



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ANA CARLA RODRIGUES DA SILVA

ALTERAÇÕES EM UM HORIZONTE COM CARÁTER COESO
OCASIONADAS POR HIDROGEL E CICLOS DE UMEDECIMENTO E
SECAGEM

FORTALEZA

2019

ANA CARLA RODRIGUES DA SILVA

ALTERAÇÕES EM UM HORIZONTE COM CARÁTER COESO OCASIONADAS
POR HIDROGEL E CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S578a Silva, Ana Carla Rodrigues da.
Alterações em um horizonte com caráter coeso ocasionadas por hidrogel e ciclos de umedecimento e secagem / Ana Carla Rodrigues da Silva. – 2019.
48 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero .
1. Horizontes adensados. 2. Coesão . 3. Polímeros . I. Título.

CDD 631.4

ANA CARLA RODRIGUES DA SILVA

ALTERAÇÕES EM UM HORIZONTE COM CARÁTER COESO OCASIONADAS
POR HIDROGEL E CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Aprovada em: 29 / 10 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Carolina Malala Martins Souza
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Raimundo Nonato e Francineide Laureano, meus irmãos e cunhada, Paulo César, Cicero Paulo e Maria Claubênia, por ser meu porto seguro em todos os momentos. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser amor, caminho de fé e esperança sempre.

Aos meus pais Raimundo Nonato da Silva e Francineide Laureano Rodrigues, vocês são minha base e caminho de lutas, a vocês todo meu amor e esforço.

Aos meus amados irmãos Cicero Paulo Rodrigues, Paulo César Rodrigues, a irmã que a vida me deu, Maria Claubênia da Costa. Obrigado por me apoiarem incondicionalmente, amo vocês infinitamente.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero, pela orientação, apoio, troca de experiências e compreensão durante essa fase de minha vida.

Ao Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, pela colaboração em sanar todos os questionamentos, pelo incentivo e apoio durante todo o curso.

À prof. Dra. Carolina Malala Martins Souza, além de uma professora é um exemplo de profissional cuidadosa e atenciosa, obrigada.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo, pelos ensinamentos transmitidos em suas disciplinas.

Aos técnicos do Departamento de Ciência do Solo: Em especial, Francisco José (Franzé) que foi um verdadeiro amigo, gratidão.

Aos colegas do Departamento de Ciências do Solo, pela convivência e troca de conhecimentos ao longo desse período.

À minha amiga/companheira Emanuela (Manu), que em todos os momentos dessa caminhada foi minha fortaleza, com certeza você me fez aprender sobre resiliência e bondade. Muito obrigada.

Aos amigos que me acompanharam durante essa jornada e contribuíram de forma especial nessa conquista, Wesley dos Santos Souza, Tancio Gutier Ailan Costa, Raquel Almeida Cardoso da Hora, André Luís da Silva Parente Nogueira, Ericka Paloma Viana Maia, José Israel Pinheiro, Ícaro Vasconcelos do Nascimento, Isadora Nayara, Henrique Campos Nogueira, Francisco Linco Tomas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“O valor fundamental da vida depende da percepção e do poder de contemplação ao invés da mera sobrevivência”.

(Aristóteles)

RESUMO

Polímeros superabsorventes são formados por uma rede tridimensional constituída por polímeros lineares ou ramificados provenientes de interligações químico-físicas; estes, por sua vez, possuem polarização, apresentando cargas superficiais aniônicas, catiônicas ou neutras, com capacidade de absorver quantidades elevadas de água ou fluídos biológicos. A unidade geomorfológica denominada de Tabuleiros Costeiros tem como classes de solos predominantes, Latossolos e Argissolos Amarelos, os quais, comumente podem apresentar o caráter coeso, atributo diagnóstico utilizado pelo SIBCS para distinguir solos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados. Tal característica provoca impedimento físico ao crescimento e desenvolvimento radicular. A presente pesquisa propôs, através do uso de doses de hidrogel e ciclos de umedecimento e secagem, avaliar se ocorrem mudanças físicas no horizonte com caráter coeso. As avaliações foram realizadas em um Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico no laboratório de pedologia. Os tratamentos aplicados foram 5 níveis de umedecimento e secagem (2, 4, 8, 16 e 32 ciclos) e 4 doses de hidrogel (0,0; 0,5; 1,0; e 2,0 g L⁻¹). Foram avaliados atributos físicos do solo tais como: densidade do solo, resistência tênsil, resistência do solo à penetração e estabilidade de agregados por meios dos índices DMG e DMP. Os dados referentes aos ciclos de umedecimento e secagem foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As doses de hidrogel foram comparadas por meio de ajustes a modelos de regressão. A seleção dos modelos foi feita com base na significância dos modelos e no coeficiente de determinação (R²). Observou-se que o uso do hidrogel causou diferença significativa nos maiores níveis de umedecimento e secagem. A densidade do solo, resistência tênsil, resistência do solo à penetração foram influenciados negativamente pelo maior número de ciclos de umedecimento e secagem. O DMP e DMP não foram afetados pelo uso de hidrogel.

