMINE, 1996). Sua distribuição abrange quase toda a faixa costeira, desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro.

Apenas na região Nordeste abrange, aproximadamente, dez milhões de hectares (GIAROLA & SILVA, 2002), representando 16% da área total dos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará (SOUZA et al., 2001).

Apesar da área de ocupação relativamente extensa, os solos inseridos nesta unidade geomorfológica apresentam similaridades nas suas características pedológicas (LIMA, 2004). Quanto à mineralogia, a caulinita é o mineral predominante da fração argila e o quartzo como mineral primário presente na fração areia (REZENDE, 2000), com valores entre 70 - 90% e 95 - 100%, respectivamente (CINTRA et al., 2009). Apresentam baixos teores de ferro (Fe) e esqueleto quartzoso mal selecionado (MELO et al., 2002).

Neste ecossistema, predominam os Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos (JACOMINE, 2001) e, em menor expressão, encontram-se Neossolos Quartzarênicos, Espodossolos, Argissolos Acinzentados, e Plintossolos (EMBRAPA, 1995).

Alguns solos dessa região possuem limitações ao uso agrícola (CORRÊA et al., 2008), onde os principais fatores limitantes são o relevo, a fertilidade natural, impedimento à mecanização, deficiência ou excesso de água (dependendo da época do ano). Quanto às características químicas, apresentam reação ácida a fortemente ácida, com valores de pH em torno de 4,0 a 5,0, baixa capacidade de troca de cátions, altos teores de alumínio trocável, distróficos (JACOMINE, 1996), baixos teores de matéria orgânica,

problemas de retenção de água e reserva de nutrientes e na permeabilidade à água e ao ar (RIBEIRO, 1996).

A importância social e econômica dos Tabuleiros Costeiros é refletida pelas grandes concentrações urbanas e pela diversidade de explorações agrícolas. Esse ambiente tem grande potencialidade para produção de alimentos, tanto pela ampla infra-estrutura de transporte rodoviário, como por possuir terminais marítimos para escoamento de produção.

No contexto agrícola, contribui com 26,4% e 38,2% do PIB gerado pelas culturas temporárias e permanentes, respectivamente, dos Estados da região Nordeste (REZENDE, 2000). A cana-de-açúcar e a fruticultura são as atividades mais importantes do agronegócio desse ecossistema (CINTRA et al., 2004; SILVA et al., 2007).

De acordo com Jacomine (2001), a importância que os solos dos Tabuleiros Costeiros representam para a região onde ocorrem é, sobretudo, em função das precipitações pluviométricas regulares, por estarem localizados perto dos grandes centros consumidores e favorecerem a mecanização agrícola por serem profundos e se distribuírem em áreas de relevo plano a suavemente ondulado. Porém, Cintra et al. (1997), relatam que tais vantagens mascaram os sérios problemas inerentes ao potencial agrícola dos solos da região dos Tabuleiros Costeiros, principalmente os de natureza física.

A ocupação dos Tabuleiros Costeiros para fins agrícolas torna-se dependente das precipitações pluviais em que na zona mais úmida predomina o cultivo de cana-de-açúcar e na zona mais seca o da pecuária extensiva e semi-intensiva, onde as atividades agrícolas se limitam em média e pequenas propriedades (LIMA, 2004).

Horizontes subsuperficiais adensados têm ocorrência significativa nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil, os quais são comumente denominados “coesos” (LIMA NETO et al., 2010).

2.3. Solos com Horizontes “Coesos”

A ocorrência de um comportamento discrepante do solo seco e úmido, sobretudo em termos de incremento do grau de consistência a seco, pode ser

observada em alguns horizontes de solos na faixa dos Tabuleiros Costeiros, nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil (RIBEIRO, 1998; GIAROLA et al., 2001). Solos com tal comportamento foram incorporados ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) por meio da criação do designativo “coeso” e do atributo diagnóstico “caráter coeso” (EMBRAPA, 2006).

Ribeiro (1991) descreveu horizontes com caráter coeso como sendo: “horizontes muito duros a firmes, que não apresentam organização estrutural visível (são maciços), motivo pelo qual os grandes torrões se quebram em fragmentos de tamanhos menores e angulosos; apresentam uma macroporosidade geralmente ligada à atividade biológica (biovazios), sendo difícil a observação dos poros finos; no seu interior são raras as raízes observadas, mesmo assim, a grande maioria que consegue penetrar nesses horizontes, encontra-se mortas; em alguns pontos pode-se observar uma organização estrutural fragmentar com a presença de estrutura do tipo blocos subangulares, geralmente associados a pequenas concentrações de material orgânico originado da decomposição de raízes ou atividade biológica (crotovinas e ninhos); em muitos casos é possível observar, ainda que, com alto grau de dificuldade e com uso de lupa, há a existência de uma microestrutura soldada como uma colmeia de abelhas”.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) [EMBRAPA, 2006] considera coesos aqueles horizontes que apresentam espessura mínima de 0,3 m, que não satisfaçam os requisitos para fragipã e caráter dúrico. O horizonte coeso, em geral, compreende o horizonte AB e/ou BA e/ou parte do Bw ou Bt, os quais, quando secos, são muito resistentes à penetração do martelo pedológico ou trado e que não apresentam organização estrutural visível e que se desfaz em agregados, com consistência a seco no mínimo dura, sendo normalmente muito dura e às vezes extremamente dura. A consistência úmida varia de friável a firme e a densidade do solo é mais elevada do que nos horizontes adjacentes não coesos. A saturação por bases é baixa ($V < 50\%$) e o teor de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) é menor que 80 g kg^{-1} e o K_i é $< 2,2$ sendo, portanto, cauliniticos.

Segundo Jacomine (2001) uma amostra de um horizonte coeso, quando seco, desmancha ao ser imersa em água. Uma amostra, quando úmida, torna-se friável a firme e deforma-se lentamente ao ser pressionada. Esse aspecto é

que difere o horizonte coeso do fragipã que, ao invés de passar por uma lenta deformação, rompe-se subitamente em fragmentos menores.

O fato do horizonte coeso não apresentar agentes cimentantes visíveis em campo também os difere de outros horizontes com cimentação fraca ou forte, que não se enquadram nos requisitos de caráter coeso (EMBRAPA, 2006).

A densidade do solo de horizontes coesos situa-se na faixa de 1,5 a 1,8 g cm⁻³ (ARAÚJO FILHO et al., 2001), são ácidos (pH entre 4,0 a 5,0), distróficos e podem apresentar elevados teores de alumínio trocável (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000). Apresentam textura franco-arenosa ou mais fina, sendo o grau de coesão proporcional ao aumento do teor de argila e em função do predomínio de goethita como óxido de ferro; apresentam cores amareladas típicas, geralmente bruno - amarelada, tendendo muitas vezes à cores mais pálidas, bruno - amarelado claro, bruno - claro acinzentado ou bruno no matiz 10 YR, com valores 5 e 6 e cromas entre 3 e 6 (RIBEIRO, 2001).

No SiBCS, o caráter coeso é atribuído, principalmente, a Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e, em menor proporção, em Argissolos Acinzentados (JACOMINE, 2001).

A ocorrência de solos coesos, no Brasil, está relacionada à Formação Barreiras (GIAROLA & SILVA, 2002; LIMA et al., 2005), porém existe a constatação de solos vermelhos coesos na região dos Tabuleiros no sul da Bahia, norte do Espírito Santo e nordeste de Minas Geral, nem sempre desenvolvido sobre sedimentos do Grupo Barreiras (CORRÊA et al., 2008).

Estudos relacionados com a coesão em solos iniciaram em 1950, com a intensificação destas pesquisas ocorrida na década de 1980 (LIMA et al., 2004). Apesar do tempo relativamente longo dessas pesquisas no Brasil, os horizontes coesos têm sido mais identificados por parâmetros apenas qualitativos, o que dificulta a distinção de solos coesos e não coesos (GIAROLA & SILVA, 2002).

De forma quantitativa, os principais atributos físicos utilizados na identificação de horizontes coesos são densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, argila dispersa em água, condutividade hidráulica, curva característica de retenção de água no solo e a resistência à

penetração e a consistência avaliados nos estados seco e úmido (CINTRA & LIBARDI, 1998; SILVA et al., 1998; GIAROLA et al., 2003).

Lima et al. (2004) investigaram a ocorrência de solos coesos no estado do Ceará por meio de atributos morfológicos, químicos e físicos. Segundo esses autores, a resistência do solo à penetração de raízes (RP) foi o parâmetro físico mais sensível à coesão. Santana (2003) também concluiu que a RP é sensível para detectar o comportamento coeso, tendo como limitação a necessidade de ser avaliada em uma ampla faixa de umidade.

Hipóteses acerca dos motivos que levaram a formação ou gênese de horizontes coesos têm sido levantadas desde a década de sessenta (MOREAU et al., 2006). Porém, estas ainda não foram completamente esclarecidas (LIMA et al., 2005), podendo estar ligada à vários processos simultâneos (GIAROLA & SILVA, 2002; LIMA, 2004), como teores elevados de argila muito fina (<0,2 μm) translocadas entre horizontes ou dispersas (CORRÊA et al., 2008); presença de sílica e outros aluminossilicatos, que podem atuar como agentes cimentantes temporários (ARAÚJO FILHO et al., 2001); ajuste face a face das argilas (FERREIRA et al., 1999); atuação de ácidos orgânicos na degradação da estabilidade estrutural (MEIRELES & RIBEIRO, 1995); baixos teores de Fe_2O_3 (MOREAU, 2001) e ciclos de umedecimento e secagem (PONTE & RIBEIRO, 1990).

Os horizontes coesos limitam o crescimento do sistema radicular das culturas e reduzem a infiltração de água no solo promovendo a falta de aeração. A redução do sistema radicular contribui para o aumento da deficiência de água, que já é um fator limitante, em virtude da estação seca bem definida destas áreas (RIBEIRO, 2001) e diminui o volume de exploração do solo pelas raízes (SANTANA et al., 2006).

O comportamento discrepante do grau da consistência nos horizontes coesos sugere que a conservação da umidade do solo é importante, não apenas como fator de produtividade das culturas, mas também como um condicionante na redução da resistência física à penetração de raízes (ARAÚJO FILHO et al., 2001).

Cintra et al. (2000) destacam como os principais efeitos negativos dos horizontes coesos ao desenvolvimento das espécies vegetais as alterações no potencial mátrico da água no solo, na aeração do solo, na temperatura e na resistência do solo à penetração de raízes. A baixa disponibilidade de

nutrientes, a alta acidez ativa e a elevada saturação por alumínio são considerados fatores químicos limitantes ao desenvolvimento radicular e à atividade microbiana (REZENDE, 2000).

No Brasil, pesquisas com objetivo de melhorar a qualidade física de solos com horizontes coesos se restringem à práticas mecânicas de preparo do solo, sendo poucos trabalhos desenvolvidos com a aplicação de condicionadores químicos flocculantes (AIMEIDA, 2008), havendo maior número de pesquisas com polímeros hidroabsorventes (AZEVEDO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004). Porém, no cenário internacional, a utilização de polímeros sintéticos solúveis em água, como a poliacrilamida, pode reduzir a força coesiva desses solos quando secos (ALY & LETEY, 1989).

2.4. Poliacrilamida (PAM)

Segundo Barvenik (1994), polímeros solúveis em água formados pela reação de polimerização de unidades de acrilamida e outros monômeros relacionados são denominados poliacrilamida (PAM ou PAMs), sendo considerada como pura aquela poliacrilamida formada por unidades idênticas de acrilamida (homopolímero).

Há centenas de formulações específicas de PAM dependendo do comprimento da cadeia do polímero, o número e tipo de substituições de grupos funcionais ao longo da cadeia. Em PAMs onde ocorrem substituições de grupos funcionais, em cada cinco segmentos da cadeia fornece um sítio com carga (SOJKA & SURAPANEMI, 2000).

Estes compostos compõem uma das classes de polímeros de maior importância comercial (BIKALES, 1973) e possuem inúmeras aplicações industriais, como por exemplo, separação sólido-líquido na clarificação de águas potáveis e residuais, drenagem de lodo, recuperação de petróleo, processamento de alimentos, fabricação de papel e de produtos de higiene pessoal e cosméticos (BARVENIK, 1994).

Pesquisas com PAM como condicionador de solo iniciaram-se na década de 1950 (BARVENIK, 1994), porém as mais promissoras foram desenvolvidas nas últimas duas décadas (GREEN et al., 2000). Neste contexto,

as principais vantagens do uso de PAM são decorrentes da possibilidade de síntese industrial com variáveis características da molécula em termos de tipo e densidade de carga e massa molecular (KIM et al., 2009).

Poliacrilamida catiônica ou aniônica (polieletrólitos) são produzidas pela copolimerização de acrilamidas com comonômeros catiônicos ou aniônicos adequados ou por uma das variedades de sequências de reações de pós-polimerização iniciando com a poliacrilamida homopolímero (MORTIMER, 1991).

O percentual de acrilato de sódio copolimerizado na molécula da PAM é expresso como a densidade de cargas negativas, que varia entre 2 a 40% para PAMs disponíveis comercialmente (BARVENIK, 1994). Especificamente, a densidade de cargas é a porcentagem de grupos acrilamida que tem sido substituído por grupos acrilato de sódio, normalmente denominado porcentagem de hidrólise (GREEN et al., 2000).

A diferença na massa molecular e o tipo iônico de PAM induz a vários mecanismos de ligação entre suas moléculas e a superfície coloidal do solo (THENG, 1982). A maneira pela qual o polímero é adsorvido ao solo é a chave para sua eficiência como agente condicionante (GREEN et al., 2000).

PAMs de alta massa molecular têm maior eficiência na floculação que aqueles de baixa massa molecular (KIM et al., 2009). Em relação ao tipo iônico, PAMs catiônicos e aniônicos são mais efetivos para floculação e estabilização de partículas do solo quando comparados ao PAM neutro (DENG et al., 2006).

Kim et al. (2009), avaliando o efeito de diferentes tipos iônicos, massa molecular (MM) e concentrações de PAMs sobre a micromorfologia de caulinitas, concluíram que a MM teve maior impacto na formação estrutural do mineral que o tipo de carga. Segundo os autores, maiores MM e concentrações resultam em um maior número de monômeros numa única cadeia de polímero e, assim, promovem maiores interações com a superfície da caulinita (pontes de polímero) levando à floculação do sistema.

Os principais mecanismos de interação entre polímeros e as superfícies de argilas são atrações coulombianas (neutralização de cargas), pontes de hidrogênio, interação íon-dipolo e ligações hidrofóbicas (THENG, 1979; LAIRD, 1997; DENG et al., 2006; KIM et al., 2009).

A adsorção de 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).

Os benefícios potenciais da utilização de PAM para a agregação do solo e estabilidade estrutural são influenciados diretamente por complexas relações entre as propriedades do polímero e do solo descritas anteriormente (DENG et al., 2006).

Green et al. (2000) avaliaram o selamento superficial indicado pelas taxas de infiltração de água em solos de diferentes composições mineralógicas, por meio de um simulador de chuvas, com a aplicação de diferentes formulações de PAMs, variando em massa molecular e densidade de cargas. Os autores detectaram que as PAMs promoveram maiores taxas de infiltração em relação ao tratamento controle, porém com diferentes graus de proteção ao solo variando com o tipo de solo. Isto prova que, a eficiência de certo tipo de PAM varia com as propriedades físico-químicas dos solos e que o conhecimento dos mecanismos de interação permite selecionar o produto mais eficaz para cada situação específica.

