

KAIRON ROCHA ANDRADE

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS DA ZONA DA MATA DE  
PERNAMBUCO SOB AÇÃO DE CONDICIONADORES QUÍMICOS

RECIFE  
PERNAMBUCO – BRASIL  
2014

KAIRON ROCHA ANDRADE

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS DA ZONA DA MATA DE  
PERNAMBUCO SOB AÇÃO DE CONDICIONADORES QUÍMICOS

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  
PERNAMBUCO – BRASIL

2014

KAIRON ROCHA ANDRADE

Dissertação intitulada: ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS COESOS DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO SOB AÇÃO DE CONDICIONADORES QUÍMICOS, 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 27 de Fevereiro de 2014

---

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

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior (Dept<sup>o</sup> de Ciências do Solo/UFC)  
(Examinador)

---

Dr. André Julio do Amaral (EMBRAPA/UEPE)  
(Examinador)

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Edivan Rodrigues de Souza (DEPA/UFRPE)  
(Examinador)

*“Às três horas da tarde, implora à Minha misericórdia especialmente pelos pecadores e, ao menos por um breve tempo, reflete sobre a Minha Paixão, especialmente sobre o abandono em que Me encontrei no momento da agonia. Esta é a Hora da grande Misericórdia para o mundo inteiro. Permitirei que penetres na Minha tristeza mortal. Nessa hora nada negarei à alma que Me pedir pela Minha paixão...”*

(Diário de Santa Faustina, n. 1320)

*“Lembro-te, Minha filha, que todas as vezes que ouvires o bater do relógio, às três horas da tarde, deves mergulhar toda na Minha misericórdia, adorando-A e glorificando-A. Implora a onipotência dela em favor do mundo inteiro e especialmente dos pobres pecadores, porque nesse momento foi largamente aberta para toda a alma. Nessa hora, conseguirás tudo para ti e para os outros. Nessa hora, realizou-se a graça para todo o mundo: a misericórdia venceu a justiça. Minha filha, procura rezar, nessa hora, a via-sacra, na medida em que permitirem os teus deveres, e se não poderes fazer a via-sacra, entra, ao menos por um momento, na capela, e adora o Meu coração, que está cheio de misericórdia no Santíssimo Sacramento. Se não poderes sequer ir à capela, recolhe-te em oração onde estiveres, ainda que seja por um breve momento. Exijo honra à Minha misericórdia de toda a criatura, mas de ti em primeiro lugar, porque te dei a conhecer mais profundamente esse mistério.”*

(Diário de Santa Faustina, n. 1572)

## DEDICATÓRIA

Ao meu avó Adolfo Firmino Rocha (*in memoriam*),  
com seu conhecimento empírico soube valorizar o  
uso do solo.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela Divina Misericórdia e infinitas graças concedidas em minha vida;

Aos meus pais Aldair Alves e Rui d'Ávila pelo amor incondicional e carinho, por abdicarem dos seus sonhos para me proporcionar a melhor educação;

Às minhas irmãs Karol Rocha e Kércia Rocha por acreditarem e apoiarem as minhas escolhas e por estarem ao meu lado em todas as situações;

À minha noiva Juliana Gomes pelo amor, paciência e confiança, seu amor foi fundamental para a finalização deste trabalho;

Ao meu orientador Brivaldo Gomes de Almeida pela orientação e amizade;

Aos meus co-orientadores Edivan Rodrigues de Souza e José Coelho de Araújo Filho pelos ensinamentos;

Aos amigos Laércio Neves, Eloá Araújo, Hidelblandi Melo, Glêvia Lima, Luís Santos, Rosângela Silva, Juliana Alves, Wagner Souza, Diego Melo, Thiago Schossler, Heitor Duarte, Evanilson Paulino pelos momentos de alegria, de cumplicidade e amizade;

Aos amigos Anderson Souza, Hidelblandi Melo, Thiago Schossler, Eloá Araújo, Luís Santos, Diego Melo, Elaine Delarmelindo, Wagner Souza, Evanilson Paulino, Karine e Israel Gonçalves pelo apoio incondicional na execução das análises;

À Comunidade Católica Filhos da Misericórdia pelo apoio, acolhida e tantos momentos de aprendizado, obrigado por terem me acolhido como um irmão;

A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo – UFRPE;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUÇÃO GERAL.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19
CAPÍTULO I .....	22
RESUMO.....	23
INTRODUÇÃO .....	25
MATERIAL E MÉTODOS .....	29
Áreas de Estudo .....	29
Coleta dos Solos .....	30
Tratamentos e sua Aplicação às Amostras dos Solos .....	31
Atributos Físicos .....	35
Caracterização Química.....	37
Análises Mineralógicas da Fração Argila.....	38
Análise Estatística.....	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
Densidade do Solo (Ds) .....	39
Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) .....	40
Diâmetro Médio Ponderado (DMP) .....	45
Diâmetro Médio Geométrico (DMG) .....	49
Resistência Tênsil dos Agregados (RT) .....	52
Resistência à Penetração ao Sistema Radicular (RP) .....	55
CONCLUSÕES .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

CAPÍTULO II.....	67
RESUMO.....	68
ABSTRACT .....	69
INTRODUÇÃO .....	70
MATERIAL E MÉTODOS .....	73
Áreas de estudo.....	73
Coleta dos Solos .....	74
Tratamento e Aplicação nas Amostras de Solos.....	78
Atributos Físico-Hídricos .....	78
Caracterização Química.....	80
Análises Mineralógicas da Fração Argila.....	81
Análise Estatística.....	82
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
Condutividade Hidráulica Saturada ( $K_0$ ).....	82
Porosidade e Distribuição de Tamanho de Poros .....	87
Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) .....	94
CONCLUSÕES .....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102
ANEXO I.....	109
ANEXO II.....	110

## LISTA DE FIGURA

Figura 1. Localização dos três perfis de solos estudados, ao longo da Zona da Mata pernambucana.....	30
Figura 2. Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema. ....	48
Figura 3. Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba. ....	48
Figura 4. Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche.....	48
Figura 5. Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema.....	51
Figura 6. Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba. ....	51
Figura 7. Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche.....	52
Figura 8. Localização dos três perfis de solos estudados, ao longo da Zona da Mata Pernambucana.....	74
Figura 9. Relação macroporosidade:porosidade total (Macro/Pt) dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema, com a aplicação de soluções de PAM <sub>50</sub> (50 mg kg <sup>-1</sup> ), PAM <sub>100</sub> (100 mg kg <sup>-1</sup> ) e H <sub>2</sub> O destilada (Controle) .....	93
Figura 10. Relação macroporosidade:porosidade total (Macro/Pt) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba, com a aplicação de soluções de PAM <sub>50</sub> (50 mg kg <sup>-1</sup> ), PAM <sub>100</sub> (100 mg kg <sup>-1</sup> ) e H <sub>2</sub> O destilada (Controle) .....	93
Figura 11. Relação macroporosidade:porosidade total (Macro/Pt) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche, com a aplicação de soluções de PAM <sub>50</sub> (50 mg kg <sup>-1</sup> ), PAM <sub>100</sub> (100 mg kg <sup>-1</sup> ) e H <sub>2</sub> O destilada (Controle) .....	94
Figura 12. Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991)) .....	99
Figura 13. Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991)). .....	100

Figura 14. Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991)). ..... 101

Figura 15. Espectros de difratometria de raios X ( $CuK\alpha$ ) da fração argila natural dos solos dos horizontes A e Bt do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema, A e Bw2 do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba e A e Bw2 do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche. Ct: caulinita; Gb: gibbissita; Gt: goethita. .... 109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização física dos solos estudados .....	33
Tabela 2. Caracterização química dos solos estudados .....	34
Tabela 3. Densidade do solo dos horizontes dos Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelos Distrocoeso .....	40
Tabela 4. Índice de estabilidade de agregados em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelo Distrocoeso .....	41
Tabela 5. Diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelo Distrocoeso .....	46
Tabela 6. Diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelo Distrocoeso .....	50
Tabela 7. Resistência tênsil de agregado dos horizontes dos Latossolos Amarelos Distrocoeso e Argissolo Amarelo Distrocoeso.....	53
Tabela 8. Resistência à penetração ao sistema radicular (RP), com umidade equilibrada à tensão de 1500 kPa, dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelos Distrocoeso .....	55
Tabela 9. Umidade volumétrica equilibrada à tensão de 1500 kPa dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelos Distrocoeso .....	57
Tabela 10. Caracterização física dos solos estudados .....	76
Tabela 11. Caracterização química dos solos estudados .....	77
Tabela 12. Condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) dos horizontes dos Latossolos Amarelos Distrocoeso e Argissolo Amarelo Distrocoeso .....	83
Tabela 13. Valores médios de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) do horizonte A, do Latossolo Amarelo de Natuba; A, AB e BW2, do Latossolo Amarelo de Trapiche, e seus respectivos incrementos pelo uso combinado de PAM e $\text{CaSO}_4$ , PAM <sub>50</sub> (50 mg kg <sup>-1</sup> ) + $\text{CaSO}_4$ (1 g kg <sup>-1</sup> ), PAM <sub>100</sub> (100 mg kg <sup>-1</sup> ) + $\text{CaSO}_4$ (1 g kg <sup>-1</sup> ).....	84
Tabela 14. Macro, meso, micro, criptoporos e porosidade total nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche.....	88
Tabela 15. Macro, meso, micro, criptoporos e porosidade total nos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema .....	90
Tabela 16. Macro, meso, micro, criptoporos e porosidade total nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba .....	91

Tabela 17. Distribuição de poros por tamanho nos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolo Amarelo Distrocoeso (Natuba) .....	96
Tabela 18. Distribuição de poros por tamanho no horizonte do Latossolo Amarelo Distrocoeso (Trapiche) .....	97

**ANDRADE, Kairon Rocha. Atributos físico-hídricos de solos coesos da zona da mata de Pernambuco sob ação de condicionadores químicos.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

## **RESUMO**

O caráter coeso é um termo utilizado para descrever e classificar horizontes pedogenéticos subsuperficial adensados que apresentam aumento significativo na coesão entre as partículas, ocorrem nos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos condicionadores químicos na redução do caráter coeso de solos dos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros no estado de Pernambuco, a partir de ensaios de atributos físicos e físico-hídricos. Três perfis de solos foram abertos em áreas de floresta em três locais da Zona da Mata (Norte, Centro e Sul). Dez horizontes foram selecionados e coletados, sendo um bloco de solo para cada horizonte. Seis tratamentos foram aplicados nas amostras de solos, solução controle, PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1g kg<sup>-1</sup>), PAM + CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>) e PAM + CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>). Os atributos físicos e físico-hídricos avaliados foram densidade do solo, resistência tênsil, resistência do solo à penetração, estabilidade de agregados, porosidade, condutividade hidráulica de solo em meio saturado (K<sub>0</sub>) e curva característica de retenção de água no solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, p<0,05. Os solos apresentam alta agregação nas classes de maior diâmetro de agregados, influenciado pela ação dos condicionadores. O diâmetro médio ponderado dos agregados tratados com PAM foram significativamente maiores que os não tratados e possuem os maiores tamanhos de classes dos agregados, estando estes na classe de 2,00 – 1,00 mm (classe superior). Os valores de K<sub>0</sub> demonstram a influência da textura e porosidade dos solos no comportamento deste atributo em resposta ao uso dos condicionadores. A adição de PAM aos solos aumentou a capacidade em armazenar água, principalmente na faixa de menor retenção de água no solo, sugerindo redistribuição dos poros, com aumento dos microporos e criptoporos. A poliacrilamida melhorou a estabilidade dos agregados coesos. O alto peso molecular do polímero e a viscosidade influenciaram no comportamento hídrico dos solos submetidos a aplicação de PAM. O polímero aumentou a retenção de água dos solos coesos, sendo mais pronunciado seu efeito sobre os microporos, atenuando a coesão quando secos.

**Palavras-chaves:** Tabuleiro Costeiro, poliacrilamida, resistência tênsil

**ANDRADE, Kairon Rocha. Attenuation of the cohesive character of Pernambuco in soils under the action of chemical conditioners.** Dissertation (Master in Soil Science). Federal Rural University of Pernambuco, 2014.

## **ABSTRACT**

The cohesive character is a term used to describe and classify dense subsurface pedogenic horizons that show significant increase in cohesion between particles occur in the Coastal Tablelands and Sea of Hills. The objective of this study was to evaluate the behavior of chemical conditioners in reducing the cohesive character of soils of the Coastal Tablelands and Sea of Hills in the state of Pernambuco, from tests of physical and hydraulic attributes. Three soil profiles were opened in forest areas in three locations in the forest zone (North, Central and South). Ten horizons were selected and collected, with a block of soil for each horizon. Six treatments were applied to soil samples, control solution, PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1g kg<sup>-1</sup>), PAM + CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>) e PAM + CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>). The evaluated physical and hydraulic attributes were bulk density, tensile strength, resistance to penetration, aggregate stability, porosity, hydraulic conductivity of saturated soil medium (K<sub>0</sub>) and characteristic curve of water retention in the soil-water retention characteristic curve. The results were submitted to analysis of variance with means compared by Scott-Knott test, p <0.05. The soils are highly aggregated in larger diameter classes of aggregates, influenced by the action of conditioners. The weighted average diameter of aggregates treated with PAM were significantly higher than untreated and have the largest class sizes aggregates, these being in class from 2.00 to 1.00 mm (upper class). The values of K<sub>0</sub> demonstrate the influence of soil texture and porosity of the behavior of this attribute in response to the use of conditioners. The addition of PAM to soil increased the capacity to store water, mainly in the range of less water retention in the soil, suggesting redistribution of pores, increasing the micropores and criptopores. Polyacrylamide improved the stability of cohesive aggregates. The high polymer molecular weight and viscosity behavior of the water influence on soils subjected to application of PAM. The polymer increased the water retention of cohesive soils, being more pronounced effect on the micropores, reducing the cohesion when dry.

**Keywords:** Coastal Tablelands, polyacrylamide, tensile strength

## INTRODUÇÃO GERAL

Os Tabuleiros Costeiros situam-se na faixa sedimentar costeira litorânea do Brasil, cujos topos apresentam relevo plano e suave ondulado (CINTRA et al., 1997), referentes aos depósitos sedimentares do Grupo Barreiras, formação do período Terciário (LIMA et al., 2005), derivados de materiais argilosos, argilo-arenoso e arenoso, sendo depositados predominantemente sobre o embasamento cristalino (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

A faixa sedimentar costeira situa-se na zona úmida do litoral oriental das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, em regime climático com estações secas e úmidas bem definidas (GIAROLA & SILVA, 2002). No Nordeste, as áreas de Tabuleiros Costeiros correspondem a cerca de 10 milhões de hectares, sendo identificado nos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (GARIOLA & SILVA, 2002; CINTRA et al., 1997), na zona da úmida costeira e parte do semiárido, correspondente a 82% da área de tabuleiros brasileiro (JACOMINE, 1996).

Os solos provenientes desses sedimentos, ou similares, ocupam também outras regiões, como no vale do rio Amazonas e regiões semiáridas de Pernambuco e Bahia, estimando-se uma área de ocorrência desse solos em 200.000 km<sup>2</sup> (JACOMINE et al., 2001).

No semiárido de Pernambuco e Bahia, o material de origem dos solos está relacionado com cobertura sedimentar sobre embasamento cristalino, constituídos de materiais similares aos sedimentos Barreiras (ARAÚJO FILHO et al., 2001), materiais argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, bastante meteorizados, tipicamente caulíníticos e pobres em ferro (JACOMINE et al., 2001). Esses sedimentos podem ser encontrados nas áreas transicionais do limite entre o Terciário e Pré-cambriano, com domínio morfoclimático denominado de Mar de Morros (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

O Mar de Morros representa a região com superfície constituída por morros e colinas, com elevações alongadas na forma de “ondas do mar” (ARAÚJO FILHO et al., 2011), relacionada a encostas de serras, chapadas e terrenos movimentados.

No Mar de Morros e principalmente nos Tabuleiros Costeiros foram identificados solos com caráter coeso (CINTRA et al., 1997; ARAÚJO FILHO et al., 2000; LIMA et al., 2004; GIAROLA & SILVA, 2002).

O caráter coeso é um termo utilizado para descrever e classificar horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistente à penetração da faca ou martelo pedológico (EMBRAPA, 2013) e apresentam aumento significativo na coesão entre as

partículas; apresentando larga amplitude na consistência com a umidade, muito duros e extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (JACOMINE, 2001; EMBRAPA, 2013). Estes horizontes são de textura média, argilosa ou muito argilosa e, em condições naturais, têm uma fraca organização estrutural, são geralmente maciços ou com tendência a formação de blocos (EMBRAPA, 2013).

Devido à grande área de ocorrência de solos com essas características, o termo “coeso” foi introduzido no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 1999). Na edição atual do SiBCS (EMBRAPA, 2013), o termo “coeso” foi determinado como atributo diagnóstico, assim definido como “caráter coeso”.

O caráter coeso promove um aumento da densidade do solo e redução da porosidade total em relação aos horizontes adjacentes (LIMA NETO et al., 2010). A coesão promove limitações físicas, que também condicionam limitações químicas ao desenvolvimento das plantas, sendo um limitador para a produção agrícola. Alteram também os atributos físico-hídricos do solo, como potencial matricial da água no solo, aeração e resistência do solo à penetração (CINTRA et al., 1997).

Estes horizontes promovem a redução da profundidade efetiva do solo, diminuem o volume de exploração do solo pelas raízes, dificultam o aprofundamento do sistema radicular das culturas (CORRÊA et al., 2008; SOUZA et al., 2008), alteram a dinâmica da água no perfil do solo, diminuindo o teor de água disponível (LIMA et al., 2004), principalmente na época de estiagens (SANTANA et al., 2006), com aumento drástico da resistência do solo à penetração de raízes (MELO FILHO et al., 2007).

Além dessas limitações físicas, alterações químicas também estão associadas aos horizontes coesos, estas são relacionadas à baixa fertilidade natural (CORRÊA et al., 2008), baixos teores de matéria orgânica, baixa capacidade de retenção de nutrientes (BARRETO et al., 2010; LIMA et al., 2004), alta saturação por alumínio, alta acidez ativa e trocável, além de alterações nas atividades microbianas do solo (SOUZA, 1997).

A importância dos solos coesos nas áreas de tabuleiros costeiros está relacionada à densidade demográfica, haja vista que 50% da população do Nordeste habita essas áreas (FONSECA et al., 2007), com grandes cidades, polos industriais e intensa exploração agrícola. Cerca de aproximadamente 1,14 milhões de hectares são ocupados com áreas sob cultivo de cana-de-açúcar, com grande potencial para aumentar a produção e intenso crescimento do setor industrial, como também áreas de fruticultura e pecuária (FONSECA et al., 2007), abrigando

ainda, a maior área de Mata Atlântica ainda existente no País (CINTRA et. al., 1997).

Entretanto, para o setor agrícola essas áreas dos Tabuleiros Costeiros e Mares de Morros, por possuírem horizontes subsuperficiais com caráter coeso, apresentam uma série de limitações físicas que podem promover um decréscimo na produção agrícola.

Estudos nas áreas de Tabuleiros Costeiros comprovam as restrições à potencialidade agrícola promovida pelo caráter coeso (CINTRA et al., 1997; MELO FILHO, et al., 2007; CORRÊA et al., 2008; SOUZA et al., 2008; LIMA NETO et al., 2010), com baixas produtividades e alta relação custo/benefício para exploração da atividade agrícola

A atenuação da coesão natural nos solos pode garantir seu melhor aproveitamento sob o ponto de vista agrícola. Uma alternativa promissora para diminuir a coesão é a utilização de condicionadores químicos dos solos, cujos resultados têm reduzido os impactos negativos do caráter coeso e promovido uma melhoria na qualidade física dos solos (ALMEIDA, 2008). Dentre os condicionadores químicos usados no meio agrícola, a poliacrilamida (com maior destaque), o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), têm sido aplicados em solos com problemas de coesão, dando resultados que têm melhorado suas propriedades físico-hídricas (CHAN e SIVAPRAGASAM, 1996; SIVAPALAN, 2006; BUSSCHER et al., 2007; ASGHARI et al., 2011).

A poliacrilamida (PAM) é um polímero aniônico de alto peso molecular, solúvel em água, com macromoléculas lineares de cadeia longa (ENTRY et al., 2008), formada por polimerização de monômeros de acrilamida, com baixa densidade de carga (GREEN & STOTT, 2001; ENTRY et al., 2008).

Pesquisas utilizando polímeros em solos coesos da Austrália (hardsetting) têm comprovado que a PAM altera, positivamente, as propriedades físicas, químicas e biológicas desses solos, promovendo melhorias na aeração, na penetração de raiz, no movimento da água e resistência à erosão do solo (SOJKA et al., 2007), aumento da estabilidade de agregados e redução da resistência tênsil dos agregados do solo (CHAN & SIVAPRAGASAM, 1996). Os benefícios da aplicação dos polímeros podem ser potencializados com a aplicação conjunta com sulfato de cálcio (SIVAPALAN, 2002). Justificados pelos íons de cálcio em pequenas quantidades na solução do solo, favorecem a contração da dupla camada elétrica das partículas do solo, que possibilita a presença de eletrólito suficiente para superar a repulsão eletrostática (SOJKA et al., 2007).

No Brasil, há poucas informações disponíveis na literatura sobre o uso de condicionadores químicos para atenuar a coesão dos horizontes coesos, correlacionando sua aplicação com melhorias dos parâmetros físico-químicos desses solos (ALMEIDA, 2008; MELO, 2013). Além disso, os estudos de caracterização física e química dos horizontes coesos ainda divergem quanto aos parâmetros a serem analisados e quais destes podem ser utilizados para diagnosticar o caráter coeso desses solos.

Com base nisto, a hipótese deste estudo é que a aplicação dos condicionadores químicos aos solos coesos promove a atenuação da coesão entre as partículas do solo e, conseqüentemente, a melhoria de suas propriedades físico-hídricas.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar as alterações nos parâmetros físico-hídricos de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros no estado de Pernambuco, submetidos à tratamentos de condicionadores químicos, a partir dos ensaios de densidade do solo, distribuição do diâmetro dos poros, resistência tênsil de agregados, resistência do solo à penetração de raízes, estabilidade de agregados via úmida, condutividade hidráulica de solo em meio saturado e curva característica de retenção de água no solo.

A Dissertação está apresentada em dois capítulos: o capítulo I trata do uso de condicionadores químicos aplicados em solos coesos, fazendo avaliação da resposta do solo aos tratamentos, verificada pelo uso de parâmetros diagnósticos da compactação de solos. No capítulo II se faz uma abordagem dos aspectos físico-hídricos dos solos coesos, estudando-se a retenção de água pelos poros dos solos com a aplicação dos condicionadores, a partir dos dados das curvas características de retenção de água, obtendo-se a distribuição dos tamanhos de poros, influenciada pelos tratamentos aplicados aos solos, refletindo o fluxo de água no solo, por meio da sua condutividade hidráulica em meio saturada.

Desse modo, a pesquisa traz sua contribuição em resposta a carência de informações sobre o uso de condicionadores químicos em solos coesos, avaliando a melhoria da qualidade desses solos sob tais tratamentos, por meio de parâmetros físico-hídricos que sejam mais exatos no diagnóstico e resposta na redução/atenuação da coesão dos solos estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo.** Tese Doutorado. São Paulo: ESALQ/USP. 2008. 105 p.
- ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogêneses de horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. In: **Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**, Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 123-142.
- ASGHARI, S. A.; ABBASI, F.; NEYSHABOURI, M. R. **Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a Sandy loam soil.** Biosystems Engineering, v. 109, 2011. p. 90-97.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F.; CARVALHO FILHO, O. M. **Sistema de cultivo em aleias nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe:** resultados de pesquisa. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.
- BUSSCHER, W. J.; NOVAK, J. M.; CAESAR-TONTHAT, T. C. **Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.93, issue q, 2007, p. 171-178.
- CHAN, K. Y.; SIVAPRAGASAM, S. **Amelioration of a degraded hardsetting soil using an anionic polymeric conditioner.** Soil Technology, Amsterdam, v.9, n. 1, 1996, p. 91-100.
- CINTRA, F. L. D. ; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. da. **Tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil:** uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas dos solos. Boletim Informativo da SBCS, Campinas, n.18, 1997, p.81-95.
- 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, 2008, p. 297-313.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999, 412p.

\_\_\_\_\_. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3ª edição revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.

ENTRY, J.A.; SOJKA, R.E.; HICKS, B.J. **Carbon and nitrogen stable isotope ratios can estimate anionic polyacrylamide degradation in soil.** *Geoderma*, 145, 2008, p.8-16.

FONSECA, M. H. P.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D. de; BARRETO, A. N. **Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros.** Sergipe: *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiente*, v.11, n.4. 2007.

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

GREEN, V.S.; STOTT; D.E. Polyacrylamide: a review of the use, effectiveness and cost of soil erosion control amendment. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.H.; STEINHARDT, G.C. (eds). **Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th International soil Conservation Organization Meeting.** 2001, p. 384-389.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição Geográfica, Características e Classificação dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: **Reunião técnica sobre solos dos Tabuleiros Costeiros.** Anais. Cruz das Almas: EMBRAPA/UFBA. 1996, p.13-26.

JACOMINE, P.K.T. **Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil.** In: **Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros.** Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p. 19-46.

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, 2010, p. 473-486.

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, 2004, p. 467-476.

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, 2005, p. 33-40.

- MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L.; SOUZA, L. S. **Determinação do índice de qualidade subsuperficial de um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, 2007, p. 15999-1608.
- MELO, D. V. M. **Qualidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco em função do uso de poliacrilamida.** Dissertação Mestrado, UFRPE, 2013, 76 p.
- SANTANA, B.M.; 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, 2006, p. 1-12.
- SIVAPALAN, S. **Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked type polyacrylamide.** Australian Journal of Experimental Agriculture, Melbourne, v. 46, n. 4, 2006, p. 579-584.
- SIVAPALAN, S. **Potential use of polyacrylamides (PAM) in Australian irrigated agriculture.** In: Irrigation Australia 2002 Conference, Sydney. Proceeding. Sydney, 2002, p. 339-346.
- SOJKA, R.E., BJORNEBERG, D.L., ENTRY, J.A., LENTZ, R.D. & ORTS, W.J. **Polyacrylamide in agriculture and environmental land management.** Advances in Agronomy, 92, 2007, p.75-162.
- SOUZA, L. S. **Aspectos sobre o uso e manejo dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros.** Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, 1997.
- SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. S. **Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v 32, 2008, p. 503 -513.

**CAPÍTULO I**  
**PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS COESOS DA ZONA DA MATA DE**  
**PERNAMBUCO SOB AÇÃO DE CONDICIONADORES QUÍMICOS**

## RESUMO

O caráter coeso têm ocorrência em solos nas áreas de Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros, identifica horizontes minerais subsuperficiais com aumento significativo na coesão entre as partículas e ampla alteração da consistência quando relacionada a umidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos condicionadores químicos na redução do caráter coeso de solos dos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros no Estado de Pernambuco, a partir de atributos físicos. Três perfis de solos foram abertos em áreas de floresta em três locais da Zona da Mata (Norte, Centro e Sul). Os blocos de solos foram coletados dos horizontes selecionados, sendo dez blocos de solos utilizados, em cada perfil foi coletado um horizonte coeso. Nos blocos de solos foram inseridos anéis volumétricos e separados os agregados do solo. Seis tratamentos foram aplicados nas amostras de solos, solução controle, PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1g kg<sup>-1</sup>), PAM + CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>) e PAM + CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>). Os atributos físicos avaliados foram densidade do solo, resistência tênsil, resistência do solo à penetração e estabilidade de agregados. Os resultados foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste Scott-knott, p<0,05. Os valores de densidade não diferiram significativamente entre os tratamentos, este atributo não foi sensível para diagnosticar a ação dos condicionadores. Os solos apresentam alta agregação nas classes de maior diâmetro de agregados, influenciado pela ação dos condicionadores, principalmente as macromoléculas da PAM, devido a adsorção externa. Os resultados de diâmetro médio ponderado mostram que os agregados tratados com PAM foram significativamente maiores que os não tratados, mostrando assim a importante função deste polímero como agente estabilizante do solo. A PAM também proporcionou os maiores tamanhos de classes dos agregados, estando estes na classe de 2,00 – 1,00 mm (classe superior), com diferença significativa em relação ao tratamento controle (p<0,05). Os condicionadores não promoveram redução na resistência tênsil dos agregados dos horizontes coesos e não coesos em comparação ao tratamento controle. A aplicação dos condicionadores de solos promoveram um aumento da resistência à penetração dos solos analisados. A poliacrilamida melhorou a estabilidade dos agregados coesos, sendo o diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico de agregados utilizado para diagnosticar a qualidade dos solos coesos. O gesso, na concentração usada nesse estudo, não melhorou a qualidade estrutural dos solos, mesmo quando aplicados com a poliacrilamida.

**Palavras-chaves: agregação, compactação, poliacrilamida**

## ABSTRACT

The cohesive character have occurred in soil in the areas of Coastal Tablelands and Sea of Hills, identifies subsurface mineral horizons with a significant increase in the cohesion between the particles and extensive alteration of consistency when related to soil moisture. The objective of this study was to evaluate the behavior of chemical conditioners in reducing the cohesive character of soils of the Coastal Tablelands and Sea of hills in the state of Pernambuco, from physical attributes. Three soil profiles were opened in forest areas in three locations in the forest zone (North, Central and South). The blocks of soil were collected from selected horizons, ten blocks of soils used in each profile was collected a cohesive horizon. In blocks of soil volumetric core were inserted and separate the soil aggregates. Six treatments were applied to soil samples, control solution, PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1g kg<sup>-1</sup>), PAM + CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>) e PAM + CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>). The evaluated physical attributes were density, tensile strength, resistance to penetration and aggregate stability. The results were submitted to analysis of variance with means compared by Scott-Knott, p <0.05. The density values did not differ significantly between treatments, this attribute was not sensitive enough to diagnose the action Conditioners. The soils are highly aggregated in larger diameter classes of aggregates, influenced by the action of conditioners, particularly macromolecules of PAM due to external adsorption. The results show that weighted average diameter aggregates treated with PAM were significantly higher than untreated, thus showing the important role of this polymer as a stabilizing agent soil. The PAM also provided the largest class sizes aggregates, these being in class from 2.00 to 1.00 mm (upper class), with a significant difference compared to the control treatment (p <0.05). Conditioners not promote the reduction in tensile strength aggregates of cohesive and non-cohesive horizons compared to the control treatment. The application of soil conditioners promoted an increase in penetration resistance of soils analyzed. The polyacrylamide improved the stability of cohesive aggregates with mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregates used to diagnose the quality of cohesive soils. Gypsum, the concentration used in this study, did not improve the structural quality of the soil, even when applied to the polyacrylamide.

**Keywords: aggregation, compaction, polyacrylamide**

## INTRODUÇÃO

O caráter coeso é um termo utilizado para descrever e classificar horizontes minerais subsuperficiais de solos que apresentam aumento significativo na coesão entre as partículas; apresentando amplitude na consistência quando relacionado a umidade do solo, sendo duro, muito duro e extremamente duro quando seco e friável quando úmido (JACOMINE, 2001). Esta alteração na consistência do solo está relacionada aos solos com materiais originários dos sedimentos da Formação Barreiras, compondo a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros (LIMA et al., 2005).