Palavras-chave: horizontes adensados; coesão; polímeros.

ABSTRACT

Superabsorbent polymers are formed by a three-dimensional network consisting of linear or branched polymers from chemical-physical interconnections, which in turn have polarization, presenting anionic, cationic or neutral surface charges, capable of absorbing high amounts of water or biological fluids. The geomorphological unit called Coastal tableland, has as predominant soil classes, Oxisols and Ultisols, which may commonly have the cohesive character, a diagnostic attribute used by SIBCS to distinguish soils with densified subsurface pedogenic horizons. Such feature causes physical impediment to root growth and development. The present research proposed, through the use of hydrogel doses and wetting and drying cycles, to evaluate if physical changes occur on the horizon with cohesive character. Evaluations were performed on a Ultisols. The applied treatments were 5 moistening and drying levels (2, 4, 8, 16 and 32 cycles) and 4 hydrogel doses (0.0; 0.5; 1.0; and 2.0g L⁻¹). Physical soil attributes such as soil density, tensile strength, soil penetration resistance and aggregate stability were evaluated by means of the GMD and WAD indices. The data related to the wetting and drying cycles were submitted to variance analysis and the averages were compared by Tukey test at 5% probability. Hydrogel doses were compared by fitting to regression models. The selection of the models was based on the significance of the models and the coefficient of determination (R²). It was observed that the use of hydrogel caused significant difference in the highest levels of wetting and drying, soil density, tensile strength, soil penetration resistance were influenced by the greater number of wetting and drying cycles. GMD and WAD were not affected by hydrogel use.