Os efeitos positivos da poliacrilamida em solos são relacionados à preservação e aumento da agregação do solo e continuidade de poros (GREEN et al., 2004; CAESAR-TON THAT et al., 2008), estabilização da estrutura superficial do solo (DOU et al., 2012), aumento das taxas de infiltração de água e redução do selamento superficial (SEPASKHAH & SHAHABIZAD, 2010), controle da produção de escoamento superficial e erosão do solo (SZÖGI et al., 2007), redução do tempo de sedimentação de partículas suspensas no escoamento superficial (LENTZ & SOJKA, 1994), redução da resistência à penetração (BUSSCHER et al., 2009), desenvolvimento de comunidades de microorganismos (CAESAR-TON THAT et al., 2008) e melhoria na qualidade da água de escoamento (LENTZ et al., 1998).

Neste contexto, para Sojka et al.,(1998), os dois maiores benefícios da aplicação de PAM em solos para a agricultura são o controle da erosão e o aumento das taxas de infiltração. PAMs aniônicos, também, são comumente utilizados para estabilização de solos que não possuem cobertura natural devido ao cultivo ou construções (FLANAGAN & CANADY, 2006).

Um estudo preliminar desenvolvido por Lentz & Sojka (1994) indicou que o uso de PAM em campo não apenas reduziu a perda de solo como também permitiu a redução de perdas de nutrientes pelo escoamento em sulcos.

Pesquisas comprovam que a eficiência da PAM como condicionador de solos depende das concentrações ou quantidades aplicadas ao solo. Neste sentido, vários autores têm concluído que a adição de pequenas quantidades de PAM (10-20 kg ha⁻¹) aplicadas sobre a superfície do solo foi eficaz na manutenção de alta permeabilidade, na diminuição do escoamento superficial e de níveis de erosão, principalmente quando a PAM foi aplicada com fontes de eletrólitos (MAMEDOV et al., 2007; SZÖGI et al., 2007; SEPASKHAH & SHAHABIZAD, 2010).

Certas características da PAM representam algumas possíveis limitações que refletem na sua eficiência como condicionador de solos. São elas: PAMs são degradadas pela luz e por colapso mecânicos em taxas de aproximadamente 10% ao ano, devido às reações e processos físicos, químicos, biológicos e fotoquímicos (BUSSCHER et al., 2009); a viscosidade das soluções (AJWA & TROUT, 2006), em que, quanto maior a massa molecular maior é a viscosidade, representando problemas à sua dissolução em água e aplicação no campo.

Há poucos relatos da degradação da PAM por microorganismos, porém novas pesquisas indicaram que microorganismos podem utilizar a PAM como fonte de nitrogênio (WEN et al., 2010).

De fato, a viscosidade da solução de PAM tem sido um problema para aqueles que usam PAM. Em altas concentrações, a solução resultante passa a ter viscosidade elevada, o que tem acarretado na diminuição da condutividade hidráulica do solo (MALIK & LETEY, 1992) sendo reduzida com a presença de eletrólitos, principalmente sais de cálcio (AJWA & TROUT, 2006).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral: Avaliar a qualidade de dois solos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco inferida pela redução do caráter coeso e melhoria das propriedades físico-hídricas, com a aplicação de Poliacrilamida como condicionador químico.

3.2. Objetivos Específicos:

- Avaliar a melhoria da qualidade dos horizontes coesos promovida pela ação da Poliacrilamida por meio dos atributos físicos indicadores da coesão;
- Comparar os efeitos da Poliacrilamida nos dois horizontes coesos selecionados relacionando os efeitos com características pedogenéticas;
- Selecionar os atributos físicos mais sensíveis à coesão;
- Definir a concentração de Poliacrilamida com maior eficiência para melhoria da qualidade dos solos de estudo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e características climáticas das áreas de estudo

O estudo foi realizado em dois ambientes situados no Estado de Pernambuco: (i) no município de Goiana, mais precisamente na Estação Experimental de Itapirema, pertencente ao Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco (IPA), de coordenadas 07°37'30" S e 34°57'30" W de Greewinch, com clima Ams' de acordo com a classificação de Köppen, pluviosidade média anual é de 2.002,8 mm, onde domina a vegetação do tipo floresta tropical subperenifólia; (ii) no município de Serinhaém, inserida no Engenho Buranhem, a 5 km da sede da Usina Trapiche, situado nas coordenadas 08° 36' 47" S e 35° 19' 36" W de Greewinch, com clima As' segundo a classificação de Köppen. Nesta região, a pluviosidade média anual é de 1.309,9 mm e a cobertura vegeta predominante é do tipo floresta tropical subperenifólia.

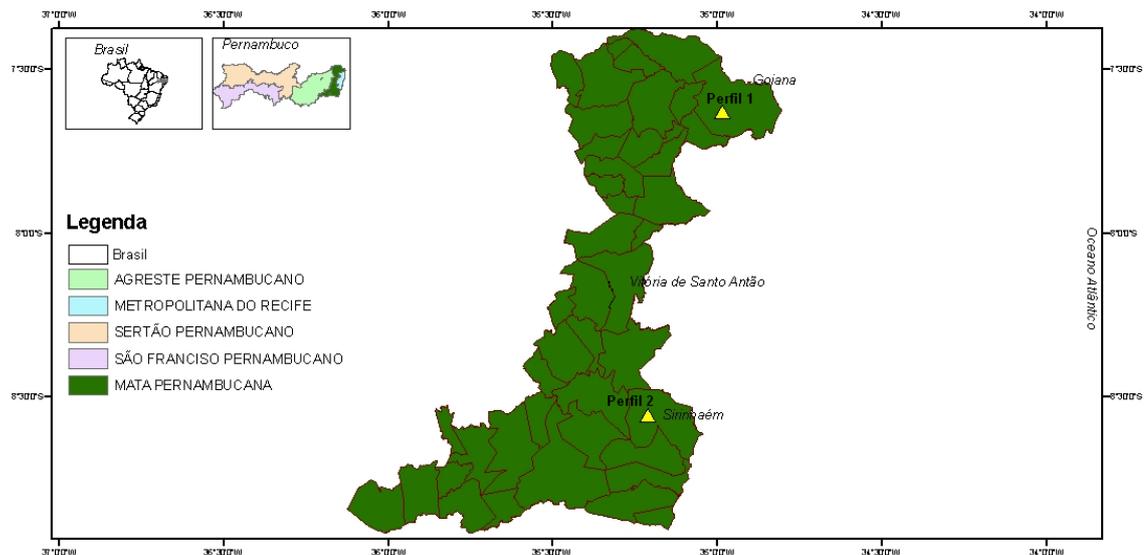


Figura 1. Localização dos dois perfis avaliados.

4.2. Caracterização e classificação dos perfis de estudo e seleção dos horizontes.

Foram avaliados dois perfis de solos, ambos com manifestação do caráter coeso em horizontes subsuperficiais, com ocorrência em profundidades distintas. No município de Goiana, o solo foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico, denominado neste estudo de P1 (Figura 1a). Em Serinhaém, o solo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, referido como P2 (Figura 2). Ambos os solos foram classificados de acordo com o SiBCS (EMBRAPA 2006).

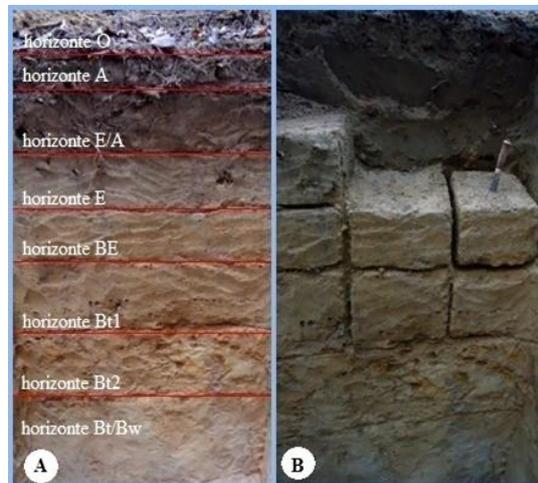


Figura 2. Perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (P1): (a) separação e descrição dos respectivos horizontes; (b) detalhes da preparação de cada horizonte para amostragem dos blocos do solo.

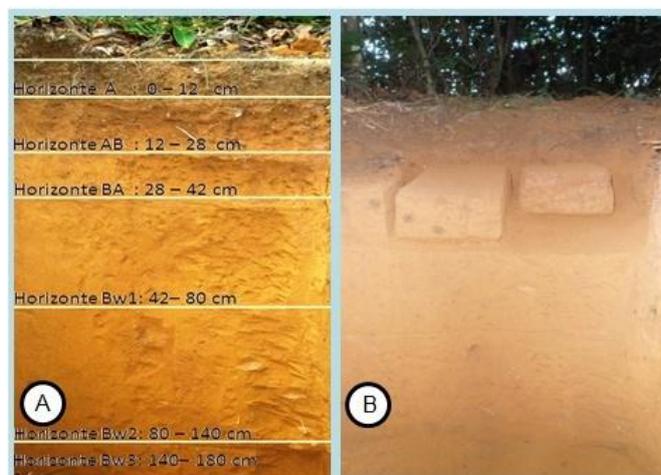


Figura 3. Perfil do Latossolo Amarelo Distrocoeso (P2): (a) delimitação e descrição dos horizontes; (b) preparação dos horizontes para coleta dos blocos.

Os dois perfis ocorrem sob vegetação nativa, o que isenta a ação antrópica como possível motivadora da coesão. Isto possibilita a discussão da gênese desse caráter fundamentada nos processos pedogenéticos e, ao mesmo tempo em que, reflete na semelhança de condições as quais os solos estão submetidos, sendo esta a razão para escolha dessas áreas.

A seleção de horizontes para o estudo foi realizada baseado em características morfológicas mais precisas no diagnóstico do caráter coeso. No perfil P1, além da seleção do horizonte Bt1, que expressou a máxima coesão, foram coletados dois horizontes não coesos (E e Bw/Bt) servindo de referencial entre horizontes coesos e não coesos. Para efeito comparativo quanto à coesão, no perfil P2 foi selecionado o horizonte de caráter coeso mais característico (horizonte BA). A coleta de horizontes que se distinguem, sobretudo nas características morfológicas, as quais são primordiais ao estudo qualitativo prévio, permite elucidar quanto aos principais parâmetros quantitativos indicadores do caráter coeso. Além disso, com a adição de um horizonte coeso oriundo de outro perfil há a possibilidade de efeito comparativo entre os parâmetros indicadores entre estes horizontes de mesmo caráter (coeso), porém com diferentes características pedogenéticas.

A caracterização física (Tabela 1), assim como, as características químicas (Tabela 2) dos perfis de estudo encontram-se a seguir.

Tabela1. Caracterização física dos dois perfis de solos (P1 e P2) avaliados

ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico (P1)												
Horizonte	Análise Granulométrica ²						ADA	Silte/Argila	ID ⁴	IF ³	Dp ⁵	Ds
	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila							
g kg ⁻¹						Kg dm ⁻³						
A	912,07	713,39	198,68	12,38	75,54	25,18	0,16	0,33	0,67	2,56	—	
EA	876,88	622,12	254,76	21,22	101,90	50,95	0,21	0,50	0,50	2,61	1,52	
E ¹	855,11	720,0	135,11	18,61	126,27	101,02	0,15	0,80	0,20	2,60	—	
Bt1 ¹	648,41	438,85	209,56	14,00	337,58	155,81	0,04	0,46	0,54	2,63	1,67	
Bt2	648,91	474,12	174,79	10,94	340,15	0,00	0,03	0,00	1,00	2,60	—	
Bt3	632,01	480,33	151,68	3,12	364,87	0,00	0,01	0,00	1,00	2,61	—	
Bw/Bt ¹	591,06	413,17	177,89	29,89	379,06	0,00	0,08	0,00	1,00	2,56	1,22	
LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (P2)												
A	393,72	300,73	92,99	62,32	543,96	388,54	0,11	0,71	0,29	2,63	—	
AB	327,03	250,13	76,90	25,65	647,32	0,00	0,04	0,00	1,00	2,67	—	
BA ¹	369,43	284,82	84,62	63,00	567,57	0,00	0,11	0,00	1,00	2,72	1,33	
Bw1	350,35	268,22	82,13	51,86	597,78	0,00	0,09	0,00	1,00	2,65	—	
Bw2	341,70	265,13	76,57	37,50	620,80	25,87	0,06	0,04	0,96	2,70	—	
Bw3	259,43	184,53	74,90	14,88	725,69	0,00	0,02	0,00	1,00	2,74	—	

¹ Horizontes selecionados para o estudo ² Método do densímetro com leitura da fração argila realizada com 24h de repouso (ALMEIDA, 2008) ³ IF= [(Argila - ADA)/Argila] ⁴ ID= 1-IF ⁵ Método do Balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Tabela 2. Caracterização química dos dois perfis de solos (P1 e P2) avaliados

Perfil	Hor	pH (H ₂ O) ²	pH (KCl) ²	Δ pH ³	PCZ ⁴	Complexo de troca						SB	CTC _{ef}	CTC _{pot}	V	m	PST	P
						Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺							
P1	A	4,83	3,60	-1,24	2,36	0,16	0,48	31,9	1,82	2,17	14,5	34,35	36,52	48,85	70,32	5,93	0,32	18,32
	EA	4,72	3,7	-1,02	2,67	0,00	0,21	10,78	1,11	3,83	13,5	12,09	15,93	25,59	47,25	24,07	0,00	5,40
	E ¹	4,98	3,92	-1,06	2,89	0,00	0,17	10,62	0,34	2,83	12,5	11,13	13,96	23,63	47,10	20,29	0,00	5,13
	Bt1 ¹	4,94	3,91	-1,03	2,88	0,18	0,13	11,30	0,75	3,17	14,50	12,37	15,53	26,87	46,03	20,39	0,69	3,10
	Bt2	4,88	3,93	-0,95	2,97	0,10	0,16	8,71	0,32	5,00	15,00	9,29	14,29	24,29	38,26	34,98	0,41	4,78
	Bt3	5,10	3,96	-1,15	2,81	0,18	0,36	8,72	0,68	5,33	14,50	9,95	15,28	24,45	40,69	34,90	0,75	5,22
	Bw/Bt ¹	5,06	4,35	-0,71	3,65	0,10	0,00	6,31	0,53	3,50	17,00	6,94	10,44	23,94	29,00	33,52	0,41	9,03
P2	A	4,67	3,74	-0,93	2,81	1,05	1,14	6,12	2,94	14,50	34,00	11,24	25,74	45,24	24,85	56,32	2,32	13,19
	AB	4,82	4,05	-0,78	3,27	0,45	0,25	5,84	1,79	7,67	22,50	8,33	16,00	30,83	27,02	47,92	1,47	6,46
	BA ¹	4,81	4,15	-0,66	3,49	0,21	0,06	5,91	0,81	1,67	18,50	6,98	11,32	25,48	27,40	38,29	0,83	6,37
	Bt1	5,02	4,45	-0,57	3,88	0,06	0,00	5,85	1,33	4,33	16,50	7,24	8,91	23,74	30,50	18,71	0,24	6,55
	Bt2	4,87	4,61	-0,26	4,35	0,00	0,00	5,44	0,81	1,00	16,00	6,25	7,25	22,25	28,08	13,80	0,00	8,05
	Bt3	4,96	4,33	-0,63	3,70	0,06	0,18	5,48	0,50	2,83	18,25	6,22	9,05	24,47	25,42	25,42	31,30	6,11

¹ Horizontes selecionados para o estudo ² suspensão TFSA:solução na proporção 1:2,5 (V:V) ³ Δ pH= pH_{KCl}-pH_{H₂O} (MEKARU & UEHARA, 1972) ⁴ Estimado pela equação PCZ= 2(pH_{KCl})-pH_{H₂O} (KENG & UEHARA, 1974).