Os Tabuleiros Costeiros compreendem a região ocupada pela faixa sedimentar costeira litorânea do Brasil, cujos topos apresentam relevo plano e suave ondulado, situados em uma área de 10 milhões de hectares na região Nordeste (CINTRA et al., 1997; GARIOLA & SILVA, 2002), correspondente a 82% da área de Tabuleiros Costeiros brasileiro (JACOMINE, 1996). Esta unidade geomorfológica está relacionada aos depósitos sedimentares do Grupo Barreiras (Formação Barreiras), formação do período Terciário (LIMA et al., 2005), derivados de materiais argilosos, argilo-arenoso e arenoso, sendo depositados predominantemente sobre o embasamento cristalino (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Os solos coesos têm ocorrência também relacionada às áreas de morros, em unidade de paisagem denominada Mar de Morros, relacionada a encostas de serras, chapadas e terrenos movimentados, com elevações alongadas na forma de “ondas do mar”, derivadas de rochas do período Pré-Cambriano, com presença de decomposição de rochas cristalinas (ARAÚJO FILHO, 2011). Nas áreas de transição de materiais do Terciário para o Pré-Cambriano, região compreendida entre os Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros, constata-se a presença de sedimentos semelhantes aos depósitos sedimentares dos Tabuleiros Costeiros (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

A coesão nestes solos promovem alterações nos seus atributos físico-hídricos, tais como: aumento da densidade do solo, redução da porosidade total (LIMA NETO et al., 2010) e aeração do solo, modificação no potencial matricial da água no solo (LIMA et al., 2004), aumento da resistência do solo à penetração do sistema radicular (CINTRA et al., 1997; LIMA et al., 2005; MELO FILHO et al., 2007) e aumento da resistência tênsil dos agregados do solo (LIMA et al., 2005).

Alterações nas propriedades químicas do solo também podem ser relacionadas aos solos coesos, como baixa fertilidade natural (CORRÊA et al., 2008b), baixos teores de matéria

orgânica (LIMA et al., 2004; BARRETO et al., 2010), alta saturação por alumínio e elevada acidez ativa e trocável (SOUZA, 1997).

A atenuação da coesão nos solos pode garantir seu melhor aproveitamento sob o ponto de vista agrícola. A utilização de condicionadores químicos tem sido uma alternativa promissora para diminuir a coesão, promovendo alterações nas suas propriedades físicas, sendo os mais comuns o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), cujo uso tem reduzido valores de argila dispersa em água (ROSA JUNIOR et al., 2006).

Nos últimos anos, a aplicação de polímeros à base de poliácridamida tem recebido destaque como condicionador em solos coesos (CHAN & SIVAPRAGASAM, 1996; SIVAPALAN, 2006; BUSSCHER et al., 2007).

A poliácridamida (PAM) é um polímero aniônico, solúvel em água, com moléculas lineares de cadeia longa (ENTRY et al., 2008), formada por polimerização de monômeros de acrilamida, com baixa densidade de carga e alto peso molecular (GREEN & STOTT, 2001; ENTRY et al., 2008).

Pesquisas têm comprovado que a PAM altera propriedades físicas, promove melhorias na aeração do solo, na penetração de raízes, no movimento da água e resistência à erosão do solo (SOJKA et al., 2007). Chan & Sivapragasam (1996), aplicaram soluções de PAM em solo coeso da Austrália (hardsetting) com diferentes umidades, avaliando a redução de sua degradação e concluíram que a aplicação deste polímero ao solo promoveu aumento significativo na estabilidade de seus agregados, com redução da sua resistência tênsil.

Segundo Sivapalan (2002), os efeitos do sulfato de cálcio (gesso) como condicionador de solos podem ser potencializados quando aplicado juntamente com os polímeros. Este resultado pode ser justificado pelos íons de cálcio presentes na solução do solo, favorece assim a contração da dupla camada elétrica das partículas do solo, que possibilita a presença de eletrólito suficiente para superar a repulsão eletrostática (SOJKA et al., 2007), existente nas ligações do polímero aniônico com as superfícies negativas das partículas do solo. O cálcio favorece a ligação das macromoléculas da PAM com as partículas do solo, atuando como ponte entre os locais de cargas negativas do polímero e superfícies do solo (WALLACE & WALLACE, 1996; ORTS et al., 2001; ENTRY et al., 2013).

No cenário internacional a utilização de polímeros sintéticos solúveis em água, como a poliácridamida, tem comprovado que seu uso pode reduzir a força coesiva dos solos quando secos (ALY & LETEY, 1989). No Brasil, as pesquisas com objetivo de melhorar a qualidade física de solos com horizontes coesos se restringem a práticas mecânicas de preparo do solo.

Dos polímeros de uso agrícola, o mais empregado no Brasil são os denominados hidroretentores (PREVEDELLO & BALENA, 2000; BUZETTO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004; AZEVEDO et al., 2002; VALE et al., 2006), mas sem ênfase na redução do caráter coeso dos solos (ALMEIDA, 2008).

Os hidroretentores, comparados com a PAM, tem algumas desvantagens, pois não reagem com os constituintes do solo (NIMAH et al., 1983), não são solúveis em água, mas são altamente hidrofílicos, que, ao adsorver grandes quantidades de água, formam um gel (SOJKA et al., 2005), disponibilizando a maior parte da água armazenada em tensões relativamente baixas, próximas da capacidade de campo (JOHNSON, 1984). Desse modo, estes polímeros são mais valorizados por sua capacidade de adsorver e armazenar água (MORAES, 2001), do que atenuante de coesão em solos (ALMEIDA, 2008).

Portanto, no Brasil, poucos são os trabalhos que utilizam condicionadores químicos para atenuar a coesão dos horizontes coesos (ALMEIDA, 2008; MELO, 2013), correlacionando a aplicação com melhorias dos parâmetros físico-químicos desses solos. Além disso, os estudos de caracterização física e química dos horizontes coesos ainda divergem quanto aos parâmetros a serem analisados e quais destes podem ser utilizados na representação e identificação do caráter coesos desses solos.

Um dos parâmetros físicos que pode ser relacionado com o caráter coeso é a resistência tênsil de agregados de solos (RT), definida como a tensão ou força por unidade de área requerida para ocorrer a ruptura do agregado quando aplicada uma tensão (DEXTER & WATTS, 2000). Sendo este parâmetro considerado como indicador sensível das condições estruturais do solo (DEXTER & KROESBERGEN, 1985).

O estudo de Ley et al. (1989) mostrou que a RT aumentou com a diminuição da umidade do solo, ocorrendo também correlações significativas entre a resistência e o teor de argila e a densidade do solo. Giarola et al. (2003) e Lima et al. (2005) utilizaram a RT, entre outros parâmetros físicos, na identificação dos solos coesos e observaram que os valores de RT foram significativamente menores no horizonte não coeso quando comparados com o horizonte coeso.

Essas diferenças, com maiores valores de RT nos horizontes coesos, podem estar relacionadas com a ausência de microfissuras nestes horizontes e podem indicar uma grande influência do empacotamento de suas partículas nestes horizontes (LEY et al., 1989; GIAROLA et al., 2003).

A resistência que o solo oferece à penetração de raízes (RP) pode ser considerada o atributo físico mais adequado para expressar o grau de compactação do solo e a facilidade de

penetração dos sistemas radiculares (SILVEIRA et al., 2010). O cálculo da resistência física dos horizontes coesos gera valores de um parâmetro sensível para quantificar e identificar a coesão (SANTANA et al., 2006); Lima et al (2004) identificou também a RP como um parâmetro indicador para a caracterização da coesão do solo, por meio do estudo de caracterização dos solos coesos do estado do Ceará, sendo o indicador mais sensível da coesividade do solo.

A RP está correlacionada com a umidade do solo, que estão diretamente relacionadas a textura e densidade do solo, matéria orgânica, coesão e estrutura (BUSSCHER et al., 1997; GIAROLA et al., 2001). O aumento do teor de água do solo promove a diminuição da RP, também observado nos solos coesos. Os horizontes coesos possuem maiores valores de RP, quando comparados com horizontes não coesos, principalmente sob condições de baixa umidade, com valores de 12,76 MPa para o horizonte coeso e 1,44 MPa para o não coeso, no estudo em um Latossolo Amarelo Coeso, sob floresta secundária (GIAROLA et al., 2001).

A agregação do solo pode ser definida como a união de partículas, argila – íons – matéria orgânica, areia e silte formando uma unidade estrutural do solo, o agregado (VASCONCELOS et al., 2010). Essa agregação tem influência dos cátions trocáveis, óxidos e matéria orgânica particulada do solo (MUNNER & OADES, 1989; SOANE, 1990).

A agregação do solo controla os movimentos internos de água, ar e calor e o crescimento de raízes (VASCONCELOS et al., 2010). A estabilidade de agregados e a agregação atuam na manutenção do espaço poroso adequado para a infiltração de água (GREEN & STOTT, 2001), que pode refletir os efeitos dos agentes cimentantes do solo, que podem promover a coesão do solo.

Os parâmetros utilizados para determinar o tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo são o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG), o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) (CASTRO FILHO et al., 1998; PASSARIN et al., 2007) e o Índice de Sensibilidade (Is) (BOLINDER et al., 1999). O DMP está relacionado com a porcentagem de agregados grandes retidos nas malhas maiores, o DMG estima o tamanho de classe de agregados de maior ocorrência no solo, o IEA demonstra a agregação total do solo, independente da distribuição de classes de agregados (CASTRO FILHO et al., 1998) e o Is é o princípio da comparação relativa entre os tratamentos (BOLINDER et al., 1999), permitindo avaliar a influência da aplicação das soluções aquosas de PAM no DMP e no DMG dos horizontes coesos e não coesos em relação ao tratamento controle.

A aplicação de PAM promove uma maior estabilidade de agregados, com aumento significativo do DMP dos agregados tratados com PAM em relação aos não tratados (LEVY & MILLER, 1999). A estabilidade de agregados demonstra a importância do polímero na agregação do solo, sendo a estabilidade um parâmetro complexo com influência em outras propriedades do solo. A manutenção da alta estabilidade de agregados com maiores diâmetros tem importância fundamental na estrutura e produtividade dos solos (AN et al., 2010).

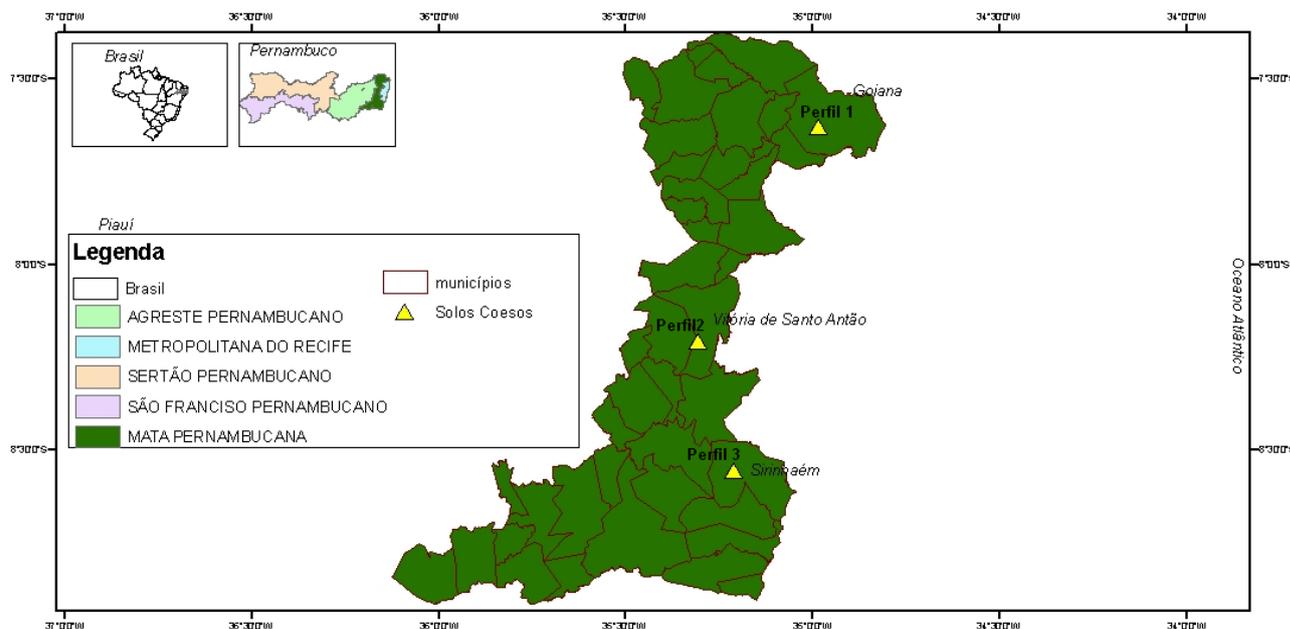
O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos condicionadores químicos na redução do caráter coeso de solos dos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros no estado de Pernambuco, a partir de atributos físicos: densidade do solo, resistência tênsil, resistência do solo à penetração e estabilidade de agregados.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Áreas de Estudo**

O estudo foi realizado em três áreas com regimes de chuvas distintos, sendo um perfil por área (Figura 1): Perfil 1, Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico ( $AAD_{ITA}$ ), localizado na Estação Experimental de Itapirema (IPA - PE), Município de Goiana – PE, Zona da Mata Norte, representando a área mais seca; Perfil 2, Latossolo Amarelo Distrocoeso típico ( $LAD_{NAT}$ ), localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Natuba, no Município de Vitória de Santo Antão – PE, Zona da Mata Centro, com regime de chuva intermediário entre as áreas; Perfil 3, Latossolo Amarelo Distrocoeso ( $LAD_{TRA}$ ), localizado na Usina Trapiche, Município de Sirinhaém, Zona da Mata Sul, sendo a área mais úmida. Os solos foram classificados conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013).

Os três perfis estudados manifestam o caráter coeso em horizontes subsuperficiais, com ocorrência em profundidades distintas. Os perfis estão em área de floresta subperenifólia, secundária em processo de regeneração, sem interferência de processos de compactação decorrente do uso e manejo do solo, a coesão apresentada pelos solos está relacionada aos processos pedogenéticos.



**Figura 1.** Localização dos três perfis de solos estudados, ao longo da Zona da Mata pernambucana.

### Coleta dos Solos

Os perfis de solos foram abertos e descritos sob vegetação nativa, conforme Santos et al. (2005), sendo demarcados os limites dos horizontes em cada perfil, para posterior classificação SiBCS (EMBRAPA, 2013). A seleção dos horizontes para o estudo foi baseada nas características morfológicas do caráter coeso, e, para efeito comparativo quanto à coesão, foram selecionados em cada perfil, além do horizonte com características de máxima coesão, um horizonte acima e outro abaixo do coeso, ambos sem expressão de coesão. Desse modo, para cada perfil foram coletados três blocos, um por horizonte, exceto para o perfil de Trapiche, no qual se coletaram quatro blocos, devido às dúvidas em campo sobre as características morfológicas de qual horizonte expressaria melhor o caráter coeso. Assim, foram selecionados e coletados dez blocos (horizontes).

Para as coletas de amostras em blocos não deformados seguiram-se procedimentos específicos, com objetivo de preservar a estrutura do solo, evitando-se assim danos à sua condição estrutural de campo. Para tanto, os blocos foram separados do perfil, utilizando-se, entre outros aparatos, de serrote, pá reta, acoplada a um macaco hidráulico, usando uma das paredes do perfil como apoio para remoção do bloco intacto, reduzindo-se perturbações no processo de coleta. Os blocos apresentaram dimensões de 45 x 45 cm (comprimento e largura), sendo a altura do bloco determinada pela profundidade de cada horizonte.

Após retirados da trincheira, os blocos foram envolvidos, inicialmente, em plástico filme, depois em plástico bolha, em seguida rotulados, identificando-se o topo e base do bloco

no perfil. Para o transporte dos blocos ao laboratório, estes foram devidamente acondicionados em caixas de isopor, evitando-se os impactos durante sua locomoção.

No laboratório, os blocos, ainda com plásticos, foram envolvidos com ataduras de gases embebidas em uma solução de gesso (atadura gessada), que ao secar, promoveu um melhor acondicionamento do bloco, mantendo-se assim sua estrutura, evitando seu desmoronamento durante a etapa de inserção dos anéis.

Para o processo de coleta em anéis volumétricos, os blocos engessados foram colocados em bandejas plásticas, forradas com espuma de aproximadamente 20 mm de espessura, umedecidos, por capilaridade até sua completa saturação. Em seguida os blocos foram drenados, até atingirem umidade em torno da capacidade de campo.

Os anéis volumétricos foram inseridos cuidadosamente aos blocos utilizando-se de amostrador tipo Uhland, com braço mecânico que introduz o anel lentamente ao bloco, sem ou com mínima perturbação da amostra (este equipamento está em processo de depósito de patente), totalizando 18 anéis volumétricos em cada bloco. Estes conjuntos anel-amostra foram reservados para aplicação dos tratamentos e ensaios de resistência do solo à penetração de raízes e densidade do solo. Após a coleta dos anéis volumétricos, o restante do solo foi separado em agregados e terra fina seca ao ar (TFSA).

Os agregados foram separados manualmente a partir das superfícies de fraqueza, até que passassem na peneira de malha de 25,4 mm, sendo retidos na peneira de 19,0 mm, obtendo-se assim agregados com dimensão média de 22,2 mm de diâmetro. Os agregados foram mantidos em sala com temperatura controlada (23°C), para padronização da umidade, e reservados para aplicação dos tratamentos e ensaios de resistência tênsil (RT).

Os agregados de solos com diâmetros menores que os reservados anteriormente para RT, foram passados em um novo conjunto de peneiras, com malha de 7,1 mm e 4,76mm, e separados para aplicação dos tratamentos e ensaios de estabilidade de agregados.

As amostras em TFSA foram obtidas a partir da coleta do restante de amostras não estruturadas de cada um dos horizontes selecionados. As amostras foram destorroadas, homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2,00 mm, sendo essas amostras utilizadas na caracterização física e química dos solos, Tabelas 1 e 2, respectivamente.

### **Tratamentos e sua Aplicação às Amostras dos Solos**

Para avaliar o efeito dos condicionadores químicos nas variáveis físicas dos solos coesos e não coesos foram utilizados o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), produto puro para análise (p.a.)

e o polímero aniônico à base de poliacrilamida (PAM), com massa molecular de  $15,0 \text{ Mg mol}^{-1}$  e 35 % de densidade de carga (hidrólises). A escolha dos condicionadores e as concentrações dos tratamentos tiveram como base os estudos de Chan e Sivapragasam (1996) e Almeida (2008).

Foram aplicados seis tratamentos: solução com água destilada (controle); e cinco soluções aquosas, sendo duas concentrações de PAM ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ); uma concentração de  $\text{CaSO}_4$  à  $1 \text{ g kg}^{-1}$ ; e duas concentrações de PAM ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) combinadas com  $\text{CaSO}_4$  ( $1 \text{ g kg}^{-1}$ ). Devido aos diferentes tipos de amostras de solos empregados neste estudo (anel-amostra; agregados e TFSA), a aplicação dos tratamentos (até saturação das amostras) ocorreu com especificidades para cada tipo de amostragem.

Para amostras em anéis volumétricos, os conjuntos amostra-anel foram transferidos para bandejas plásticas forradas com espumas de 20 mm de espessura, previamente saturadas com soluções com os diferentes tratamentos. Os conjuntos amostra-anel ficaram submetidos ao processo de saturação por capilaridade, elevando-se o nível da solução até faltar 0,5 cm da altura do anel, mantendo-se estas condições por um período de 48h.

Após este período, os conjuntos amostra-anel foram retirados das soluções e colocados em grades suspensas, por um período de 48h, para ocorrer a drenagem natural do excesso das soluções.

As amostras em forma de agregados maiores (diâmetro médio de 22,2 mm) e menores (diâmetro médio de 5,93 mm) foram colocadas em bandejas plásticas forradas com espumas de 20 mm de espessura, previamente saturadas com as soluções dos diferentes tratamentos. Os agregados foram mantidos sob saturação por capilaridade um período de 48h. Em seguida, os agregados foram, cuidadosamente, retirados da espuma e colocados para drenar o excesso das soluções e atingir a temperatura do ambiente (em média, após 48h).

Para aplicação dos tratamentos às amostras de TFSA, estas foram transferidas para tubos de PVC (15 x 15 cm, diâmetro e altura), formando colunas de solos. Os tubos contendo as amostras foram colocados dentro de recipiente plásticos, revestidos na base com espuma (20 mm de espessura, previamente saturadas com as soluções dos diferentes tratamentos), para ocorrer o processo de saturação, elevando-se o nível da solução, gradativamente, até  $\cong 0,5$  cm de altura da coluna de solo. Estas ficaram em saturação por um período de 48h, após o qual ocorreu o processo de drenagem natural do excesso das soluções dos tratamentos, por um período de  $\cong 48$ h.

**Tabela 1.** Caracterização física dos solos estudados

Horizonte	Análise Granulométrica <sup>(2)</sup>									Silte/Argila	IF <sup>(3)</sup>	ID <sup>(4)</sup>	Dp <sup>(5)</sup>	Ds
	Argila	Silte	Areia	AMG	AG	AM	AF	AMF	ADA					
	-----g kg <sup>-1</sup> -----													
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>														
<b>A<sup>(1)</sup></b>	75,54	33,39	891,07	44,48	162,34	324,24	298,65	60,27	20,99	0,44	0,72	0,28	2,70	1,40
<b>E</b>	92,12	18,27	889,61	35,84	158,94	320,90	308,10	62,98	33,50	0,20	0,64	0,36	2,70	-
<b>BE</b>	150,87	33,93	815,20	31,69	142,25	276,26	287,99	74,00	104,77	0,22	0,31	0,69	2,73	-
<b>Bt<sup>(1)C</sup></b>	323,62	26,94	649,44	22,69	110,87	222,33	220,08	72,88	16,81	0,08	0,95	0,05	2,78	1,70
<b>Bt/Bw</b>	306,37	12,30	681,33	20,74	126,58	250,81	215,97	64,13	0,00	0,04	1,00	0,00	2,77	-
<b>Bw<sup>(1)</sup></b>	332,27	37,61	630,13	19,09	118,35	219,55	197,59	72,34	0,00	0,11	1,00	0,00	2,79	1,56
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>														
<b>A<sup>(1)</sup></b>	343,72	171,12	485,16	33,87	114,18	138,41	131,96	63,38	221,51	0,50	0,38	0,62	2,68	1,19
<b>BA</b>	385,64	139,43	474,93	37,39	121,81	133,13	119,38	61,20	0,00	0,36	1,00	0,00	2,70	-
<b>Bw1<sup>(1)C</sup></b>	554,67	11,78	433,55	24,71	109,93	118,50	114,46	59,00	0,00	0,02	1,00	0,00	2,72	1,47
<b>Bw2<sup>(1)</sup></b>	603,93	11,06	385,01	42,28	112,73	111,22	111,22	60,90	0,00	0,02	1,00	0,00	2,78	1,23
<b>Bw3</b>	594,77	33,36	371,87	18,62	84,82	91,54	95,16	50,17	0,00	0,06	1,00	0,00	2,76	-
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>														
<b>A<sup>(1)</sup></b>	477,86	128,28	393,86	48,29	110,16	108,15	98,59	27,67	0,00	0,27	1,00	0,00	2,78	1,23
<b>AB<sup>(1)</sup></b>	653,92	60,93	276,15	30,68	87,52	74,45	62,37	19,62	0,00	0,11	1,00	0,00	2,79	1,31
<b>BA<sup>(1)C</sup></b>	628,77	56,93	314,89	32,19	93,06	89,03	75,95	22,64	0,00	0,09	1,00	0,00	2,84	1,35
<b>Bw1</b>	653,92	106,15	239,94	17,96	75,75	69,26	60,71	14,39	0,00	0,16	1,00	0,00	2,86	-
<b>Bw2<sup>(1)</sup></b>	704,22	37,23	258,55	30,18	75,95	65,89	60,36	20,12	0,00	0,05	1,00	0,00	2,89	1,18
<b>Bw3</b>	704,22	48,80	246,98	30,18	69,92	61,87	63,88	19,62	0,00	0,07	1,00	0,00	2,90	-

(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 picnômetro (FLINT & FLINT, 2002) C: Horizonte Coeso

AMG: Areia muito grossa; AG: Areia grossa; AM: Areia média; AF: Areia fina; AMF: Areia muito fina. ADA: Argila dispersa em água

**Tabela 2.** Caracterização química dos solos estudados

Horizontes	pH	pH	$\Delta$ pH <sup>(3)</sup>	PCZ <sup>(4)</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	SB	CTCef	CTCpot	V	m	PST	P	COT
	(H <sub>2</sub> O) <sup>(2)</sup>	(KCl) <sup>(2)</sup>																
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirredóxico (AADe<sub>ITA</sub>)</b>																		
A <sup>(1)</sup>	4,45	3,24	-1,21	2,04	0,36	0,59	3,97	1,36	6,67	48,4	6,28	12,95	54,68	11,49	51,49	4,57	11,25	1,99
E	4,59	3,79	-0,80	2,99	0,30	0,52	3,00	0,64	6,00	41,25	4,47	10,47	45,72	9,77	57,32	4,94	9,94	1,21
BE	5,05	4,16	-0,89	3,27	0,25	0,49	5,05	1,23	3,67	32,45	7,02	10,69	39,47	17,78	34,31	4,57	9,89	0,92
Bt <sup>(1)C</sup>	4,87	3,98	-0,89	3,09	0,25	0,53	4,62	1,36	5,00	31,35	6,76	11,76	38,11	17,74	42,51	4,53	9,57	0,81
Bt/Bw	4,92	3,99	-0,92	3,07	0,25	0,49	3,05	1,25	5,33	42,35	5,04	10,37	47,39	10,63	51,43	4,71	9,23	0,81
Bw <sup>(1)</sup>	5,02	4,06	-0,96	3,11	0,25	0,52	4,00	1,41	5,67	37,95	6,17	11,84	44,12	13,99	47,86	4,37	9,52	0,49
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>																		
A <sup>(1)</sup>	3,81	3,37	-0,43	2,94	0,37	0,67	2,40	3,44	27,00	129,8	6,87	33,87	136,67	5,03	79,70	1,96	11,11	3,59
BA	4,17	3,73	-0,44	3,29	0,33	0,67	2,20	4,33	19,33	94,6	7,53	26,86	102,13	7,37	71,97	2,48	10,11	2,40
Bw1 <sup>(1)C</sup>	4,66	3,95	-0,70	3,25	0,25	0,55	2,11	2,94	10,00	63,8	5,86	15,86	69,66	8,41	63,06	3,45	9,49	1,27
Bw2 <sup>(1)</sup>	4,68	3,91	-0,77	3,14	0,25	0,47	2,23	1,83	10,33	47,3	4,79	15,12	52,09	9,19	68,34	3,13	9,06	0,70
Bw3	4,48	3,99	-0,49	3,50	0,25	0,53	1,99	1,22	10,00	50,6	4,00	14,00	54,60	7,32	71,44	3,80	11,26	0,71
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>																		
A <sup>(1)</sup>	4,46	3,73	-0,73	3,01	0,62	0,99	3,27	5,07	12,67	113,85	9,95	22,61	123,80	8,04	56,01	4,38	11,45	2,03
AB <sup>(1)</sup>	4,31	3,99	-0,32	3,67	0,42	0,84	6,37	3,87	7,67	70,4	11,50	19,17	81,90	14,04	40,00	4,40	10,51	1,99
BA <sup>(1)C</sup>	4,45	4,02	-0,43	3,58	0,28	0,70	6,34	1,73	5,33	50,05	9,04	14,38	59,09	15,30	37,10	4,83	9,80	1,90
Bw1	4,56	4,11	-0,45	3,66	0,26	0,59	2,65	1,55	7,00	47,3	5,06	12,06	52,36	9,66	58,07	4,91	9,66	1,54
Bw2 <sup>(1)</sup>	4,76	4,42	-0,34	4,09	0,25	0,59	2,25	1,18	5,33	46,75	4,27	9,60	51,02	8,36	55,56	6,16	10,21	1,18
Bw3	4,47	4,36	-0,12	4,24	0,25	0,50	2,29	0,94	4,33	39,05	3,99	8,32	43,04	9,26	52,08	6,04	11,11	1,42

(1) Horizontes selecionados para o estudo (2) Suspensão TFSA:solução na proporção 1:2,5 (V:V) (3)  $\Delta$ pH = pH<sub>KCl</sub> - pH<sub>H2O</sub> (MEKARU e UEHARA, 1972) (4) Estimativa pela equação PCZ=2(pHK<sub>Cl</sub>)-pH<sub>H2O</sub> (KENG e UEHARA, 1974) C: Horizonte Coeso

## Atributos Físicos

A  $D_s$  foi determinada pelo método do anel volumétrico (GROSSMAN & REINSCH, 2002) e a densidade de partículas sólidas do solo ( $D_p$ ) pelo método do picnômetro (FLINT & FLINT, 2002). A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método do densímetro proposto em Gee & Or (2002), modificado e descrito por Almeida (2008), realizando-se apenas uma leitura, após dispersão da argila e 24h de repouso da agitação manual. Da mesma forma, foram determinadas as quantidades de argila dispersa em água (ADA), sendo calculados os índices de floculação (IF) e dispersão (ID), a partir da relação entre os teores de argila total e argila dispersa em água.

A resistência tênsil dos agregados (RT) foi realizada com auxílio de um penetrômetro eletrônico de bancada, com célula de carga de 20 kg, que aplica uma tensão constante a uma taxa de  $4 \text{ mm min}^{-1}$  até a ruptura dos agregados. O motor de propulsão, acoplado a célula de carga, conectada a uma chapa plana (disco com 2 cm de diâmetro por 1 cm de espessura), promove a ruptura tênsil, com a formação de uma fenda no agregado. Um sistema de aquisição de dados registra a força aplicada ao agregado, necessária para sua ruptura.

Sabendo-se da influência da umidade nos resultados da RT, os agregados dos solos, antes da realização dos ensaios de resistência, foram mantidos sob mesmas condições, controlando-se temperatura e umidade do ar. Após a execução dos ensaios de ruptura, os agregados foram pesados e colocados em estufa ( $105^\circ\text{C}$ , 24h), para calcular o conteúdo de água no momento do ensaio. A RT dos agregados foi calculada por meio da equação (1), como proposto em Dexter & Kroesbergen (1985).

$$RT = 0,576 \left( \frac{F_{\text{máx}}}{D_e^2} \right) \quad (1)$$

Sendo: RT = resistência tênsil dos agregados (kPa); 0,576 o valor da constante de proporcionalidade da relação entre a força compressiva aplicada e a resistência tênsil gerada no interior do agregado;  $F_{\text{máx}}$ ., a força máxima aplicada no ponto de fratura do agregado (N);  $D_e$ , o diâmetro efetivo de cada agregado (m).

Considerando que a densidade dos agregados dos solos é constante, o cálculo do diâmetro efetivo ( $D_e$ ) foi realizado pela equação (2), proposta em Watts & Dexter (1998).

$$D_e = D_m \left( \frac{M}{M_0} \right)^{0,3333} \quad (2)$$

Sendo:  $D_m$  = diâmetro médio dos agregados (mm), calculado pela média entre os valores das aberturas das malhas das peneiras utilizadas na separação dos agregados (no caso,

25,4 e 19,0 mm); M = massa individual do agregado seco ao ar (g) e Mo = massa média dos agregados na população (g).

A estabilidade de agregados foi medida pelo método de peneiramento por via úmida em aparelho de oscilação vertical do tipo Yooder, proposto por Kemper & Rosenau (1986), com modificações. O aparelho tipo Yooder utilizado é composto por três recipientes cilíndrico, inserindo-se um conjunto de cinco jogos de peneiras em cada recipiente (2,00 - 1,00 - 0,5 - 0,25 - 0,125 mm). Foram utilizados agregados com diâmetro médio de 5,93 mm (passados em peneira de 7,1 mm de malha e retidos na de 4,76 mm). Separam-se quatro subamostras de 25 g desses agregados, sendo três utilizadas no peneiramento por via úmida, e uma para determinação do fator de correção de umidade (fator “f”), corrigindo-se os pesos dos agregados secos ao ar para secos em estufa.