Keywords: thickened horizons; cohesion; polymers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da localização do perfil de solo onde a coleta foi realizada no Município de Fortaleza - CE	23
Figura 2 – Detalhe da coleta e localização dos anéis de aço e PVC no horizonte coeso Bt2 do ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso Típico	25
Figura 3 – Representação dos ciclos de Umedecimento e Secagem (saturação das amostras nas bandejas - A e secagem em estufa - B)	26
Figura 4 – Imagem do penetrômetro de bancada utilizado para determinação de resistência do solo a penetração	27
Figura 5 – Penetrômetro de bancada para determinação da Resistência Tênsil (RT)	29
Figura 6 – Efeito da adição de diferentes doses de hidrogel em cinco níveis de umedecimento e secagem, análise de regressão densidade do solo	32
Figura 7 – Análise de regressão para a densidade do solo em função das doses de hidrogel sob diferentes ciclos de umedecimento e secagem	33
Figura 8 – Análise de regressão para a resistência tênsil (RT) em função das doses de hidrogel sob diferentes ciclos de umedecimento e secagem	34
Figura 9 – Efeito da adição de diferentes doses de hidrogel em cinco níveis de umedecimento e secagem, análise de regressão para a resistência tênsil (RT)	36
Figura 10 – Resistência à penetração (RP) em função das doses de hidrogel para os ciclos de umedecimento e secagem	37
Figura 11 – Efeito da adição de diferentes doses de hidrogel em cinco níveis de umedecimento e secagem, análise de regressão para a resistência a penetração (RP)	39
Figura 12 – Diâmetro médio geométrico (DMG), Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água (figura A, figura B) submetidos as doses de (0,0; 0,5; 1,0; 2,0 g L ⁻¹) e cinco níveis de umedecimento e secagem (2; 4; 8; 16 e 32 ciclos)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso Típico ..	24
Tabela 2 – Características químicas ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso Típico	24
Tabela 3 – Quadro de análise de variância e teste de Tukey à 5% de probabilidade para a comparação das médias dos tratamentos	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	HIPÓTESE	14
3	OBJETIVO	14
4	REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1	Formação Barreiras	15
4.2	Tabuleiros Costeiros	16
4.3	Características dos horizontes com caráter coeso	16
4.4	Gênese dos horizontes com caráter coeso	17
4.5	Estrutura do solo	18
4.6	Polímeros Absorventes	20
4.7	Ciclos de umedecimento e secagem em solos coesos	21
5	MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1	Local do experimento e coleta de solo	23
5.2	Coleta de Solo	25
5.3	Aplicações do hidrogel e os ciclos de umedecimento e secagem	25
5.4	Análises físicas	27
5.4.1	<i>Densidade do solo</i>	27
5.4.2	<i>Resistência do solo à penetração (RP)</i>	27
5.4.3	<i>Resistência tênsil (RT)</i>	28
5.4.4	<i>Estabilidade de agregados</i>	30
5.4.5	<i>Análise dos dados</i>	31
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1	Densidade do Solo	32
6.2	Resistência Tênsil (RT)	34
6.3	Resistência à Penetração (RP)	37
6.4	Estabilidade de Agregados	40
7	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O território que compreende os tabuleiros costeiros apresenta algumas características que despertam interesse para exploração agrícola, dentre elas, localização nas áreas costeiras favorecendo escoamento de safras, solos profundos, relevo plano a ondulado favorecendo a mecanização, além de áreas extensas com condições climáticas favoráveis à exploração, principalmente, de espécies frutíferas que são mais exigentes em relação quantidade de luz dia.

As atividades agrícolas nessa região também são importantes no cenário nacional, principalmente a fruticultura, que é uma atividade bastante expressiva e responsável por alavancar as exportações no agronegócio. Porém, além do agronegócio, a agricultura familiar também se destaca na produção de frutas da região, sendo um importante instrumento de renda para essas famílias. Souza & Souza (2008) ressaltam a importância da produção agrícola dos tabuleiros Costeiros do Nordeste, que, segundo esses autores, detêm 88% do coco, 68% do caju, 73% do mamão, 65% do abacaxi, 90% do dendê, 48% do cacau, 33% da mandioca e 65% da cana-de-açúcar nesta região.

Esse conjunto de fatores é importante para o desenvolvimento econômico e social das populações inseridas nessas áreas. Apesar de características favoráveis à exploração agrícola, os solos da região dos Tabuleiros Costeiros podem apresentar algumas limitações físicas devido, principalmente, a ocorrência do caráter coeso que, por apresentar forte consistência, tal coesão pode prejudicar o crescimento do sistema radicular, distribuição de água no solo e aeração. Esse caráter é utilizado para classificar solos até o terceiro nível categórico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e é definido como um caráter com natureza pedogenética, sendo encontrado, geralmente, nos horizontes AB e/ou BA, e/ou parte do Bw ou Bt, em profundidades que variam de 30 a 70 cm, podendo ser encontrado em profundidade maior, em material de textura argilosa, argiloarenosa, franco argiloarenosa e franco arenosa, com a fração argila com predomínio da caulinita e essencialmente quartzo na fração areia, sendo também pobre em ferro e com avançado estágio de intemperismo.

O adensamento natural que acontece em horizontes com caráter coeso dificulta o desenvolvimento de culturas com o sistema radicular mais profundo, podendo interferir na sobrevivência e rendimento dessas culturas. Além do impedimento físico, a má aeração e redistribuição de água no perfil do solo dificultam o cultivo de espécies, principalmente algumas frutíferas. Desse modo, é imprescindível a realização de

trabalhos que busquem alternativas que possibilitem solucionar ou amenizar problemas advindos da presença desse horizonte coeso.