4.3. Condicionador químico, tratamentos e atributos avaliados

Visando atenuar a coesão entre partículas da fração mineral coloidal dos solos estudados, foram avaliados os mecanismos de atuação do polímero de caráter aniônico, de elevado peso molecular, à base de Poliacrilamida (PAM) e de natureza sintética, fabricado pela Cytac (Poliacrilamida Superfloc A-130), com massa molecular e densidade de carga (hidrólises) de $15,0 \text{ Mg mol}^{-1}$ e 35%, respectivamente.

A aplicação de PAM aos solos foi realizada em diferentes concentrações (soluções aquosas), a saber: $12,5 \text{ mg kg}^{-1}$; $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$; $100,0 \text{ mg kg}^{-1}$ e o tratamento controle, ou seja, com aplicação de água destilada.

As alterações acarretadas pela ação da PAM nos horizontes estudados foram diagnosticadas pelos principais atributos indicadores do caráter coeso em solos. Para isso, foram determinados a estabilidade e distribuição por classe de diâmetro de agregados, a resistência do solo à penetração de raízes (RP); condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}); porosidade total (macro, meso e microporosidade), o limite de plasticidade (LP) e a curva característica de retenção de água no solo (CCRAS). Como atributos químicos e físico-químicos foram determinados: Al^{3+} trocável, capacidade de troca de cátions e argila dispersa em água (ADA).

4.4. Coleta de amostras e aplicação de PAM em laboratório

Foram coletadas amostras não deformadas, representadas na forma de blocos. A aplicação das soluções de PAM nas diferentes concentrações foi realizada lentamente, por capilaridade, minimizando, deste modo, a perturbação ou alteração do arranjo entre as partículas do solo, mantendo-se a distribuição, continuidade e volume do espaço poroso.

4.4.1. Coleta de amostras em blocos não deformados, preparação dos agregados e aplicação dos tratamentos

As amostras foram coletadas em campo na forma de blocos não deformados (Figuras 1b e 2b), os quais foram envolvidos inicialmente com plástico filme, depois com plástico-bolha, acondicionados em caixas de isopor, para manter sua estrutura preservada. Após o transporte para o laboratório de Física do Solo da UFRPE, estes foram inseridos em bandejas plásticas

forradas com espuma de aproximadamente 20 mm de espessura e umedecidos com água destilada (Figura 3a). Após o umedecimento, os blocos foram fracionados para a obtenção de agregados (Figura 3b). O tamanho médio dos agregados utilizados foi arbitrado de acordo com o parâmetro físico a ser determinado e obtido por jogo de peneiras (Figura 3c).

Os agregados confeccionados foram inseridos em espumas de 20 mm de espessura previamente umedecidas com os tratamentos (soluções aquosas de PAM e o tratamento controle) e a aplicação sendo realizada por capilaridade, permanecendo por 72 h nesta condição.

Após este período, os agregados foram removidos e secos ao ar para posterior determinação dos ensaios referentes à estabilidade e distribuição de agregados por tamanho.

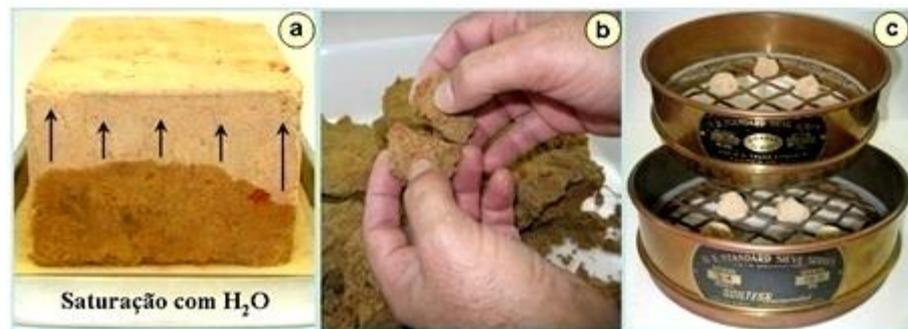


Figura 4. Detalhes do processo de coleta das amostras: (a) saturação dos blocos; (b) separação manual dos agregados; (c) tamanho médio dos agregados.

4.4.2. Coleta de amostras em blocos não deformados, obtenção de amostras contidas em anéis volumétricos e aplicação dos tratamentos

Outra parte dos blocos coletados em campo foram envolvidos por uma camada protetora de gesso de 50 mm e reservados para inserção dos anéis volumétricos (Figura 4a). O reforço das paredes dos blocos com gesso se justifica, uma vez que seriam submetidos a uma pressão no momento da coleta com os anéis (Figura 4b).

Por meio de um aparelho que permite a coleta de amostras de forma contínua e sem a necessidade de golpear o solo (como no caso dos amostradores tipo Uhland), a qual promoveria a compactação da região perturbada pela execução dos golpes, anéis volumétricos, constituídos de aço

inoxidável foram inseridos aos blocos não deformados, previamente umedecidos, nos horizontes coesos e não coesos.

Para aplicação dos tratamentos, as amostras (contidas nos anéis) foram colocadas em bandejas plásticas forradas com espuma de, \cong 20 mm de espessura, contendo as soluções aquosas de PAM e o tratamento controle (Figura 4c).

Após 72 h de saturação, as amostras foram secas ao ar reservadas para os ensaios físico-hídricos referentes à K_{sat} , macro, meso e microporosidade, porosidade total, resistência à penetração e curva característica de retenção de água no solo.



Figura 5. Etapas de obtenção de amostras: (a) condicionamento dos blocos não deformados; (b) coleta de amostras na forma de anéis volumétricos.

4.4.3. Aplicação dos tratamentos em terra fina seca ao ar (TFSA)

Para os atributos que utilizam amostras representadas em TFSA, esta foi obtida a partir do material não utilizado dos blocos, ou seja, a fração restante após a confecção de agregados e da coleta dos anéis volumétricos. Após secagem ao ar, destorroamento e passagem em peneira de malha com abertura de 2 mm, o material foi inserido em colunas constituídas de PVC, (\varnothing = 10 cm; h = 15 cm) previamente forradas na base. Após procedimentos para compactação do solo na coluna, estas foram colocadas em recipientes apropriados, contendo os tratamentos (soluções aquosas de PAM e o tratamento controle), que foram aplicados por capilaridade até a saturação completa das amostras, as quais foram mantidas nesta condição por 72 horas. Em seguida, o material foi seco ao ar e realizados os procedimentos de rotina para obtenção da TFSA tratada (TFSA_t).

Com a TFSA_t, foram determinados o limite de plasticidade, a capacidade de troca de cátions, os teores de Al³⁺ trocável e argila dispersa em água.

4.5. Determinação dos atributos físicos indicadores da coesão

4.5.1. Agregados estáveis em água e distribuição por classe de diâmetro.

Para estes ensaios, foram utilizados agregados confeccionados manualmente, com diâmetro médio de 5,90 mm (passados em peneira de 7,1 mm e os mesmos retidos em peneira de 4,70 mm de abertura entre malhas) e submetidos aos tratamentos como descrito no item 4.4.1. Após secagem ao ar, para inibir o efeito da umidade antecedente, os agregados foram submetidos à separação via úmida por peneiramento (YODER, 1936), comentado a seguir.

Antecedendo o peneiramento úmido, os agregados submetidos aos tratamentos, foram umedecidos lentamente por capilaridade durante 15 min tendo como objetivo a eliminação do ar aprisionados intraagregados, evitando-se o aumento brusco da pressão interna durante o peneiramento, o que causaria o esboroamento dos agregados. A mesa de peneiramento usada neste ensaio é composta de três cilindros, comportando cada cilindro uma série de cinco peneiras acopladas entre si com diferentes aberturas de malhas: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,125 mm, onde se colocam os agregados (25 g), que ficam imersos em água, enquanto um êmbolo, com movimentos na vertical (amplitude de 5 cm) eleva e abaixa todo conjunto. O tempo de agitação (oscilação) foi de 10 min.

A distribuição de agregados por classe de diâmetro foi expressa pelo diâmetro médio ponderado (DMP) [equação 3] e pelo diâmetro médio geométrico (DMG) [equação 4] ambos conforme Nimmo & Perkins, (2002)

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

sendo: Xi, diâmetro médio das classes (mm); Wi, proporção de cada classe em relação ao total.

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

sendo: n, agregados estáveis em cada classe (%)

No procedimento analítico, foi considerado como material inerte a fração da amostra cujo diâmetro superou 2,0 mm (cascalho) a qual foi removida por não estar diretamente envolvida no processo de agregação.

Para mensurar a influência da aplicação das soluções aquosas de PAM no DMP e no DMG dos horizontes de estudo em relação ao tratamento controle foi utilizado o índice de sensibilidade (I_s) conforme sugerido por Bolinder et al., (1999), que se baseia no princípio da comparação relativa entre os tratamentos, além de permitir comparar as respostas entre horizontes quanto à ação da PAM. O I_s foi calculado pela seguinte equação:

$$I_s = \frac{A_s}{A_c} \quad (5)$$

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

4.5.2. Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS)

Após as etapas descritas no item 4.4.2, as amostras contidas nos anéis foram saturadas por capilaridade com água destilada em bandejas plásticas forradas com espuma de 20 mm de espessura. Em seguida, foram conduzidos à mesa de tensão para aplicação das pressões (tensões) e obtenção das umidades equilibradas nos respectivos potenciais mátricos para confecção do intervalo de baixa tensão da curva característica de retenção de água no solo (Figura 5) relacionando a umidade volumétrica equilibrada às tensões de 0, -1, -6, -10, kPa.



Figura 6. Amostras de solos em mesa de tensão.

Na mesa de tensão, após o estabelecimento do equilíbrio entre a amostra e a tensão submetida, o qual foi obtido com intervalo de 12 h (diagnosticado pelo fim do gotejamento), as amostras eram pesadas e colocadas novamente na mesa para aplicação das tensões seguintes.

Para a obtenção do intervalo de alta tensão da CCRAS, os dados obtidos para cada amostra, foram ajustados à equação (5), conforme sugere van Genuchten (1980), utilizando o software “Retention Curve” - RetC (GENUCHTEN et al., 1994) na determinação dos parâmetros desta equação.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot \Psi)^n]^m} \quad (6)$$

sendo: θ , a umidade atual do solo; θ_r , a umidade residual; θ_s , a umidade de saturação, todas expressas em ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); Ψ , a tensão com que a água está retida no solo (cca); α (cm^{-1}), n e m os parâmetros empíricos da equação. Para o cálculo do valor de m, foi utilizada a expressão $m = 1 - 1/n$, conforme sugere van Genuchten (1980).

4.5.3. Condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat})

Após a aplicação dos tratamentos, secagem e ressaturação com água, a K_{sat} das amostras contidas nos anéis foi quantificada pelo método do permeâmetro de carga constante (BOOLTINK & BOUMA, 2002) e calculada por meio da Lei de Darcy cuja dedução nos fornece a seguinte relação (equação 7):

$$K_{\text{sat}} = \frac{V_a \cdot L}{A \cdot t \cdot (h + L)} \quad (7)$$

sendo: K_{sat} a condutividade hidráulica saturada (cm h^{-1}); V_a o volume de água coletado (cm^3); L, a altura de coluna de solo (cm); A, a área da seção transversal (cm^2); h, a lâmina de água acima da superfície do solo (cm); e t, o tempo de coleta (h).

4.5.4. Porosidade total (Pt), umidade na macro, meso e microporosidade.

A porosidade do solo (total, macro, meso e micro) foi obtida durante os ensaios em mesa de tensão.

A porosidade total do solo foi determinada pela umidade volumétrica de saturação, sendo o volume de água de saturação correspondente ao volume de poros. As amostras foram saturadas e (após a realização da CCRAS), foram secas em estufa a 105 °C para quantificação do volume de poros (obtido pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco), conforme equação (8):

$$P_t = \frac{V_p}{V_t} \quad (8)$$

sendo: P_t , a porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); V_p o volume de poros (cm^3) e V_t , o volume do anel volumétrico utilizado na coleta (cm^3).

A macroporosidade foi quantificada após a aplicação do potencial mátrico correspondente a -1 kPa ou 10 cca (mesa de tensão), sendo calculada pela relação entre o volume de água contido entre a saturação e equilibrada a -1 kPa (volume de macroporos) e o volume do anel, utilizando a equação (9):

$$\text{MACRO} = \frac{V_{\text{macro}}}{V_t} \quad (9)$$

sendo: MACRO, a macroporosidade, expressa em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; V_{macro} , o volume de água retirado da amostra após aplicada e equilibrada a tensão de -1 kPa, expressa em cm^3 ; e V_t , o volume do anel (cm^3).

Após equilibrada a tensão de -1 kPa, a umidade na mesoporosidade, foi determinada aplicando-se a tensão correspondente à -6 kPa ou -60 cca, e calculada pela equação 10.

$$\text{MESO} = \frac{V_{\text{meso}}}{V_t} \quad (10)$$

sendo: MESO, a mesoporosidade, expressa em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; V_{meso} , o volume de água retirado da amostra após aplicada e equilibrada a tensão entre -1 kPa e -6 kPa, expressa em cm^3 ; e V_t , o volume do anel (cm^3).

A microporsidade foi quantificada subtraindo-se da porosidade total a macro e mesoporosidade (equação 11).

$$\text{MICRO} = P_t - (\theta_{\text{macro}} + \theta_{\text{meso}})$$

sendo: MICRO, a microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

4.5.5. Resistência do solo à penetração de raízes (RP)

Após determinação da CCRAS, e equilíbrio na última tensão aplicada (-10 kPa) o conjunto anel-amostra foi pesado e realizado os ensaios de RP determinada por meio de um penetrômetro eletrônico de bancada (Figura 6), substituindo a placa para ruptura por uma agulha, simulando a penetração das raízes no solo. O penetrômetro operou com uma velocidade de 1 cm min^{-1} e com o cone de base de 4 mm de espessura. Ao aparelho estava acoplado um computador para aquisição dos dados.

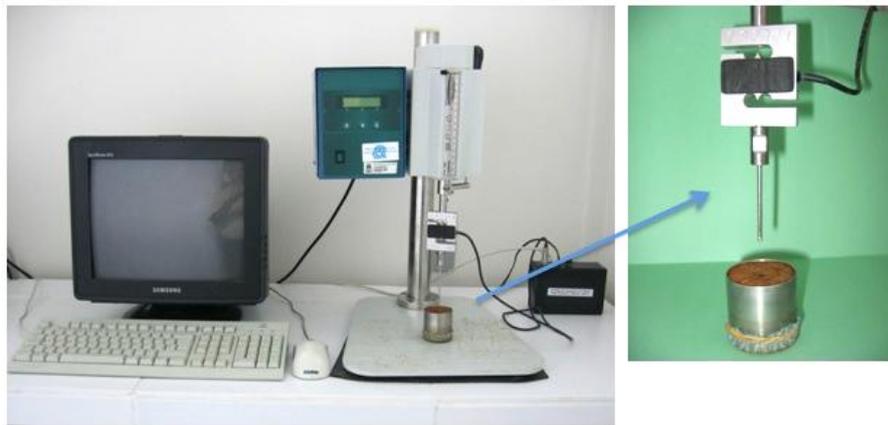


Figura 7. Aparatos de determinação da resistência do solo à penetração de raízes, com detalhes no conjunto célula de carga-agulha.

4.5.6. Argila dispersa em água (ADA)

Com a TFSA_t, descrito no item 4.4.3, foram quantificados os teores de ADA e o procedimento analítico de sua determinação foi de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1997) com a leitura da fração argila realizada às 24 h de repouso da suspensão TFSA:água como sugerido por Almeida (2008).

4.5.7. Limite de Plasticidade (LP),

Com a TFSA_t, foi realizado um novo destorroamento e, desta vez, utilizou-se o material passado através de uma peneira de 0,425 mm de abertura de malha para determinação dos limites de Atterberg.