Para o peneiramento via úmida, as três subamostras dos agregados foram colocadas em papel filtro e saturada por capilaridade, durante 10 minutos, evitando-se assim o aprisionamento de ar dentro dos agregados. Depois da saturação as subamostras foram transferidas para o conjunto de peneiras, sendo depositados cuidadosamente na peneira superior, com 2,0 mm de malha. As subamostras ficaram submetidas ao peneiramento via úmida no aparelho com oscilações verticais por um período de 10 min.

Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para latas de alumínio, com auxílio de jatos de águas fracos dirigidos ao fundo das peneiras, sendo esse material seco em estufa (105°C, por 24 h) e pesados, para determinação dos agregados estáveis em cada classe.

Quantificou-se os agregados retidos em cada peneira, além daqueles que passaram através da última (< 0,125 mm), obtendo assim seis classes de diâmetro médios: 3,38 - 1,5 - 0,75 - 0,375 - 0,1875 e 0,063 mm.

Os pesos obtidos foram usados nas equações (3), (4), (5) e (6) para os cálculos do DMP, DMG, IEA e IS, respectivamente.

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

Em que: DMP = diâmetro médio ponderado (mm); xi = diâmetro médio das classes (mm); wi= proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = \text{Exp} \frac{\sum_{i=1}^N w_p \cdot \log x_i}{\sum_{i=1}^N w_p} \quad (4)$$

Em que: DMG = diâmetro médio geométrico (mm); wp = peso dos agregados de cada classe (g)

$$IEA = \left( \frac{\text{Peso da amostra seca} - w_p 0,125}{\text{Peso da amostra seca}} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que: IEA = índice de estabilidade de agregados (%); wp 0,125 = peso dos agregados da classe < 0,125 mm;

$$IS = \frac{As}{Ac} \quad (6)$$

Onde: As, é o valor do DMP ou do DMG do horizonte considerado submetido a cada solução aquosa de PAM, sulfato de cálcio e combinação de CaSO<sub>4</sub> e PAM; Ac, o valor do DMP ou do DMG do horizonte considerado submetido ao tratamento controle.

Os ensaios de resistência do solo à penetração de raízes (RP) foram realizados em um penetrômetro eletrônico de bancada, com célula de carga de 20 kg, que aplica uma carga constante, a uma taxa de 4 mm min<sup>-1</sup>, por meio de uma agulha com base do cone de 4 mm. O motor de propulsão, acoplado a célula de carga, conectada a agulha, promove sua penetração na amostra do solo. Um sistema de aquisição de dados registra a força aplicada ao solo contido no anel volumétrico, necessária para penetração da agulha ao solo, responsável pela resistência à penetração. O modelo do penetrômetro usado nos ensaios possui software que já fornece os resultados de RP em MPa.

Nos ensaios de RP a umidade foi padronizada na tensão para determinação do ponto de murcha permanente (pmp), neste ponto a umidade representa a expressão máxima da coesão do solo. Para isto, as amostras contidas nos anéis volumétricos (previamente saturadas) foram colocadas em placas de cerâmicas porosas para, em câmara de Richards, serem submetidas à tensão de 1500 kPa. Atingido o equilíbrio da tensão aplicada, as amostras foram pesadas e processadas para os ensaios da resistência do solo à penetração das amostras. Durante a inserção da agulha nas amostras, foram coletados todos os dados de resistência registrados pela célula de carga, desde a superfície até 4,5 cm de profundidade, deixando-se 0,5 cm entre a agulha e a base do equipamento, devido ao efeito de bordadura. Por este mesmo motivo, foram descartados os dados referentes ao primeiro centímetro de penetração. Desse modo, para a obtenção do valor final da RT, foram consideradas as informações dos três centímetros centrais de cada amostra, utilizando-se a média dos valores da resistência à penetração de cada amostra. Após a obtenção da RP, as amostras foram secas em estufa (105 °C, por 24 h), para determinação do conteúdo de água em base volumétrica ( $\theta$ ) e da densidade do solo (Ds).

### **Caracterização Química**

A caracterização química dos solos (Tabela 2) foi realizada por meio da determinação do pH do solo (proporção 1:2,5), usando como solução água e KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; o Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica;

o  $\text{Al}^{3+}$  foi extraído com  $\text{KCl}$   $1\text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{NaOH}$   $0,25\text{ mol L}^{-1}$ ; o  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram extraídos por Mehlich 1, e dosados por fotometria de chama; o P foi extraído por Mehlich 1, e determinado por fotocolorimetria; a acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ ) foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5\text{ mol L}^{-1}$  (pH 7,0) e titulada com  $\text{NaOH}$   $0,25\text{ mol L}^{-1}$ ; o carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de combustão úmida com dicromato de potássio ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). As metodologias citadas para caracterização química estão descritas em Embrapa (2009).

### **Análises Mineralógicas da Fração Argila**

A dispersão química e mecânica foi realizada com hexametáfosfato de sódio (HMP) e a agitação lenta, realizada no agitador tipo Wagner por 16h. A separação da fração argila foi realizada por sifonação. Após cada coleta, o volume de cada proveta era completado com o dispersante HMP, mantendo-se o pH entre 6,0 e 6,5. Esse procedimento foi repetido até total retirada da fração argila, reservada para posterior montagem em lâminas de vidro.

As amostras de argila foram analisadas na forma de pó não orientado, argila em condição natural, depois de macerada em almofariz de ágata e passadas em peneira de 48 mesh e argila orientada sobre as lâminas de vidros na forma de argila natural e após serem submetidos aos pré-tratamentos de eliminação de carbonatos e óxidos de ferro, conforme descrito em Jackson (1975). A disposição das argilas sobre as lâminas de vidro, para obtenção de amostra orientada, foram realizadas sob a forma de esfregaço.

Os difratogramas foram obtidos empregando-se um Difrátômetro de Raios X modelo Shimadzu XRD 6000, operando a uma tensão 40 kV, com corrente de 30 mA e radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , com monocromador de cristal de grafite acoplado.

Nas amostras na forma de argila orientada sobre as lâminas de vidros e as amostras em pó, a amplitude de varredura nas amostras foi de 3 a 70 (deg/min).

Com o objetivo de caracterizar os filossilicatos nas amostras, as lâminas de argilas em forma natural foram aquecidas, inicialmente à  $350^\circ\text{C}$  e depois à  $550^\circ\text{C}$ .

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes da fração argila foram: espaçamento interplanar (d), forma, largura e intensidade dos picos, como proposto por Brown & Brindley (1980) e Moore & Reynolds (1989). Na confecção dos difratogramas foram utilizadas somente a amplitude de varredura de 3 a 32 (deg/min), aos minerais identificados nos solos estão nessa faixa de amplitude.

## **Análise Estatística**

A unidade experimental utilizada neste estudo foi o bloco de solo coletado em cada horizonte, a partir dessa unidade experimental foram selecionadas as amostras para serem realizada a análise estatística. Os anéis volumétricos foram inseridos no bloco, em cada bloco foram coletados 18 anéis volumétricos, totalizando 180 anéis dos 10 horizontes. Os anéis de cada horizonte foram distribuídos aleatoriamente para os seis tratamentos, sendo utilizado o delinemanento em blocos casualizados. Os agregados menores e os agregados maiores foram retirados de toda a área do bloco, sendo distribuído para os seis tratamentos utilizados, nos agregados menores (EA) foram selecionados do bloco 25 g de agregados, com 3 repetições para cada tratamento. Os agregados maiores (RT) foram separados dos blocos, o número de repetições variou entre 8 e 49 agregados, devido a necessidade de maior número de agregados por horizontes para este ensaios, aumentando a exatidão do De (diâmetro efetivo do agregado natural), reduzindo o coeficiente de variação dos dados.

Os resultados foram 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.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Densidade do Solo (Ds)**

Dentre os indicadores físicos utilizados para avaliar a resposta dos solos aos condicionadores aplicados, a densidade do solo (Ds) foi o que menos se relacionou com a melhoria da qualidade estrutural dos solos coesos. Os valores de Ds não diferiram significativamente entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3), indicando que este parâmetro físico não foi sensível para diagnosticar pequenas modificações nas estruturas dos solos, provavelmente promovidas pelo uso dos condicionadores.

Corrêa et al. (2008) concluíram que a maior coesão observada para o Argissolo Amarelo, nos Tabuleiros Costeiros, com caráter coeso, localizado em clima mais seco, em relação aos solos localizados em clima mais úmido, pode ser devido a sua granulometria menos argilosa e a maior quantidade de feições de iluviação de argila.

Desse modo, o horizonte Bt apresentou maior Ds, por ter maior conteúdo de areia, 649,44 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

**Tabela 3.** Densidade do solo dos horizontes dos Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelos Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub> *	PAM <sub>100</sub> *	CaSO <sub>4</sub> *	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b>Ds (kg dm<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epi-redoxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
<b>A</b>	1,40 A	1,46 A	1,37 A	1,43 A	1,41 A	1,42 A	3,30
<b>Bt</b>	1,70 A	1,68 A	1,71 A	1,62 A	1,70 A	1,60 A	2,57
<b>Bw</b>	1,56 A	1,59 A	1,46 A	1,63 A	1,61 A	1,61 A	2,49
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
<b>A</b>	1,19 A	1,21 A	1,18 A	1,21 A	1,16 A	1,13 A	3,42
<b>Bw1</b>	1,47 A	1,53 A	1,50 A	1,47 A	1,47 A	1,50 A	1,99
<b>Bw2</b>	1,23 A	1,32 A	1,27 A	1,28 A	1,30 A	1,31 A	3,06
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
<b>A</b>	1,23 A	1,18 A	1,15 A	1,16 A	1,17 A	1,19 A	3,75
<b>AB</b>	1,31 A	1,35 A	1,31 A	1,37 A	1,30 A	1,36 A	1,38
<b>BA</b>	1,35 A	1,29 A	1,30 A	1,35 A	1,32 A	1,23 A	3,49
<b>Bw2</b>	1,18 A	1,26 A	1,16 A	1,25 A	1,22 A	1,16 A	3,73

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knot ( $p < 0,05$ ). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) e CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>)

Segundo Giarola et al. (2001) uma matriz dominada por grãos de areias, a argila e o silte (materiais finos) podem funcionar como pontes de ligação dos grãos adjacentes ou como material para ligar a superfície dos grãos individuais, sendo uma condição básica para o aparecimento do horizonte coeso (MULLINS et al., 1987).

Jacomine (1996) e Moreau (2001) afirmaram que Argissolos Amarelos com gradiente textural mais pronunciado, apresentam o caráter coeso até em maiores profundidades, como também observado pelo valor da densidade do solo no horizonte Bw (AAD<sub>ITA</sub>).

### Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)

Os elevados valores dos IEA, variando de 86 a 97 %, comprovam que os solos, em todos os horizontes estudados, apresentam alta agregação nas classes de maior diâmetro de agregados e, conseqüentemente, pouca quantidade de agregados da menor classe (< 0,125 mm) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Índice de estabilidade de agregados em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelo Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub> *	PAM <sub>100</sub> *	CaSO <sub>4</sub> *	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b>IEA (%)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
<b>Bt</b> (coeso)	94,00 B	95,19 B	97,16 A	92,87 C	94,77 B	94,79 B	0,76
<b>Bw</b>	94,33 B	94,32 B	96,48 A	89,57 D	92,11 C	92,07 C	0,75
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
<b>A</b>	94,68 A	95,95 A	96,21 A	95,95 A	96,56 A	96,15 A	1,22
<b>Bw1</b> (coeso)	92,32 B	95,13 A	95,16 A	91,37 B	92,35 B	92,67 B	0,98
<b>Bw2</b>	91,60 B	94,48 A	94,24 A	88,53 C	88,15 C	86,29 C	1,38
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
<b>A</b>	94,85 D	97,01 A	95,72 A	96,43 B	95,84 C	97,07 A	0,32
<b>AB</b>	96,05 A	96,81 A	96,40 A	96,36 A	95,81 A	96,35 A	0,86
<b>BA</b> (coeso)	96,07 A	96,52 A	96,76 A	95,56 A	94,60 A	95,05 A	1,70
<b>Bw2</b>	94,77 A	95,75 A	95,87 A	91,55 A	92,80 A	93,43 A	1,53

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) e CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>).

Embora o objetivo básico da pesquisa foi avaliar o efeito dos tratamentos nos horizontes coesos, nota-se que, não apenas nestes, mas na maioria dos horizontes (exceto nos (superficiais / subsuperficiais), os condicionadores aplicados aos solos promoveram maiores estabilidades dos agregados (Tabela 4).

Os resultados encontrados, na maioria dos horizontes, em respostas aos tratamentos pode ser justificada por maior presença de matéria orgânica e raízes (muitas, pequenas e finas), aliada a grande atividade da microfauna, que já contribuem para uma maior agregação, podendo ter inibido o efeito dos demais condicionadores, como bem observado por Longo et al. (1999) e Dufranc et al. (2004). Os horizontes superficiais (A e AB) recebem maior aporte de resíduos orgânicos, favorecendo o aumento e conservação dos agregados desses horizontes, determinados pelo suprimento contínuo e decomposição no solo pela atividade microbiana dos resíduos orgânicos (LONGO et al., 1999).

No caso do Latossolo de Trapiche (LAD<sub>TRA</sub>), estes efeitos parecem ter influenciado, não apenas os horizontes superficiais (A e AB), mas o restante do perfil. Realmente, embora o LAD<sub>TRA</sub> tenha apresentado os maiores valores de IEA, com média maior que 95 %, não houve

diferença significativa entre os tratamentos, indicando que estes altos valores podem ter sido gerados pelos condicionantes naturais deste solo, destacando-se a matéria orgânica e os teores de alumínio (Tabela 2) e de ferro (Anexo I), principais agentes agregantes deste solo.

A ação desses cátions influenciando a agregação do solo tem sido comentado em vários trabalhos (GOLDBERG et al 1987; GOLDBERG et al 1988; REICHERT et al., 1993; DUIKER et al., 2003; DUFRANC et al. 2004), como comprovado por Janczuk et al. (1992), verificaram que aumento de Fe e de Al causam aumento das forças de atração dos coloides, influenciando a agregação do solo. De fato, conforme observado por Ribeiro (2001), o grau de coesão desses solos é proporcional ao aumento do teor de argila e em função do predomínio de goethita como óxido de ferro. Dos três perfis estudados, o LAD<sub>TRA</sub> foi o que expressou melhor esta situação, conforme pode ser ratificado pelos difratogramas de Raio X no Anexo I.

Resultados similares foram encontrados por Oliveira et al. (2010), em estudo com adição de condicionador orgânico e diferentes sistemas de manejos em um Argissolo Amarelo distrocoeso. Os altos valores dos IEA encontrados para o LAD<sub>TRA</sub>, indicando que os agregados formados são bastante estáveis em água, inclusive nas amostras do tratamento controle, pode ser explicada pelo fato dos solos do presente estudo estar sob área de mata. Com relação a isto, Tisdall & Oades (1980) comentam que as hifas de fungos e atividades de raízes são importantes na agregação de partículas com diâmetro superior a 2,0 mm. Em condições de mata, a cobertura vegetal promove uma deposição contínua de resíduos vegetais, que, somada à intensa atividade biológica, torna os agregados mais estáveis, conforme observado por Longo et al. (1999).

Mesmo em profundidade, ao longo dos outros horizontes, quando a quantidade de resíduos vegetais diminui, os altos valores dos IEA foram mantidos, devido, provavelmente, à alta atividade biológica. A formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos que, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidos substâncias que agem na agregação e na estabilização (SILVA & MIELNICZUK, 1997). Os microrganismos participam da agregação, aproximando as partículas e produzindo polissacarídeos e outras substâncias orgânicas que atuam como “goma” e “cimento”: o primeiro mecanismo de aproximação formaria os agregados; e o segundo, dar-lhes-ia estabilidade (BAVER et al., 1972).

A maior agregação e conseqüente estabilização dos agregados com a aplicação dos polímeros, nestes horizontes, podem estar relacionada a interação das moléculas das PAM e a sua adsorção nos agregados. Porém, a estabilização dos agregados, sua forma de adsorção do polímeros na superfície externa e interna dos agregados e também a forma como a PAM penetra

nos poros dos agregados (MAMEDOV et al., 2007), impedem que neste estudo possa concluir qual a forma de adsorção predominante do polímeros ocorridas no solo.

Green et al. (2001) afirmam que a forma de adsorção do polímero no solo é a chave para a sua eficiência como condicionador de solos, sendo essa adsorção relacionada ao peso molecular e a densidade de carga dos polímeros. No presente estudo, somente foi avaliado a aplicação da poliacrilamida de alto peso molecular, com  $15,0 \text{ Mg mol}^{-1}$  e alta densidade de carga, em torno de 35% (dados do fabricante, mas também citados na literatura).

Liu et al. (2009) e Levy & Miller (1999), explicando a atuação dos polímeros nos agregados dos solos, afirmaram que a aplicação de soluções aquosas de estabilizantes do solo nos agregados criam ligações físico-químicas entre moléculas de polímeros e os agregados do solo, por meio de ligações iônicas, pontes de hidrogênio e forças de Van der Waals, que são modificadas com a características dos agregados e dinâmica das soluções de polímeros.

Yu et al. (2003) justificaram que o aumento da estabilidade dos agregados proporcionado pelos polímeros, conforme resultados também apresentados neste estudo (Tabela 3), ocorrem porque as macromoléculas dos polímeros de cadeias longas são adsorvidas na superfície externa dos agregados dos solos, ligando-os e assim aumentando a resistência do seus agregados na água.

As macromoléculas dos polímeros revestem rapidamente a superfície externa dos agregados, formando uma membrana com estrutura viscosa e elástica, como visto em LIU et al. (2009). Esses autores associam esse tipo de mecanismo de revestimento da superfície externa aos polímeros de alta massa molecular, já os polímeros de baixo peso molecular não tem capacidade de revestir completamente a superfície do agregado, infiltram nos agregados e revestem os agregados secundários.

A longa cadeia da PAM tem a capacidade de revestir as superfícies das partículas do solo, estabilizando desta forma os agregados (GREEN et al., 2000). O revestimento da superfície externa dos agregados pela PAM promoveu uma agregação da estruturas dos agregados. Esse revestimento possibilitou agregados mais estáveis na água, com destaque para a concentração  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ .

O estudo de Levy & Miller (1999) contraria as afirmações citadas anteriormente. Estes afirmam em seu estudo que as macromoléculas de polímeros de alto peso molecular podem penetrar nos agregados e serem adsorvidos pelas superfície internas, função essa atribuídas em Yu et al. (2003) e Liu et al. (2009) somente aos polímeros de baixo peso molecular. Levy & Miller (1999) ainda concluíram que a adsorção da PAM nas superfície internas não

estaria relacionada diretamente ao conteúdo de argila do solo, porém tem relação com a distribuição dos tamanhos dos poros do solo.

Portanto, no caso desta pesquisa, baseando-se na literatura, pode-se afirmar que a maior parte da PAM adicionada aos agregados foi adsorvida na sua superfície externa, tendo com resultado a sua maior estabilização.

O comportamento do  $LAD_{TRA}$  com relação a estabilidade de seus agregados se distinguiu dos dois outros perfis estudados. Tanto o Latossolo de Natuba ( $LAD_{NAT}$ ), como, principalmente, o Argissolo de Itapirema ( $AAD_{ITA}$ ), apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, tendo maior destaque a dose de PAM à  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esta concentração, em geral, promoveu maiores valores de IEA, principalmente nos horizontos coesos desses perfis (Bt e Bw1), conforme visto na Tabela 4.

Os resultados de estabilidade dos agregados apresentados em Mamedov et al. (2007) indicam que as soluções aquosas de PAM, em geral, apresentam maior estabilidade de agregados quando comparadas com as soluções aquosas de PAM e  $\text{CaSO}_4$ . Os resultados dos índices de estabilidade de agregados encontrados neste estudo (Tabela 4) corroboram esta afirmação. A combinação de PAM com  $\text{CaSO}_4$  não resultou em maiores valores de IEA, mas sim quando aplicado isoladamente (principalmente PAM  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Mamedov et al. (2007) ainda ressaltaram que a presença de eletrólitos na solução dos polímeros, tais como sais de Ca, podem ter efeito adverso na estabilização do solo e reduzir a eficiência da PAM. Os autores justificam que na presença de eletrólitos, as moléculas dos polímeros tender a enrolar, em consequência ocorre um encurtamento das cadeias dos polímeros, quando comparado com as soluções aquosas contendo somente o polímero. Desse modo, isso promove a redução na distância de atuação das moléculas da PAM. Isso impede o polímero de revestir as superfícies dos agregados e expressar o seu potencial na estabilização do solo.

O estudo de Abrol et al. (2013) também conclui que a adição de sulfato de cálcio na solução da PAM reduz o efeito negativo da alta viscosidade da solução do polímero, com o aumento da concentração eletrolítica, por diminuir as cadeias do polímero e consequentemente reduzir a interação das moléculas da PAM na solução aquosa. Realmente, a viscosidade das soluções aquosas dos polímeros quando misturadas com  $\text{CaSO}_4$  teve aparente redução na sua viscosidade, quando comparada com as soluções aquosas dos polímeros, porém neste estudo não foi determinada a viscosidade das soluções.

Liu et al. (2009) avaliando a estabilidade de agregados com a aplicação de polímeros, ressaltaram que a estabilidade de agregados é um importante fator para avaliar a resistência do solo e um índice favorável para correlacionar com a qualidade dos solos. Vasconcelos et al. (2010) no estudo com adição de condicionadores orgânicos ao solo para avaliar a qualidade estrutural, afirmaram também que o IEA mostrou-se um índice favorável para avaliar a estabilidade de agregados e os resultados desse índice têm comportamento semelhante aos resultados do diâmetro médio ponderado (DMP).

### **Diâmetro Médio Ponderado (DMP)**

O efeito da adição das soluções dos condicionadores de solos para os agregados no diâmetro médio ponderado (DMP) é apresentado na Tabela 5. A aplicação dos condicionadores de solos promoveu aumento na porcentagem dos agregados maiores.

À semelhança do já observado para o IEA, o tratamento com PAM na concentração 100 mg kg<sup>-1</sup> obteve, de modo geral, os maiores valores de diâmetros de agregados, com diferenças significativas em comparação com os demais tratamentos (p<0,05) (Tabela 5).

Exceto no horizonte A do LAD<sub>NAT</sub>, no qual não houve diferença significativa entre o tratamento controle, os dois tratamentos de PAM e o tratamento de PAM com CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> + 1g kg<sup>-1</sup>) e no Bw2 do LAD<sub>TRA</sub>, no qual não ocorreu diferenças significativas no tratamento controle e os dois com PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>).

O DMP, ou a presença de agregados grandes, é tanto maior quanto maior for a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores (CASTRO FILHO et al., 1998), como ratificado pelos altos valores dos IEA (Tabela 4).

Os resultados de diâmetro médio ponderado confirmam o estudo de Levy & Miller (1999), no qual os agregados tratados com PAM foram significativamente maiores que os não tratados, mostrando assim a importante função deste polímero como agente estabilizante do solo. Estes autores analisaram também o comportamento da adsorção da PAM nos agregados de solos cauliníticos, concluindo que a eficiência de adsorção da PAM não é restrita a área de superfície específica dos minerais de argila.

**Tabela 5.** Diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelo Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub> *	PAM <sub>100</sub> *	CaSO <sub>4</sub> *	PAM <sub>50+</sub> CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100+</sub> CaSO <sub>4</sub>	
<b>DMP (mm)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
<b>Bt</b> (coeso)	1,09 C	1,95 B	2,62 A	0,86 C	1,09 C	1,26 C	8,80
<b>Bw</b>	1,44 C	2,15 B	2,77 A	0,97 E	1,21 D	1,06 E	4,53
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
<b>A</b>	2,89 A	2,82 A	2,92 A	2,77 B	2,64 B	2,98 A	2,76
<b>Bw1</b> (coeso)	1,12 B	1,63 A	1,85 A	1,13 B	1,27 B	1,23 B	12,11
<b>Bw2</b>	1,22 B	1,57 A	1,63 A	0,85 C	0,83 C	0,70 C	10,13
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
<b>A</b>	2,08 C	2,16 B	2,62 A	2,24 B	2,18 B	2,21 B	1,78
<b>AB</b>	2,44 B	2,91 A	2,95 A	2,56 B	2,62 B	2,47 B	3,50
<b>BA</b> (coeso)	2,20 B	2,19 B	2,69 A	1,71 C	2,24 B	2,05 B	6,05
<b>Bw2</b>	1,72 A	1,86 A	2,18 A	1,06 C	1,44 B	1,54 B	14,25

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) e CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>).

A poliacrilamida promoveu estabilização dos agregados maiores, podendo ser justificada pelo mecanismo de interação com o solo, na interface solo-água, onde é formada uma rede de proteção agregados-solo com a PAM (SOJKA et al., 2007), obtendo-se, desse modo, maiores agregados.

Lee et al. (2010) avaliaram também a eficiência da poliacrilamida e sua atuação em solos franco-arenosos, comparando o teor de argila deste solos com outros solos, com ênfase na adsorção da PAM. Concluíram que solos com maior teor de argila, textura apresentada em alguns dos horizontes avaliados neste estudo, apresentaram uma quantidade maior de locais de troca de carga disponível, quando comparado com os solos arenoso, possibilitando assim maiores locais de ligação das moléculas do polímero com o solo.

O polímero aniônico, como a PAM usada neste estudo, atua na estabilização das partículas do solo por promover ligações como pontes de hidrogênio, ligações por cátions trocáveis, entre os grupos negativos dos polímeros e as superfícies de cargas negativas das argilas, ligações eletrostáticas entre as cargas catiônicas presente na argila e aniônicas nos polímeros (LEVY & MILLER, 1999), formando assim ligações entre as cargas negativas dos polímeros com as cargas positivas das argilas (CHAN & SIVAPRAGASAM, 1996).

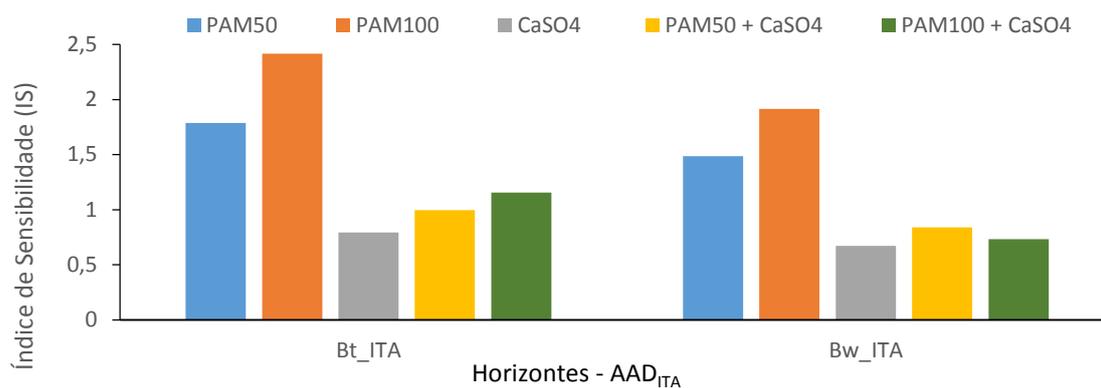
Segundo Green et al. (2000), os cátions divalentes têm capacidade de ligar a superfície de carga negativa da PAM aniônica e a superfície da argila carregada negativamente, melhorando a eficiência da ligação dos polímeros com a partículas do solo. Porém, Mamedov et al. (2007) ressaltaram que a presença deste eletrólitos na solução dos polímeros afetam a estabilização dos agregados do solo e reduzem a eficiência da PAM. Isto ocorre devido ao encurtamento das cadeias de polímero, impedindo-o de promover o revestimento da superfície dos agregados, por meio das ligações entre o polímero e a superfície dos agregados.

Neste estudo, os resultados de DMP, como também o apresentando nos dados do IEA, mostram que a adição de cátions, via  $\text{CaSO}_4$ , nas soluções aquosas dos polímeros, não proporcionaram uma maior ligação e interação entre o polímero e o solo, com consequente predomínio de agregados menores, quando relacionado aos tratamentos das soluções de PAM puras, não conjugadas com o  $\text{CaSO}_4$ , conforme demonstrado na Tabela 5.

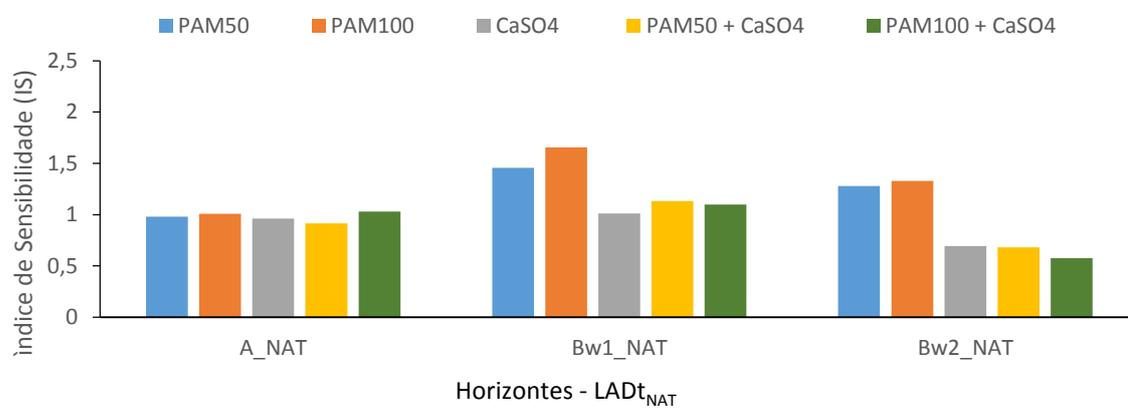
Para verificar se os valores de DMP dos tratamentos aplicados aos solos foram diferentes daqueles do controle, foram calculados os “índices de sensibilidade” (Figuras 2, 3 e 4). Este índice utiliza o princípio da comparação relativa entre tratamentos, no qual valores de maiores que 1 significa que a estabilidade dos agregados aumentou e, quando menor, diminuiu.

Os valores dos IS para os dados de DMP dos três perfis estudados indicam que a solução de PAM à  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  aumentou a estabilidade dos seus agregados quando comparados ao controle (Figuras 2, 3 e 4).

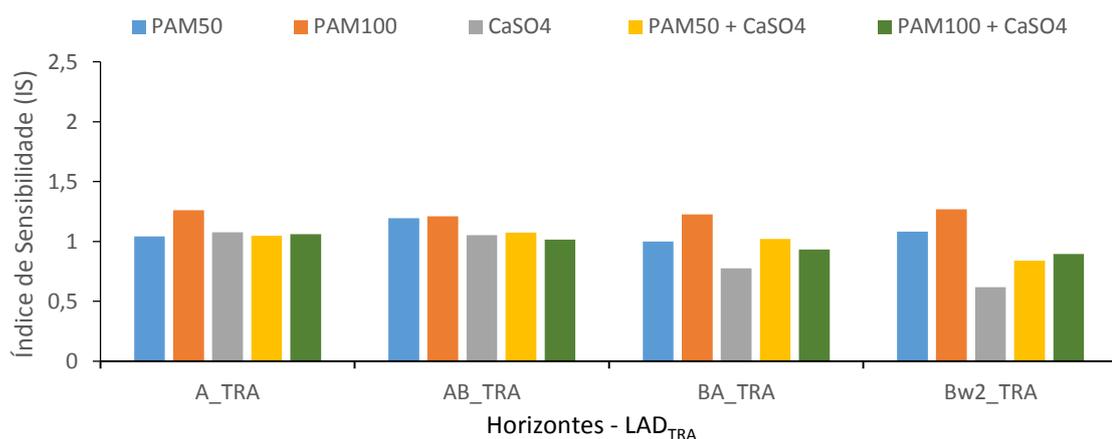
Para o Argissolo de Itapirema ( $\text{AAD}_{\text{ITA}}$ ), a PAM aplicada isoladamente aos horizontes Bt e Bw promoveu maiores valores de IS (Figura 2), seguindo a tendência observada nos outros parâmetros avaliados, quando a concentração à  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  teve melhores resultados na redução da coesão. O horizonte Bt do  $\text{AAD}_{\text{ITA}}$  apresentou o maior valor de sensibilidade 2,42 (adimensional); seguido pelo horizonte Bw, que apresentou o valor de 1,91. Com relação aos demais tratamentos, o gesso ( $\text{CaSO}_4 \text{ 1g kg}^{-1}$ ), tanto aplicado puro, como combinado com PAM, não aumentou os IS, apresentando menores sensibilidades em comparação com o tratamento controle.