A boa estruturação é fundamental para os processos que acontecem no solo, de modo, que práticas que favoreçam e melhorem essa estrutura tendem a beneficiar todos os aspectos que envolvem esse ambiente, entre eles, a conservação do solo e aumento da produção agrícola entre outros.

Esses polímeros também conhecidos como hidrogéis, são capazes de reter grandes quantidades de água ou fluídos aquosos em sua estrutura, mantendo o solo com umidade por um período mais prolongado. São conhecidos dois tipos de condicionadores poliméricos, os polímeros reticulados (hidrogéis), que ajudam na capacidade de retenção de água do solo, e polímeros lineares, usados para estabilizar os agregados e estruturas do solo a fim de diminuir a formação de crosta, escoamento e erosão do solo. Eles podem alterar o diâmetro médio dos poros do solo que, por vezes, aumenta as propriedades de transmissão de água. Os ciclos de umedecimento e secagem pode ocasionar a formação de pontes de hidrogênio no solos, podendo ocorrer alguma modificação em sua estrutura, por sua vez, solos com horizonte com caráter coeso podem ser modificados e até aumentar a coesão com sucessivos ciclos de umedecimento e secagem. De modo que estudos tem sido realizados para aferir que papel essa alternância pode exercer no grau de coesão dos horizontes com caráter coeso.

2 HIPÓTESE

Diante da sua capacidade de retenção de água no solo por um período maior, aliado com a capacidade que o horizonte coeso tem de se manter friável quando úmido, o uso de hidrogel e ciclos de umedecimento e secagem contribuem para a melhoria da qualidade física do solo devido ao melhor rearranjo das partículas.

3 OBJETIVO

Avaliar a capacidade de um polímero hidroretentor em modificar a estrutura de solos que apresentam horizonte com caráter coeso, submetidos a distintos ciclos de umedecimento e secagem.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Formação Barreiras

Ambientes formados por depósitos sedimentares argilosos, argiloarenosos e arenosos, estão relacionados com ambientes que se dão a formação dos solos com caráter coeso, a Formação Barreiras. Essa, é uma unidade geomorfológica de ocorrência ao longo do litoral brasileiro, desde o Estado do Rio de Janeiro até Amapá (ARAI, 2006). Originou-se por meio de uma grande transgressão marinha ocorrida no final do período pleistoceno, promovendo a erosão de um pacote sedimentar (SUGUIO *et al.*, 1985; DUARTE *et al.*, 2000). A continuidade física dessa formação, na forma de lençol quase contínuo, sugere que inicialmente correspondia a rampas detríticas coalescentes mergulhando em direção ao oceano atlântico, correspondendo à sedimentação correlativa de eventos de soerguimento epirogenético, que edificaram as superfícies culminantes em diversos pontos do interior brasileiro (BEZERRA, 2001; SAADI *et al.*, 2005). Essa sedimentação, denominada de Formação Barreiras, envolveu um conjunto de fatores ambientais, dentre eles, mudanças climáticas, oscilações do nível do mar e movimentos tectônicos que ocorreram em uma sequência de eventos que foram determinantes à elaboração da disposição atual do litoral brasileiro (COSTA JÚNIOR, 2008).

Estudos realizados em afloramentos do Litoral Norte da Bahia, sugeriram que os sedimentos dessa formação são provenientes de sistemas fluviais e que a deposição se deu em duas épocas sob condições climáticas mais secas, alternadas com um clima mais úmido que seria o responsável pelo entalhamento do relevo. Após essas deposições o clima se tornou mais seco e ocorreu uma instabilidade tectônica, o que ocasionou a mobilização de sedimentos em fluxos de detritos e de lama, estes se depositaram nos canais em forma de leques coalescentes, uniformizando a superfície do Grupo Barreiras (NUNES *et al.*, 2011).

No estado do Ceará, a Formação Barreiras se caracteriza por depósitos com frações granulométricas variadas com composição mais frequente de argila, silte, areias e até conglomerados de consolidação fraca (em proporções variáveis) e cores predominantemente avermelhadas ou amareladas. Nessas áreas é comum a ocorrência de uma camada argilosa, normalmente de coloração variegada. Os sedimentos tornam-se menos espessos à medida que se distanciam do mar, havendo lugares em que se alternam com o Pré-Cambriano (BRASIL, 1973).