O limite de plasticidade (LP) corresponde à umidade na qual, ao se moldar um cilindro de solo com 0,003 m de diâmetro, surgem fissuras na superfície. O

LP foi determinado seguindo a Norma Técnica ABNT/NBR 7180/84 (ABNT, 1984)

4.5.8. Atributos químicos

Ainda com a TFSA_t, foram determinados a capacidade de troca catiônica (CTC) pelo método do cátion índice, a partir da saturação da amostra com acetato de sódio (1,0 mol L⁻¹) tamponado a pH 8,2 e posterior extração com acetato de amônio (1,0 mol L⁻¹) ajustado a pH 7,0 (RICHARDS, 1954). Os teores de alumínio trocável foi quantificado por titulometria de neutralização utilizando NaOH (0,0025 mol L⁻¹) como reagente (EMBRAPA, 1997)

4.6. Análise estatística

Nas amostras representadas na forma de agregados, anéis volumétricos e TFSA foram aplicados quatro tratamentos, sendo três soluções aquosas de PAM, as quais foram sintetizadas nas concentrações de 12,5 mg kg⁻¹, 50,0 mg kg⁻¹ e 100,0 mg kg⁻¹ e, como tratamento controle, foi utilizada água destilada.

Para todos os ensaios foi utilizado o delineamento em blocos casualizados. Nas amostras na forma de anéis volumétricos, foram utilizadas quatro repetições, ou seja, coletaram-se 16 anéis por horizontes, totalizando 64 unidades experimentais (16 anéis x 4 horizontes avaliados). Os ensaios com as amostras em agregados e TFSA foram realizados com três repetições, totalizando 48 unidades experimentais (4 horizontes avaliados x 4 tratamentos x 3 repetições).

Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva e submetidos à análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico SAEG, versão 9.1- 2009.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Estabilidade de agregados

A aplicação das soluções aquosas de PAM aumentou estatisticamente a estabilidade em água de agregados dos horizontes coesos dos dois perfis de solos avaliados, mantendo-os na classe de maior diâmetro (4,71-2,00 mm) após o peneiramento úmido (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição das classes de diâmetros de agregados estáveis em água dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Classe de diâmetro mm	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV
		Controle	12,5	50,0	100,0	
Perfil 1						
E	4,71 a 2,00	50,68 A	64,27 A	61,53 A	80,87 A	16,88
	2,00 a 1,00	4,34 A	6,11 A	6,27 A	3,50 A	36,88
	1,00 a 0,50	11,46 A	8,82 A	10,52 A	5,03 A	31,07
	0,50 a 0,25	17,72 A	12,23 A	12,23 A	6,16 A	33,31
	0,25 a 0,125	11,14 A	6,28 A	6,81 A	3,22 A	34,98
Bt1 (coeso)	4,71 a 2,00	6,70 B	17,65 B	37,72 A	44,83 A	28,87
	2,00 a 1,00	9,03 B	14,08 A	15,70 A	16,47 A	18,69
	1,00 a 0,50	26,19 A	28,60 A	21,11 B	18,47 B	10,33
	0,50 a 0,25	35,74 A	25,40 B	16,24 C	13,07 C	10,15
	0,25 a 0,125	15,76 A	9,70 B	6,59 B	4,79 C	18,60
Bw/Bt	4,71 a 2,00	92,85 A	93,51 A	92,85 A	94,35 A	1,58
	2,00 a 1,00	2,03 A	1,87 A	1,71 A	2,02 A	26,01
	1,00 a 0,50	1,84 A	1,79 A	1,64 A	1,62 A	29,45
	0,50 a 0,25	1,60 A	1,60 A	1,33 A	1,18 A	22,56
	0,25 a 0,125	0,93 A	0,87 A	0,82 A	0,62 A	24,66
Perfil 2						
BA (coeso)	4,71 a 2,00	60,31 B	71,43 B	68,57 B	89,14 A	7,71
	2,00 a 1,00	18,11 A	13,92 A	15,93 A	5,29 B	18,46
	1,00 a 0,50	12,74 A	9,00 A	9,42 A	3,35 B	23,34
	0,50 a 0,25	5,92 A	3,83 A	4,25 A	1,50 B	25,36
	0,25 a 0,125	2,02 A	1,31 A	1,18 A	0,56 A	23,89

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Os maiores valores foram obtidos com a dosagem de 100,0 mg kg⁻¹, sendo de 80,87; 44,83; 94,35; 89,14% para os horizontes E, Bt1(coeso), Bw/Bt e BA (coeso), respectivamente, embora não sendo estatisticamente significativo ($p < 0,05$) para os horizontes E e Bw/Bt (não coeso). Estes resultados representam um aumento da estabilidade em relação ao tratamento

controle de 59,57; 569,10; 1,62 e 47,80% para mesma sequência de horizontes, na faixa de diâmetro supracitada.

Os horizontes E e o Bw/Bt apresentaram agregação natural relativamente alta (50,68 e 92,85%, respectivamente), quando comparado aos outros horizontes. O primeiro, apesar da textura arenosa, com teor de areia de 855,11 g kg⁻¹ (Tabela 2), contém altos teores da matéria orgânica, que tem um importante papel na formação e estabilização de agregados (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; SILVA & MIELNICZUK 1997; SILVA et al., 2006). O último apresenta agentes inorgânicos cimentantes visíveis, o que protege e impede a ação desagregante da água. Desta forma, os diferentes efeitos promovidos pela maior concentração de PAM à estabilidade de agregação refletem bem às características intrínsecas de cada horizonte estudado.

Segundo Liu et al. (2009), a aplicação de soluções estabilizantes de estrutura em solos criam interações físico-químicas entre as moléculas do polímero hidrofílico e partículas constituintes dos agregados por meio de ligações iônicas, pontes de hidrogênio, forças de Van der Waals que variam de acordo com as características dos agregados, assim como, com a dinâmica da solução polimérica. Assim, macromoléculas que envolvem a superfície dos agregados formam uma membrana elástica e viscosa que garante a estabilidade da estrutura. Porém, de acordo com os mesmos autores, a eficiência da estabilização depende diretamente da capacidade de revestimento do polímero que é atribuída, principalmente, à massa molecular; polímeros de baixa massa molecular não são capazes de envolver completamente a superfície dos agregados, estas moléculas penetram na estrutura e revestem, apenas, os agregados secundários; ao contrário, polímeros de alta massa molecular que envolvem rapidamente a superfície do agregado, desta forma, limitando a entrada de água, como ocorre com a poliacrilamida (15,0 Mg mol⁻¹).

A presença de grupos hidrofílicos ao longo da macromolécula de PAM como COOH, CONH₂, NH₂ favorecem ligações com cátions (pontes de cátions) além de pontes de hidrogênio com os agregados dos solos caracterizando a natureza da interação polímero-solo (LAIRD, et al., 1997; LIU, et al., 2009).

Mamedov et al. (2007) avaliaram a performance da PAM como agente estabilizante de agregados de solos em função da sua massa molecular, força iônica da solução, teor de argila e tamanho inicial de agregados, e concluíram

que a estabilização aumentou com o incremento do conteúdo de argila, com a maior concentração eletrolítica (na ausência de PAM) e com uso de PAM comparados com o tratamento controle.

Em relação ao tamanho de agregados do material de textura fina, aqueles inicialmente menores foram mais estáveis que os mais grosseiros indicando que a maior parte da PAM aplicada foi adsorvida pela superfície externa e apenas uma pequena fração penetrou no interior dos agregados. Ainda, diante da interação significativa entre todos os tratamentos testados, não houve como indicar qual PAM (de alta ou baixa massa molecular) é preferível, ficando evidente a complexidade da relação.

A apresentação da estabilidade de agregados por classe de diâmetro é uma importante ferramenta não apenas para o estudo da qualidade estrutural do solo, como também por inferir a respeito das suas propriedades físico- hídricas diante da interrelação entre a distribuição do tamanho de poros do solo e o diâmetro das unidades estruturais formadas pela união de partículas primárias, dando suporte a outras variáveis.

Busscher et al. (2007), utilizando PAM aniônica (12 mg mol^{-1} e 35% de densidade de carga), obtiveram maior agregação com o aumento da concentração de PAM quando aplicada em solo franco-arenoso com cimentação, utilizando doses de 30 e 120 mg kg^{-1} .

A estabilidade de agregados é um parâmetro bastante complexo e sua importância para a qualidade do solo ocorre em virtude da sua influência em várias propriedades como a estabilização do carbono orgânico, porosidade do solo, infiltração e retenção de água, aeração, resistência à erosão, assim, a manutenção de uma alta estabilidade de agregados com maiores diâmetros é fundamental para a preservação da produtividade dos solos (AN et al., 2010).

Green et al. (2000) detectaram que a massa molecular da PAM aniônica foi efetiva na estabilização de solos de textura grossa, porém não teve a mesma capacidade quando aplicada em solo de textura fina.

5.2. Distribuição de agregados por tamanho

O fato das soluções de PAM deste estudo promoverem a estabilidade estrutural na maior faixa de diâmetro avaliada repercutiu diretamente no DMP de agregados dos horizontes coesos e não coesos, que foi superior com a aplicação da dose mais concentrada, diferindo do tratamento controle ($p < 0,05$),

exceto para o horizonte E e Bw/Bt onde não foram observadas diferenças significativas (Tabela 4). Obtivemos valores de DMP de 2,83; 1,95; 3,21; 3,10 mm para os horizontes E, Bt1, Bw/Bt e BA, respectivamente quando aplicada a dose de 100,0 mg kg⁻¹.

A qualidade estrutural expressa pelo DMP é um importante indicador da qualidade do solo. Maiores valores desta variável indicam uma condição física mais favorável ao desenvolvimento das culturas em decorrência da melhor distribuição espacial de tipo de poros (porosidade estrutural e textural) o que permite um menor impedimento à penetração do sistema radicular, melhor retenção de umidade, redução do escoamento superficial e boa aeração. Além disso, relaciona-se positivamente com carbono orgânico, macroporosidade, grau de flocculação, argila dispersa em água e microporosidade (SILVA et al., 2006).

Tabela 4. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— DMP (mm) —————					
Perfil 1					
E	1,94 A	2,37 A	2,30 A	2,83 A	12,86
Bt1 (coeso)	0,73 C	1,14 B	1,73 A	1,95 A	14,67
Bw/Bt	3,16 A	3,18 A	3,16 A	3,21 A	1,20
Perfil 2					
BA (coeso)	2,41 B	2,69 B	2,62 B	3,10 A	4,89

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

É importante destacar a estreita relação entre o comportamento adsorptivo da PAM com o material de solo e sua eficiência como condicionante. Levy & Miller (1999) relacionaram a dinâmica de adsorção de PAM aniônica à estabilidade de agregados com tamanhos variados e constataram que os agregados com maior teor de argila resultaram na menor adsorção de PAM. Para os autores, a dificuldade de penetração do polímero no interior em função do menor tamanho de poros intra-agregados foi responsável pelos menores valores de DMP quando comparados com agregados de textura mais grossa.

Os valores positivos do índice de sensibilidade (Is) para os horizontes avaliados indicam que todos os tratamentos foram melhores em relação ao controle (água destilada), com a solução de maior concentração promovendo as modificações mais pronunciadas (Figura 7). Neste ponto, o horizonte coeso Bt1, do Argissolo, apresentou-se como o mais sensível às modificações promovidas pela PAM atingindo valores de 1,56; 2,40; 2,67 (adimensional) para os tratamentos de 12,5 mg kg⁻¹, 50,0 mg kg⁻¹ e 100,0 mg kg⁻¹, respectivamente, o que comprova que a PAM é eficiente na estabilização estrutural e conseqüentemente na melhoria da qualidade física desses solos. O menor efeito observado no horizonte coeso BA do perfil 2 em relação ao controle foi devido à sua melhor condição estrutural natural (Tabela 2), com valor do Is de 1,28 para a maior concentração de PAM. Dos horizontes não coesos estudados, o Bw/Bt é o que menos permite avaliar o efeito direto da PAM em função da cimentação presente e distribuída de forma difusa neste horizonte, com valores do Is muito próximos a 1,0. De fato, este horizonte apresenta-se com partes do Bw e outra do Bt, e esta falta de homogeneidade contribui para estes baixos valores.

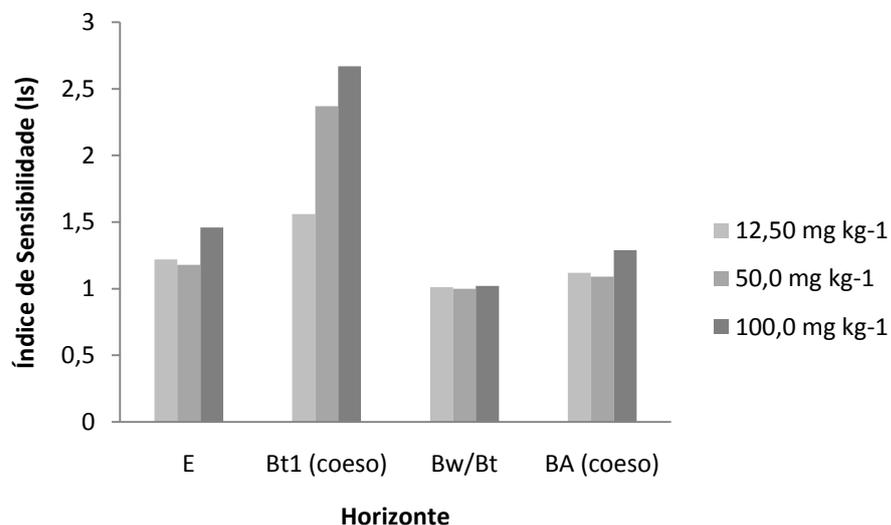


Figura 8. Índice de sensibilidade (Is) para diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹).

Fazendo um estudo comparativo entre a estabilidade estrutural dos horizontes coesos em questão, com a aplicação de PAM, a partir da redução das classes de diâmetro e aumento do intervalo intraclases, pode-se observar que a PAM melhorou a estabilização de macroagregados (> 0,25 mm) e a

qualidade estrutural por meio do aumento da porcentagem de massa de solo presente na classe de diâmetro superior ($> 2,0$ mm) de ambos os horizontes (Figura 8).

Da mesma forma dos resultados supracitados, o tratamento na concentração de 100 mg kg^{-1} foi o que possibilitou os maiores valores de agregados estáveis (massa de solo), diferindo dos demais tratamentos ($p < 0,05$), sendo de $89,14 \%$ para o horizonte BA e $44,83\%$ para o Bt1. De acordo com figura 8, o horizonte Bt1 apresentou a maior concentração de massa de solo na classe de diâmetro intermediária ($2,00 - 0,25$ mm), diferindo do BA, que predominou na classe superior ($> 2,00$ mm), evidenciando a ocorrência de condições estruturais atuais distintas, apesar de ambos possuírem o caráter coeso (figura 9). Nas condições naturais, o horizonte Bt1 apresentou, aproximadamente $71,0\%$ de massa de solo retida na classe intermediária o que representa quase o dobro de material com mesmo diâmetro do horizonte BA ($\cong 36,80\%$).