**Figura 2.** Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema.



**Figura 3.** Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba.



**Figura 4.** Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche.

De maneira análoga ao observado nas amostras do  $AA_{D_{ITA}}$ , os maiores valores de IS para os outros perfis também foram obtidos para os tratamentos com PAM (Figuras 3 e 4), onde a aplicação de gesso reduziu consideravelmente os índices de sensibilidade.

Nos horizontes superficiais dos Latossolos (A e AB de Trapiche e, principalmente, no A de Natuba) a presença da matéria orgânica, aliada a atividade biológica, como já comentado anteriormente para o IEA, reduziu, ou anulou, o efeito dos condicionadores aplicados (LONGO et al., 1999; DUFRANC et al., 2004), gerando  $IS < 1,0$  (Figuras 3 e 4).

O comportamento apresentado no IS ratifica os resultados do IEA e DMP, Tabelas 4 e 5, respectivamente, confirmando a interação da moléculas da PAM com a superfície dos agregados, principalmente na concentração  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , promovendo assim uma maior agregação e o predomínio de agregados de classes maiores.

O diâmetro médio ponderado mostrou-se um eficiente indicador da qualidade estrutural do solo, com comportamento semelhante aos resultados do IEA, conforme também verificado nos estudos de Castro Filho et al. (1998) e Vasconcelos, et al. (2010), nos quais avaliavam a qualidade estrutural do solo com a adição de condicionadores orgânicos no solo.

### **Diâmetro Médio Geométrico (DMG)**

O efeito da adição das soluções dos condicionadores de solos para os agregados no diâmetro médio geométrico (DMG) é apresentado na Tabela 6. O DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência (CASTRO FILHO et al., 1998).

Desse modo, de maneira geral, a aplicação dos condicionadores de solo promoveram a ocorrência de agregados de classes de maiores tamanhos. A PAM nas concentrações de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  proporcionou os maiores tamanhos de classes dos agregados, estando estes na classe de  $2,00 - 1,00 \text{ mm}$  (classe superior), com diferença significativa em relação ao tratamento controle ( $p < 0,05$ ). Exceto no horizonte Bw2 ( $LAD_{TRA}$ ), no qual as médias dos tratamentos de PAM, nas duas concentrações, não tiveram diferenças significativas em relação ao tratamento controle ( $p < 0,05$ ).

Awad et al. (2013), no estudo com solo de textura arenosa e franco-arenosa com aplicação de PAM na avaliação das frações dos agregados, identificaram um aumento da porcentagem de agregados de  $2,00 - 1,00 \text{ mm}$  (maior classe) e redução da porcentagem de agregados  $< 0,25 \text{ mm}$  (menor classe) em comparação com o tratamento controle. Os autores atribuíram esses resultados às ligações da PAM aos agregados, que favoreceram a agregação e

possibilitou a formação de agregados maiores a partir das ligações entre os menores, aumentando assim o predomínio dos agregados de classes superiores, confirmando os resultados relatados por Sojka et al. (2007).

**Tabela 6.** Diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelo Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub> *	PAM <sub>100</sub> *	CaSO <sub>4</sub> *	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b>DMG (mm)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
Amostra sem condições estruturais de realizar ensaios							
<b>A</b>							
<b>Bt</b> (coeso)	0,32 D	1,20 B	1,52 A	0,06 E	0,34 D	0,54 C	16,69
<b>Bw</b>	0,76 C	1,29 B	1,53 A	0,16 F	0,45 D	0,28 E	8,57
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
<b>A</b>	1,53 A	1,55 A	1,56 A	1,53 A	1,52 A	1,58 A	2,31
<b>Bw1</b> (coeso)	1,12 B	1,63 A	1,85 A	1,13 B	1,27 B	1,23 B	35,61
<b>Bw2</b>	1,22 B	1,57 A	1,63 A	0,85 C	0,83 C	0,70 C	29,28
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
<b>A</b>	1,58 B	1,62 A	1,60 B	1,59 B	1,59 B	1,62 A	0,72
<b>AB</b>	1,54 B	1,62 A	1,61 A	1,56 B	1,55 B	1,55 B	2,18
<b>BA</b> (coeso)	1,44 B	1,43 B	1,59 A	1,16 D	1,43 B	1,31 C	5,41
<b>Bw2</b>	1,08 A	1,34 A	1,49 A	0,21 C	0,78 B	0,85 B	29,28

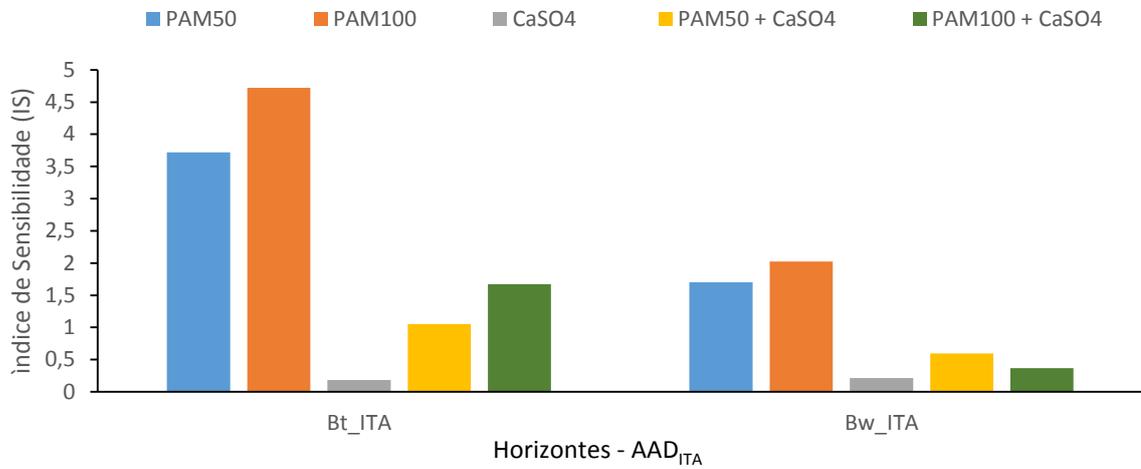
As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>) e PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>).

Os valores dos índices de sensibilidade (IS) para os dados de DMG confirmam os resultados obtidos com os IS para os DMP. Os valores dos IS indicam que os tratamentos com PAM foram superiores ao tratamento controle, nas concentrações 50 e 100 mg kg<sup>-1</sup>, nos horizontes coesos e não coesos.

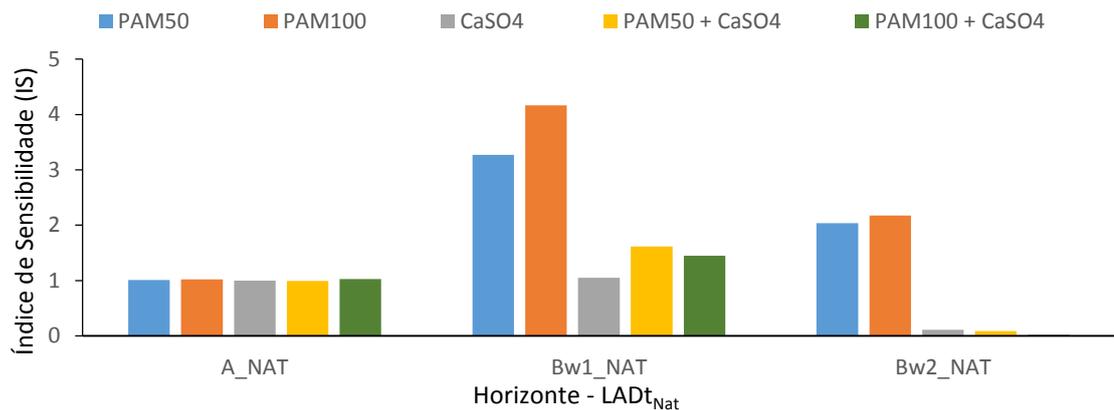
Os horizontes Bt (AAD<sub>eITA</sub>) e Bw1 (LAD<sub>tNAT</sub>), horizontes coesos, tiveram os valores de IS mais sensível quanto as modificações da PAM (Figuras 5 e 6), sendo os valores encontrados para o tratamento PAM (50 mg kg<sup>-1</sup>) de 3,72 e 3,27, nos horizontes Bt e Bw1, respectivamente. No tratamento da PAM à 100 mg kg<sup>-1</sup> os valores de IS mais sensível foram 4,72, e 4,16, nos horizontes Bt e Bw1, respectivamente.

Nos horizontes coesos, o tratamento com menor sensibilidade foi o tratamento com CaSO<sub>4</sub> à 1g kg<sup>-1</sup> quando relacionado com o tratamento controle, conforme Figuras 5, 6 e 7. Os valores do IS para o tratamento com CaSO<sub>4</sub> à 1g kg<sup>-1</sup> nos horizontes coesos foram 0,80; 1,05 e

0,18, sendo encontrados nos horizontes BA ( $LAD_{TRA}$ ), Bw1 ( $LAD_{tNAT}$ ) e Bt ( $AAD_{eITA}$ ), respectivamente. Não sendo indicado utilizar como condicionador de solo para avaliar o DMG.

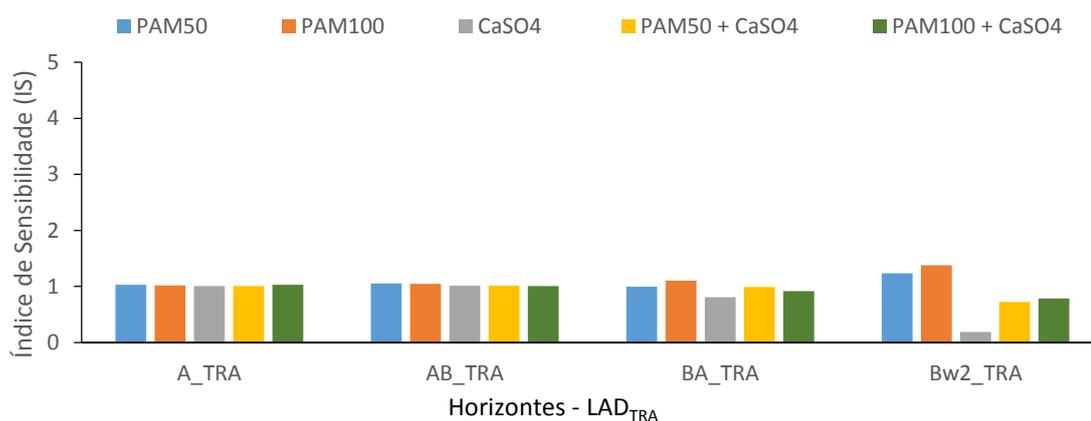


**Figura 5.** Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema.



**Figura 6.** Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba.

Os valores apresentados dos IS do DMP e DMG (Figuras 3 a 7), confirmam a atuação das moléculas da PAM na estabilização dos agregados dos horizontes coesos e não coesos principalmente na maior concentração ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Estes dados, juntamente com os resultados apresentados de IEA, DMP e DMG (Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente) ratificam os estudos de Levy & Miller (1999), Green et al. (2000) e Liu et al. (2009). Estes autores afirmam que, por meio das ligações físico-químicas entre moléculas de polímeros e os agregados, as macromoléculas da PAM promovem o revestimento, principalmente, da superfície externa dos agregados, aumentando a sua resistência em água.



**Figura 7.** Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio geométrico de agregado em água dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche.

Os valores apresentados dos IS do DMP e DMG (Figuras 3 a 7), confirmam a atuação das moléculas da PAM na estabilização dos agregados dos horizontes coesos e não coesos principalmente na maior concentração ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Estes dados, juntamente com os resultados apresentados de IEA, DMP e DMG (Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente) ratificam os estudos de Levy & Miller (1999), Green et al. (2000) e Liu et al. (2009). Estes autores afirmam que, por meio das ligações físico-químicas entre moléculas de polímeros e os agregados, as macromoléculas da PAM promovem o revestimento, principalmente, da superfície externa dos agregados, aumentando a sua resistência em água.

Os dados de DMP e DMG não permitem distinguir a contribuição do polímero na adsorção externa e interna, porém a adsorção na superfície externa afeta favoravelmente a estabilidade os agregados internos (LEVY & MILLER, 1999).

### Resistência Tênsil dos Agregados (RT)

A aplicação dos condicionadores de solos promoveu um aumento da resistência de ruptura dos agregados analisados (Tabela 7). Nos horizontes A (LAD<sub>TRA</sub>) e AB (LAD<sub>TRA</sub>) houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no tratamento controle em relação aos tratamentos de PAM ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ), CaSO<sub>4</sub> ( $1 \text{ g kg}^{-1}$ ) e PAM com CaSO<sub>4</sub> ( $50 \text{ mg kg}^{-1} + 1 \text{ g kg}^{-1}$ ). No horizonte Bw<sub>2</sub> (LAD<sub>NAT</sub>), os tratamentos de CaSO<sub>4</sub> ( $1 \text{ g kg}^{-1}$ ) e os dois de PAM com CaSO<sub>4</sub> ( $50 \text{ mg kg}^{-1} + 1 \text{ g kg}^{-1}$  e  $100,00 \text{ mg kg}^{-1} + 1 \text{ g kg}^{-1}$ ) diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) em relação ao tratamento controle.

Já no horizonte A (AADe<sub>ITA</sub>) houve diferenças significativa ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle nos tratamentos com a PAM ( $100,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e nos dois tratamentos de PAM com

CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> + 1 g kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup> + 1 g kg<sup>-1</sup>). Nos demais horizontes não houve diferença significativa em relação ao tratamento controle (p>0,05).

A adição dos condicionadores não promoveu a redução da resistência tênsil dos agregados dos horizontes coesos e não coesos em comparação ao tratamento controle. Os resultados confirmam os dados encontrados por Almeida (2008). O autor avaliou a eficiência e o mecanismo de ação de condicionadores químicos na redução da coesão de solos por meio da resistência tênsil de seus agregados. Concluiu que as concentrações usadas (0,01; 0,05 e 0,10%) foram relativamente altas, o que promoveu altas viscosidades nas soluções de PAM, interferindo na adsorção interna do polímeros pelos agregados, com resultados adverso ao esperado para a RT.

**Tabela 7.** Resistência tênsil de agregado dos horizontes dos Latossolos Amarelos Distrocoeso e Argissolo Amarelo Distrocoeso

Horizonte	Tratamentos						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub>	PAM <sub>100</sub>	CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b>Resistência Tênsil (kPa)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirredóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
<b>A</b>	3,78 B	5,27 B	13,40 A	3,46 B	11,47 A	9,04 A	96,65
<b>Bt</b>	61,83 A	50,55 B	52,49 B	67,20 A	51,93 B	65,31 A	35,47
<b>Bw</b>	-	-	-	11,76 B	17,18 A	18,77 A	72,46
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
<b>A</b>	16,13 A	24,13 A	26,16 A	21,93 A	27,99 A	24,34 A	48,79
<b>Bw1</b>	16,13 A	24,13 A	26,16 A	21,93 A	27,99 A	24,34 A	45,94
<b>Bw2</b>	15,35 B	16,76 A	3,81 B	9,12 A	10,94 A	18,31 A	103,15
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
<b>A</b>	17,57 B	17,25 B	23,77 A	26,15 A	28,59 A	18,34 B	37,92
<b>AB</b>	29,65 B	31,41 B	39,84 A	40,62 A	50,01 A	36,50 B	32,07
<b>BA</b>	16,12 A	24,13 A	26,16 A	21,93 A	27,99 A	24,34 A	51,95
<b>Bw2</b>	16,13 A	24,13 A	26,16 A	21,93 A	27,99 A	24,34 A	62,57

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott (p<0,05). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>) e PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>).

Chan & Sivapragasam (1996) avaliaram a resistência tênsil de agregados artificiais de solos coesos australianos (hardsetting) com aplicação de quatro doses de polímeros: 0; 0,01; 0,05 e 0,10 %. Os tratamentos com polímero reduziram significativamente a resistência tênsil com o aumento da concentração dos polímeros, sendo o efeito menos pronunciado em baixas concentrações dos polímeros.

Segundo Almeida (2008) esta disparidade entre podem estar relacionados aos mecanismos de adsorção do polímero na superfície dos agregados dos solos. Os estudos de Maley & Letey (1991). Liu et al. (2009) e Yu et al. (2003) explicam que as macromoléculas dos polímeros com alto peso molecular e viscosidade somente revestem a superfície externa dos agregados e aumentam a resistência dos agregados. Porém, os estudo de Levy & Miller (1999) confirmam o revestimento da superfície externa pela moléculas de alto peso molecular, porém identifica também que essas moléculas podem penetrar na superfície interna através dos poros do solo.

A PAM, aplicada por capilaridade antes da resistência tênsil nos agregados dos solos estudados, nas concentrações de 50 e 100 mg kg<sup>-1</sup>, tem alto peso molecular e também alta viscosidade, o que pode ter contribuído para uma adsorção somente na superfície externa dos agregados, revestindo sua superfície. Isto promoveu uma maior agregação das partículas do solo e uma maior estabilidade dos agregados, como podem ser comprovados também pelos resultados de estabilidade de agregados por via úmida avaliados neste estudo (Tabelas 4, 5 e 6), não refletindo na redução da resistência de ruptura dos agregados.

Embora os resultados da Tabela 7 possam sugerir um efeito negativo da PAM, vale salientar que, para os horizontes A, principalmente o do Argissolo de Itapirema, com 891,07 g kg<sup>-1</sup> de areia, este fato pode ser visto por outro ângulo. Estes horizontes, por serem mais arenosos, com estrutura praticamente em grãos simples, apresentaram, no geral, menores valores de RT. Com a aplicação da PAM, principalmente na concentração de 100 mg kg<sup>-1</sup>, o seu mecanismo de ação aglutinadora, promoveu uma melhor estruturação desses solos, em detrimento aos maiores valores de RT promovidos por esta maior agregação, quando comparada com o controle.

O efeito dos condicionadores aplicados aos solos coesos estudados não foram similares aos resultados encontrados no estudo da estabilidade de agregado. Em relação aos valores obtidos de resistência tênsil, a aplicação da PAM, bem como da mistura da PAM com CaSO<sub>4</sub>, promoveram um aumento dos valores absoluto de RT, não sendo indicado o uso desses condicionadores, nessas concentrações, para a redução da resistência tênsil. Estes resultados podem estar relacionados aos altos valores dos coeficientes de variação, calculados entre 32,07 a 103,15 %, justificado pelo menor número de repetições em alguns horizontes, entre 8 e 13 agregados.

### Resistência à Penetração ao Sistema Radicular (RP)

A aplicação dos condicionadores de solos promoveram um aumento da resistência à penetração dos solos analisados (Tabela 8). Nos horizontes Bw1 (LAD<sub>NAT</sub>) e BA (LAD<sub>TRA</sub>) houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no tratamento controle em relação aos tratamentos de CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>) e PAM com CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> + 1 g kg<sup>-1</sup>). Porém, os tratamentos da PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>) não difere significativamente do tratamento controle. Apesar de não existir diferença significativa nos dois tratamentos da PAM, observando somente os valores absolutos, de modo geral, a PAM (50 mg kg<sup>-1</sup>) promoveu uma redução na RP, principalmente nos horizontes coesos. Isto pode ser relacionado com a menor concentração do polímero, utilizado neste tratamento, promovendo assim uma menor agregação das partículas do solo e consequente redução da resistência. Como também aos valores de umidade volumétrica observados no tratamento da PAM (50 mg kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 8.** Resistência à penetração ao sistema radicular (RP), com umidade equilibrada à tensão de 1500 kPa, dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelos Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub> *	PAM <sub>100</sub> *	CaSO <sub>4</sub> *	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b>RP (MPa)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
A	0,85 A	1,32 A	0,63 A	1,26 A	1,13 A	1,22 A	30,25
Bt (coeso)	15,60 A	15,60 A	15,60 A	15,60 A	15,60 A	15,60 A	16,63
Bw	15,60 A	7,29 A	13,19 A	15,60 A	12,90 A	13,66 A	32,16
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
A	1,31 C	1,31 C	1,09 C	2,92 A	2,07 B	1,92 B	26,63
Bw1 (coeso)	5,54 B	4,96 B	7,89 A	8,75 A	9,66 A	5,87	16,32
Bw2	2,19 B	3,09 B	4,34 A	5,07 A	3,83 A	1,91 B	28,66
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
A	1,91 B	1,95 B	1,48 B	3,03 A	3,05 A	2,81 A	22,46
AB	3,83 B	2,58 B	3,82 B	5,50 A	3,43 B	5,21 A	20,34
BA (coeso)	3,91 C	3,00 C	2,45 C	6,34 B	8,94 A	4,05 C	21,07
Bw2	1,24 D	1,46 D	1,24 D	7,32 A	5,35 B	3,33 C	18,45

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>) e PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>).

Os valores de resistência à penetração permitiram diferenciar os distintos graus de coesão entre os horizontes avaliados, horizontes coesos e não coesos. Os horizontes coesos apresentaram maiores valores de RP, em valores absolutos, em todos os tratamentos avaliados, quando comparados com os horizontes não coesos (Tabela 8), destaca-se o horizonte Bt ( $AAD_{ITA}$ ) com uma média de 15,60 MPa.

Mesmo os horizontes coesos apresentando maiores umidade volumétrica (Tabela 9), em relação aos não coesos, os seus valores de resistência foram maiores, confirmando a coesão nesses horizontes e também a resistência à penetração como um indicador sensível para a identificação do caráter coeso, ratificando o estudo de Santana et al. (2006), que afirmaram ser a RP o atributo que melhor identificava a coesão no solo.

A diferença nos valores de RP confirmam os resultados encontrados por Giarola et al. (2001), Lima et al. (2005) Santana et al. (2006) e Melo (2013), com maiores valores de resistência à penetração para os horizontes coesos. Segundo Mullins et al. (1987) a força exercida pelas ligações existentes entre as partículas do solo e o potencial mátrico tem efeito similar à aplicação de uma força externa, promovendo assim uma maior RP nos solos.

A maior coesão observada no horizonte Bt ( $AAD_{ITA}$ ) também foi identificada no estudo de Corrêa et al. (2008b). Estes concluíram que a maior coesão observada no Argissolo Amarelo, localizado em clima mais seco, em relação aos solos localizados em clima mais úmido, pode ser devido a sua textura menos argilosa e a maior quantidade de feições de iluviação de argila. Giarola et al. (2001) afirmam que uma matriz dominada por grãos de areias, a argila e o silte (materiais finos) podem funcionar como pontes de ligação dos grãos adjacentes ou como material para ligar a superfície dos grãos individuais, sendo segundo Mullins et al. (1987), uma condição básica para o aparecimento do horizonte coeso.

**Tabela 9.** Umidade volumétrica equilibrada à tensão de 1500 kPa dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolos Amarelos Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub> *	PAM <sub>100</sub> *	CaSO <sub>4</sub> *	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b>Θ 1500 kPa (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
<b>A</b>	0,078 A	0,060 A	0,081 A	0,085 A	0,077 A	0,083 A	15,37
<b>Bt</b>	0,142 A	0,159 A	0,150 A	0,135 A	0,141 A	0,154 A	8,62
<b>(coeso)</b>							
<b>Bw</b>	0,002 C	0,003 C	0,002 C	0,160 B	0,178 A	0,182 A	5,50
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
<b>A</b>	0,266 A	0,278 A	0,242 A	0,298 A	0,289 A	0,271 A	10,56
<b>Bw1</b>	0,271 B	0,292 A	0,255 A	0,244 C	0,232 D	0,267 B	2,81
<b>(coeso)</b>							
<b>Bw2</b>	0,226 A	0,237 A	0,200 B	0,200 B	0,219 A	0,242 A	5,15
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
<b>A</b>	0,321 A	0,294 A	0,294 A	0,319 A	0,298 A	0,312 A	6,43
<b>AB</b>	0,360 B	0,384 A	0,387 A	0,352 B	0,337 B	0,350 B	4,38
<b>BA</b>	0,336 A	0,340 A	0,332 A	0,301 B	0,289 B	0,299 B	4,66
<b>(coeso)</b>							
<b>Bw2</b>	0,332 B	0,370 A	0,332 B	0,291 C	0,276 C	0,280 C	5,71

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \* PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>) e PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>).

## CONCLUSÕES

Os valores de densidade do solo não diferiram entre os tratamentos, indicando que este parâmetro físico não foi sensível para diagnosticar pequenas modificações nas estruturas dos solos, provavelmente promovidas pelo uso dos condicionadores.

A poliacrilamida na concentração 100 mg kg<sup>-1</sup> melhorou a estabilidade dos agregados coesos, pode ser utilizado o índice de estabilidade como o diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico de agregados para diagnosticar a qualidade dos solos coesos.

O gesso, na concentração usada nesse estudo, não melhorou a qualidade estrutural dos solos, mesmo quando aplicados conjuntamente com a poliacrilamida.

A resistência tênsil dos agregados dos horizontes coesos e não coesos, não foi afetada positivamente com a aplicação dos condicionadores.

Os condicionadores aumentaram a resistência à penetração ao sistema radicular, porém este parâmetro mostrou-se um indicador sensível para identificar o caráter coeso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABROL, V.; SHAINBERG, I.; LADO, M.; BEM-HUR, M. **Efficacy of dry granular anionic polyacrylamide (PAM) on infiltration, runoff and erosion.** European Journal of Soil Science, 2013, p. 1-7.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo.** Tese Doutorado. São Paulo: ESALQ/USP. 2008. 105 p.
- 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, v. 53, n.1, 1989, p. 255-259.
- 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.** Catena/China, 81, 2010, p. 226-233.
- ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.
- \_\_\_\_\_; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R.; **Investigações preliminares sobre a pedogêneses 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.
- ARAÚJO FILHO, J. C. **Relação solo paisagem no bioma caatinga.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais. Recife: Embrapa Solos, 2011, 23 p.
- ASGHARI, S.; ABBASI, F.; NEYSHABOURI, M. R. **Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in Sandy loam soil.** Biosystems Engineering, 109, 2011, p. 90-97.
- AWAD, Y. M.; BLAGODATSKAYA, E.; OK, Y. S.; KUZYAKOV, Y. **Effects of polycrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of <sup>14</sup>C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates.** European Journal of Soil Science, 64, 2013, p. 488 – 499.
- AZEVEDO, T.L.F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A.C.A.; DE FREITAS, P.L.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A. **Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café.** Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 5, 2002, p. 1239-1243.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F.; CARVALHO FILHO, O. M. **Sistema de cultivo em aleias nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe: resultados de pesquisa.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.

BAVER, L.D.; FARWOETH, R.B. **Soil structure, effects in the growth of sugar beets.** Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.5, 1972, p. 45-48.

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), 1999, p.37-45.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. X-ray **Diffraction Procedures for clay mineral Identification** In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. London: Mineralogical Society, chapter 5. 1980, p. 305-360.

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

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R; SOJKA, R. E. **Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil.** Soil & Tillage Research, 43, 1997, p. 205-217.

BUZETTO, F.A.; BIZON, J.M.C.; SEIXAS, F. **Avaliação do polímero absorvente Stockosorb no fornecimento de água em plantio de *Eucalyptus*.** Circular Técnica IPEF, Piracicaba, 2002, n. 195.

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

CHAN, K. Y.; SIVAPRAGASAM, S. **Amelioration of a degraded hardsetting soil using an anionic polymeric conditioner.** Soil Technology, Amsterdam, v.9, n. 1, 1996, p. 91-100.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. da. **Tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas dos solos.** Boletim Informativo da SBCS, Campinas, n.18, 1997, p.81-95.

CORREA, M. M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; FONTES, M. P. F. F; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. **Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 32, 2008a, p. 1017-1031.

- 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, 2008b, p. 297-313.
- DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. **Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates.** *Journal of Agricultural Engineering Research.*, New York, v.31, n. 2, 1985, p. 139-147.
- DEXTER, A.R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. (Ed.). **Soil and environmental analysis: physical methods.** 2<sup>a</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 2000.
- DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O. A. **Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, 2004, p. 505-517.
- DUIKER, S. W.; RHOTON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK N. E.; LAL R. **Iron hydroxide crystallinity effects on soil aggregation.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 2003, p. 606-611.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2 ed. rev. ampl. Brasília/DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- \_\_\_\_\_. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos.** 3 edição revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.
- ENTRY, J.A., SOJKA, R.E. & HICKS, B.J. **Carbon and nitrogen stable isotope ratios can estimate anionic polyacrylamide degradation in soil.** *Geoderma*, 145, 2008, p. 8-16.
- ENTRY, J.A., MILLS, D.; JAYACHANDRAN, K. SOJKA, R. E. **High polyacrylamide application rates do not affect eubacterial structural diversity.** *Water Air Soil Pollut*, 2013, p. 224-1382.
- FLINT, A. L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J. H.; TOPP. G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis.** *Madison: Soil Science Society of America.* pt. 4, 2002, p. 229-240.
- GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., eds. **Methods of soil analysis.** Physical methods. *Madison, Soil Science Society of America Journal, Madison, Part 4.* 2002, p. 255-293.

- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. **Conceitos sobre solos coesos e hardsetting**. Scientia Agricola. v. 59, 2002, p. 613-620.
- 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, 2001, p.239-247.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A. R. **Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior**. Geoderma, v.113, 2003, p.95-108.
- GREEN, V.S.; STOTT, D.E. **Polyacrylamide: a review of the use, effectiveness and cost of soil erosion control amendment**. In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.H.; STEINHARDT, G.C. (eds). Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th International soil Conservation Organization Meeting. 2001, p. 384-389.
- 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, 2000, p. 1786-1791.
- GOLDBERG, S.; R.A. GLAUBIG. **Effect of saturating cation, pH, and aluminum and iron oxide on the flocculation of kaolinite and montmorillonite**. Clays Clay Minerals. 35, 1987, p. 220-227.
- GOLDBERG, S.; SUAREZ, D. L.; GLAUBIG, R. A. **Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils**. Soil Sci. 146, 1988, p. 317-325.
- GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. **Bulk density and linear extensibility**. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). Methods of soil analysis. Soil Science Society of America Journal, Madison: pt. 4, 2002, p. 201-225.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: advance Course. 29. ed. Madison, 1975. 895 p.
- JACOMINE, P.K.T. **Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil**. In: Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, 2001, p. 19-46.
- 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.
- JANCZUK, B.; BIALOPIOTROWICZ, A.; ZDZIENNICKA, M.; HAJNOS, M.; JÓZEFACIUK, G. **The influence of soil clay constituents on surface free energy of clay fractions**. J. Soil Sci., 43, 1992, p. 27-35.

JOHNSON, M.S. **The effects of gel-forming polycrylamides on soil moisture storage in sandy soils.** *Journal of the Sci. of Food and Agriculture*, London, v.35, n. 11, 1984, p.1196-1200.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. **Aggregate stability and size distribution.** In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2. ed. American Society of Agronomy, Madison, Part 1, 1986, p. 425-442.