Quando a Formação Barreiras se encontra exposta na superfície e submetida à atuação dos processos pedogenéticos, seus sedimentos originam os solos dos Tabuleiros Costeiros (ROMERO & LIMA, 2004).

4.2 Tabuleiros Costeiros

A unidade geomorfológica que compreende os Tabuleiros Costeiros está distribuída por grande parte da faixa costeira do litoral do Brasil, abrangendo solos que se estendem do estado do Amapá até o Rio de Janeiro (MELO *et al.*, 2014). Os solos dos Tabuleiros Costeiros compreendem uma área de aproximadamente 200.000 Km² (JACOMINE, 1996).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam relevo variando de plano a ondulado, dissecados por vales profundos com fortes declives, originados por sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário, com classe textural: argilosa, argilo-arenosa ou arenosa, muito intemperizados, pobre em ferro e argila do tipo caulinita (VIEIRA *et al.*, 2012, CORRÊA *et al.*, 2015, DANTAS *et al.*, 2014). As classes de solos que predominam nos Tabuleiros Costeiros, seguindo a última atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018), são os LATOSSOLOS AMARELOS e os ARGISSOLOS AMARELOS (JACOMINE, 1996). Porém também são encontrados ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS e ACINZENTADOS, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, PLINTOSSOLOS e ESPODOSSOLOS em pequena proporção (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 1998; CORRÊA *et al.*, 2008; VIEIRA *et al.*, 2012). Em algumas áreas dos Tabuleiros Costeiros ocorre a intrusão de rochas ígneas, o que ocasiona forte influência nas propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos, principalmente na cor (EMBRAPA, 1978; MOREAU, 2001). Apresentam solos ácidos a fortemente ácidos com pH entre 4,0 e 5,0, baixa CTC, mineralogia da fração areia com predomínio de quartzo e na fração argila predomínio de caulinita (CINTRA *et al.*, 2009).

4.3 Características dos horizontes com caráter coeso

O caráter coeso é um atributo diagnóstico utilizado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018) para distinguir solos que tenham

horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados. Geralmente são de textura média, argilosa ou muito argilosa, comumente observados nos horizontes transicionais AB e/ou BA, entre 0,30 e 0,70 m da superfície do solo, podendo prolongar-se até o Bw ou coincidir com o Bt, em todo ou em parte, sendo muito resistente à penetração de facas ou martelos pedológicos, se apresentando muito duro ou extremamente duro quando secos e quando úmidos friáveis ou firmes (JACOMINE, 2001; RIBEIRO, 2001; SANTOS *et al.*, 2015). Lima *et al.*, (2004) e Vieira *et al.*, (2012) identificaram em estudos realizados no estado do Ceará, solos com horizontes coesos em profundidades maiores e geralmente associados ao horizonte Bt de Argissolos.

Os solos que possuem horizontes com caráter coeso têm características que demonstram a sua origem de depósitos sedimentares do período terciário (Formação Barreiras) de materiais argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, bastante meteorizados. Apresentam baixos teores de Fe, predomínio de caulinita na fração argila e quartzo na fração areia (MELO *et al.*, 2002). Vieira *et al.*, (2012) encontraram predomínio da fração areia em todos os solos, inclusive nos horizontes superficiais. Resultados parecidos foram encontrados por Lima *et al.*, (2004) e Aquino *et al.*, (2008) para outros solos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará.

Geralmente o horizonte com caráter coeso é encontrado abaixo do horizonte A, porém se o solo tiver sofrido processos erosivos, o horizonte que expressa o caráter coeso pode ser encontrado na parte mais superficial devido à retirada da camada que se encontrava acima dele. Em campo, a identificação do caráter coeso é realizada de forma qualitativa, através da descrição morfológica dos perfis. Porém, pode-se destacar a utilização da resistência à penetração como um atributo quantitativo para essa identificação (GIAROLA *et al.*, 2003), levando em consideração que, juntamente com outros parâmetros, tais como, densidade do solo e porosidade, tal medida pode se mostrar útil na caracterização do comportamento coeso. O horizonte com caráter coeso apresenta maiores valores de densidade do solo, em relação aos demais horizontes do perfil, geralmente encontra-se na faixa de 1,50 a 1,68 kg dm⁻³, com média de 1,59 kg dm⁻³ (LIMA NETO *et al.*, 2009).