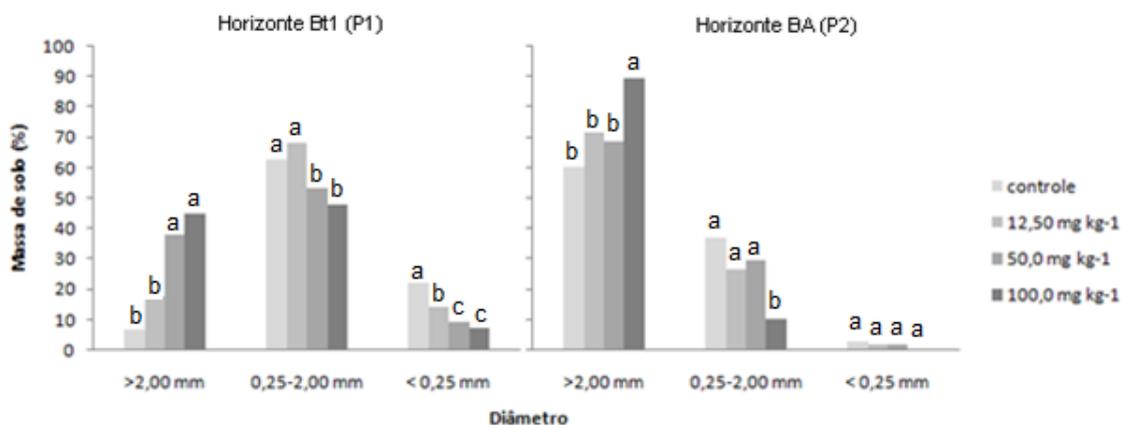


Figura 9. Agregados estáveis em água dos horizontes Bt1 e BA (coesos) em três intervalos de diâmetro ($> 2,00$; $0,25-2,00$; $< 0,25$ mm) em função da aplicação das soluções aquosas de PAM ($12,5$; $50,0$; $100,0 \text{ mg kg}^{-1}$) e do tratamento controle (H_2O destilada). Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

O DMG dos agregados dos horizontes nos dois perfis avaliados obteve maiores médias com os tratamentos à base de PAM com efeito significativo em relação ao controle ($p < 0,05$), exceto para os horizontes E e Bw/Bt, onde não foram observadas diferenças (Tabela 5). De modo geral, os agregados submetidos à solução de $100,0 \text{ mg kg}^{-1}$ tiveram o DMG superior quando comparados com as demais soluções de PAM, com diferença estatística apenas no horizonte BA com valores de $2,31$; $1,36$; $3,06$ e $2,89$ mm na

seqüência E, Bt1, Bw/Bt e BA. Para o horizonte coeso Bt1, as soluções de 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹ não diferiram ($p < 0,05$).

Utilizando o I_s para avaliar os efeitos promovidas pela PAM ao DMG dos agregados, observa-se um comportamento similar aos resultantes da sua ação ao DMP em todos os horizontes avaliados (Figura 9). O aumento do DMG ($I_s > 1$ em todos os horizontes), a maior eficiência da dosagem mais concentrada (100,0 mg kg⁻¹), a sensibilidade mais perceptível obtida no horizonte Bt1 e os menores resultados pertencentes ao horizonte Bw/Bt (I_s próximo a 1,0) comprovam esta semelhança entre as duas variáveis pela ação propiciadas pela PAM, comprovando sua capacidade de estruturação e efeito estabilizante.

Tabela 5. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— DMG (mm) —————					
Perfil 1					
E	1,15 A	1,69 A	1,60 A	2,31 A	21,36
Bt1 (coeso)	0,49 B	0,73 B	1,17 A	1,36 A	18,22
Bw/Bt	2,94 A	2,99 A	2,90 A	3,06 A	2,60
Perfil 2					
BA (coeso)	1,94 B	2,28 B	2,21 B	2,89 A	6,82

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

A qualidade estrutural dos solos é normalmente expressa pela estabilidade de agregados e sua distribuição por tamanho é bastante sensível ao manejo comportando-se como indicador da qualidade dos solos (FERREIRA et al., 2007; SALTON et al., 2008) e neste sentido, os efeitos provocados pela PAM na presente pesquisa confirmam a hipótese sobre a sua capacidade remediadora.

De fato estes resultados já foram observados em outras pesquisas, onde vários autores obtiveram aumento da estabilidade de agregados com a aplicação de PAM (TERRY & NELSON, 1986; BEN-HUR & KEREN, 1997; GREEN et al., 2004; AJWA & TROUT, 2006).

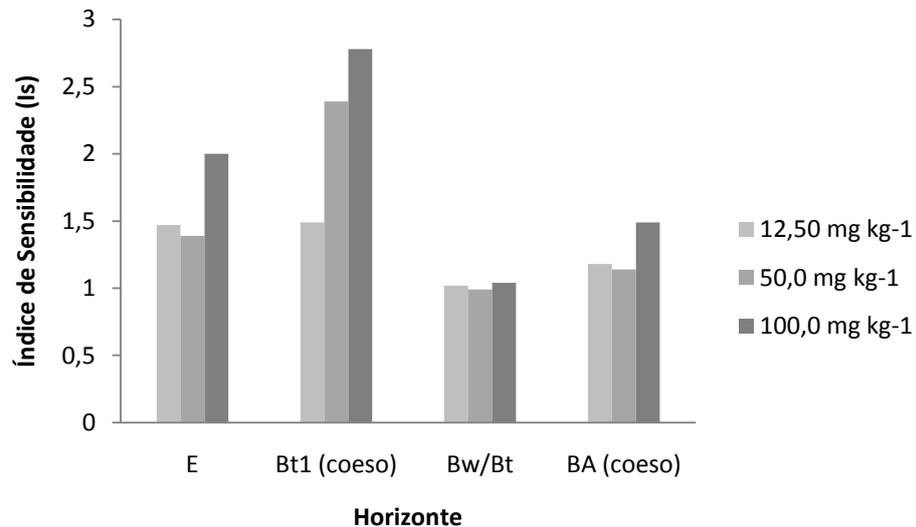


Figura 10. Índice de sensibilidade (I_s) para diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹).

5.3. Propriedades físico-hídricas

O horizonte E apresentou maiores valores de K_{sat} em relação aos demais devido, principalmente, a textura mais arenosa. Em detrimento a isto, observou-se o aumento da K_{sat} com a aplicação das soluções aquosas de PAM em relação ao tratamento controle, estando os maiores valores pertencentes à dose de 50,0 mg kg⁻¹, com valor médio de 71,44 cm h⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios da condutividade hidráulica do solo em meio saturado (K_{sat}) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)			
	Controle	12,5	50,0	100,0
————— K_{sat} (cm h ⁻¹) —————				
Perfil 1				
E	38,72 ± 11,47	43,99 ± 27,75	71,44 ± 40,52	44,63 ± 32,35
Bt1 (coeso)	1,46 ± 0,98	0,51 ± 0,44	0,56 ± 0,20	0,62 ± 0,20
Bw/Bt	7,35 ± 5,81	4,62 ± 4,77	21,38 ± 31,61	5,69 ± 4,59
Perfil 2				
BA (coeso)	1,99 ± 0,39	1,39 ± 0,88	1,08 ± 0,53	1,46 ± 0,23

Resultados são expressos como média ± desvio-padrão.

Para os horizontes coesos Bt1 e BA, houve a redução da K_{sat} com a aplicação das soluções do polímero. O Bt1 apresentou o menor valor na dose

de 12,5 mg kg⁻¹ com média de 0,51 cm h⁻¹, já o BA os menores valores foram obtidos com a dose de 50,0 mg kg⁻¹ com média 1,08 cm h⁻¹.

O horizonte Bw/Bt mostrou-se bastante discrepante às soluções de PAM, com o tratamento de 50,0 mg kg⁻¹ obtendo a maior média (21,38 cm h⁻¹). Este fato pode ser justificado pela característica deste horizonte, formado por partes do horizonte Bw e outras, pelo Bt, apresentando-se bastante heterogêneo.

Diante dos resultados, ficou clara a influência da textura dos horizontes e da viscosidade das soluções de PAM na K_{sat} dos horizontes avaliados. Para o horizonte E, houve uma sensível redução da K_{sat} com a aplicação da dose mais concentrada (100,0 mg kg⁻¹), que representa o dobro da concentração do melhor tratamento (50 mg kg⁻¹). Ajwa & Trout (2006) obtiveram um aumento linear da viscosidade relativa das soluções de PAM com o aumento da concentração do polímero e que, provavelmente, foi a principal razão para a redução da permeabilidade do material de solo de textura grossa com o aumento da concentração de PAM. Em solos com poros grandes o efeito da PAM na condutividade hidráulica é dominado pela sua viscosidade da solução (SOJKA et al., 1998).

Trout et al. (1995) obtiveram um aumento das taxas de infiltração com a aplicação de soluções aquosas de PAM aniônico em solo de textura fina. Nos três experimentos realizados, as taxas de infiltração nos sulcos foram 30%, 60% e 110% maiores comparadas com os sulcos não tratados para os experimentos realizados. Ainda, segundo os autores, a influência de PAM na infiltração depende do selamento deposicional provocado pela infiltração.

Segundo Ajwa & Trout (2006), os efeitos negativos da viscosidade da solução de PAM nas taxas de infiltração são menos danosos quando comparados com a condutividade hidráulica devido à complexa relação entre condutividade, conteúdo de água no solo e potencial mátrico.

Resultados contrastantes são encontrados na literatura, onde a PAM promoveu o aumento da permeabilidade de solos de textura fina (LENTZ & SOJKA, 1994; TROUT et al., 1995; SOJKA et al., 1998) e reduziu a infiltração de água em solos de textura grossa (AJWA & TROUT, 2006). Segundo Sojka et al. (1998), o efeito sobre a permeabilidade dos solos com a aplicação de PAM depende de vários atributos do solo, especialmente a textura e que o seu aumento ocorre devido ao efeito de preservação, acarretada pela PAM, dos

poros mais permeáveis durante a formação do selamento que ocorre mais rapidamente em sulcos não tratados com PAM.

Há, sem dúvida, uma considerável interação entre as formulações de PAM (massa molecular, densidade de cargas) e o tipo de solo (textura, mineralogia, força iônica da solução) nos resultados das pesquisas envolvendo a atuação do polímero na permeabilidade dos solos (MAMEDOV et al. 2007). Levy & Agassi (1995) observaram que a PAM aniônica de alta massa molecular foi mais efetiva no aumento das taxas de infiltração de solos de textura grossa e média quando comparada a PAM de baixa massa molecular, ainda, segundo os autores, a massa molecular é um fator chave na eficiência de PAM para solos de textura grossa, mas não repercuti para solos de textura fina.

Os efeitos promovidos pelas soluções de PAM ao volume e distribuição de tamanho de poros foram, assim como ao dos resultados supracitados, controlados pela textura dos horizontes avaliados dos dois perfis. Para o horizonte arenoso E, houve o aumento da macroporosidade com a aplicação das soluções de PAM, diferenciando estatisticamente do tratamento com água destilada ($p < 0,05$), com a maior média obtida para a dose de $100,0 \text{ mg kg}^{-1}$, $0,053 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, cerca de 32,50% maior que o tratamento controle (Tabela 7).

Para os horizontes que apresentam maiores teores de argila, os tratamentos à base de PAM reduziram o volume de macroporos, sendo mais evidente para o horizonte coeso Bt1 (P1), cuja solução de $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$ reduziu para $0,036 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ que representa a metade da macroporosidade do tratamento controle. Em seguida, no horizonte coeso BA (P2), constatou-se a redução de 36% para aquela mesma concentração, com média de $0,039 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$. Para ambos os horizontes coesos, as médias da macroporosidade foram menores e diferentes estatisticamente do tratamento controle ($p < 0,05$). Já, o horizonte Bw/Bt não apresentou diferenças entre os tratamentos.

Tabela 7. Macro, meso e microporosidade dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Perfil	Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV
		Controle	12,5	50,0	100,0	
Macroporosidade (dm ³ dm ⁻³)						%
P1	E	0,040 B	0,050 A	0,048 A	0,053 A	11,14
	Bt1 (coeso)	0,072 A	0,040 B	0,036 B	0,041 B	23,10
	Bw/Bt	0,058 A	0,046 A	0,060 A	0,054 A	29,86
P2	BA (coeso)	0,061 A	0,040 B	0,039 B	0,040 B	16,12
Mesoporosidade (dm ³ dm ⁻³)						%
P1	E	0,19 A	0,19 A	0,20 A	0,20 A	10,90
	Bt1 (coeso)	0,054 A	0,046 B	0,039 B	0,039 B	12,35
	Bw/Bt	0,091 A	0,081 A	0,084 A	0,089 A	30,05
P2	BA (coeso)	0,085 A	0,092 A	0,090 A	0,073 A	13,72
Microporosidade (dm ³ dm ⁻³)						%
P1	E	0,15 A	0,15 A	0,16 A	0,14 A	11,39
	Bt1 (coeso)	0,26 A	0,25 A	0,25 A	0,25 A	5,59
	Bw/Bt	0,34 A	0,33 A	0,32 A	0,33 A	4,76
P2	BA (coeso)	0,38 A	0,39 A	0,38 A	0,38 A	1,67

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

A mesoporosidade dos horizontes avaliados foi pouco afetada pelas soluções aquosas de PAM, exceto para o horizonte coeso Bt1 em que o polímero reduziu o volume de mesoporos (para todas as soluções) com médias diferentes em relação ao tratamento controle (Tabela 7), atingindo o valor médio de 0,039 dm³ dm⁻³ para as soluções de 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹. Também houve a redução da mesoporosidade para o horizonte Bw/Bt, com a solução mais diluída promovendo os menores valores, com média de 0,081 dm³ dm⁻³. O horizonte E apresentou a maior mesoporosidade entre os horizontes dos dois perfis e entre os horizontes argilosos, o Bw/Bt obteve o volume de mesoporos superior em condições naturais.

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) para a microporosidade entre os horizontes avaliados (Tabela 7). A ordem crescente de volume de microporos para os horizontes argilosos apresenta-se como Bt1 < Bw/Bt < BA, sendo o último o horizonte que apresenta o maior teor de argila (Tabela 1).

O maior volume de macro+mesoporos encontrados para o horizonte E explica os valores superiores de K_{sat} para este horizonte em relação aos outros estudados (Tabela 6), em virtude da correlação positiva entre estas variáveis. Sabe-se que apesar de constituírem apenas uma fração da porosidade total, é função de macro e mesoporos a condução de água em solos estruturados. Porém, Dexter & Richard (2009), destacam que a existência de macroporos não necessariamente implica na maior permeabilidade dos solos, uma vez que para isso, devem estar conectados.

A sequência, em ordem crescente, quanto à porosidade total (P_t) dos horizontes avaliados em condições naturais apresentou-se como $E < Bt1 < Bw/Bt < BA$ (0,38; 0,39; 0,49; 0,53 $dm^3 dm^{-3}$, respectivamente) [Figura 10], mesma sequência para os teores de argila (Tabela 1). Repercutindo os resultados da tabela anterior, para os horizontes E e BA (coeso), as soluções aquosas de PAM aumentaram a P_t , sendo para o primeiro, em função do aumento significativo do volume de macroporos, e de mesoporos, para o segundo. Porém, para os horizontes Bt1 (coeso) e Bw/Bt, ambos do P1, os tratamentos à base de PAM reduziram a P_t provocado pela redução de macro e mesoporos. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos para os horizontes E e Bw/Bt. No horizonte Bt1, o tratamento controle diferiu dos tratamentos com polímero em, no BA, a solução de 100,0 $mg kg^{-1}$ obteve a menor média diferindo dos demais tratamentos ($p < 0,05$).

Comparando os horizontes coesos da presente pesquisa com outros perfis de solos dos Tabuleiros Costeiros em que a coesão foi diagnosticada por parâmetros quantitativos, pode-se dizer que os horizontes Bt1 (P1) e BA (P2) apresentam a P_t relativamente maior. Lima et al. (2005) obtiveram P_t média do horizonte coeso de um Argissolo Acinzentado de 0,34 $dm^3 dm^{-3}$ que foi significativamente menor que os horizontes não coesos. Tal redução foi acompanhada por uma redução similar de macro e mesoporos havendo o predomínio de microporos. Corrêa et al. (2008) caracterizaram fisicamente solos de três topossequências dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia e norte do Espírito Santo e encontraram valores de P_t , para o horizonte coeso (Bt1), de um Argissolo Vermelho de 0,37 $dm^3 dm^{-3}$ e de 0,21 $dm^3 dm^{-3}$ para o Bt1 coeso de um Argissolo Amarelo.