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, 1974, p. 119-126.

LEE, S.S., GANTZER, C.J., THOMPSON, A.L. & ANDERSON, S.H. **Polyacrylamide and gypsum amendments for erosion and runoff control on two soil series.** *Journal of Soil & Water Conservation*, 65, 2010, p. 233-242.

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

LEY, G. J.; MULLINS, C. E.; LAL, R. **Hardsetting behaviour of some structurally weak tropical soil.** *Soil & Tillage Research*, 13, 1989, p. 365-381.

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, 2010, p. 473-486.

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, 2004, p. 467-476.

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, 2005, p. 33-40.

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

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. **Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, 1999, p.276-280.

MALIK, M.; LETEY, J. **Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil material.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 55, n. 2, 1991, p. 380-383.

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, 2007, p.1909-1918.

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

MELO, D. V. M. **Qualidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco em função do uso de poliacrilamida.** Dissertação Mestrado, UFRPE, 2013, 76 p.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L.; SOUZA, L. S. **Determinação do índice de qualidade subsuperficial de um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, 2007, p. 1599-1608.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R.C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals.** Oxford: Oxford University Press, 1989, 332 p.

MORAES, O. **Efeito do uso de polímero hidroretentor no solo sobre o intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.).** Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. 73 p.

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

MULLINS, C.E., YOUNG, I.M., Bengough, A.G., Ley, G.J.. **Hard-setting soils.** Soil Use Manage. 3, 1987, p. 79-83.

MULLINS, C.E. Hardsetting. In: LAL, R.; BLUM, W.R.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A., eds. **Methods for assessment of soil degradation. Advances in soil science.** New York, CRC Press, 1997. p.109-128.

MUNEER, M., OADES, J.M. **The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability.** Mechanisms and models. Australian Journal of Soil Research 27, 1989, p. 411-423.

NIMAH, N.M.; RYAN, J.; CHAUDHRY, M.A. **Effect of synthetic conditioners on soil water retention, hydraulic conductivity, porosity, and aggregation.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 47, n. 4, July/Aug. 1983, p.742-745.

OLIVEIRA, R.A.; REZENDE, L.S.; MARTINEZ, M.A.; MIRANDA, G.V. **Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo.** Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v.8, n.1, 2004, p.160-163.

OLIVEIRA, R.A.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. **Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em**

**diferentes manejos.** Revista Brasileira. Engenharia. Agrícola. Ambiental, v. 14, n. 9, 2010, p.907 - 913.

ORTS, W.J., SOJKA, R.E., GLENN, G.M., GROSS, R.A. **Biopolymer additives for the reduction of soil erosion losses during irrigation.** In: Gross, R.A., Scholz, Carmen (Eds.), Biopolymers from Polysaccharides and Agroproteins. ACS Series 786. Am. Chem. Soc., Washington, DC, 2001, p. 102-116.

PASSARIN, A. L.; RODRIGUEIRO, E. L.; ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C. **Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho Distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, 31, 2007, p. 1255- 1260.

PREVEDELLO, C.L.; BALENA, S.P. **Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos.** Rev. Bras. Ci. Solo, v. 24, n.2, 2000, p. 251-258.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. **Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros.** R. Bras. Ci. Solo, 17, 1993, p. 283-290.

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. 2001, p. 93-121.

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

ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSAM Y.B.C.J; CREMON, C. **Calcário e gesso como condicionadores físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo.** Pesquisa Agropecuária Tropical. v. 36, n. 1, Goiânia, 2006, p. 37-44.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas,** Versão 9.1. Viçosa: MG. Fundação Arthur Bernardes/UFV, 2009.

SANTANA, B.M.; 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, 2006, p. 1-12.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5ª ed. Revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. **Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, n. 1. Campinas, 1997, p. 113-117.

SILVEIRA, D.C; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. **Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, 2010, p. 659-667.

SIVAPALAN, S. **Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked type polyacrylamide.** Australian Journal of Experimental Agriculture, Melbourne, v. 46, n. 4, 2006, p. 579-584.

SIVAPALAN, S. **Potential use of polyacrylamides (PAM) in Australian irrigated agriculture.** In: Irrigation Australia 2002 Conference, Sydney. Proceedings...p. 339-346. Sydney, 2002.

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

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

SOJKA, R.E.; ENTRY, J.A.; ORTS, W.J. **Conditioners.** p. 301-306. 2005. Disponível em:<<http://books.elsevier.com/companions/defaultindividual.asp?isbn=9780123485366>>. Acesso:20/4/2014.

SOUZA, L. S. **Aspectos sobre o uso e manejo dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros.** *Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.* v. 22, 1997.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. **The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth.** *Australian Journal of Soil Research.* v.18, 1980, p.415-422.

VALE, G.F.R.; CARVALHO, S.P.; PAIVA, L.C. **Avaliação da eficiência de polímeros hidrorretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio.** *Coffee Science, Lavras,* v. 1, n. 1, 2006, p. 7-13.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. **Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar.** *Revista Brasileira de Ciências do Solo,* v. 34, 2010, p. 309-316.

WALLACE, A., WALLACE, G.A. **Need for solution or exchangeable calcium and/or critical EC level for flocculation of clay by polyacrylamides.** In: Sojka, R.E., Lentz, R.D.

(Eds.), Managing irrigation-induced erosion and infiltration with polyacrylamide. Proc., College of Southern Idaho, Twin Falls, ID 6–8 Univ. of Idaho Misc. Publ. No. 101-96, May, 1996, p. 59-63.

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

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

**CAPÍTULO II**  
**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLOS COESOS DA ZONA DA MATA DE**  
**PERNAMBUCO SOB AÇÃO DE CONDICIONADORES QUÍMICOS**

## RESUMO

Os horizontes coesos ocorrem nas regiões dos Tabuleiros Costeiros, na faixa sedimentar costeira brasileira e nos Mares de Morros, regiões com elevações alongadas. A coesão natural destes horizontes modificam os atributos físico-hídricos dos solos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos condicionadores químicos na redução do caráter coeso de solos dos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros no estado de Pernambuco, a partir de ensaios de parâmetros físico-hídricos. Três perfis de solos foram abertos em áreas de floresta subperenifólia em três locais da Zona da Mata (Norte, Centro e Sul). Dez horizontes foram selecionados e coletados um bloco de solo para cada horizonte, em cada perfil foi coletado um horizonte coeso. Em cada bloco de solos foram inseridos 18 anéis volumétricos. Seis tratamentos foram aplicados nas amostras de solos, solução controle, PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1g kg<sup>-1</sup>), PAM + CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>) e PAM + CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>). Os atributos físico-hídricos avaliados foram porosidade, condutividade hidráulica de solo em meio saturado (K<sub>0</sub>) e curva característica de retenção de água no solo (CCRAS). Os resultados foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste Scott-knott, p<0,05. Os resultados de K<sub>0</sub> demonstram a influência da textura e porosidade dos solos no comportamento deste parâmetro em resposta ao uso dos condicionadores, tendo relação da K<sub>0</sub> com a redução dos macro e mesoporos. O alto peso molecular do polímero e a viscosidade influenciaram no comportamento hídrico dos solos submetidos a aplicação de PAM. A porosidade total dos horizontes coeso em comparação aos horizontes não coeso apresenta valores menores, como também os macroporos e mesoporos. A adição de PAM aos solos aumentou a capacidade em armazenar água, principalmente na faixa de menor retenção de água no solo, sugerindo redistribuição dos poros, com aumento dos microporos e criptoporos. O aumento da retenção de água sob altas tensões tem relação direta com a consistência, permite manter nestas condições o solo friável. O alto peso molecular do polímero e a viscosidade influenciaram no comportamento hídrico dos solos submetidos a aplicação de PAM. A adição do sulfato de cálcio ao polímero melhorou a condutividade hidráulica saturada dos solos, mas não surtiu efeito na retenção de água pelos solos. O polímero aumentou a retenção de água dos solos coesos, sendo mais pronunciado seu efeito sobre os microporos, atenuando a coesão quando secos.

**Palavras-chaves: condutividade hidráulica, porosidade, poliacrilamida**

## ABSTRACT

The cohesive horizons occur in regions of the Coastal Tablelands, in the Brazilian coastal sedimentary range and Sea of Hills, regions with elongated elevations. The natural cohesion of these horizons modify the physical and hydraulic attributes of soils. The objective of this study was to evaluate the behavior of chemical conditioners in reducing the cohesive character of soils of the Coastal Tablelands and Sea of hills in the state of Pernambuco, from tests of physical water parameters. Three soil profiles were opened in forest areas in three locations in the forest zone (North, Central and South). Ten horizons were selected and collected a block of soil for each horizon in each profile was collected a cohesive horizon. In each block of 18 soil volumetric rings were inserted. Six treatments were applied to soil samples, control solution, PAM (50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>), CaSO<sub>4</sub> (1g kg<sup>-1</sup>), PAM + CaSO<sub>4</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>) e PAM + CaSO<sub>4</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup> e 1g kg<sup>-1</sup>). The assessed physical and hydraulic attributes were water-porosity, hydraulic conductivity of saturated soil medium (K<sub>0</sub>) and soil-water retention characteristic curve (SWRCC). The results were submitted to analysis of variance with means compared by Scott-Knott, p <0.05. The results demonstrate the influence of K<sub>0</sub> of texture and porosity of soils in the behavior of this parameter in response to the use of conditioners, and ratio of K<sub>0</sub> to the reduction of macro-and mesopores. The high polymer molecular weight and viscosity behavior of the water influence on soils subjected to application of PAM. The total porosity of cohesive horizons compared to non-cohesive horizons present lower values, as well as macropores and mesopores. The addition of PAM to soil increased the capacity to store water, mainly in the range of less water retention in the soil, suggesting redistribution pores, increasing the micropores and criptopores. The increased retention of water under high stress is directly related to consistency, keeps the soil loose under these conditions. The high polymer molecular weight and viscosity behavior of the water influence on soils subjected to application of PAM. The addition of calcium sulfate to the polymer improved the saturated hydraulic conductivity of the soil, but did not take effect on the soil water retention. The polymer increased the water retention of cohesive soils, being more pronounced effect on the micropores, reducing the cohesion when dry.

**Keywords:** hydraulic conductivity, porosity, polyacrylamide

## INTRODUÇÃO

Os tabuleiros costeiros compreendem as regiões de platôs de origem sedimentar do período Terciário (GOMES et al., 2012), referente ao Grupo Barreiras, que constituem uma extensa faixa sedimentar costeira, ao longo do litoral brasileiro (ARAÚJO FILHO et al., 2001). Os solos provenientes desses sedimentos, ou similares, ocupam também outras regiões, como no vale do rio Amazonas e regiões semi-áridas de Pernambuco e Bahia, estima-se uma área de ocorrência desse solos em 200.000km<sup>2</sup> (JACOMINE, et al., 2001).

No semi-árido de Pernambuco e Bahia, o material de origem dos solos está relacionado com cobertura sedimentar sobre embasamento cristalino, constituídos de materiais similares aos sedimentos Barreiras (ARAÚJO FILHO et al., 2001), materiais argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, bastante meteorizados, tipicamente caulíníticos e pobres em ferro (JACOMINE, et al., 2001). Esses sedimentos podem ser encontrados nas áreas transicionais do limite entre o Terciário e Pré-cambiano, com domínio morfoclimático denominado de Mar de Morros (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

O Mar de Morros representam região com superfície constituída por morros e colinas, com elevações alongadas na forma de “ondas do mar” (ARAÚJO FILHO et al., 2011), relacionada a encostas de serras, chapadas e terrenos movimentados.

Nos Mares de Morros e principalmente nos Tabuleiros Costeiros foram identificados a ocorrência dos solos com caráter coeso (CINTRA, et al., 1997; ARAÚJO FILHO et al., 2000; LIMA et al., 2004; GIAROLA & SILVA, 2002). Este termo caracteriza os solos com horizontes minerais subsuperficiais adensados que sofrem modificação acentuada da sua consistência em função da variação de umidade, torna-se duro, muito duro e extremamente duro quando seco e friável quando úmido (JACOMINE, 2001).

Os horizontes coesos, devido ao elevado adensamento natural, modificam os atributos físico-hídricos dos solos, ocorre uma redução da porosidade total (LIMA NETO et al., 2010), aumenta a densidade do solo (GIAROLA & SILVA, 2002; LIMA NETO et al, 2009), devido a modificação da porosidade ocorrerá interferências no potencial matricial da água no solo (Lima et al., 2004), como a diminuição da infiltração e transporte de água e ar no solo, tendo como consequência um aumento da resistência à penetração do sistema radicular nesses solos (PORTELA et al., 2001; GIAROLA & SILVA, 2002; FONSECA et al., 2007; MELO FILHO, et al., 2007).

As alterações ocorridas em horizontes coesos afetam as propriedades físico-hídricas citadas, como porosidade e a estrutura do solo, tendo consequência direta nas propriedades

hidráulicas do solo. Atenuar essa coesão natural pode permitir uma reformulação dos poros desses horizontes e permitir melhorias nas propriedades hidráulicas desse solo.

Os condicionadores químicos, poliacrilamida (PAM), sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), aplicados ao solo melhoram as propriedades físicas do solo (BUSSCHER et al., 2007; SIVAPALAN, 2006; CHAN & SIVAPRAGASAM, 1996).

A poliacrilamida (PAM) é um polímero aniônico de alto peso molecular, solúvel em água, com macromoléculas lineares de cadeia longa (ENTRY et al., 2008), formada por polimerização de monômeros de acrilamida, com baixa densidade de carga e alto peso molecular (GREEN & STOTT, 2001; ENTRY et al., 2008). Sendo a adsorção da PAM nas partículas do solo resultado das interações das forças de Van Der Waals, Coulomb, pontes de hidrogênio e ligação dipolo dipolo (ORTS et al., 1999). Estas forças de atração superficiais da PAM nas partículas do solo estabilizam a estrutura do solo, mantêm a coesão entre as partículas e aumentam a resistência ao cisalhamento (ENTRY, et al., 2013).

Essas interações da PAM com as partículas do solo altera as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com melhorias na infiltração e transporte de água, aeração, resistência à penetração de raiz, erosão do solo (SOJKA et al., 2007), aumento da estabilidade de agregados e redução da resistência tênsil dos agregados do solo (CHAN & SIVAPRAGASAM, 1996). O processo de degradação da PAM no solo ocorre lentamente, devido ao tamanho das macromoléculas, como resultado dos processos químicos, biológicos e mecânicos (ENTRY et al., 2008).

O sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e o cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) são condicionadores mais comumente utilizados no solo. Estes condicionadores melhoram as propriedades físicas do solo, reduz a argila dispersa em água, aumenta o grau de floculação (ROSA JUNIOR et al., 2006) e a condutividade hidráulica saturada (HALL et al., 1994).

Os benefícios da aplicação dos polímeros podem ser potencializados com a aplicação conjunta com sulfato de cálcio (SIVAPALAN, 2002), isto ocorre porque os íons de cálcio em pequenas quantidades na solução do solo favorecem a contração da dupla camada elétrica das partículas do solo. A redução na dupla camada possibilita a presença de eletrólito suficiente para superar a repulsão eletrostática (SOJKA et al., 2007), assim favorece a ligação das macromoléculas da PAM com as partículas do solo, com o cálcio responsável por favorecer estas ligações, como uma ponte entre os locais de cargas negativas do polímero e superfície do solo (WALLACE & WALLACE, 1996; ORTS et al., 2001; ENTRY et al., 2013).

Parâmetros físico-hídricos podem ser analisados para avaliar o comportamento dos condicionadores na atenuação do caráter coesos do solo, como porosidade, curva de retenção de água do solo e condutividade hidráulica de solos saturado.

No estudo da compactação, a umidade do solo é um dos mais importante fatores que influenciam esse processo (SOANE & VAN OUWERKERK, 1994). No adensamento natural dos solos coesos, a umidade do solo também tem influência direto na coesão. Analisar o comportamento da água no horizontes coesos é fundamental para entender o adensamento desses solos.

Para avaliar as propriedades hídricas do solo, a curva característica de água no solos (CCRAS) relaciona o conteúdo de água retido, sob equilíbrio, em cada potencial matricial. Tem influência, nesta relação, o tamanho e a conectividade dos espaços porosos, estes afetados pela estrutura e textura do solo, como também outros constituintes (TULLER & OR, 2005).

Na revisão sobre mudanças na porosidade em solos deformados, Alaoui et al. (2011) analisaram estudos sobre as CCRAS em solos adensadas. O conteúdo de água diminuiu nos potenciais matriciais (- 0 a -10 kPa) e aumentou nos potenciais (-250 a -1550 kPa). Isso pode ter relação com a diminuição dos poros maiores (macroporos) e aumento da proporção dos poros menores (ASSOULINE et al., 1997).

Estudos realizados por Giarola et al. (2003) e Lima et al. (2005) com análises de imagens e micromorfologia, em horizontes coesos e não coesos, indicam a importância da análises da porosidade dos horizontes coesos. Estes estudos demonstram a influência direta do adensamento dos horizontes coesos com a porosidade total, confirmado pela redução da porosidade total nos horizontes coesos, quando comparados com horizontes não coesos.

Esta influência do processo natural de adensamento dos horizontes coesos nos espaços porosos podem ainda ser reforçadas pela análise dos tamanhos dos poros na redução da porosidade total. Paiva et al. (2000), Giarola et al. (2003) e Lima et al. (2005) identificaram a redução dos macroporos e aumento da proporção dos mesoporos e microporos, comparado com os horizontes não coesos.

O grande número de macroporos promove melhores condições físicas para o movimento de água no solo e penetração das raízes (LIMA et al., 2005). A redução dos macroporos causa a redução no movimento de água e ar, no qual afeta a distribuição das raízes no solo (CINTRA, 2001).

A redução da macroporosidade e sua relação direta com o movimento de água nos horizontes coesos podem ser analisados através da condutividade hidráulica destes horizontes. O movimento da água no solo depende principalmente do espaço poroso, estrutura do solo e as propriedades hidráulicas (ALAOUI et al., 2011).

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) é um dos parâmetros físico hídricos mais sensíveis quando os solos são submetidos as modificações na sua estrutura, principalmente o processo de adensamento dos solos coesos. Estudos demonstram a diminuições nos valores da  $K_0$  quando analisado o movimento da água no horizonte coeso (CINTRA et al., 2007).

Porém, esse atributo é um dos que apresentam maior variabilidade nos seus resultados, isto é atribuído a sensibilidade desse parâmetro as alterações ocorridas nos solos (SANTANA et al., 2006), pois as mudanças nos poros tem forte influência nos valores da  $K_0$  (ALAOUI et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos condicionadores químicos na redução do caráter coeso de solos dos Tabuleiros Costeiros e Mar de Morros no estado de Pernambuco, a partir de ensaios de parâmetros físico-hídricos: porosidade, condutividade hidráulica de solo em meio saturado ( $K_0$ ) e curva característica de retenção de água no solo (CCRAS).

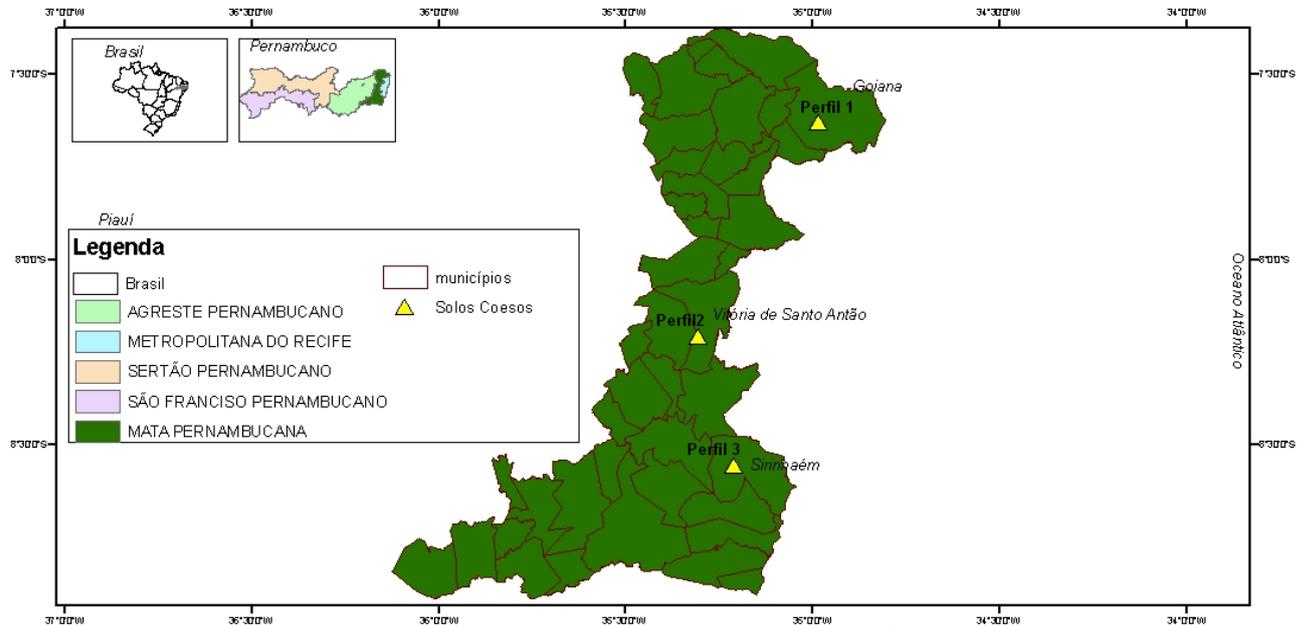
## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Áreas de estudo**

O estudo foi realizado em três áreas com regimes de chuvas distintos, sendo um perfil por área (Figura 8): Perfil 1, Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico ( $AAD_{ITA}$ ), localizado na Estação Experimental de Itapirema (IPA - PE), Município de Goiana – PE, Zona da Mata Norte, representando a área mais seca; Perfil 2, Latossolo Amarelo Distrocoeso típico ( $LAD_{NAT}$ ), localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Natuba, no Município de Vitória de Santo Antão – PE, Zona da Mata Centro, com regime de chuva intermediário entre as áreas; Perfil 3, Latossolo Amarelo Distrocoeso ( $LAD_{TRA}$ ), localizado na Usina Trapiche, Município de Sirinhaém, Zona da Mata Sul, sendo a área mais úmida. Os solos foram classificados conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013).

Os três perfis estão localizados em área de floresta subperenifólia, secundária em processo de regeneração. As três áreas estudadas apresentam solos com caráter coeso em horizontes subsuperficiais, com ocorrência em profundidades distintas, sem interferência de

processos de compactação decorrente do uso e manejo do solo, a coesão encontrada está relacionada aos processos pedogenéticos.



**Figura 8.** Localização dos três perfis de solos estudados, ao longo da Zona da Mata Pernambucana.

### Coleta dos Solos

Os três perfis de solos foram abertos e descritos nas áreas de floresta subperenifólia, conforme Santos et al. (2005), em cada perfil foram demarcados os horizontes e seus limites, para posterior classificação SiBCS (EMBRAPA et al., 2013). A escolha dos horizontes para o trabalho foi determinada pelas características morfológicas do horizonte com caráter coeso, com máxima expressão de coesão e também foram selecionados em cada perfil, para efeito comparativo quanto à coesão, um horizonte acima e outro abaixo do coeso, ambos sem expressão de coesão.

Desse modo, para cada perfil, foram coletados três blocos de cada horizonte, exceto para o perfil de Trapiche, onde se coletaram quatro blocos, devido às dúvidas em campo sobre as características morfológicas de qual horizonte expressaria melhor o caráter coeso. Assim, foram selecionados e coletados dez blocos (horizontes).

Para as coletas em blocos não deformados seguiram-se procedimentos específicos, com objetivo de preservar a estrutura do solo, evitando-se assim danos à sua condição estrutural de campo. Para tanto, os blocos foram separados do perfil, utilizando-se, entre outros aparatos, de serrote, pá reta, acoplada a um macaco hidráulico, usando uma das paredes do perfil como apoio

para remoção do bloco intacto, reduzindo-se perturbações no processo de coleta. Os blocos tiveram dimensões de 45 x 45 cm (comprimento e largura), sendo a altura do bloco determinada pela profundidade de cada horizonte.

Após retirados da trincheira, os blocos foram envolvidos, inicialmente, em plástico filme, depois em plástico bolha, em seguida rotulados, identificando-se o topo e base do bloco no perfil. Para o transporte dos blocos ao laboratório, estes foram devidamente acondicionados em caixas de isopor, evitando-se os impactos durante sua locomoção.

No laboratório, os blocos, ainda com plásticos, foram envolvidos com ataduras de gases embebidas em uma solução de gesso (atadura gessada), que ao secar, promoveu um melhor acondicionamento do bloco, mantendo-se assim sua estrutura, evitando seu desmoronamento durante a etapa de inserção dos anéis.

Para o processo de coleta em anéis volumétricos, os blocos engessados foram colocados em bandejas plásticas, forradas com espuma de aproximadamente 20 mm de espessura, umedecidos, por capilaridade até sua completa saturação. Em seguida os blocos foram drenados, até atingirem umidade em torno da capacidade de campo.

Os anéis volumétricos foram inseridos cuidadosamente aos blocos utilizando-se de amostrado tipo Uhland, com braço mecânico que introduz o anel lentamente ao bloco, sem ou com mínima perturbação da amostra (este equipamento está em processo de depósito de patente), totalizando 18 anéis volumétricos em cada bloco. Estes anéis volumétricos com o solo foram utilizadas nos ensaios de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), curva característica de retenção de água no solo, porosidade e densidade do solo.

As amostras de Terra fina seca ao ar - TFSA foram obtidas a partir da coleta de amostras não estruturadas de cada um dos horizontes selecionados. As amostras foram destorroadas, homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2,00 mm, sendo essas amostras utilizadas na caracterização química do solo e física do solo (Tabela 10 e 11).

**Tabela 10.** Caracterização física dos solos estudados

Horizonte	Análise Granulométrica <sup>(2)</sup>									Silte/Argila	IF <sup>(3)</sup>	ID <sup>(4)</sup>	Dp <sup>(5)</sup>	Ds
	Argila	Silte	Areia	AMG	AG	AM	AF	AMF	ADA					
	-----g kg <sup>-1</sup> -----													
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (AADeITA)</b>														
A <sup>(1)</sup>	75,54	33,39	891,07	44,48	162,34	324,24	298,65	60,27	20,99	0,44	0,72	0,28	2,70	1,40
E	92,12	18,27	889,61	35,84	158,94	320,90	308,10	62,98	33,50	0,20	0,64	0,36	2,70	-
BE	150,87	33,93	815,20	31,69	142,25	276,26	287,99	74,00	104,77	0,22	0,31	0,69	2,73	-
Bt <sup>(1)C</sup>	323,62	26,94	649,44	22,69	110,87	222,33	220,08	72,88	16,81	0,08	0,95	0,05	2,78	1,70
Bt/Bw	306,37	12,30	681,33	20,74	126,58	250,81	215,97	64,13	0,00	0,04	1,00	0,00	2,77	-
Bw <sup>(1)</sup>	332,27	37,61	630,13	19,09	118,35	219,55	197,59	72,34	0,00	0,11	1,00	0,00	2,79	1,56
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>														
A <sup>(1)</sup>	343,72	171,12	485,16	33,87	114,18	138,41	131,96	63,38	221,51	0,50	0,38	0,62	2,68	1,19
BA	385,64	139,43	474,93	37,39	121,81	133,13	119,38	61,20	0,00	0,36	1,00	0,00	2,70	-
Bw1 <sup>(1)C</sup>	554,67	11,78	433,55	24,71	109,93	118,50	114,46	59,00	0,00	0,02	1,00	0,00	2,72	1,47
Bw2 <sup>(1)</sup>	603,93	11,06	385,01	42,28	112,73	111,22	111,22	60,90	0,00	0,02	1,00	0,00	2,78	1,23
Bw3	594,77	33,36	371,87	18,62	84,82	91,54	95,16	50,17	0,00	0,06	1,00	0,00	2,76	-
<b>Latossolo Amarelo Distrófico (LAD<sub>TRA</sub>)</b>														
A <sup>(1)</sup>	477,86	128,28	393,86	48,29	110,16	108,15	98,59	27,67	0,00	0,27	1,00	0,00	2,78	1,23
AB <sup>(1)</sup>	653,92	60,93	276,15	30,68	87,52	74,45	62,37	19,62	0,00	0,11	1,00	0,00	2,79	1,35
BA <sup>(1)C</sup>	628,77	56,93	314,89	32,19	93,06	89,03	75,95	22,64	0,00	0,09	1,00	0,00	2,84	1,35
Bw1	653,92	106,15	239,94	17,96	75,75	69,26	60,71	14,39	0,00	0,16	1,00	0,00	2,86	-
Bw2 <sup>(1)</sup>	704,22	37,23	258,55	30,18	75,95	65,89	60,36	20,12	0,00	0,05	1,00	0,00	2,89	1,18
Bw3	704,22	48,80	246,98	30,18	69,92	61,87	63,88	19,62	0,00	0,07	1,00	0,00	2,90	-

(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 picnômetro (FLINT & FLINT, 2002) C: Horizonte Coeso

AMG: Areia muito grossa; AG: Areia grossa; AM: Areia média; AF: Areia fina; AMF: Areia muito fina. ADA: Argila dispersa em água

**Tabela 11.** Caracterização química dos solos estudados

Horizontes	pH	pH	$\Delta$ pH <sup>(3)</sup>	PCZ <sup>(4)</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	SB	CTCef	CTCpot	V	m	PST	P	COT
	(H <sub>2</sub> O) <sup>(2)</sup>	(KCl) <sup>(2)</sup>																
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (AADe<sub>ITA</sub>)</b>																		
A <sup>(1)</sup>	4,45	3,24	-1,21	2,04	0,36	0,59	3,97	1,36	6,67	48,4	6,28	12,95	54,68	11,49	51,49	4,57	11,25	1,99
E	4,59	3,79	-0,80	2,99	0,30	0,52	3,00	0,64	6,00	41,25	4,47	10,47	45,72	9,77	57,32	4,94	9,94	1,21
BE	5,05	4,16	-0,89	3,27	0,25	0,49	5,05	1,23	3,67	32,45	7,02	10,69	39,47	17,78	34,31	4,57	9,89	0,92
Bt <sup>(1)C</sup>	4,87	3,98	-0,89	3,09	0,25	0,53	4,62	1,36	5,00	31,35	6,76	11,76	38,11	17,74	42,51	4,53	9,57	0,81
Bt/Bw	4,92	3,99	-0,92	3,07	0,25	0,49	3,05	1,25	5,33	42,35	5,04	10,37	47,39	10,63	51,43	4,71	9,23	0,81
Bw <sup>(1)</sup>	5,02	4,06	-0,96	3,11	0,25	0,52	4,00	1,41	5,67	37,95	6,17	11,84	44,12	13,99	47,86	4,37	9,52	0,49
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>																		
A <sup>(1)</sup>	3,81	3,37	-0,43	2,94	0,37	0,67	2,40	3,44	27,00	129,8	6,87	33,87	136,67	5,03	79,70	1,96	11,11	3,59
BA	4,17	3,73	-0,44	3,29	0,33	0,67	2,20	4,33	19,33	94,6	7,53	26,86	102,13	7,37	71,97	2,48	10,11	2,40
Bw1 <sup>(1)C</sup>	4,66	3,95	-0,70	3,25	0,25	0,55	2,11	2,94	10,00	63,8	5,86	15,86	69,66	8,41	63,06	3,45	9,49	1,27
Bw2 <sup>(1)</sup>	4,68	3,91	-0,77	3,14	0,25	0,47	2,23	1,83	10,33	47,3	4,79	15,12	52,09	9,19	68,34	3,13	9,06	0,70
Bw3	4,48	3,99	-0,49	3,50	0,25	0,53	1,99	1,22	10,00	50,6	4,00	14,00	54,60	7,32	71,44	3,80	11,26	0,71
<b>Latossolo Amarelo Distrófico (LAD<sub>TRA</sub>)</b>																		
A <sup>(1)</sup>	4,46	3,73	-0,73	3,01	0,62	0,99	3,27	5,07	12,67	113,85	9,95	22,61	123,80	8,04	56,01	4,38	11,45	2,03
AB <sup>(1)</sup>	4,31	3,99	-0,32	3,67	0,42	0,84	6,37	3,87	7,67	70,4	11,50	19,17	81,90	14,04	40,00	4,40	10,51	1,99
BA <sup>(1)C</sup>	4,45	4,02	-0,43	3,58	0,28	0,70	6,34	1,73	5,33	50,05	9,04	14,38	59,09	15,30	37,10	4,83	9,80	1,90
Bw <sub>1</sub>	4,56	4,11	-0,45	3,66	0,26	0,59	2,65	1,55	7,00	47,3	5,06	12,06	52,36	9,66	58,07	4,91	9,66	1,54
Bw2 <sup>(1)</sup>	4,76	4,42	-0,34	4,09	0,25	0,59	2,25	1,18	5,33	46,75	4,27	9,60	51,02	8,36	55,56	6,16	10,21	1,18
Bw3	4,47	4,36	-0,12	4,24	0,25	0,50	2,29	0,94	4,33	39,05	3,99	8,32	43,04	9,26	52,08	6,04	11,11	1,42

(1) Horizontes selecionados para o estudo (2) Suspensão TFSA:solução na proporção 1:2,5 (V:V) (3)  $\Delta$ pH = pH<sub>KCl</sub> - pH<sub>H2O</sub> (MEKARU e UEHARA, 1972) (4) Estimativa pela equação PCZ=2(pHK<sub>Cl</sub>)-pH<sub>H2O</sub> (KENG e UEHARA, 1974) C: Horizonte Coeso

## **Tratamento e Aplicação nas Amostras de Solos**

Para avaliar o efeito dos condicionadores químicos nas variáveis físicas dos solos coesos e não coesos foram utilizados o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), produto puro para análise (p.a.) e o polímero aniônico à base de poliacrilamida (PAM), com massa molecular de  $15,0 \text{ Mg mol}^{-1}$  e 35 % de densidade de carga (hidrólises). A escolha dos condicionadores e as concentrações dos tratamentos tiveram como base os estudos de Chan e Sivapragasam (1996) e Almeida (2008).