4.4 Gênese dos horizontes com caráter coeso

A gênese do caráter coeso é um processo que ocorre naturalmente e pode estar relacionada a vários processos, tais como, granulometria dos solos, processos de translocação de argila, obstrução de microporos, ação de agentes cimentantes (compostos orgânicos e amorfos de sílica secundária), forte instabilidade estrutural, perda do plasma argiloso de camadas superficiais para camadas subsuperficiais do solo e adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo devido à alternância de ciclos de umedecimento e secagem (GIAROLA; SILVA, 2002; LIMA NETO, 2008; VIEIRA *et al.*, 2012; RIBEIRO, 1986; DUARTE, 2015).

Estudando a pedogênese de horizontes com caráter coeso em duas topossequências no Ceará, Duarte (2015) concluiu que o silício extraído de horizontes com caráter coeso mesmo em baixas quantidades, foi o dobro do extraído de um horizonte sem caráter coeso, evidenciando que, mesmo em pequenas quantidades, a sílica de baixa cristalinidade pode estar contribuindo para a formação do caráter coeso. Corroborando Vieira *et al.* (2012), que estudaram a influência de componentes amorfos na gênese de horizontes com caráter coeso, os autores encontraram significativa diferença em valores de resistência à penetração após extração de componentes amorfos; houve redução nas amostras que passaram pelo processo de extração, evidenciando que esses compostos atuam como agentes cimentantes em horizontes com caráter coeso.

Estudando a gênese do caráter coeso em Latossolos e Argissolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiro do Estado de Alagoas, Neto *et al.* (2009) evidenciaram por meio da caracterização morfológica dos perfis, diferenças marcantes nos graus de consistência de solo seco e úmido, a presença de estrutura maciça coesa, horizontes com caráter coeso tanto nos perfis de áreas sob floresta, quanto nas áreas sob cultivo, fato que confirma a natureza pedogenética dos horizontes com caráter coeso. A classe dos Argissolos Acinzentados dos Tabuleiros Costeiros do Ceará apresentou maior expressão do caráter coeso nas posições mais baixas da paisagem, o que pode indicar que tal posição ocasiona intensificação desse caráter, pois o aporte dos fluxos hídricos laterais e a concentração de soluções nessas condições são mais favorecidos (VIEIRA *et al.*, 2012).

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

4.5 Estrutura do solo

O termo estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo uma em relação as outras (AMARO FILHO *et al.*, 2008). A estrutura do solo pode, no sentido mais amplo, ser definida como a heterogeneidade espacial dos diferentes componentes ou propriedades do solo (DEXTER, 1988). Podem ser encontradas no solo diferentes tipos de unidades estruturais e distintas feições podem ser observadas entre horizontes de um mesmo perfil de solo. Os solos podem exibir uma estrutura em grãos simples, onde as partículas não se encontram agregadas, ou ainda o extremo oposto, como em material argiloso, no qual ocorrem como grandes massas coesivas que exibem uma estrutura maciça. Porém, a grande maioria dos solos apresentam um tipo de estrutura composta de agregados, que podem ser identificados pelo seu tipo, tamanho e grau de desenvolvimento (BRADY & WEIL, 2013).

O solo como meio de crescimento de culturas, deve possibilitar um bom ambiente para a germinação de sementes, emergência de plântula, formação e funcionamento do seu sistema radicular (BRADY; WEIL, 2013). A estrutura do solo é responsável pelo controle de muitos processos no solo, entre eles a retenção e a infiltração de água, as trocas gasosas, a matéria orgânica do solo e a dinâmica dos nutrientes, a penetração das raízes e a susceptibilidade à erosão. A estrutura do solo também constitui o habitat de uma miríade de organismos do solo, conseqüentemente dirigindo sua diversidade e regulando sua atividade (ELLIOTT & COLEMAN, 1988).