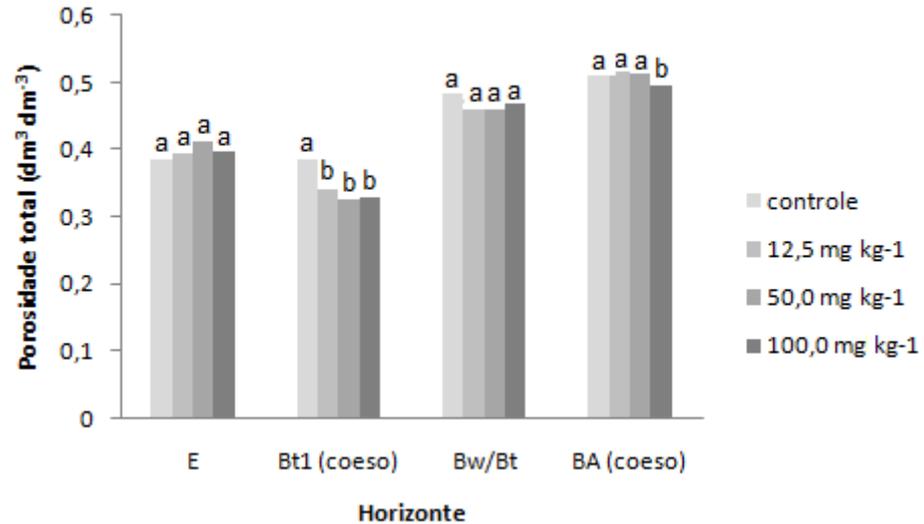


Figura 11. Porosidade total (Pt) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada). Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Outra forma de avaliar a qualidade física do solo em relação à distribuição de poros por tamanho é relacionando o volume de macroporos ao volume total de poros da amostra (relação Mac/Pt) que, segundo Taylor & Aschcroft (1972), possui o valor ideal de 0,33 (adimensional). Por esta ferramenta, constatou-se que as soluções aquosas de PAM foram mais eficientes na melhoria física do horizonte E e em menor expressão para o Bw/Bt (Figura 11). Para o primeiro, a solução aquosa de 100,0 mg kg⁻¹ obteve relação Mac/Pt de 0,132, sendo seguida pela solução de 12,5 mg kg⁻¹ que obteve média de 0,128. Porém, para os horizontes coesos dos dois perfis, a PAM reduziu sensivelmente a relação Mac/Pt, em especial para o Bt1, que obteve uma redução de 39,13% pela solução de 50,0 mg kg⁻¹ (0,112) em relação ao tratamento controle (0,184). Já o horizonte BA, a redução proporcionada pela solução de 12,5 mg kg⁻¹ foi de 31,82%. Para dois horizontes coesos, a dose mais concentrada foi a que forneceu melhor resposta.

É importante destacar que, vários trabalhos consideram a macroporosidade relacionada ao volume de macroporos + mesoporos, ou seja, os poros que não conseguem reter água quando se aplica uma tensão ou pressão de até -6 kPa (60 cca), que não é o caso da presente pesquisa, uma vez que, a macroporosidade foi determinada ao aplicar uma tensão de apenas -1 kPa (10 cca). Isto explica os baixos valores da relação Mac/Pt obtidos.

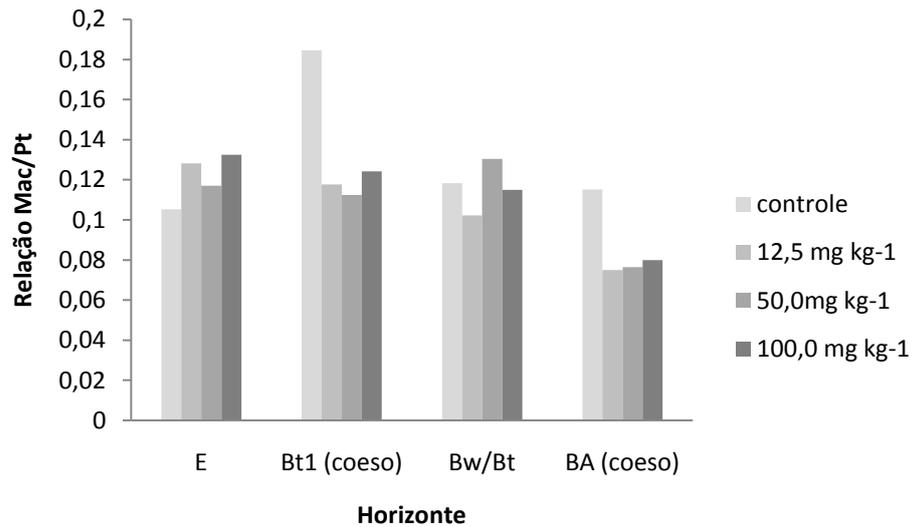


Figura 12. Relação macroporosidade:porosidade total (Mac/Pt) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada).

Com relação à resistência à penetração (RP) dos dois perfis avaliados, o horizonte E apresentou os menores valores médios pelo fato de ser mais arenoso, e conseqüentemente, ter um maior volume de poros grandes. As soluções aquosas de PAM aumentaram a RP de todos os horizontes, com diferença estatística significativa apenas para o horizonte coeso do P1, Bt1 (Tabela 8).

Para o horizonte E, a solução mais concentrada aplicada promoveu os maiores valores, obtendo-se uma média de 0,91 MPa, sendo seguida pela solução de 12,5 mg kg⁻¹, com média de 0,86 MPa, que corresponde um aumento de 51,67% e 43,33%, respectivamente, em relação ao tratamento controle. A solução de 50,0 mg kg⁻¹ foi a que mais aumentou a RP do horizonte Bt1, com média de 3,46 MPa, não diferindo da dose mais concentrada ($p < 0,05$). O horizonte Bw/Bt e BA apresentaram maiores valores de RP com as soluções de 50,0 (5,76 MPa) e 12,5 (5,50 MPa) mg kg⁻¹, respectivamente.

Santana et al. (2006) em trabalho de caracterização física de dois perfis de solos típicos dos Tabuleiros Costeiros (Argissolo Acinzentado e Latossolo Amarelo), visaram estabelecer atributos que melhor identificassem a manifestação do caráter coeso; e concluíram que a RP (medida em condições de campo) foi o atributo que melhor identificou a presença de horizonte coeso, inclusive em ampla faixa de umidade e frisaram a importância de se estabelecer a umidade crítica abaixo da qual a coesão se manifesta, que foi estabelecido em 2,0 MPa. Na presente pesquisa, a RP foi medida com as

amostras submetidas à tensão de -10 kPa, ou seja, com umidade equilibrada próxima à capacidade de campo (CC), pela razão de ser a umidade ideal de manejo de campo. Porém, apesar da umidade situada numa faixa de baixa tensão, houve valores de RP acima de 2,0 MPa.

Tabela 8. Resistência à penetração ao sistema radicular (RP), com umidade equilibrada à tensão de -10 kPa, dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— RP (MPa) —————					
Perfil 1					
E	0,60 A	0,86 A	0,60 A	0,91 A	28,69
Bt1 (coeso)	1,20 C	2,52 B	3,46 A	3,16 A	15,41
Bw/Bt	0,32 A	5,34 A	5,76 A	4,82 A	110,75
Perfil 2					
BA (coeso)	1,26 A	5,50 A	2,30 A	2,15 A	119,46

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott Knott.

Lima et al. (2005) também mediram a RP de um Argissolo acinzentado com caráter coeso nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Ceará e detectaram que o aumento da RP foi diretamente relacionada à diminuição da umidade volumétrica e com o aumento da densidade do solo. Os autores obtiveram valores de RP de 3,0 MPa em umidade próxima a 0,15 cm³ cm⁻³ que correspondia à tensão de -50 kPa.

Para os horizontes coesos da atual pesquisa, o Bt1 atingiu RP de 3,46 MPa (maior valor correspondente à solução de 50,0 mg kg⁻¹) em uma tensão de -10 kPa que apresentava umidade equilibrada de 0,24 cm³ cm⁻³. Já o horizonte BA, com RP de 5,50 MPa para a solução de 12,5 mg kg⁻¹, na mesma tensão, apresentava umidade de 0,30 cm³ cm⁻³, podendo confirmar uma condição mais crítica do horizonte BA pelo fato de mesmo com uma condição mais úmida apresenta maiores valores de RP.

Segundo Busscher et al. (2009) a PAM pode reduzir a RP dos solos em função da sua capacidade de agregação, a qual é capaz de romper a estrutura massiça da camada de impedimento, porém a formulação do polímero assume papel importante nesta função. Assim, os autores determinaram a RP de dois

solos dos Tabuleiros Costeiros dos EUA, em condição de campo, com a aplicação de PAM, variando quanto à concentração, à forma de aplicação e estado físico (solução ou granular) e concluíram que a PAM granular promoveu maior redução da RP em relação à solução.

Busscher et al. (2007) avaliando o efeito da PAM, nas concentrações de 30 e 120 mg kg⁻¹, e matéria orgânica na melhoria das propriedades físicas de um solo de textura grossa que apresentava camadas subsuperficiais cimentadas que restringia o desenvolvimento do sistema radicular de plantas constataram que a aplicação de PAM em campo, na ausência de matéria orgânica, aumentou a RP do solo com o aumento da concentração do polímero.

As características e os resultados supracitados a respeito da textura, estabilidade e distribuição por classe de diâmetro de agregados, distribuição de poros por tamanho, K_{sat} , porosidade total dos horizontes selecionados e avaliados na presente pesquisa podem ser representados de forma bastante elucidativa por meio da confecção da curva característica de retenção de água no solo (CCRAS). Esta descreve a quantidade de água retida no solo sob equilíbrio a um dado potencial mátrico e é uma importante ferramenta no estudo físico-hídrico dos solos.

Neste sentido, o horizonte E apresentou um comportamento bastante característico de solos arenosos, indicados por um menor volume de poros e, principalmente, pela baixa capacidade de retenção de água, onde ocorreu uma redução brusca do seu conteúdo com o aumento mínimo do potencial mátrico (Figura 12).

Na condição de saturação dos poros, a umidade de 0,385 cm³ cm⁻³ (38,5%) reduziu a 0,119 cm³ cm⁻³ (11,9%) com a aplicação de uma tensão de 100 cca (2,0 em escala logarítmica) correspondente a capacidade de campo (Θ_{cc}) para solos arenosos. Neste horizonte, a umidade no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}) foi de 0,117 cm³ cm⁻³, equilibrada ao aplicar uma tensão de 15000 cca (ou 4,2 log cca).

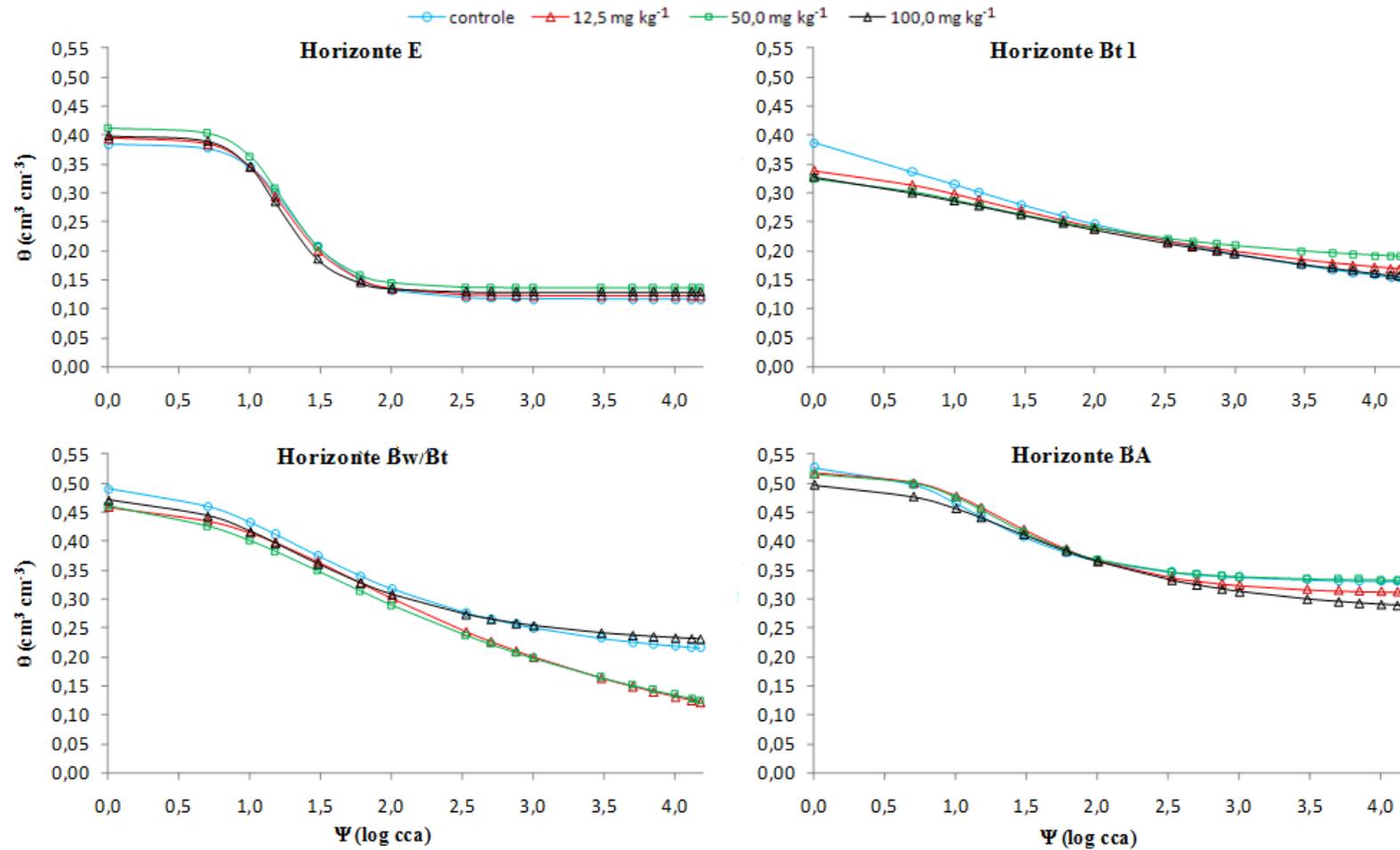


Figura 13. Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt e BA com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada) segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory, conforme Genuchten et al., 1991)

Dos horizontes de textura fina avaliados, o BA (coeso, P2) apresentou maior capacidade de retenção de água em razão da sua Pt possuir uma maior fração de microporos (Tabela 7), porém obteve a parte inicial curva semelhante aos solos arenosos em função da sua melhor estruturação e melhor distribuição de tamanho de agregados (Figura 8). Obteve-se a Θ_{cc} de $0,346 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e Θ_{pmp} de $0,33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, lembrando que, para solos argilosos a tensão correspondente a Θ_{cc} é de 333 cca ($2,5 \log \text{ cca}$). O horizonte coeso Bt1 (P1) apresentou a curva mais característica de menor qualidade estrutural entre os horizontes, com Θ_{cc} e Θ_{pmp} de 0,217 e $0,153 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente, este horizonte apresentou a menor fração de macro+mesoporos em relação a Pt, assim obteve uma curva menos acentuada.

Houve influência das soluções aquosas de PAM na forma das CCRAS dos horizontes, ora aumentando a capacidade de retenção, ora diminuindo. No primeiro caso, a solução de $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$ promoveu a maior retenção de água para os horizontes E e BA. O horizonte E, submetido a esta dose, obteve valores de $0,136 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na Θ_{cc} e $0,135 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na Θ_{pmp} , decorrente do aumento do volume de macro, meso e microporos (Tabela 7). Para o horizonte BA houve o aumento de 0,29% na Θ_{cc} e de 0,91% na Θ_{pmp} em relação ao controle.