Foram aplicados seis tratamentos às amostras: solução com água destilada (controle); e cinco soluções aquosas, sendo duas concentrações de PAM ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ); uma concentração de  $\text{CaSO}_4$  à  $1 \text{ g kg}^{-1}$ ; e duas concentrações de PAM ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) combinadas com  $\text{CaSO}_4$  ( $1 \text{ g kg}^{-1}$ ).

As amostras em anéis volumétricos, os conjuntos amostra-anel foram transferidos para bandejas plásticas forradas com espumas de 20 mm de espessura, previamente saturadas com soluções com os diferentes tratamentos. Os conjuntos amostra-anel ficaram submetidos ao processo de saturação por capilaridade, elevando-se o nível da solução até faltar 0,5 cm da altura do anel, mantendo-se estas condições por um período de 48h.

Após este período, os conjuntos amostra-anel foram retirados das soluções e colocados em grades suspensas, por um período de 48h, para a drenagem natural do excesso das soluções.

## **Atributos Físico-Hídricos**

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico (GROSSMAN & REINSCH, 2002) e densidade de partícula pelo método do picnômetro, (FLINT & FLINT, 2002). A análise granulométrica do solo foi obtida pelo método do densímetro proposto por Gee & Or (2002), com realização de somente uma leitura, após dispersão de argila e 24h de repouso da agitação manual, como descrito por ALMEIDA (2008). Sendo também determinadas as quantidades de argila dispersa em água (ADA) e calculados os índices de floculação (IF) e dispersão (ID), a partir da relação entre os teores de argila total e argila dispersa em água.

A condutividade hidráulica em meio saturado foi determinada pelo método do permeâmetro de carga constante, conforme metodologia descrita por Reynolds & Elrick (2002). Os anéis volumétricos contendo as amostras de solos foram submetidos a completa saturação por um período de 24 h. Com os anéis saturados foram

colocados em um permeâmetro de carga constante e a condutividade determinada pela aplicação da equação de Darcy, conforme equação (7).

$$K_0 = \frac{V_a \cdot L}{A \cdot T \cdot (\Psi_c - \Psi_b)} \quad (7)$$

em que:  $K_0$  = condutividade hidráulica em meio saturado ( $\text{cm dia}^{-1}$ );  $V_a$  = volume de água coletado ( $\text{cm}^3$ );  $A$  = área de seção transversal ( $\text{cm}^2$ );  $T$  = tempo de fluxo da água pelo corpo de prova (dia);  $L$  = altura do corpo de prova (cm);  $\Psi_c$  = potencial total na parte superior do corpo de prova (cm);  $\Psi_b$  = potencial total na parte inferior do corpo de prova (cm).

A porosidade total foi determinada pelo método da saturação. Neste, os anéis volumétricos contendo solo saturado foram pesados, obtendo-se volume de poros. Este peso foi utilizado nos cálculos da umidade volumétrica de saturação ( $\theta_{\text{saturada}}$ ), que, por definição, pode ser considerada como a porosidade total da amostra ( $P$ ), conforme equação (8).

$$P = \frac{V_{\text{poros}}}{V_{\text{total}}} = \frac{V_{\text{água de saturação}}}{V_{\text{anel}}} = \theta_{\text{saturação}} \quad (8)$$

Em seguida à determinação do peso do solo saturado, os anéis volumétricos foram cuidadosamente transferidos para uma mesa de tensão, onde foram realizados os ensaios para determinação da macroporosidade ( $\theta_{1\text{kPa}}$ ) e mesoporosidade ( $\theta_{6\text{kPa}}$ ) e cálculo da microporosidade, segundo Oliveira (1968). A classificação da distribuição do tamanho dos poros para a determinação da macroporosidade e microporosidade teve como base a classe de poros segundo Prevedello (1996).

Os anéis volumétricos contendo as amostras de solos foram submetidos a uma tensão de 10cca (1kPa) até estabilizar as amostras. Esta tensão aplicada corresponde à drenagem do volume de água presente nos macroporos, com diâmetro de poros superior a 300  $\mu\text{m}$  (PREVEDELLO, 1996). Após a aplicação da tensão, os anéis foram pesados, determinado o volume de água extraído dos macroporos e calculado a macroporosidade, conforme equação (9), expressa em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$\theta_{\text{macro}} = \frac{V_{\text{água extraído à 1 kPa}}}{V_{\text{anel}}} \quad (9)$$

Os anéis volumétricos foram transferidos novamente para a mesa de tensão, para serem submetidos a um tensão de 60 cca (6kPa) até estabilizar as amostras. Esta tensão aplicada corresponde à drenagem do volume de água presente nos mesoporos, com diâmetro de poros entre 50 - 300  $\mu\text{m}$  (PREVEDELLO, 1996). Após a aplicação da tensão, obteve-se os pesos dos anéis, determinado o volume de água extraído dos mesoporos e calculado a mesoporosidade, conforme equação (10), expressa em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$\theta_{\text{meso}} = \frac{V_{\text{água extraído entre 1 a 6 kPa}}}{V_{\text{anel}}} \quad (10)$$

Após a determinação da mesoporosidade, tensão de 60 cca, os anéis foram transferidos para a câmara de Richards, para serem submetidos a uma pressão de 10 kPa, umidade na capacidade de campo para solos arenoso. Quando as amostras foram equilibradas, cessou a drenagem, os conjuntos anel-amostra foram pesados e transferidos novamente para a câmara de Richards. Esse procedimento ocorreu com as pressões de 33 kPa, umidade na capacidade de campo para solos argiloso e 1500 kPa, umidade no ponto de muita permanente.

Após o equilíbrio da pressão de 1500 kPa, os anéis volumétricos foram pesados e calculado o volume de água extraído dos microporos, diâmetro de poros inferior a 50  $\mu\text{m}$ . A microporosidade foi calculada pela diferença entre o peso da amostra de solo (6 kPa) e o peso da amostra em 1500 kPa. Depois as amostras foram levadas para estufa a 105°C, por um período de 24h. Após este período foi determinado o peso da amostra seca e calculado o volume de água retido nos criptoporos. A criptoporosidade foi calculada pela diferença entre o peso da amostra equilibrada em 1500 kPa e amostra seca em estufa. Ao final de todas as pressões aplicadas, têm-se as umidades correspondentes ao potencial mátrico aplicado no solo.

A construção da curva característica de retenção da água no solo (CCRAS) descreve a conteúdo de água retida no solo, expresso em base de massa ou volume,  $U$  e  $\theta$ , e o potencial matricial de água no solo dos dados obtidos com a mesa de tensão e a câmara de Richards.

Os dados da curva de retenção da água no solo foram ajustados pela equação proposta por Van Genuchten (1980), conforme equação (11):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi)^n]^m} \quad (11)$$

em que:  $\theta$  é a umidade atual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_r$  é a umidade residual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_s$  é a umidade de saturação ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\alpha$  é um parâmetro de dimensionamento, inversamente proporcional ao diâmetro médio dos poros ( $\text{cm}^{-1}$ );  $\Psi$  é a tensão com que a água está retirada no solo (kPa) e  $n$  e  $m$  são parâmetros empíricos. Para o cálculo do valor de  $m$ , foi utilizada a expressão  $m = 1 - 1/n$  (Van Genuchten, 1980).

### Caracterização Química

A caracterização química dos solos (Tabela 11) foi realizada por meio da determinação do pH do solo (proporção 1:2,5), usando como solução água e KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; o Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica;

o  $\text{Al}^{3+}$  foi extraído com  $\text{KCl}$   $1\text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{NaOH}$   $0,25\text{ mol L}^{-1}$ ; o  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram extraídos por Mehlich 1, e dosados por fotometria de chama; o P foi extraído por Mehlich 1, e determinado por fotocolorimetria; a acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ ) foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5\text{ mol L}^{-1}$  (pH 7,0) e titulada com  $\text{NaOH}$   $0,25\text{ mol L}^{-1}$ ; o carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de combustão úmida com dicromato de potássio ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). As metodologias citadas para caracterização química estão descritas em Embrapa (2009).

### **Análises Mineralógicas da Fração Argila**

A dispersão química e mecânica foi realizada com hexametáfosfato de sódio (HMP) e a agitação lenta, realizada no agitador tipo Wagner por 16h. A separação da fração argila foi realizada por sifonação. Após cada coleta, o volume de cada proveta era completado com o dispersante HMP, mantendo-se o pH entre 6,0 e 6,5. Esse procedimento foi repetido até total retirada da fração argila, reservada para posterior montagem em lâminas de vidro.

As amostras de argila foram analisadas na forma de pó não orientado, argila em condição natural, depois de macerada em almofariz de ágata e passadas em peneira de 48 mesh e argila orientada sobre as lâminas de vidros na forma de argila natural e após serem submetidos aos pré-tratamentos de eliminação de carbonatos e óxidos de ferro, conforme descrito em Jackson (1975). A disposição das argilas sobre as lâminas de vidro, para obtenção de amostra orientada, foram realizadas sob a forma de esfregaço.

Os difratogramas foram obtidos empregando-se um Difrátômetro de Raios X modelo Shimadzu XRD 6000, operando a uma tensão 40 kV, com corrente de 30 mA e radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , com monocromador de cristal de grafite acoplado.

Nas amostras na forma de argila orientada sobre as lâminas de vidros e as amostras em pó, a amplitude de varredura nas amostras foi de 3 a 70 (deg/min).

Com o objetivo de caracterizar os filossilicatos nas amostras, as lâminas de argilas em forma natural foram aquecidas, inicialmente à  $350^\circ\text{C}$  e depois à  $550^\circ\text{C}$ .

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes da fração argila foram: espaçamento interplanar (d), forma, largura e intensidade dos picos, como proposto por Brown & Brindley (1980) e Moore & Reynolds (1989). Na confecção dos difratogramas foram utilizadas somente a amplitude de varredura de 3 a 32 (deg/min), aos minerais identificados nos solos estão nessa faixa de amplitude.

## **Análise Estatística**

A unidade experimental utilizada neste estudo foi o bloco de solo coletado em cada horizonte, a partir dessa unidade experimental foram selecionadas as amostras para serem realizadas as análises. Os anéis volumétricos foram inseridos no bloco, em cada bloco foram coletados 18 anéis volumétricos, totalizando 180 anéis dos 10 horizontes. Os anéis foram distribuídos aleatoriamente para os seis tratamentos, sendo utilizado o delinemanento em blocos casualizados.

Os resultados foram 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.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Condutividade Hidráulica Saturada ( $K_0$ )**

A ação do gesso, reduzindo a viscosidade da solução de PAM, contribuiu para o aumento significativo dos valores de  $K_0$ , como pode ser observado nas diferenças entre os tratamentos controle e PAM + CaSO<sub>4</sub>, referentes ao horizonte A do Latossolo de Natuba, e do A, AB e Bw<sub>2</sub> do Latossolo de Trapiche (Tabela 12), corroborando os resultados apresentados por Ajwa & Trout (2006) e Abrol et al. (2013), onde a redução da viscosidade é promovida pelo aumento da concentração eletrolítica pela adição de gesso, que diminuem as cadeias do polímero e reduz a interação das moléculas da PAM na solução.

Os valores de  $K_0$  no horizonte A do Latossolo de Natuba tiveram um incremento em torno de 248 %, passando de 25,1 para 87,39 cm/dia, para o tratamento PAM<sub>50</sub> + CaSO<sub>4</sub> (Tabela 13). Neste mesmo horizonte, a diferença entre as  $K_0$  do controle e PAM<sub>100</sub> + CaSO<sub>4</sub>, embora tenha gerado incremento menor ( $\cong$  104 %), pode também indicar que a PAM, mesmo na maior concentração, pode ser misturada com gesso e aumentar o fluxo de água neste horizonte.

**Tabela 12.** Condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) dos horizontes dos Latossolos Amarelos Distrocoeso e Argissolo Amarelo Distrocoeso

Horizonte	Tratamento						CV %
	Controle	PAM <sub>50</sub>	PAM <sub>100</sub>	CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	
<b><math>K_0</math> (cm/dia)</b>							
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>							
A	55,91 A	79,01 A	103,20 A	58,11 A	122,79 A	80,98 A	42,65
Bt (coeso)	4,66 A	4,78 A	7,31 A	7,99 A	4,78 A	45,97 A	221,11
Bw	1,59 A	1,94 A	3,33 A	0,77 A	1,64 A	1,09 A	68,68
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>							
A	25,10 C	8,99 C	8,64 C	30,16 C	87,39 A	51,42 B	34,86
Bw1 (coeso)	4,20 A	2,15 A	2,58 A	1,17 A	1,60 A	1,18 A	46,58
Bw2	8,11 A	4,06 A	6,23 A	6,47 A	6,73 A	4,85 A	36,31
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>							
A	60,53 B	56,84 B	48,56 B	89,54 B	159,29 A	148,38 A	44,05
AB	6,01 B	2,78 B	3,60 B	0,65 B	18,32 A	1,13 B	98,00
BA	2,84 A	3,89 A	1,98 A	1,77 A	0,85 A	3,92 A	76,79
Bw2 (coeso)	9,75 B	6,24 B	9,94 B	1,65 B	11,73 B	25,34 A	65,36

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

À semelhança do já observado no horizonte A do Latossolo de Natuba, o Latossolo de Trapiche teve aumento na  $K_0$  dos seus horizontes A, AB (coeso) e BW2, com incrementos acima de 145 % para os tratamentos com PAM misturado ao CaSO<sub>4</sub>, destacando-se a melhoria no horizonte coeso, com incremento de  $\cong$  205 % (Tabela 13).

Apesar de não haver significância estatística na comparação dos valores de  $K_0$  do controle com o horizonte coeso do Argissolo de Itapirema com (Tabela 12), a diferença entre seus valores gerou incremento de  $\cong$  886 %. Apesar dessa elevada diferença, a variabilidade dos dados, com CV de 221,11 %, justificam as similaridades estatísticas entres os valores.

Tomando como base esta linha de pensamento, apenas no horizonte coeso do Latossolo de Natuba (Bw1) os tratamentos não alteraram os valores de  $K_0$ , quando da comparação o controle, com valor de 4,2 cm/dia.

Observando apenas os valores de  $K_0$  dos horizontes coesos (Tabela 12), e considerando que a degradação da estrutura promove redução nos valores da  $K_0$ , pode-se especular que o Bw1 (LAD<sub>NAT</sub>) tem a pior qualidade estrutural dos coesos estudados, com  $K_0$  média de

4,2 cm/dia, seguido do Bt do (AAd<sub>e</sub>IT<sub>A</sub>) com 4,66 cm/dia, sendo o coeso do Latossolo de Trapiche (AB), com 6,01 cm/dia, o que apresentou melhores condições hídricas.

**Tabela 13.** Valores médios de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) do horizonte A, do Latossolo Amarelo de Natuba; A, AB e BW2, do Latossolo Amarelo de Trapiche, e seus respectivos incrementos pelo uso combinado de PAM e CaSO<sub>4</sub>, PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>) + CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) + CaSO<sub>4</sub> (1 g kg<sup>-1</sup>)

Horizonte	$K_0$ (cm/dia) para os Tratamentos			Incremento (%)	
	Controle	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>					
A	25,10	87,39	51,42	248	105
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>					
A	60,53	159,29	148,38	163	145
AB	6,01	18,32	—	205	—
Bw2	9,75	—	25,34	—	160

Nas média dos valores de  $K_0$  foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, conforme Tabela 13.

Essa melhor condutividade do coeso de Trapiche pode ser justificada pela sua mineralogia da fração argila, conforme comentado anteriormente. Neste, foram identificados os picos com maior intensidade de Gt e Gb, sendo portanto um solo caulínítico com presença de gibssita, o que lhe confere maior permeabilidade à água e maior resistência à erosão, como observado por Correa et al. (2008a).

Os resultados de condutividade hidráulica do solo saturado demonstram a influência da textura e porosidade dos solos no comportamento deste parâmetro em resposta ao uso dos condicionadores. Nos horizontes coesos Bw1 (LAD<sub>NAT</sub>) e BA (LAD<sub>TRA</sub>), com textura argilosa (Tabela 10), de modo geral, o polímero nas concentrações 50 mg kg<sup>-1</sup> e 100 mg kg<sup>-1</sup>, em valores absolutos, reduziu a  $K_0$  desses horizontes em relação ao tratamento controle, sendo esta redução em aproximadamente 30 e 40 %, respectivamente. Esse resultado tem relação com a redução dos macro e mesoporos, nos mesmos tratamentos da PAM, quando comparado com o tratamento controle, como poderá ser visto nas Tabelas 14 e 16, quando das discussões sobre a porosidade e a distribuição dos tamanhos de poros.

Libardi (2005) atribui como função dos macroporos a aeração da matriz do solo e a condução de água durante o processo de infiltração; já os mesoporos, também conduzem água, porém durante o processo de redistribuição. A redução dos macros e mesoporos interfere na função dos poros responsável pela maior condução da água, tendo como principal consequência

a redução da condutividade hidráulica, como observado nos horizontes coesos Bw1 ( $LAD_{NAT}$ ) e BA ( $LAD_{TRA}$ ).

Abrol et al. (2013) estudaram a aplicação de PAM granular (0, 5, 10 e 20 kg ha<sup>-1</sup>) em solo de textura média e posterior aplicação de chuva simulada, com o objetivo de avaliar a infiltração da água no solo e o processo erosivo. Esses autores identificaram que a aplicação dos polímeros promoveu uma menor taxa de infiltração de água nos solos, em relação ao tratamento controle.

Li et al. (2011) avaliaram os parâmetros hidráulicos do solos pelo efeito de cinco diferentes taxas de PAM (0; 0,4; 0,7; 1,0 e 1,3 g kg<sup>-1</sup>) aplicados na superfície do solo, e identificaram que as aplicações dos tratamentos com PAM promoveram melhorias nas características hidráulicas do solos avaliados, com destaque para a diminuição do fluxo e a velocidade do fluxo nas duas taxas de precipitações avaliadas (1,00 mm min<sup>-1</sup> e 1,58 mm min<sup>-1</sup>) nos solos tratados com PAM em relação ao não tratados.

Malik & Letey (1992) e Abrol et al. (2013) justificam que o comportamento da PAM na redução da infiltração e condutividade hidráulica, conforme resultados também encontrados neste estudo, ocorre devido a adsorção das moléculas da PAM nas partículas do solo e a alta viscosidade da solução do polímero. No processo de adsorção do polímero no solo, as macromoléculas são parcialmente adsorvidas nas partículas do solo, porém o segmento da cadeia de moléculas não adsorvido estendem-se nos poros, na solução do solo, e por isso reduzem os tamanhos dos poros, resultando em restrição ao fluxo da água e consequente diminuição da condutividade hidráulica saturada no solo (MALIK & LETEY, 1992; ABROL et al., 2013).

Malik & Letey (1991) também afirmaram que o tamanho molecular do polímero e a carga eletrostática das partículas têm um efeito significativo na efetividade da adsorção com PAM em solos argilosos.

No estudo de Ajwa & Trout (2006), para avaliação do impacto da PAM na infiltração em solos franco arenoso e a relação dessa infiltração e a viscosidade das soluções, foi identificado que a viscosidade das soluções de PAM diluídas aumentou com a concentração do polímero. Ocorre também redução na infiltração em solos com a aplicação da PAM. Os autores argumentam que se a presença das moléculas da poliacrilamida reduz a condutividade hidráulica, por meio da maior resistência ao fluxo da água, então, deve-se correlacionar a interações entre as moléculas da PAM e superfície das partículas do solo com os tamanhos dos poros do solo, para analisar o efeito do polímero na condutividade hidráulica

do solo. Os resultados do presente estudo mostram a correlação do tamanho dos poros, interação das moléculas da PAM e a redução na condutividade hidráulica do solo.

Ajwa & Trout (2006) ressaltam que os efeitos da PAM nos resultados de condutividade hidráulica são maiores do que os efeitos na redução da infiltração, sendo justificado pela complexa relação entre condutividade, conteúdo de água no solo e potencial mátrico no solo.

Entretanto, no horizonte Bt coeso ( $AAD_{ITA}$ ), de textura franco-argilo-arenosa, o tratamento da PAM, analisando os valores absolutos, nas concentrações  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  promoveram um aumento na média dos valores de  $K_0$ , mesmo com o comportamento da porosidade similar aos observados nos outros horizontes coesos, diminuição dos macro e mesoporos, nos dois tratamentos de PAM aplicados no solo (Tabela 15). Este fato pode ser justificado analisando a granulométrica desse horizonte, em comparação com os demais horizontes coesos. O horizonte Bt coeso apresenta maior conteúdo de areia,  $649,44 \text{ g kg}^{-1}$  e, mesmo com a redução dos os macros e mesoporos neste horizonte, o arranjo estrutural das partículas pode indicar a menor adsorção das moléculas do polímero, tendo como resultado o aumento dos valores de  $K_0$ .

Malik & Letey (1992) estudaram os efeitos das soluções de PAM na condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), por meio de permeâmetro de carga constante, utilizando diferentes solos arenosos, para observar a relação das soluções dos polímeros com a porosidade dos solos. Os autores ressaltaram que a  $K_0$  do solo arenoso, tratados com as soluções de PAM, dependem do tamanho das partículas de areia e da concentração das soluções de PAM aplicadas.

Levy & Agassi (1995) avaliaram os efeitos do polímero de alto peso molecular na taxa de infiltração e erosão dos solos. Concluíram que o polímero de alto peso molecular mantém altas taxas de infiltração nos solos de textura média e grossa, como observado aqui nesta pesquisa no horizonte Bt.

O alto peso molecular do polímero e a viscosidade também influenciam no comportamento hídrico dos solos submetidos a aplicação de PAM. Nos horizontes estudados percebe-se aumento dos valores de  $K_0$  dos solos submetidos aos polímeros, nos tratamentos da PAM aplicada juntamente com o  $\text{CaSO}_4$ , nas concentrações  $50 \text{ mg kg}^{-1} + 1 \text{ g kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1} + 1 \text{ g kg}^{-1}$ , quando comparados ao tratamento controle.

Ajwa & Trout (2006) identificaram que o Ca adicionado na solução com polímero reduziu o efeito da viscosidade das soluções dos polímeros. Abrol et al. (2013) justifica esta

redução da viscosidade pelo aumento da concentração eletrolítica, que diminuem as cadeias do polímero e reduz a interação das moléculas da PAM na solução.

Yu et al. (2003) avaliaram a aplicação da PAM granular e da poliacrilamida adicionada com sulfato de cálcio ( $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Os resultados mostraram que o tratamento com a PAM teve efeito somente na redução da erosão e o tratamento do polímero com o  $\text{CaSO}_4$  foi essencial para melhorar o efeito do polímero e também aumentar a taxa de infiltração da água.

Resultados similares foram encontrado por Abrol et al. (2013), na avaliação da taxa de infiltração em um solo franco arenoso, no qual a poliacrilamida juntamente com  $\text{CaSO}_4$  aumentou significativamente a taxa de infiltração do solo, superior aos resultados encontrados quando se aplicou apenas  $\text{CaSO}_4$ . Este comportamento pode ser resultado provavelmente dos eletrólitos presente no sulfato de cálcio que aumenta a ligação dos polímeros na superfície do solo, tendo como consequência um aumento da taxa de infiltração (YU et al. 2003; ABROL et al., 2013).

Os cátions divalentes ligam as cargas negativas da PAM com as cargas negativas da superfície de argila (GREEN et al., 2000). O aumento de cátions divalentes nas soluções dos polímeros favorece a ligações dos polímeros aniônicos com a superfície carregada negativamente dos solos, diminuindo a força de repulsão eletrostática e aumentando a adsorção das moléculas do polímero na superfície do solo. Com a maior adsorção dos polímeros na superfície do solo, diminui a restrição nos poros promovida pelas moléculas aniônicas de alto peso molecular, resultando no aumento dos valores de condutividade hidráulica do solo.

### **Porosidade e Distribuição de Tamanho de Poros**

A porosidade total (Pt) dos horizontes coesos apresentou o maior valor no horizonte BA ( $\text{LAD}_{\text{TRA}}$ ), com aumento da porosidade nos tratamentos com o polímero, variando entre 0,466 a  $0,510 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (Tabela 14); seguido pelo horizonte Bw1 ( $\text{LAD}_{\text{NAT}}$ ), apresentando valores de porosidade total entre 0,418 a  $0,430 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sendo os menores valores de Pt oriundos do horizonte Bt do  $\text{AAD}_{\text{ITA}}$  (Tabela 15), com valores variando entre 0,312 a  $0,319 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

De modo geral, observa-se, que nos horizontes onde ocorrerem redução dos macroporos, mesoporos e microporos, há, conseqüentemente, redução na porosidade total.

**Tabela 14.** Macro, meso, micro, criptoporos e porosidade total nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche

Hor.	Tratamento	Porosidade				Porosidade total
		Macroporos	Mesoporos	Microporos	Criptoporos	
		-----cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> -----				
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>						
A	Controle	0,077 A	0,078 A	0,068 C	0,321 A	0,544 A
A	PAM <sub>50</sub>	0,020 B	0,104 A	0,111 B	0,294 A	0,529 B
A	PAM <sub>100</sub>	0,036 B	0,091 A	0,100 B	0,294 A	0,521 B
A	CaSO <sub>4</sub>	0,035 B	0,031 D	0,169 A	0,319 A	0,554 A
A	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,034 B	0,060 C	0,161 A	0,298 A	0,554 A
A	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,015 B	0,048 C	1,154 A	0,312 A	0,530 B
<b>CV%</b>	—	<b>37,21</b>	<b>10,14</b>	<b>11,96</b>	<b>6,43</b>	<b>1,91</b>
AB	Controle	0,003 A	0,056 A	0,084 A	0,360 B	0,504 A
AB	PAM <sub>50</sub>	0,005 A	0,021 B	0,069 B	0,384 A	0,479 B
AB	PAM <sub>100</sub>	0,003 A	0,053 A	0,056 B	0,387 A	0,500 A
AB	CaSO <sub>4</sub>	0,009 A	0,018 B	0,093 A	0,352 B	0,473 B
AB	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,013 A	0,052 A	0,078 A	0,337 B	0,480 B
AB	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,007 A	0,027 B	0,092 A	0,350 B	0,477 B
<b>CV%</b>	—	<b>52,49</b>	<b>36,69</b>	<b>14,42</b>	<b>4,38</b>	<b>2,03</b>
BA	Controle	0,010 A	0,066 A	0,073 D	0,336 A	0,485 A
BA	PAM <sub>50</sub>	0,007 A	0,032 A	0,131 B	0,340 A	0,510 A
BA	PAM <sub>100</sub>	0,007 A	0,040 A	0,123 B	0,332 A	0,502 A
BA	CaSO <sub>4</sub>	0,011 A	0,044 A	0,110 C	0,301 B	0,466 A
BA	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,001 A	0,042 A	0,141 B	0,289 B	0,474 A
BA	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,006 A	0,044 A	0,178 A	0,299 B	0,527 A
<b>CV%</b>	—	<b>49,32</b>	<b>29,07</b>	<b>6,78</b>	<b>4,66</b>	<b>4,84</b>
Bw2	Controle	0,008 B	0,077 A	0,091 A	0,332 B	0,509 A
Bw2	PAM <sub>50</sub>	0,007 B	0,045 A	0,072 A	0,370 A	0,494 A
Bw2	PAM <sub>100</sub>	0,014 B	0,078 A	0,083 A	0,332 B	0,507 A
Bw2	CaSO <sub>4</sub>	0,009 B	0,062 A	0,138 A	0,291 C	0,499 A
Bw2	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,006 B	0,077 A	0,137 A	0,276 C	0,496 A
Bw2	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,031 A	0,091 A	0,111 A	0,280 C	0,513 A
		<b>41,69</b>	<b>19,78</b>	<b>26,17</b>	<b>5,71</b>	<b>5,10</b>

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Porém, nos horizontes onde houve redução apenas nos macroporos e mesoporos, não foi observado influência na redução da porosidade total, diferentemente dos microporos, que apresentaram relação direta com os valores da porosidade total.

De modo geral, a porosidade total dos horizontes coesos em comparação aos horizontes não coesos apresenta valores menores, seguido também pela redução dos macroporos e mesoporos. Estes resultados ratificam o estudo de Lima et al. (2005), que avaliaram o comportamento físico de um solo com horizonte coeso em área de tabuleiros costeiros. Os autores justificaram esses resultados pelo adensamento característico dos horizontes coesos, reduzindo o volume total de poros e também diminuindo do volume de macroporos.

Nos três horizontes coesos, os tratamentos de PAM, nas concentrações  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , reduziram os volumes dos macroporos e mesoporos, em comparação com o tratamento controle, com redução mais expressiva dos macro e mesoporos no tratamento  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ . Neste, os macroporos tiveram redução de 15 a 33% nos horizontes coesos e os mesoporos reduziram de 38 a 57%, nestes mesmos horizontes (Tabela 14, 15 e 16).

Em relação aos microporos e criptoporos, nos horizontes coesos, a PAM na concentração  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  aumentou o volume dos microporos e reduziu os criptoporos. A concentração  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , de modo geral, atuou de forma diferentes em relação aos poros de tamanho menor, sendo que reduziu o volume dos microporos e aumentou os criptoporos.

Asghari et al. (2011), no estudo com solos de textura média para avaliar os efeitos dos condicionadores de solo na sua qualidade física, aplicaram duas concentrações de PAM:  $0,25$  e  $0,5 \text{ g kg}^{-1}$ . Os autores observaram que a aplicação do polímero diminuiu os macroporos e conseqüentemente aumentou os microporos, sendo observada na menor taxa ( $0,25 \text{ g kg}^{-1}$ ) as maiores diferenças. Os resultados foram justificados pelo aumento da agregação promovida pelos condicionadores nos solos, resultando na alteração da porosidade.

O polímero aniônico, utilizado neste estudo, atua na estabilização das partículas do solo por promover ligações como pontes de hidrogênio, ligações por cátions trocáveis, entre os grupos negativos dos polímeros e as superfícies de cargas negativas das argilas (LEVY & MILLER, 1999).

**Tabela 15.** Macro, meso, micro, criptoporos e porosidade total nos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema

Horizonte	Tratamento	Distribuição de Tamanho de Poros				Porosidade total
		Macroporos	Mesoporos	Microporos	Criptoporos	
-----cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> -----						
Argissolo Amarelo Distrocoeso epirredóxico (AAD <sub>ITA</sub> )						
A	Controle	0,035 A	0,170 A	0,150 A	0,078 A	0,432 A
A	PAM <sub>50</sub>	0,022 A	0,175 A	0,154 B	0,060 A	0,410 A
A	PAM <sub>100</sub>	0,038 A	0,179 A	0,134 B	0,081 A	0,432 A
A	CaSO <sub>4</sub>	0,005 B	0,021 B	0,293 A	0,085 A	0,405 A
A	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,007 B	0,049 B	0,282 A	0,077 A	0,414 A
A	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,005 B	0,040 B	0,277 A	0,083 A	0,405 A
<b>CV %</b>	—	<b>49,01</b>	<b>15,99</b>	<b>7,23</b>	<b>15,96</b>	<b>4,09</b>
<b>Bt</b>	Controle	0,019 A	0,029 C	0,139 A	0,142 A	0,329 A
<b>Bt</b>	PAM <sub>50</sub>	0,018 A	0,013 D	0,133 A	0,159 A	0,323 A
<b>Bt</b>	PAM <sub>100</sub>	0,016 A	0,012 D	0,133 A	0,150 A	0,312 A
<b>Bt</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,020 A	0,065 A	0,108 A	0,135 A	0,329 A
<b>Bt</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,006 B	0,041 B	0,100 A	0,141 A	0,291 A
<b>Bt</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,004 B	0,013 D	0,149 A	0,154 A	0,320 A
<b>CV%</b>	—	<b>43,95</b>	<b>29,31</b>	<b>17,18</b>	<b>9,61</b>	<b>4,59</b>
<b>Bw</b>	Controle	0,018 A	0,046 A	0,132 A	0,002 C	0,198 B
<b>Bw</b>	PAM <sub>50</sub>	0,022 A	0,039 A	0,102 B	0,003 C	0,167 B
<b>Bw</b>	PAM <sub>100</sub>	0,023 A	0,068 A	0,148 A	0,002 C	0,241 B
<b>Bw</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,004 B	0,053 A	0,105 B	0,160 B	0,323 A
<b>Bw</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,005 B	0,065 A	0,073 C	0,178 A	0,322 A
<b>Bw</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,004 B	0,014 B	0,133 A	0,182 A	0,330 A
<b>CV%</b>	—	<b>35,10</b>	<b>26,19</b>	<b>10,66</b>	<b>5,50</b>	<b>8,17</b>

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 16.** Macro, meso, micro, criptoporos e porosidade total nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba

Horizonte	Tratamento	Distribuição de Tamanho de Poros				Porosidade total
		Macroporos	Mesoporos	Microporos	Criptoporos	
-----cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> -----						
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD <sub>NAT</sub> )						
A	Controle	0,079 A	0,078 A	0,119 A	0,266 A	0,542 A
A	PAM <sub>50</sub>	0,053 A	0,085 A	0,098 A	0,278 A	0,515 A
A	PAM <sub>100</sub>	0,074 A	0,074 A	0,133 A	0,242 A	0,524 A
A	CaSO <sub>4</sub>	0,023 B	0,045 A	0,136 A	0,298 A	0,502 A
A	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,034 B	0,061 A	0,138 A	0,289 A	0,522 A
A	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,034 B	0,069 A	0,141 A	0,271 A	0,514 A
<b>CV%</b>	—	<b>42,48</b>	<b>20,99</b>	<b>15,28</b>	<b>10,56</b>	<b>2,71</b>
<b>Bw1</b>	Controle	0,021 A	0,062 A	0,070 C	0,271 B	0,424 A
<b>Bw1</b>	PAM <sub>50</sub>	0,013 A	0,055 A	0,058 C	0,292 A	0,418 A
<b>Bw1</b>	PAM <sub>100</sub>	0,009 A	0,035 A	0,131 A	0,255 C	0,430 A
<b>Bw1</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,010 A	0,055 A	0,107 B	0,244 C	0,416 A
<b>Bw1</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,011 A	0,052 A	0,113 B	0,231 D	0,411 A
<b>Bw1</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,006 A	0,033 B	0,111 B	0,267 B	0,417 A
<b>CV%</b>	—	<b>38,58</b>	<b>23,39</b>	<b>8,66</b>	<b>2,81</b>	<b>2,46</b>
<b>Bw2</b>	Controle	0,024 A	0,111 A	0,078 D	0,226 A	0,439 A
<b>Bw2</b>	PAM <sub>50</sub>	0,033 A	0,085 A	0,079 D	0,237 A	0,434 A
<b>Bw2</b>	PAM <sub>100</sub>	0,019 A	0,078 A	0,153 A	0,200 B	0,450 A
<b>Bw2</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,026 A	0,103 A	0,131 B	0,200 B	0,460 A
<b>Bw2</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,022 A	0,098 A	0,103 C	0,219 A	0,441 A
<b>Bw2</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,026 A	0,086 A	0,103 C	0,242 A	0,457 A
<b>CV%</b>	—	<b>33,93</b>	<b>16,25</b>	<b>8,88</b>	<b>5,15</b>	<b>4,22</b>

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Lee et al. (1991), com o objetivo de avaliar e descrever os mecanismos de adsorção da poliacrilamida nas faces da superfície das caulinitas, afirmaram que as moléculas dos polímeros aniônico são adsorvidos nas superfícies das partículas (também carregadas negativamente) dos solos caulínicos pelas ligações de hidrogênio, entre a superfície da partícula do mineral (grupos Al-OH e Si-OH) e as moléculas dos polímeros (grupo funcional amida).

A repulsão eletrostática entre as partículas de caulinita e a poliacrilamida aniônica permite somente uma adsorção limitada do polímero. Neste processo, a estrutura da molécula do polímero que “sofre” repulsão de carga será projetada para a solução do solo, produzindo processo conhecido como “loops” e “tails” (NASSER & JAMES, 2006).

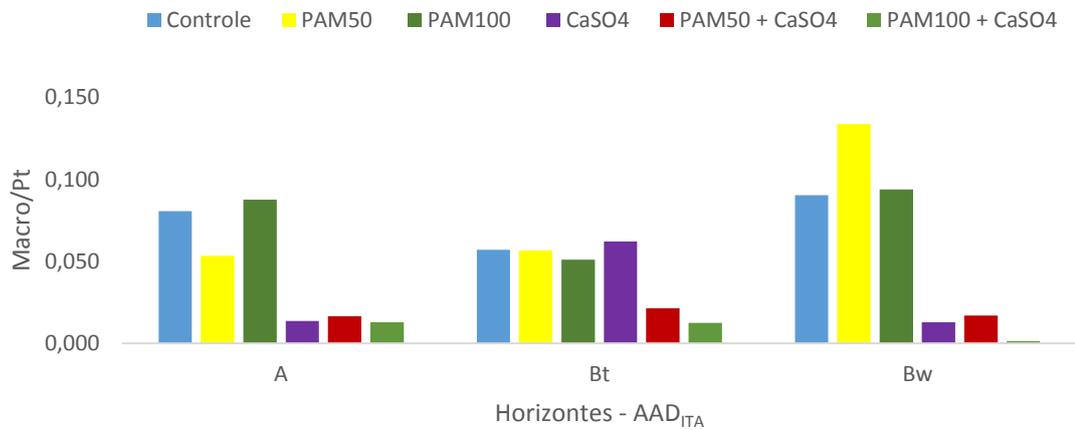
Malik & Letey (1992) e Abrol et al. (2013) afirmaram também que as macromoléculas são parcialmente adsorvidas nas partículas do solo, porém o segmento de moléculas não adsorvidos estendem-se nos poros, na solução do solo, por isso reduzem os tamanhos dos poros, criam uma restrição ao fluxo da água e conseqüente diminuição da condutividade hidráulica saturada no solo (MALIK & LETEY, 1992; ABROL et al., 2013), como resultados observados neste estudo. As moléculas do polímero não adsorvidas, projetada para a solução, aumenta o contato e aderência dos polímeros com outras superfícies das partículas do solo, promovendo maior agregação das partículas.

Segundo Nasser & James (2006) as forças de repulsão reduzem a adsorção do polímero nas superfícies das partículas dos solos, mas essa redução é ainda maior quando se utiliza polímeros de maior densidade de carga. Portanto, se houver aumento das cargas aniônicas de superfície, passando de 10 para 35%, por exemplo, reduzirá o tamanho dos flocos, diminuindo o poder de floculação do polímero.

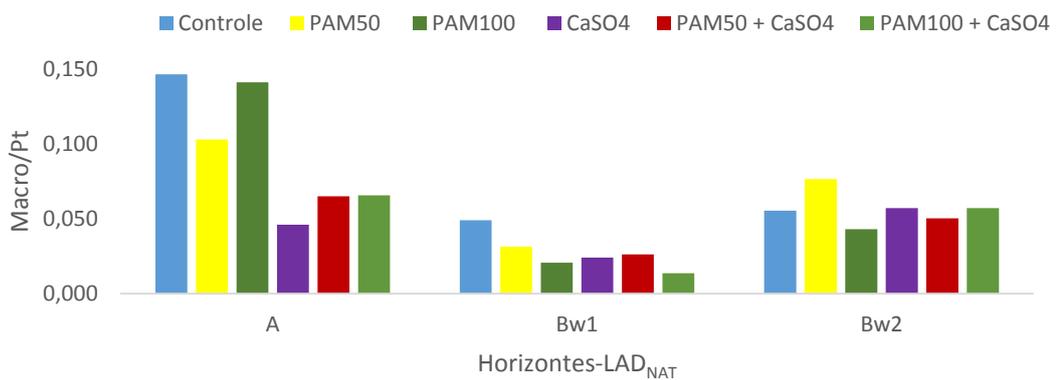
No presente estudo, o polímero usado tem densidade de carga de 35%, podendo assim justificar maiores forças de repulsão nas moléculas dos polímeros e conseqüente redução da adsorção a superfície das partículas do solo.

Outra forma de avaliar a porosidade do solo é por meio da distribuição de poros por tamanho, relacionando o volume de macroporos ao volume total de poros da amostra (relação macroporosidade/porosidade total). Esta relação, segundo Taylor & Aschcroft (1972), possui o valor ideal em torno de 0,33 (adimensional). Estes autores sugerem que a macroporosidade deve ser superior a 10 %, permitindo assim trocas gasosas que favorecem, na maioria das culturas, o crescimento de raízes.

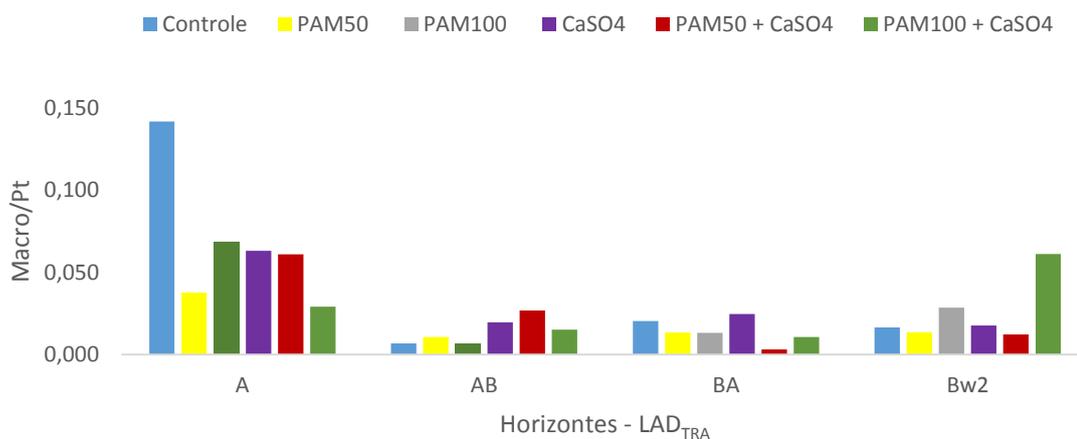
Os resultados da relação macroporosidade/porosidade total são apresentados nas Figuras 9, 10 e 11. Os resultados confirmam que o comportamento da PAM tem relação com sua adsorção aos macroporos dos horizontes coesos avaliados. De modo geral, neste horizonte, os valores da relação macroporosidade/porosidade total foram menores nos dois tratamentos do polímero, 50 e 100 mg kg<sup>-1</sup>, quando comparados com o tratamento controle. Isto indica que a adição de PAM aos solos de horizontes coesos diminuiu suas macroporosidades com valores muito baixos da relação macro/Pt (Figuras 9, 10 e 11).



**Figura 9.** Relação macroporosidade:porosidade total (Macro/Pt) dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema, com a aplicação de soluções de PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) e H<sub>2</sub>O destilada (Controle)



**Figura 10.** Relação macroporosidade:porosidade total (Macro/Pt) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba, com a aplicação de soluções de PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) e H<sub>2</sub>O destilada (Controle)



**Figura 11.** Relação macroporosidade:porosidade total (Macro/Pt) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche, com a aplicação de soluções de PAM<sub>50</sub> (50 mg kg<sup>-1</sup>), PAM<sub>100</sub> (100 mg kg<sup>-1</sup>) e H<sub>2</sub>O destilada (Controle)

Estes baixos valores da relação macro/Pt podem estar relacionados a classificação de poros utilizadas neste estudo, no caso, Prevedello (1996) são considerados como macroporos aqueles poros que drenam água à tensão de 1 kPa (diâmetro de poros > 300 μm). Nesta classificação, os macroporos são diferenciados dos mesoporos, que são esvaziados à tensão entre 1 e 6 kPa, após determinação dos macroporos. Em outros sistemas de classificação, os macroporos são somados aos mesoporos, e determinados a partir da aplicação da tensão 6 kPa, aumentando o valores da macroporosidade e, conseqüentemente, aumentando o valor da relação macro/Pt, conforme também comentado em Melo (2013).

### Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)

O comportamento das CCRAS comprovam que a adição de PAM aos solos aumentaram sua capacidade em armazenar água, sobretudo na faixa mais seca do solo, sendo isto observado a partir do potencial de 2 log cca ( $\cong$  10 kPa), sugerindo redistribuição dos poros, com aumento nos poros de menor diâmetro, como os micro e criptoporos (Figuras 12 a 14). As CCRAS foram construídas a partir das médias dos dados de umidade obtidos com as três repetições utilizadas nos tratamento em cada horizonte.

Exceção foi observada para os horizontes A, tanto do Argissolo de Itapirema, como, principalmente, para o do Latossolo de Trapiche (Figuras 12 e 14). Nestes, ao longo de toda tensão aplicada, as curvas de retenção das amostras controle foram superiores às demais, retendo mais água. Este comportamento comprova que, para os horizontes superficiais dos perfis de Itapirema e Trapiche, os tratamentos não promoveram aumento na retenção de água, e sim sua diminuição.

Analisando-se os dados da Tabela 15, com ênfase nos horizontes A de Itapirema, observa-se que a adição da PAM não alterou a distribuição dos seus poros, mantendo-se as proporções de poros entre os tratamentos, porém, conferindo uma pequena diferença entre a retenção de água do controle e demais tratamentos. Na realidade, as curvas do controle e PAM<sub>100</sub> praticamente se sobrepõem ao longo de todas as tensões (Figura 12).

Para o horizonte A de Trapiche, como a PAM reduziu a porosidade total desse horizonte (Tabela 15), a diferença entre as curvas foi mais pronunciada (Figura 14). Neste caso, a adição de PAM promoveu maiores alterações na distribuição dos poros do horizonte A, havendo reduções na sua macro e criptoporosidade, promovendo menor retenção quando da aplicação do polímero. Os demais horizontes dos solos tiveram comportamento hídrico diferente destes.

Para os horizontes coesos (Bt, Bw1 e BA), os tratamentos com PAM, aplicados isoladamente, aumentou a retenção de água desses solos. Pela sua menor porosidade total ( $\cong 33\%$ ), o Bt, com aplicação da PAM, foi o horizonte dentre os coesos que teve a menor melhoria na sua condição estrutural original, com aumento de retenção de água a partir da mesoporosidade ( $> 1 \log cca \cong >1 \text{ kPa}$ ).

A porosidade total de valor intermediário entre os coesos é a do horizonte Bw1 de Natuba. Neste, no controle, a Pt foi de  $\cong 42\%$  (Tabela 15). Com a aplicação dos tratamentos, os de polímero, tanto PAM<sub>50</sub> como PAM<sub>100</sub>, apresentaram curvas com retenção maior em relação ao controle, sendo que a PAM<sub>100</sub> aumentou a retenção na faixa úmida, até próximo da capacidade de campo (0 a 2 log cca) e a PAM<sub>50</sub>, na faixa mais seca da curva, retendo mais água a partir dos microporos (Figura 13).

A maior porosidade original entre os coesos é a do Bw de Trapiche, com valor médio em torno de 48%, conferindo-lhe melhor condição estrutural. A aplicação dos tratamentos com PAM aumentou a Pt passando para 51 % (PAM<sub>50</sub>). Esse aumento foi devido a melhoria dos microporos, que passaram de 7,26 % no controle, para 13,12 % com o PAM<sub>50</sub> e 12,29 %, para PAM<sub>100</sub> (Tabela 15). Como os microporos têm a faixa mais ampla de tamanho de poros, variando de 50 - 0,2  $\mu\text{m}$ , indo desde a faixa úmida da curva (capacidade de campo) até a mais seca (ponto de mucha permanente) pode afirmar que a PAM promoveu uma maior disponibilidade de água a este horizonte coeso.

**Tabela 17.** Distribuição de poros por tamanho nos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e Latossolo Amarelo Distrocoeso (Natuba)

Horizonte	Tratamento	Diâmetro dos Poros ( $\mu\text{m}$ )				Porosidade total
		>300 Macroporos	300 - 50 Mesoporos	50 - 0,2 Microporos	$\leq 0,2$ Criptoporos	
-----%-----						
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso epirodóxico (AAD<sub>ITA</sub>)</b>						
<b>A</b>	Controle	3,49	16,97	15,02	7,75	43,24
<b>A</b>	PAM <sub>50</sub>	2,19	17,53	15,37	5,96	41,05
<b>A</b>	PAM <sub>100</sub>	3,79	17,90	13,43	8,06	43,19
<b>A</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,55	2,08	29,35	8,50	40,48
<b>A</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,68	4,89	28,16	7,72	41,44
<b>A</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,52	3,96	27,71	8,35	40,53
<b>Bt</b>	Controle	1,88	2,92	13,95	14,20	32,95
<b>Bt</b>	PAM <sub>50</sub>	1,83	1,35	13,26	15,88	32,32
<b>Bt</b>	PAM <sub>100</sub>	1,59	1,23	13,33	15,03	31,18
<b>Bt</b>	CaSO <sub>4</sub>	2,05	6,54	10,84	13,51	32,94
<b>Bt</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,62	4,11	11,29	14,06	29,11
	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,40	1,31	14,94	15,38	32,02
<b>Bw</b>	Controle	1,79	4,55	13,22	0,24	19,80
<b>Bw</b>	PAM <sub>50</sub>	2,24	3,94	10,21	0,34	16,73
<b>Bw</b>	PAM <sub>100</sub>	2,26	6,84	14,78	0,21	24,08
<b>Bw</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,42	5,35	10,54	15,97	32,27
<b>Bw</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,55	6,50	7,29	17,82	32,16
<b>Bw</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,04	1,45	13,31	18,17	32,97
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAD<sub>NAT</sub>)</b>						
<b>A</b>	Controle	7,94	7,80	11,87	26,59	54,20
<b>A</b>	PAM <sub>50</sub>	5,30	8,54	9,82	27,82	51,48
<b>A</b>	PAM <sub>100</sub>	7,39	7,49	13,35	24,20	52,42
<b>A</b>	CaSO <sub>4</sub>	2,32	4,53	13,64	29,76	50,24
<b>A</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	3,40	6,11	13,77	28,91	52,18
<b>A</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	3,38	6,93	14,08	27,06	51,45
<b>Bw1</b>	Controle	2,08	6,15	7,02	27,14	42,39
<b>Bw1</b>	PAM <sub>50</sub>	1,31	5,52	5,84	29,16	41,82
<b>Bw1</b>	PAM <sub>100</sub>	0,89	3,52	13,08	25,50	42,98
<b>Bw1</b>	CaSO <sub>4</sub>	1,00	5,48	10,72	24,39	41,59
<b>Bw1</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	1,09	5,25	11,38	23,20	41,49
<b>Bw1</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,57	3,26	11,12	26,73	41,68
<b>Bw2</b>	Controle	2,43	11,12	7,80	22,58	43,93
<b>Bw2</b>	PAM <sub>50</sub>	3,32	8,46	7,86	23,73	43,37
<b>Bw2</b>	PAM <sub>100</sub>	1,94	7,82	15,32	19,97	45,04
<b>Bw2</b>	CaSO <sub>4</sub>	2,62	10,28	13,08	20,00	45,98
<b>Bw2</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	2,22	9,77	10,28	21,88	44,14
<b>Bw2</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	2,61	8,55	10,34	24,22	45,73

Esta melhor condição estrutural do horizonte coeso de Trapiche, diferenciando-se dos demais coesos, tanto pela sua maior Pt ( $\cong 48\%$ ) e  $K_0$  ( $\cong 61\text{cm}/\text{dia}$ ), comentado anteriormente, como também pelas melhorias nesses parâmetros com o uso de polímero (Pt aumentou para 51%; e  $K_0$  para  $\cong 159\text{ cm}/\text{dia}$ ) pode ser explicada pela mineralogia da sua fração argila.

De fato, a presença de óxido de Fe, na forma de goethita (Anexo I), neste perfil confere-lhe melhor estruturação e agregação dos solos, podendo resultar em maior porosidade e, conseqüentemente, permeabilidade à água. Os difratogramas (Anexos I) também registram a presença de gibbsita, que reconhecidamente promove maior friabilidade e estruturação ao solo (CORRÊA et al.,2008), o que ratifica, ainda mais, a melhor qualidade física dos coesos de Trapiche.

**Tabela 18.** Distribuição de poros por tamanho no horizonte do Latossolo Amarelo Distrocoeso (Trapiche)

Horizonte	Tratamento	Diâmetro dos Poros ( $\mu\text{m}$ )				Porosidade total
		>300	300 - 50	50 - 0,2	$\leq 0,2$	
		Macroporos	Mesoporos	Microporos	Criptoporos	
-----%-----						
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAD<sub>TRA</sub>)</b>						
<b>A</b>	Controle	7,72	7,82	6,78	32,10	54,42
<b>A</b>	PAM <sub>50</sub>	1,99	10,40	11,06	29,44	52,89
<b>A</b>	PAM <sub>100</sub>	3,58	9,06	10,03	29,45	52,12
<b>A</b>	CaSO <sub>4</sub>	3,49	3,06	16,93	31,88	55,37
<b>A</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	3,38	6,02	16,14	29,84	55,37
<b>A</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	1,54	4,83	15,39	31,23	52,98
<b>AB</b>	Controle	0,34	5,63	8,42	35,96	50,35
<b>AB</b>	PAM <sub>50</sub>	0,51	2,11	6,91	38,40	47,94
<b>AB</b>	PAM <sub>100</sub>	0,33	5,29	5,61	38,75	49,98
<b>AB</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,93	1,83	9,28	35,23	47,28
<b>AB</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	1,28	5,21	7,80	33,68	47,98
<b>AB</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,73	2,70	9,25	35,01	47,69
<b>BA</b>	Controle	0,99	6,61	7,26	33,60	48,46
<b>BA</b>	PAM <sub>50</sub>	0,68	3,23	13,12	33,97	51,00
<b>BA</b>	PAM <sub>100</sub>	0,66	4,05	12,29	33,23	50,23
<b>BA</b>	CaSO <sub>4</sub>	1,15	4,36	10,96	30,11	46,57
<b>BA</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,15	4,25	14,13	28,88	47,40
<b>BA</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,56	4,38	17,82	29,90	52,65
<b>Bw2</b>	Controle	0,84	7,72	9,12	33,20	50,88
<b>Bw2</b>	PAM <sub>50</sub>	0,67	4,49	7,23	37,04	49,43
<b>Bw2</b>	PAM <sub>100</sub>	1,45	7,76	8,32	33,20	50,73
<b>Bw2</b>	CaSO <sub>4</sub>	0,88	6,18	13,79	29,08	49,93
<b>Bw2</b>	PAM <sub>50</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0,61	7,72	13,65	27,62	49,61
<b>Bw2</b>	PAM <sub>100</sub> + CaSO <sub>4</sub>	3,14	9,14	11,09	27,97	51,34

O aumento na distribuição dos microporos e criptoporos, promovido pela adição de PAM, possibilitando maior armazenamento de água nesses poros, melhorou a consistência dos solos coesos quando em processo de secagem. Neste processo, estes solos apresentam aumento significativo na coesão entre as suas partículas; onde a consistência, quando secos completamente, pode variar de muito duro à extremamente duro (JACOMINE, 2001; EMBRAPA, 2013).

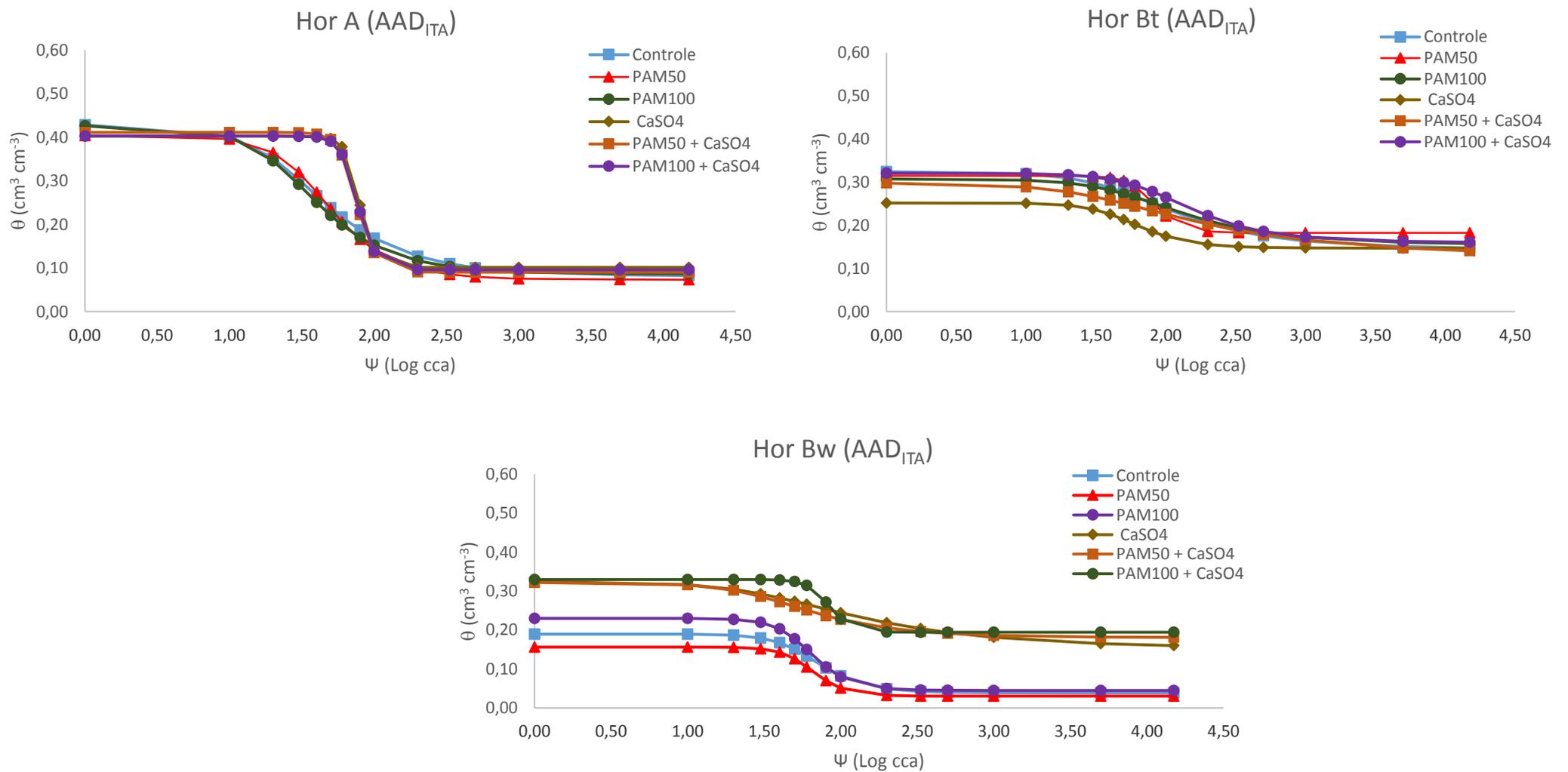
O aumento de retenção de água sob altas tensões tem importância fundamental para os solos coesos. Neste caso, o aumento do conteúdo de água nos coesos na faixa mais seca da CCRAS promove a mudança na sua consistência quando secos, passando de duro à extremamente duro, para friáveis ou firmes quando mais úmidos. Lima et al. (2005) concluíram que o predomínio de microporos nos horizontes coeso explica a retenção de maior quantidade de água nesses horizontes.

As moléculas de polímeros presentes no solo favorecem a maior retenção de água no solo, sendo a concentração de 50 mg kg<sup>-1</sup> aquela que promoveu maior retenção nos pontos de alta tensão da curva (faixa mais seca).