No segundo caso, houve a redução da retenção de água no intervalo de baixa tensão para o horizonte Bt1, decorrente da diminuição da Pt (Figura 10) e no intervalo de alta tensão do horizonte Bw/Bt pelas soluções de 12,5 e $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Este resultado era esperado pela reduzida alteração promovida pela PAM na distribuição de poros dos horizontes.

Mamedov et al. (2007) obtiveram mudanças nas CCRAS de solos de textura média e fina com a aplicação de PAM com e sem gesso. Os autores explicaram que houve um possível efeito da PAM na sensibilidade dos agregados à hidratação em função do ar aprisionado ou ao estresse osmótico.

Na agricultura moderna, muitos polímeros hidrofílicos são utilizados para melhorar o “status” nutricional e hídrico de plantas, aumentando os teores de água disponível na zona radicular permitindo intervalos mais longos entre irrigações (ANDRY et al., 2009).

Estes mesmos autores avaliaram a influência de dois polímeros hidrofílicos sobre a capacidade de retenção de água e na K_{sat} de um solo de

textura arenosa em função da temperatura e qualidade da água utilizada. Concluíram que o solo misturado aos dois polímeros utilizados obteve maior capacidade de retenção de água em relação ao tratamento controle e que este aumento foi diretamente proporcional à quantidade de polímero adicionado. Os referidos autores destacaram ainda, que a característica de retenção de água foi controlada pela temperatura da solução, onde o isopropil acrilamida reduziu a capacidade retentora com a alteração da umidade de 15°C a 35°C, ou seja, fatores externos podem afetar a influência de polímeros no comportamento hídrico dos solos.

Narjary et al. (2012) utilizaram um condicionante sintético da família do poliacrilato, o Pusa hidrogel, obtido pela polimerização de radicais livres - pelo enxerto de acrilamida sobre um derivado de celulose - e também obtiveram resultados positivos relacionados ao aumento da capacidade de água facilmente disponível em três solos de diferentes texturas (arenoso, argiloso, média) com o aumento da dose do biopolímero.

Em relação ao limite de plasticidade (LP), no horizonte E não houve efeito da aplicação dos tratamentos a base de PAM, explicado pela baixa plasticidade original deste horizonte que, sendo arenoso, apresenta-se como não plástico e não pegajoso (Tabela 9).

Tabela 9. Limites de plasticidade (LP) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— LP (kg kg ⁻¹) —————					
Perfil 1					
E	0,14 A	0,14 A	0,13 A	0,14 A	10,48
Bt1 (coesos)	0,17 A	0,17 A	0,16 A	0,16 A	4,30
Bw/Bt	0,30 A	0,26 A	0,27 A	0,28 A	10,06
Perfil 2					
BA (coesos)	0,39 A	0,35 B	0,34 B	0,39 A	2,28

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott Knott.

Os horizontes coesos (Bt1 e BA) comportaram-se de forma distinta. As doses aplicadas não promoveram mudanças nos valores do LP para o

horizonte Bt1 de forma significativa ($p < 0,05$). Entretanto, para o BA, a PAM reduziu o LP com a aplicação das doses de 12,5 e 50,0 mg kg⁻¹ ($p < 0,05$). Observa-se que este horizonte possui maiores valores de LP, sendo aproximadamente, o dobro do Bt1. O LP é diretamente proporcional aos teores de argila e à superfície específica do solo (SMITH et al., 1985; KONDO & DIAS JÚNIOR, 1999), em função do aumento da capacidade de adsorção de água. Isto explica o comportamento superior do BA que é o horizonte com maior teor de argila destes estudados (Tabela 1).

De um modo geral, quanto maior o LP, melhores são as condições para manejar o solo, já que este se tornaria plástico com maior conteúdo de água. Segundo Silva et al. (2006), as atividades agrícolas devem ser realizadas com o solo no estado de friabilidade, que corresponde à faixa de umidade entre os limites de contração e plasticidade. Neste estado, o solo está úmido, demonstrando as condições ideais de preparo do solo sendo, portanto, a faixa de friabilidade definida como a faixa de trabalhabilidade do solo.

Alterações nos limites de consistência de solos em razão da aplicação de doses de poliacrilamida são pouco estudadas. Daí a importância desses resultados, aumentando a possibilidade de outros estudos, com diferentes doses, na busca de outras respostas.

5.4. Propriedades químicas e físico-químicas

Houve um comportamento discrepante em relação à CTC dos horizontes estudados em função do uso de PAM, em razão da complexa interação envolvendo polímeros e a matriz sólida do solo, que se caracteriza pela atuação de vários componentes (Tabela 10).

Foi observado o aumento da CTC com a aplicação dos tratamentos nos horizontes E e Bw/Bt (não coesos), porém não apresentando diferenças significativas ($p < 0,50$). Para o horizonte E, a dose de 50,0 mg kg⁻¹ promoveu os maiores valores, com média de 26,97 mmol_c kg⁻¹. A dose de 100,0 mg kg⁻¹, para o horizonte Bw/Bt, foi a que obteve o maior valor médio com 72,81 mmol_c kg⁻¹. Em contrapartida, nos horizontes coesos dos dois perfis, foi observado um decréscimo com a aplicação das soluções aquosas de PAM com o tratamento controle diferindo dos tratamentos à base de PAM apenas para o horizonte Bt1 com média de 37,14 mmol_c kg⁻¹ ($p < 0,50$).

Tabela 10. Valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— CTC (mmol _c kg ⁻¹) —————					
Perfil 1					
E	22,40 A	25,21 A	26,97 A	24,69 A	7,58
Bt1 (coeso)	37,14 A	30,08 B	27,16 B	28,41 B	8,09
Bw/Bt	64,52 A	69,76 A	70,89 A	72,81 A	9,38
Perfil 2					
BA (coeso)	67,94 A	61,13 A	63,40 A	62,43 A	8,97

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Não houve diferenças significativas ($p < 0,50$) para os teores médios de Al³⁺ trocável nos horizontes selecionados dos dois perfis avaliados (Tabela 11). Para os horizontes E (não coeso), Bt1 e BA (ambos coesos), a concentração de 100 mg Kg⁻¹ favoreceu o decréscimo dos teores de Al³⁺ obtendo valores médios de 1,50; 1,83 e 1,67 mmol_c kg⁻¹, respectivamente. Para o horizonte Bw/Bt, foi observado um aumento de até 29,94% quando aplicado a dose mais concentrada em relação ao tratamento controle. Provavelmente, o uso de doses ainda mais concentradas de PAM, reduziria os teores de Al³⁺ ao ponto de serem detectadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Íons polivalentes como Fe³⁺ e Al³⁺ são considerados como ácidos duros de Lewis susceptíveis à ligações fortes e específicas com bases duras de Lewis dos grupos funcionais de macromoléculas orgânicas (STEVENSON, 1994). Destes grupos destacam-se o grupamento carboxílico e fenólico (TAM & MCCOLL, 1991) destes, o primeiro é constituinte da molécula de PAM. Assim, esperava-se, realmente, que houvesse a redução dos teores de Al³⁺ trocável dos horizontes.

Considerando o comportamento análogo ao equilíbrio químico de complexação do cátion metálico com a matéria orgânica dissolvida, pode-se considerar alguns fatores que influenciam a formação do complexo metal-polímero; pH da solução do solo, que afeta a reatividade dos grupos funcionais do polímero; a razão molar metal-carbono (M/C) (STEVENSON, 1994); a competição com outros cátions (PINHEIRO et al., 2000) e o efeito eletrostático

provocado pelo excesso de carga negativa fixadas à molécula do polímero (MIYAJIMA et al., 1991).

Tabela 11. Teores de alumínio trocável dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— Al ³⁺ (mmol _c kg ⁻¹) —————					
Perfil 1					
E	2,00 A	2,00 A	1,83 A	1,50 A	17,60
Bt1 (coesos)	2,00 A	2,17 A	2,00 A	1,83 A	17,18
Bw/Bt	1,67 A	2,00 A	2,00 A	2,17 A	11,30
Perfil 2					
BA (coesos)	1,83 A	2,00 A	1,83 A	1,67 A	15,08

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Não considerando os horizontes Bw/Bt do P1 e BA do P2, pois ambos obtiveram valores nulos de ADA, o comportamento das soluções de PAM para esta variável esteve diretamente associada à textura dos horizontes. Para o horizonte E, que apresenta um menor teor de argila (Tabela 2), o uso de PAM nas doses mais concentradas promoveu a redução dos teores de ADA, obtendo uma média de 58,33 mg kg⁻¹ com a dose de 100,0 mg kg⁻¹, diferindo dos demais tratamentos (p<0,50).

Para o Bt1, que apresenta um incremento de argila, houve a redução dos valores de ADA com a aplicação da dose mais diluída (12,50 mg kg⁻¹), atingindo um valor médio de 191,67 mg kg⁻¹, porém este comportamento não foi observado para as soluções mais concentradas, provavelmente em função da repulsão eletrostática entre as argilas e a molécula de PAM com alta densidade de carga (Tabela 12).

Apesar da maior difusão de PAM aniônica e alta massa molecular em termos de pesquisa envolvendo a remediação físico-hídrica de solos devido à sua maior capacidade flocculante, os valores detectados de ADA no presente estudo, apontam a influência integrada da densidade de carga da molécula de PAM avaliada e os teores de argila dos horizontes selecionados.

Green et al. (2000) avaliaram o efeito de diferentes formulações de PAM aniônica, confeccionando PAMs de 20, 30 e 40% de hidrólises e com 6, 12 e

18 Mg mol⁻¹ de massa molecular, nas taxas de infiltração de três solos com texturas distintas (argiloso, franco arenoso e franco siltoso) e concluíram que a adição de PAM resultou em diferentes graus de proteção da estrutura do solo, a qual foi controlada pelas características das PAMs e dos solos. A densidade de carga foi o principal fator que afetou o desempenho das PAMs para os solos de textura argilosa, tendo a PAM 40% hidrolisada o menor desempenho quando comparada às outras densidades. Os autores atribuíram à maior repulsão gerada entre a PAM e as argilas esmectíticas do solo em função da grande quantidade de cargas elétricas negativas do sistema. Já para os solos de textura arenosa a massa molecular foi o fator significativo com a PAM de 12 Mg mol⁻¹ tendo o melhor desempenho.

Tabela 12. Teores de argila dispersa em água (ADA) dos horizontes E, Bt1, Bw/Bt (P1) e BA (P2) com a aplicação das soluções aquosas de PAM (12,5; 50,0 e 100,0 mg kg⁻¹) e do tratamento controle (H₂O destilada)

Horizonte	Tratamento (mg kg ⁻¹)				CV %
	Controle	12,5	50,0	100,0	
————— ADA (g kg ⁻¹) —————					
Perfil 1					
E	100,00 A	108,33 A	100,00 A	58,33 B	12,03
Bt1 (coeso)	275,00 A	191,67 B	275,00 A	283,33 A	6,70
Bw/Bt	0,00 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A	
Perfil 2					
BA (coeso)	0,00 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A	

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Outros estudos também evidenciam o melhor desempenho de PAMs de baixa densidade de cargas (até 20% hidrolisada) e de alta massa molecular para melhoria das propriedades físico-hídricas de solos (LENTZ & SOJKA, 1994; LENTZ et al., 1996). Apesar das características da PAM serem fundamentais na sua eficiência como agente flocculante, alguns fatores intrínsecos da solução do solo assumem importante papel no processo (BENHUR et al., 1992; LETEY, 1994; LEVY & AGASSI, 1995) dentre eles, a presença de eletrólitos que comprimem a dupla camada eletrostática adjacente à superfície das argilas e da molécula de PAM aumentando a adsorção do polímero aniônico (LETEY, 1994); cátions polivalentes, cuja adsorção é favorecida pela “ponte de cátions” (LAIRD, 1997); o pH da solução, que por

protonação pode reduzir a carga líquida negativa da molécula de PAM (LAIRD, 1997) ou gerar carga positiva nos minerais de argila de carga variável.

Para Nasser & James (2006), o fato do polímero saturar uma superfície coloidal, quanto maior a adsorção, menor será sua capacidade floclante, uma vez que, a macromolécula tem que projetar o máximo possível sua estrutura na solução obtendo mais pontos de contato entre flocos.

PAMs catiônicos são mais adsorvidos em solos quando comparados aos aniônicos, em função da maior atração eletrostática (BEN-HUR et al., 1992; LETEY, 1994; DENG et al., 2006) neste caso, a neutralização de cargas é o principal mecanismo de floclação. Além disso, quanto maior a cadeia do polímero (grau de polimerização) maior será a interação (ponte de polímero). É por estes motivos que PAMs aniônicas e de alta massa molecular são mais utilizadas como condicionante de solos.

A presente pesquisa propôs avaliar a influência da PAM aniônica na qualidade de solos com horizontes coesos em ambiente fechado, sob condições controladas, ou seja, isento da complexidade das condições naturais e na ausência do manejo agrícola, uma vez que os dois perfis encontram-se sob área de vegetação nativa. Porém a maioria das pesquisas realizadas com PAM na grande área da Agronomia ocorreu em condições de campo, no qual, o condicionante é avaliado também, quanto à forma física, seja sólido, solução ou emulsão (BARVENIK, 1994; AJWA & TROUT, 2006; BUSSCHER et al., 2009) e, principalmente quanto às práticas de aplicação na irrigação, onde predominam por aspersão (BEN-HUR et al., 1989; LEVY et al., 1992) e pulverização na superfície (ALY & LETEY, 1989; GREEN et al., 2000).

6. CONCLUSÕES

1. As soluções aquosas de PAM promoveram a estabilização estrutural dos horizontes, aumentando a estabilidade de macroagregados;
2. O horizonte coeso Bt1 do Argissolo (P1) mostrou-se mais sensível à ação da PAM aos aspectos estruturais, porém o horizonte coeso BA do Latossolo (P2) apresentou melhor qualidade física, evidenciando a influência pedogenética.
3. Os teores de argila aliado às características da formulação da molécula de PAM utilizada controlaram sensivelmente os efeitos do polímero na melhoria físico-hídrica dos horizontes coesos, evidenciando a complexa interação solo-polímero resultante;
4. Houve o aumento da capacidade de retenção de água dos horizontes coesos com a aplicação da solução de PAM no intervalo de alta tensão da CCRAS;
5. Dos parâmetros físicos avaliados, os mais sensíveis à coesão foram a Ksat, a microporosidade e a RP;
6. Diante da complexidade da relação solo-polímero, não houve clareza para definir a dose de PAM de maior eficiência na melhoria da qualidade dos horizontes, onde não se obteve unanimidade entre horizontes de acordo com o atributo avaliado;
7. É necessário o desenvolvimento de outros estudos acerca da redução do caráter coeso com diferentes formulações de PAM dando ênfase à massa molecular e à densidade de cargas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; BEN-HUR, M. Stabilizing steep slopes with soil conditioners and plants. **Soil Technology**. v. 5, p. 249–256. 1992.

AJWA, H.A.; TROUT, T.J. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. **Soil Science Society of American Journal**. v. 70, p. 643–650. 2006.

ALMEIDA, B.G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. Piracicaba, 2001. 103p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

ALY, S.M.; LETEY, J. The effect the two polymers and water qualities on dry cohesive strength of three soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 53. n.1. p. 255-259. Jan/Feb. 1989.

AN, S.; MENTLER, A.; MAYER, H.; BLUM, W.E.H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**. v.81, p.226-233. 2010.

ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 98, p. 285–293. 2003.

ANDRY, H.; YAMAMOTO, T.; IRIE, T.; MORITANI, S.; INOUE, M.; FUJIYAMA, H. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. **Journal of hidrology**. v.373, p.177-183. 2009.

ARAUJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.123-142. 2001.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 88, 153–160. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7180/84. Solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 3p. 1984.

BARRETO, A.C.; CHAER, G.M.; FERNANDES, M.F. Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 120, p.112-120. 2012.

AZEVEDO, T.L.F.;BERTONHA, A.; GONÇALVES, A.C.A.; DE FREITAS, P.L.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A. Níveis de polímeros superabsorvente,

freqüências de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum**. v.24, n.5, p.1239-1243. 2002.

BARVENIK, F.W. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. **Soil Science**. v. 158, p. 235–243. 1994.

BEN-HUR, M.; MALIK, M.; LETEY, J.; MINGELGRIN, U. Adsorption of polymers on clays as affected by clay charge and structure, polymer properties, and water quality. **Soil Science**. v. 153, p. 349–356. 1992.

BIKALES, N. Water-soluble polymers. Plenum Press, New York. 1973

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

BOOLTINK, H.W.G.; BOUMA, J. Steady flow soil column method. 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.

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 88, p. 129–136. 2002.

BUSSCHER, W.J.; NOVAK, J.M.; CAESAR-TONTHAT, T.C. Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand. **Soil & Tillage Research**. v. 93, p. 171-178. 2007.

BUSSCHER, W.J.; BJORNEBERG, D.L.; SOJKA, R.E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils. **Soil & Tillage Research**. v.104, p.215-220. 2009.

CAESAR-TON THAT, T.C.; BUSSCHER, W.J.; NOVAK, J.M.; GASKIN, J.F.; KIM, Y. Effects of polyacrylamide and organic matter on microbes associated to soil aggregation of Norfolk loamy sand. **Applied Soil Ecology**. v.40, n.2, p. 240-249. 2008.

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

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil: Uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 77- 80. 1997.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**. v. 55, p. 367-378, 1998.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.4, n.1, p. 23-28, 2000.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 45-50, 2004.

CINTRA, F.L.D.; RESENDE, R.S.; LEAL, M.L.S.; PORTELA, J.C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coesos dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 1041-1051. 2009.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 297-313. 2008.

DENG, Y.; DIXON, J.B.; WHITE, G.N. Adsorption of polyacrylamide on smectite, illite, and kaolinite, **Soil Science Society of American Journal**. v. 70, p. 297–304. 2006.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Res.**, New York, v.31, n. 2, p. 139-147. 1985.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. **Soil & Tillage Research**. v.79, p.129–130. 2004.

DEXTER, A.R.; RICHARD, G. The saturated hydraulic conductivity of soils with n-modal pore size distributions. **Geoderma**. v. 154, p.76-85. 2009.

DORAN, J.W., PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., et al. (Eds.), **Defining Soil Quality for Sustainable Environment**. SSSA and ASA, Madison, WI, p. 3–21. 1994.

DORAN, J.W., SARRANTONIO, M., LIEBERG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**. v. 56, p. 1–54. 1996.

DORAN, J.W., SAFLEY, M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), **Biological Indicators of Soil Health**. **CAB international**, New York, p. 1–28. 1997.

DORAN, J.W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 88, p. 119–127. 2002.

DOU, C.; LI, F. WU, LS. Soil Erosion as Affected by Polyacrylamide Application Under Simulated Furrow Irrigation with Saline Water. **Pedosphere**. v. 22, n.5, p. 681-688. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO,

CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 4., Rio de Janeiro, 1995. **Anais**. Rio de Janeiro, Embrapa, SNLCS/ SBCS, 157p. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Manual de métodos de análises de solo. SNCLS, Rio de Janeiro. 212 p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. & GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul - Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, p.381- 388. 2007.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23 p. 515-524. 1999.

FLANAGAN, D.C.; CANADY, N.H. Use of Polyacrylamide in Simulated Land Application of Lagoon Effluent: Part ii. Nutrient Loss. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v. 49, p. 1371-1381. 2006.

FRANCAVIGLIA, R; GATALETA, L.; MARCHIONNI, M.; TRINCHERA,A.; AROMOLO, R.; BENEDETTI, A.; NISINI, L.; MORSELLI, L.; BRUSORI, B.; OLIVIERI, P.; BERNARDI, E. Soil quality and vulnerability in a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy. **Chemosphere**. V. 55, p. 455-466. 2004.

GENUCHTEN, M.Th.van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

GENUCHTEN, M.Th.van; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils: version 1.1 Riverside: USDA, U. S. Salinity Laboratory, ARS, 1994. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ada/csmos/models/retc.html>>.

GIACOMETTI, C.; DEMYAN, M.S.; CAVANI, L.;MARZADORI, C.;CIAVATTA, C.; KANDELER, E. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. **Applied Soil Ecology**. v. 64, p. 32-48. 2013.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.25, p.239-247, 2001.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e *hardsetting*. **Scientia Agricola**. v. 59, p. 613-620. 2002.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A.R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**. v. 113, p. 95-108. 2003.

GOMES, J.B.V.; FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CURI, N. Soil attributes under agroecosystems and forest vegetation in the coastal tablelands of northeastern Brazil. **Ciência Agrotécnica**. v. 36, p. 649-664. 2012.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; NORTON, L.D.; GRAVEEL, J.G. Polyacrylamide molecular weight and charge effects on infiltration under simulated rainfall. **Soil Science Society of American Journal**. v. 64, p. 1786–1791. 2000.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; GRAVEEL, J.G.; NORTON, L.D. Stability analysis of soil aggregates treated with anionic polyacrylamides of different molecular formulations. **Soil Science**. v. 169, p. 573–581. 2004.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição Geográfica, Características e Classificação dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais**. Cruz das Almas, EMBRAPA/UFBA. p.13-26. 1996.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p.19-46. 2001.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., et al. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. **SSSA and ASA, Madison**, WI, p. 53–72. 1994.

KARLEN, D.L., MAUSBACH, M.J., DORAN, J.W., CLINE, R.G., HARRIS, R.F., SCHUMMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**. v. 61, p. 4–10. 1997.

KENG, J.C.W. & UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proceedings of Soil and Crop Sciences Society**. v.33, n.1, p.119-126, 1974.

KIM, S.; PALOMINO, A.M. Polyacrylamide-treated kaolin: a fabric study. **Applied Clay Science**. v.45, p. 270-279. 2009.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.23, p.211-218, 1999.

LAIRD, D.A. Bonding between polyacrylamide and clay mineral surfaces. **Soil Science**. v. 162, n.11, p. 826–832. 1997.

LENTZ, R.D.; SOJKA, R.E. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. **Soil Science**. v. 158, p. 274–282. 1994.

LENTZ, R.D.; SOJKA, R.E.; CARTER, D.L. Furrow irrigation water quality effects on soil loss and infiltration. **Soil Science Society of American Journal**. v. 60, p. 238–245. 1996.

LENTZ, R.D.; SOJKA, R.E.; ROBINGS, C.W. Reducing soil and nutrient losses from furrow irrigation fields with polymer applications. **Advances in GeoEcology**. v. 31, p. 233–1238. 1998.

LENTZ, R. D.; SOJKA, R. E. Long-term polyacrylamide formulation effects on soil erosion, water infiltration, and yields of furrow-irrigated crops. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 305-314. 2009.

LETEY, J. Adsorption and desorption of polymers on soil. **Soil Science**. v. 158, p. 244–248. 1994.

LEVY, G.J.; LEVIN, J.; GAL, M.; BEN-HUR, M.; SHAINBERG, I. Polymer's effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations. **Soil Science Society of American Journal**. v.56, p. 902–907. 1992.

LEVY, G.J.; AGASSI, M. Polymer molecular weight and degree of drying effects on infiltration and erosion of three different soils. **Australian Journal of Soil Research**. v. 33, p. 1007–1018. 1995.

LEVY, G.J., MILLER, W.P. Polyacrylamide adsorption and aggregate stability. **Soil & Tillage Research**. v. 51, p. 121–128. 1999.

LIBARDI, P.L.; MELO FILHO, J. F. Influência dos solos coesos na dinâmica da água no solo. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. p.193-208. 2001.

LIMA, A.C.R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M.R.; HOOGMOED, W.B.; de GOEDE, R.G.M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**. v. 64, p. 194-299. 2013.

LIMA, H.V. Identificação e caracterização do comportamento físico dos solos coesos do estado do Ceará. Piracicaba, 2004. 85p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p. 467-476. 2004.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; ROMERO, R.E.; JACOMINE, P.K.T. Comportamento físico de um argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 33-40. 2005.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JUNIOR, V.S.; ARAÍJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos

Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 473-486, 2010.

LIU, J.; SHI, B.; JIANG, H.; BAE, S.; HUANG, H. Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. **Catena**. v. 77, p. 175-179. 2009.

MALIK, M.; LETEY, J. Pore size dependent apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media. **Soil Science Society of American Journal**. v. 56, p. 1032–1035. 1992.

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.

MEIRELES, M.C.S.; RIBEIRO, L.P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Universidade Federal de Viçosa, p.1688-1689. 1995.

MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science Society of American Journal Proc.** v. 36, p.296-300. 1972.

MELO, V.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SINGH, B.; NOVAIS, R.F.; FONTES, M.P.F. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, p. 53-64. 2002.

MIYAJIMA, T.; YOSHIDA, K.; KANEGAE, Y.; TOHFUKU, H.; MARINSKY, J.A. Metal complexation of negatively charged polymers: evaluation of the electrostatic effect on the complexation equilibria. **Reactive Polymers**. v.15, p. 55-62. 1991.

MOREAU, A.M.S.S. Gênese, química e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro no sul da Bahia. Viçosa, MG, 2001. 139p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M.; KER, J.C.; GOMES, F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 1021-1030. 2006.

MORTIMER, D. A. Synthetic polyelectrolytes- a review. **Polymer international**. v. 25, p. 29-41. 1991.

NASSER, M.S.; JAMES, A.E. The effect of polyacrylamide charge density and molecular weight on the flocculation and sedimentation behaviour of kaolinite suspensions. **Separation purification Technology**. v. 52, p. 241-252. 2006.

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.

NORTCLIFF, S. Standardization of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 88, p. 161–168. 2002.

NUNES, M.C.M.; CASSOL, E. A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2839-2845. 2008.

OLIVEIRA, R.A.; REZENDE, L.S.; MARTINEZ, M.A.; MIRANDA, G.V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.8, n.1, p.160-163. 2004.

PINHEIRO, J.P., MOTA, A.M., BENEDETTI, M.F.. Effect of aluminum competition on lead and cadmium binding to humic acids at variable ionic strength. **Environment Science Technology**. v. 34, p. 5137–5143. 2000.

PONTE, C.M.; RIBEIRO, L.P. Estudo da gênese de horizontes coesos em uma toposseqüência na área do Candéal. **Escola de Agronomia da UFBA**. Salvador: IGEO/UFBA, 1990.

RAIJ, B. van; PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, n.4, p.587-593, 1972.

REEVES, D.W. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research**. v. 43, 131–167. 1997.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. v. 110, p. 131–146. 2002.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; YANG, X.M.; FOX, C.A.; TAN, C.S.; ZHANG, T.Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**. v. 96, p. 316–330. 2007.

REZENDE, J.O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador, SEAGRI-SPA, 117p. 2000. (Série Estudos Agrícolas, 1).

RIBEIRO, L.P. Premiers resultas sur la genése des sols a horizons indures dans la region du Cruz das Almas, BA, Brésil. In: TABLE RONDE SUR L.ORGANIZATION ET DINAMIQUE INTERNE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE, Caen, 1991. **Anais**. Caen: CNRS, 1991.

RIBEIRO, L.P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE OS SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais**. Aracaju: EMBRAPA, CPATC; CNPMF; EAUFBA; EGUFB. p. 27-35. 1996.

RIBEIRO, L.P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: Seplantec, CADCT, 99p. 1998.

RIBEIRO, L.P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS

TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p. 93-121. 2001.

RICHARDS, L.A. Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US **Department of Agriculture**, 160p. USDA Agricultural Handbook. 1954.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1. Viçosa: MG. Fundação Arthur Bernardes - UFV, 1999.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; CARVALHO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTANA, M.B. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores da coesão em dois solos dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. Viçosa, 2003. 76p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 1-12, 2006.

SEPASKHAH, 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.

SEYBOLD, C.A. Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 25, p. 2171–2185. 1994.

SHAINBERG, I.; WARRINGTON, D.; RENGASAMY, P. Effect of soil conditioner and gypsum application on rain infiltration and erosion. **Soil Science**. v. 149, p. 301–307. 1990.

SILVA, A.J.N.; GABEDA, M.S.V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo da coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p. 447-457. 2005.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; MERMUT, A.R.; BENKE, M.B. Influência do cultivo contínuo da cana de açúcar em latossolos amarelos coesos do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 515-525, 1998.

SILVA, A.J.N; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, p.579-585. 2006.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; CARVALHO, F.G.; SILVA, V.N.; SILVA, L.E.S.F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions,consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 94, p. 420-424. 2007.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p.329-337. 2006.

SEPASKHAH, 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, p. 513-520. 2010.

SOJKA, R.E.; LENTZ, R.D.; ROSS, C.W.; TROUT, T.J.; BJORNEBERG, D.L.; AASE, J.K. Polyacrylamide effects on infiltration in irrigated agriculture. **Journal of Soil and Water Conservaion**. v. 53, p. 325–331. 1998.

SOJKA, R.E.; SURAPANEMI, A. Potential use of polyacrylamide (PAM) in Australian agriculture to improve off and on-site environmental impacts and infiltration management. **Land & water resources Research and Development Corporation**. 27p. 2000.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S.; CUNHA SOBRINHO, A.P. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em latossolo amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 28, p. 87-91. 2006.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. p.169-190. 2001.

SMITH, C.H.; HADAS, A.; DAN, J.; KOYUMDJISKY, H. Shrinkage and atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. **Geoderma**. v.35, p.47-65. 1985.

STEVENSON, F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. **Wiley, New York**. 496 p. 1994.

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 nutrient reduction in rill irrigation runoff. **Agricultural Water Management**. v.91, n. 1-3, p.43-50. 2007.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology- the physics of irrigated and non irrigated soils**. San Francisco, W.H Freeman. 532p. 1972.

TAM, S.H., MCCOLL, J.G. Aluminum-binding ability of soluble organics in Douglas fir litter and soil. **Soil Science Society of American Journal**. v. 55, p. 1421–1427. 1991.

TERRY, R. E., AND S. D. NELSON. Effects of polypolyacrylamide and irrigation method on soil physophysical properties. **Soil Science**. v. 141, p. 317-320. 1986.

THENG, B.K.G. Formation and Properties of Clay–Polymer Complexes, **Elsevier Scientific Publishing Company**. Amsterdam, 1979.

THENG, B.K.G. Clay-polymer interactions: Summary and perspectives. **Clays Clay Minerals**. v. 30, p. 1–10. 1982.

TROUT, T.J.; SOJKA, R.E.; LENTZ , R.D. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration. **Transactions of the ASAE**. v. 38, p. 761–765. 1995.

WALLACE, A.; WALLACE, G.A. Effects of very low rates of synthetic soil conditioners on soils. **Soil Science**. v. 141, p. 324–327. 1986.

WATTS, C.; DEXTER, A.R. Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**., Oxford, v. 49, n. 1, p.73-84, Mar. 1998.

WEN, Q.; CHEN, Z.; ZHAO, Y.; ZHANG,H.; FENG, Y. Biodegradation of polyacrylamide by bacteria isolated from activated sludge and oil-contaminated soil. **Journal of Hazardous Materials**. v.175, p.955-959. 2010.

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

ZHU, Z.; LI, T.; LU, J.; WANG, D.; YAO, C. Characterization of kaolin flocs formed by polyacrylamide as flocculation aids. **International Journal of Mineral Processing**. v.91, p. 94-99. 2009.