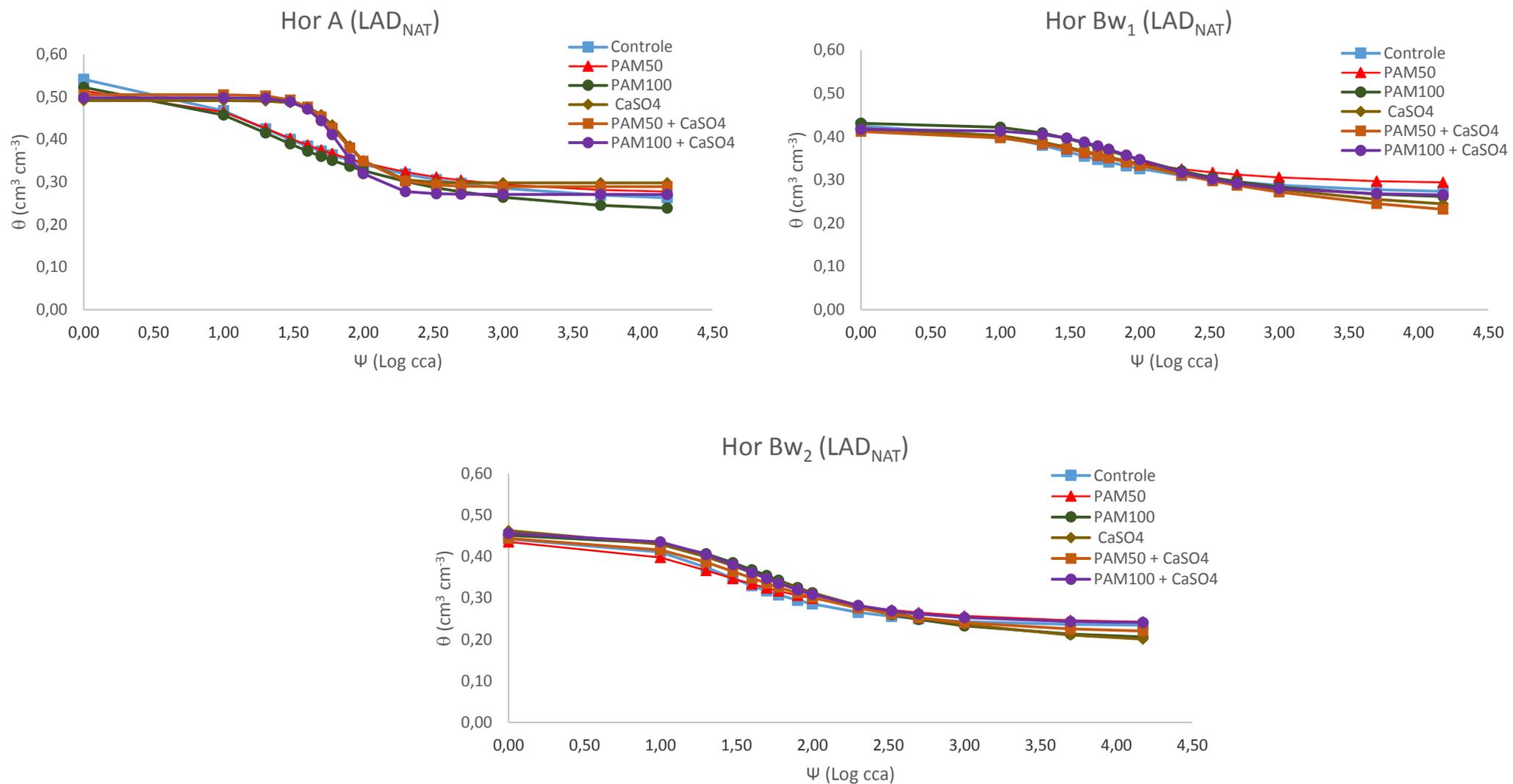
Asghari et al. (2011), no estudo com solos franco arenosos para avaliar os efeitos dos condicionadores de solo na sua qualidade física, aplicaram duas concentrações de PAM aos solos, com 0,25 e 0,5 g kg<sup>-1</sup>. Esses autores identificaram que a menor taxa, 0,25 g kg<sup>-1</sup>, aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ) a inclinação da curva de umidade do solo, quando comparada ao tratamento controle, justificado pelo aumento na agregação e porcentagem de mesoporos. As duas concentrações avaliadas de PAM diminuíram os macroporos no solo franco arenoso, resultado do aumento na agregação e conseqüentemente aumento dos mesoporos e microporos.

Li et al. (2011) avaliaram os parâmetros hidráulicos do solos pelo efeito de cinco diferentes concentrações de PAM (0; 0,4; 0,7; 1,0; 1,3 g kg<sup>-1</sup>) aplicados na superfície do solo. Os autores identificaram que as aplicações dos tratamentos com PAM promoveram melhorias nas características hidráulicas do solos avaliados. Diminuíram o fluxo e a velocidade do fluxo nas duas taxas de precipitações avaliadas (1,00 mm min<sup>-1</sup> e 1,58 mm min<sup>-1</sup>) nos solos tratados com PAM em relação aos não tratados.

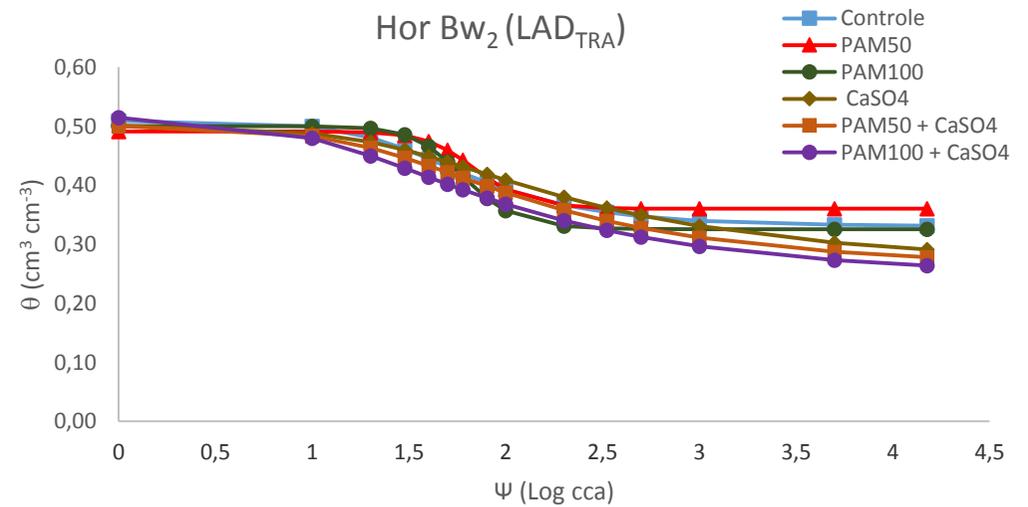
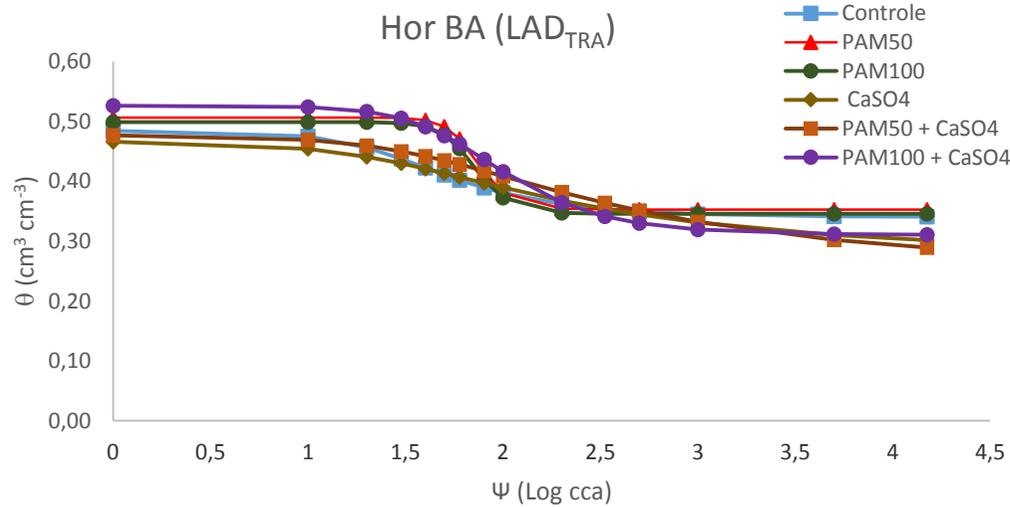
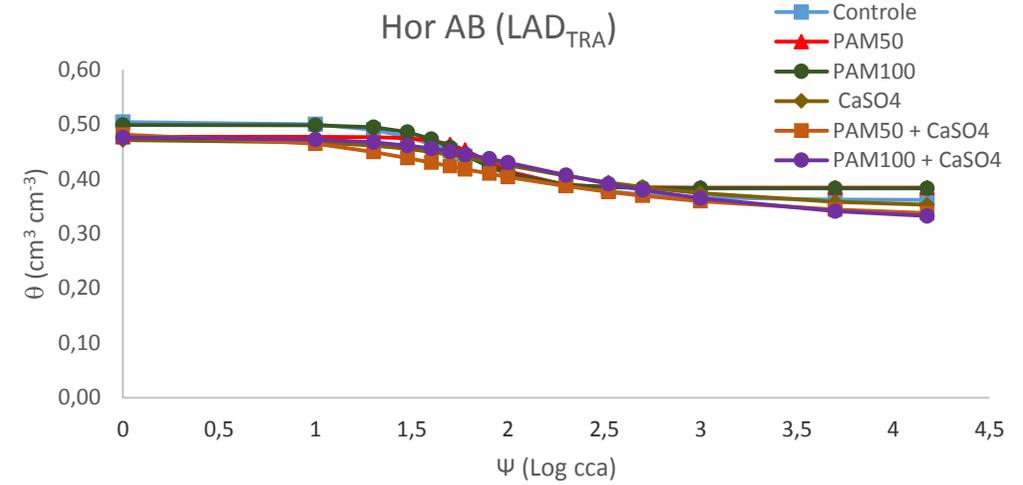
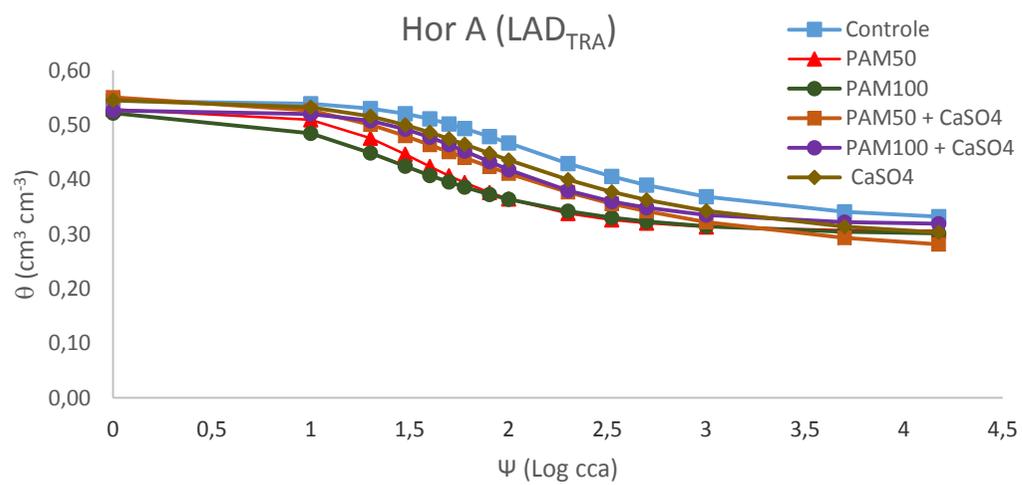
À semelhança do já observado por outros autores, a adição do gesso ao polímero de poliacrilamida, reduziu a viscosidade da solução-tratamento, mas não foi suficiente para gerar respostas positivas nas CCRAS. Em alguns casos, a melhoria com o uso do gesso foi um fato isolado, não devendo ser tomado como resposta precisa ao tratamento combinado com PAM.



**Figura 12.** Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991))



**Figura 13.** Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991)).



**Figura 14.** Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) dos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991)).

## CONCLUSÕES

A presença e quantidades de goethita e gibbsita foram determinantes na diferenciação do comportamento dos solos coesos, sendo o Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche o que apresentou melhores condições estruturais, com e sem aplicação dos condicionadores.

O alto peso molecular do polímero e a viscosidade influenciaram no comportamento hídrico dos solos submetidos a aplicação de PAM.

A adição do sulfato de cálcio ao polímero melhorou a condutividade hidráulica saturada dos solos, mas não surtiu efeito na retenção de água pelos solos.

O polímero aumentou a retenção de água dos solos coesos, sendo mais pronunciado seu efeito sobre os microporos, atenuando a coesão quando secos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABROL, V.; SHAINBERG, I. LADO, M. BEN-HUR, M. **Efficacy of dry granular anionic polyacrylamide (PAM) on infiltration, runoff and erosion.** European Journal of Soil Science, 10, 2013, p. 111-12076.

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

ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H. H. **A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective.** Soil & Tillage Research, 115/ 116, 2011, p. 1-15.

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

ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

\_\_\_\_\_. **Relação solo paisagem no bioma caatinga.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Recife, 2011. Anais. Recife, Embrapa Solos, 2011, 23 p.

\_\_\_\_\_; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R.; **Investigações preliminares sobre a pedogêneses 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, 2001, p. 123-142.

- ASGHARI, S.; ABBASI, F.; NEYSHABOURI, M. R. **Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil.** Biosystems Engineering, 109, 2011, p. 90-97.
- ASSOULINE, S., TAVARES-FILHO, J., TESSIER, D. **Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modelling.** Soil Sci. Soc. Am. J. 61, 1997, p.390-398.
- BROWN, G. BRINDLEY, G. W. **X-ray diffraction procedures for clay mineral identification.** In: Brown G, Brindley GW, editors. Crystal structures of clay minerals and X-ray identification. London: Mineralogical Society. 1980, p. 305-360.
- BUSSCHER, W. J.; NOVAK, J. M.; CAESAR-TONTHAT, T. C. **Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.93, issue q. 2007, p. 171-178.
- CHAN, K. Y.; SIVAPRAGASAM, S. **Amelioration of a degraded hardsetting soil using an anionic polymeric conditioner.** Soil Technology, Amsterdam, v.9, n. 1, 1996, p. 91-100.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; MORAES, S. O. MARCIANO, C. R. **Condutividade hidráulica de solo coeso dos Tabuleiros Costeiros cultivado com citros.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007.
- CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. **Efeito de colunas de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos Tabuleiros e na produção de coqueiro.** R. Bras. Ci. Solo, 33, 2009, p. 1041-1051.
- CINTRA, F.L.D. ; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. da. **Tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas dos solos.** Boletim Informativo da SBCS, Campinas, n.18, 1997, p.81-95.
- CINTRA, F.L.D. **Distribuição dos sistemas radicular na presença de horizontes coesos.** In: **Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros.** Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p. 229-239.
- CORREA, M. M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; FONTES, M. P. F. F; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. **Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 32, 2008, p. 1017-1031.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2 ed. rev.. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

\_\_\_\_\_. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3 edição revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.

ENTRY, J.A., SOJKA, R.E.; HICKS, B.J. **Carbon and nitrogen stable isotope ratios can estimate anionic polyacrylamide degradation in soil.** Geoderma, 145, 2008, p. 8-16.

ENTRY, J.A.; MILLS, D.; JAYACHANDRAN, K. SOJKA, R.E. **High polyacrylamide application rates do not affect eubacterial structural diversity.** Water Air Soil Pollut, 2013, p. 224-1382.

FLINT, A. L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J. H.; TOPP. G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: Soil Science Society of America, pt. 4, 2002, p. 229-240.

FONSÊCA, M. H. P.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D. de; BARRETO, A. N. **Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros.** Sergipe. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., v.11, n.4, 2007.

GEE, G.W. e OR, D. **Particle-size analysis.** In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., eds. Methods of soil analysis. Physical methods. Madison, Soil Science Society of America Journal, Madison, Part 4. 2002, p. 255-293.

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>>.

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

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

GOMES, et al. **Soil attributes under agroecosystems and forest vegetation in the coastal tablelands.** Ciência Agrotec, 2012.

GREEN, V.S.; STOTT; D. E. **Polyacrylamide: a review of the use, effectiveness and cost of soil erosion control amendment.** In: STOTT, D.E.; MOHTAR, R.H.; STEINHARDT, G.C. (eds). Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th International soil Conservation Organization Meeting. 2001 Grossman & Reinsch, 2001, p.384-389.

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, 2000, p. 1786-1791.

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

HALL, D. J. M.; MCKENZIE, D. C.; MACLEOD, D. A.; TOOLE, I. D. **Amelioration of a hardsetting Alfisol through deep mouldboard ploughing, gypsum application and double cropping**. II. Soil – water relations. *Soil & Tillage Research*, 28, 1994, p. 271-285.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: advance Course**. 29. ed. Madison, 1975. 895 p.

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, 2001, p. 19-46.

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, 1974, p. 119-126.

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

LEE, L. T.; RAHBARI, R. LECOURTIER, J.; CHAUVETEAU. **Adsorption of polyacrylamides on the different faces of kaolinites**. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 147, n. 2, 1991.

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* 33, 1995, p. 1007-1018.

LI, Y. SHAO, M. HORTON, R. **Effects of polyacrylamide applications on soil hydraulic characteristics and sediment yield of sloping Land**. *Procedia Environmental Science*, 11, 2011, p. 763-773.

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

LIMA NETO, J. A. L.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. **Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas**. *R. Bras. Ci. Solo*, 33, 2009, p. 1001-1011.

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, 2010, p. 473-486.

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, 2004, p. 467-476.

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, 2005, p. 33-40.

MALIK, M.; LETEY, J. **Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil material.** *Soil Science Society of America Journal, Madison,* v. 55, n. 2, 1991, p. 380-383.

MALIK, M. e LETEY, J. **Pore-sizes dependence apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media.** *Soil Science Society of America Journal,* 56, 1992, p. 1032-1035.

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

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L.; SOUZA, L. S. **Determinação do índice de qualidade subsuperficial de um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo,* v. 31, 2007, p. 1599-1608.

MOORE, D.M. AND REYNOLDS, R.C. **X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals.** Oxford University Press, Oxford, 1989.

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

ORTS, W.J., SOJKA, R. E.; GLENN, G. M.; GROSS, R. A. **Preventing Soil Erosion with Polymer Additives.** *Polymer News,* vol. 24, 1999, p. 406-413.

ORTS, W.J., SOJKA, R.E., Glenn, G.M., Gross, R.A. **Biopolymer additives for the reduction of soil erosion losses during irrigation.** In: Gross, R.A., Scholz, Carmen (Eds.), *Biopolymers from Polysaccharides and Agroproteins.* ACS Series 786. Am. Chem. Soc. , Washington, DC, 2001, p. 102–116.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. **Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de Tabuleiros do Estado da Bahia.** *Pes. Agropec. Bras., Brasília,* v.35, n. 11, nov. 2000, p. 2295 – 2302.

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; VAN LIER, QUIRIJN.; **Retenção da água em solo sob diferentes usso no ecossistema Tabuleiros Costeiros.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,* v.5, n. 1, 2001, p. 49-54.

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

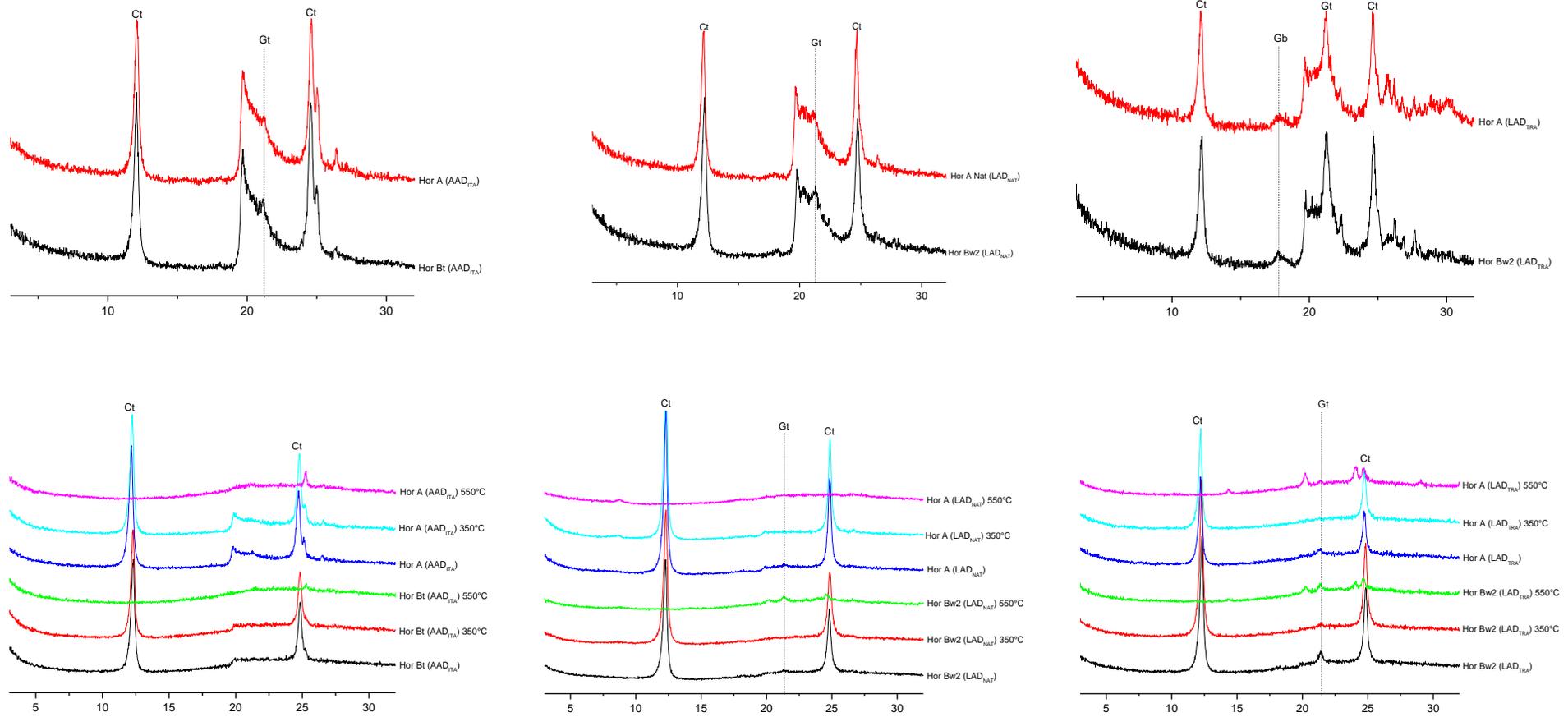
- REYNOLDS, W. D. & ELRICK, D. E. **Constant head well permeameter (vadose zone)**. In: J. h. DANE & G. C. TOPP, Eds, *Methods of soil analysis, part 4, physical methods*, p. 844-858. Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, 2002.
- ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSAM Y.B.C.J; CREMON, C. **Calcário e gesso como condicionadores físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo**. *Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia*, v. 36, n. 1, 2006, p. 37-44.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**. Versão 9.1. Viçosa: MG. Fundação Arthur Bernardes /UFV, 2009.
- SANTANA, B.M.; 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, 2006, p. 1-12.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. Revista e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.
- SIVAPALAN, S. **Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked type polyacrylamide**. *Australian Journal of Experimental Agriculture, Melbourne*, v. 46, n. 4, 2006, p. 579-584.
- SIVAPALAN, S. **Potential use of polyacrylamides (PAM) in Australian irrigated agriculture**. In: *Irrigation Australia 2002 Conference, Sydney. Proceeding. Sydney*, 2002, p. 339-346.
- SOANE, B.D., van OUWERKERK, C. (Eds.), 1994. **Compaction in Crop Production, Developments in Agricultural Engineering Series 11**. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp. 662.
- SOJKA, R.E., BJORNEBERG, D.L., ENTRY, J.A., LENTZ, R.D. & ORTS, W.J. **Polyacrylamide in agriculture and environmental land management**. *Advances in Agronomy*, 92, 2007, p. 75-162.
- TAYLOR, S. T.; ASHCROFT, G. I. **Physical edaphology: the physic of irrigated and nonirrigated soils**. W. H. Frrreman, San Francisco, C. A., 1972.
- TULLER, M. & Or, D. **Water films and scaling of soil characteristic curves at low water contents**. *Water Resources Research*. v. 41, 2005.
- VAN GENUCHTEN, M. T., LEIJ, F. J., & YATES, S. R. **The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils**. Riverside, California 92501: US Salinity Laboratory and USDA Agricultural Research Service, 1991.

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

WALLACE, A., WALLACE, G.A. **Need for solution or exchangeable calcium and/or critical EC level for flocculation of clay by polyacrylamides.** In: Sojka, R.E., Lentz, R.D. (Eds.), Managing irrigation-induced erosion and infiltration with polyacrylamide. Proc., College of Southern Idaho, Twin Falls, ID 6–8 May, 1996. Univ. of Idaho Misc. Publ. No. 101–96, 1996, p. 59–63.

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

## ANEXO I



**Figura 15.** Espectros de difratometria de raios X (Cuk $\alpha$ ) da fração argila natural dos solos dos horizontes A e Bt do Argissolo Amarelo Distrocoeso de Itapirema, A e Bw2 do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Natuba e A e Bw2 do Latossolo Amarelo Distrocoeso de Trapiche. Ct: caulinita; Gb: gibbisita; Gt: goethita.

**ANEXO II**  
**A - DESCRIÇÃO GERAL**

**PERFIL 01**

DATA: 21/03/2013

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso epi-redóxico, A moderado, textura arenosa / argilosa, fase floresta subperenifólia relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Estação de Itapirema – IPA, Goiana – PE. Parte sul da estação, ao lado da área de mata.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo plano de tabuleiro com 0 - 2 % de declive, sob cobertura de floresta secundária (floresta subperenifólia).

ALTITUDE - +/- 70 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos areno-argilosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem à moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta tropical, subperenifólia.

USO ATUAL – Vegetação secundária em regeneração.

CLIMA-

DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Brivaldo e Kairon.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Oo 5 – 0 cm, camada orgânica constituída por folhas e raízes, parcialmente decompostas, com resíduo de galhos de árvore, com espessura diversificada; transição plana e abrupta.

A 0 – 14 cm, (10 YR 4/2, úmida); areia franca; grãos simples e fraca à moderada, pequena e média blocos subangulares e granular; muitos poros pequenos e comuns médios e grandes; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

E 14 – 30 cm, (10 YR 5/3, úmida); areia franca (+); fraca à moderada, pequena e média blocos subangulares e angulares; muitos poros pequenos e comuns médios; muito friável, não plástica e não pegajosa, transição plana e clara.

BE 30 – 43 cm, (10 YR 6/3, úmida); franco-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; muitos poros pequenos e médios; muito friável, não plástica e não pegajosa, transição plana e clara.

Bt 43 – 70 cm, (10 YR 6/4); argilo-arenosa; maciça e partes, fraca pequena e média blocos subangulares; poros comuns pequenos e poucos médios; friável com partes firmes, plástica e pegajosa, transição plana e gradual.

Bt/Bw 70 – 135 cm, (10 YR 7/6), mosqueado abundante, médio e distinto (5 YR 6/6); argilo-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares e angulares; muitos poros pequenos e poucos médios; muito friável com partes muito firmes (mosqueados), plástica e pegajosa, transição plana e difusa.

Bw 135 – 190 cm, (10 YR 7/8), mosqueado pouco, médio e proeminente (2,5 YR 4/6); argilo-arenosa; fraca pequenas e média blocos subangulares com aspecto maciço poroso; muitos poros pequenos e poucos médios; muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas, comuns médias e raras grossas no A; poucas finas e médias e raras grossas no E; raras finas e médias no BE e no Bt, no Bt/Bw e no BW.

OBSERVAÇÕES - O solo estava úmido, não sendo possível tirar a cor e consistência à seco.

- O horizonte de máxima coesão é o Bt.
- O horizonte Bw no estado úmido, aparentemente não apresenta coesão.
- Dúvida se o solo é ou não abrupto. Só será resolvido com as análises granulométricas.
- Os mosqueados vermelho do horizonte Bw/Bt, se assemelhou a um horizonte plástico fragmentado.

- Os mosqueados do horizonte Bt (horizonte com coesão máxima) indicam feições redoximórficas sugerindo restrições de permeabilidade neste horizonte. Estes mosqueados estão mais concentrados no topo do horizonte Bt.

## **A - DESCRIÇÃO GERAL**

### **PERFIL 02**

DATA: 12/03/2011

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Vitória de Santo Antão – PE, 671/0242436/9092819.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo suave ondulado coberto por Mata

ALTITUDE - 410 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Material de recobrimento sobre rochas do Pré-cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração do material de recobrimento.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Vegetação secundária em regeneração.

CLIMA- As' Megatérmico com chuvas de outono-inverno

DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Manuella Vieira, Cristiane Barbosa e Edson Carneiro.

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Oo 5 – 0 cm, camada orgânica constituída por folhas e raízes com estrutura visíveis e algumas parcialmente decompostas misturadas com um pouco de fração mineral.

A 0 – 13 cm, (10 YR 3/3, úmida); franco argilo-arenosa; fraca a moderada, muito pequena a pequena, pequena a média, bloco subangulares e granular; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BA 13 – 28 cm, (10 YR 4/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares; friável a firme, muito plástica e pegajosa, transição plana e gradual.

Bw1 28 – 60 cm, (10 YR 6/8, úmida); argilo-arenosa; fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares; friável a firme, muito plástica e pegajosa, transição plana e difusa.

Bw2 60 – 130 cm, (7,5 YR 7/8); argilo-arenosa; fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares; friável, muito plástica e pegajosa, transição plana e difusa.

Bw3 130 – 190 cm+, (7,5 YR 5/8), muito argilosa; fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares; friável, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas e muito finas, raras médias e grossas no horizonte A, raras finas muito finas e médias nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – O perfil encontrava-se úmido durante a descrição.

- A coesão localiza-se entre 13 – 60 cm de profundidade.

## **A - DESCRIÇÃO GERAL**

### **PERFIL 03**

DATA: 26/01/2011

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, A moderado, textura argilosa, fase floresta subperenifólia relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Engenho Buranhem 5 km da sede da Usina Trapiche, Município de Sirinhaém (PE). Coordenadas: 08°36'47" e 35°19'36" de Greenwich.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo plano de tabuleiro com 0 - 2 % de declive sob floresta tropical subperenifólia.

ALTITUDE – 108 +/- 15 m (GPS)

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Cobertura sedimentar, semelhante ao material da Formação Barreira, sobre rochas do Pré-cambriário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Cobertura de material argiloso.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Topos aplanados em áreas de relevo forte ondulado com fortes declives, vales encaixados e alguns de fundo chato.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL – Reserva florestal em área circundada por cana-de-açúcar.

CLIMA- As' de Köppen e 3dTh de Gaussen.

DESCRITO E COLETADO POR – P. K. T. Jacomine, F. A. Marques e J. . W. F. Lima.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Oo 3 – 0 cm; material orgânico em decomposição.

A 0 – 12 cm, bruno escuro (7,5 YR 3/4, úmida); argila; forte pequena a média granular; friável com partes firmas, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

AB 12 – 28 cm, bruno (7,5 YR 4/4, úmida); argila; moderada muito pequena e pequena blocos subangulares; firme, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

BA 28 – 42 cm, bruno forte (7,5 YR 4/6, úmida); argila; fraca muito pequena e pequena, blocos subangulares e angulares; friável com partes firmes, plástica e pegajosa, transição plana e gradual.

Bw1 42 – 80 cm, bruno forte (7,5 YR 5/6, úmida); argila; fraca pequena, bloco subangulares e angulares e muito pequena granular; friável com partes firmes, plástica e pegajosa, transição plana e difusa.

Bw2 80 – 1140 cm, bruno forte (7,5 YR 5/6, úmida); argila; muito fraca muito pequena e pequena blocos subangulares e muito pequena granular; friável, plástica e pegajosa, transição plana e difusa.

Bw3 140 – 180 cm, (7,5 YR 5/8, úmida); argila; fraca muito pequena e pequena e pequena blocos subangulares e muito pequeno granular; muitos friável, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas a médias no A e AB, comuns BA, poucas no Bw1 e Bw2 e no topo do Bw3.

OBSERVAÇÕES - Perfil coletado úmido. Descrição em dia com sol fraco e, por vezes, nublado.

- Muitos poros (pequenos e muitos pequenos) ao longo do perfil.
- Bolsão de carvão e material orgânico no Bw1 (40 – 65 cm).
- Atividade biológica no A, AB, BA.
- A vegetação florestal apresenta sinais de exploração de madeira de lei.
- Coletado anéis em duplicata dos horizontes A (anel n° 23 e 33), AB (anel n° 89 e 72), BA (anel n° 29 e 43), Bw1 (anel n° 39 e 47), Bw2 (anel n° 63 e 54) e Bw3 (anel n° 04 e 19).
- Coletadas amostras de micromorfologia dos horizontes AB, BA, Bw1, Bw2 e Bw3.
- Coleta de micromonolitos realizadas.