A estrutura do solo é fundamental para definir como os processos nesse ambiente acontecem. A forma como os macroporos estão estruturados/arquitetados é fundamental para propriedades físicas e funções associadas ao solo, entre elas a condutividade hidráulica saturada e não saturada ou a permeabilidade ao ar na capacidade de campo. Quanto mais conectados os macroporos estiverem no solo, maior a capacidade do solo de transportar ar e água rapidamente (JARVIS *et al.*, 2016). Quando o solo se encontra sob condições naturais, os processos de umedecimento e secagem podem favorecer a formação de uma estrutura estável, ocasionado pela reorientação das partículas do solo e sua posterior cimentação por substâncias orgânicas à medida que são adsorvidas nas superfícies dos minerais (LE BISSONNAIS, 2005; ORTS *et al.*, 2000; PALUSZEK, 2011).

Para entender melhor a dinâmica sobre a estrutura do solo é necessário o entendimento sobre as diversas fases existentes no meio e como estas se relacionam, de

modo que a perspectiva da fase sólida, baseada em mecanismos de agregação do solo, foi apoiada por Tisdall e Oades (1982). Com seu trabalho pioneiro, a agregação é conceitualmente vista como uma organização hierárquica de três estágios da fase sólida do solo, cada estágio envolvendo agentes de ligação característicos. As partículas primárias ($< 20\mu\text{m}$), são unidas em microagregados ($20\text{--}250\ \mu\text{m}$), que formam macroagregados ($>250\mu\text{m}$). Em relação aos poros, a estrutura do solo pode não ser definida como “a forma, tamanho e arranjo espacial de partículas e agregados primários do solo”, mas como “a combinação de diferentes tipos de poros” (PAGLIAI & VIGNOZZI, 2002), onde superfícies das partículas de solo são apresentadas como sendo as paredes do espaço dos poros (ELLIOTT & COLEMAN, 1988).

4.6 Polímeros Absorventes

Os hidrogéis, são conhecidos como polímeros hidroabsorventes ou géis hidrorretentores, por ser um material formado por redes poliméricas hidrofílicas químicas ou fisicamente reticuladas, esses polímeros têm capacidade de absorção/retenção de grande quantidade de água e/ou fluidos biológicos (BRITO *et al.*, 2013). Os hidrogéis superabsorventes são matrizes tridimensionais formada por polímeros hidrofílicos lineares ou ramificados resultantes da interligação química - física (CHANG *et al.*, 2010; POURJAVAD *et al.*, 2004). Levando em consideração os métodos de preparação, os hidrogéis são classificados como (1) homopolímeros, (2) copolímeros, (3) redes semi – interpenetrantes e (4) redes interpenetrantes.

Os hidrogéis copolímeros são produzidos pela reticulação de duas unidades de co-monômero, das quais umas delas deve ser hidrofílica para torná-las expansíveis (ULLAH *et al.*, 2015). Segundo Lima & Souza (2011), no Brasil, os hidrogéis mais utilizados na agricultura são os sintéticos, compostos por monômeros derivados do ácido acrílico denominados de acrilamida, formando o polímero poliacrilamida. A capacidade de absorção do hidrogel está relacionado aos grupos presentes na estrutura polimérica.

Os hidrogéis possuem grupos funcionais, tais como, - OH-, -CONH-, - COOH-, -CONH2- e -SO₃H-, os quais fazem parte da estrutura polimérica dos hidrogéis e determinam a capacidade de absorção dos mesmos. De acordo com a natureza química dos grupos laterais os hidrogéis podem ser classificados como nêutrons ou iônicos, no qual os nêutrons possuem grupos laterais com cargas nulas (não apresentam efeitos

elétricos), ou seja, número de prótons é igual ao número de elétrons, já os iônicos tem carga elétrica positiva ou negativa (cátion ou ânion), ou seja, grupos laterais que se dissociam, podendo interagir com outros elementos favorecendo ou prejudicando o intumescimento (PEPPAS *et al.*, 2000; ALVES, 2011; BARDAJEE *et al.*, 2014).

Os polímeros superabsorventes (SAP) atuam como condicionadores do solo, melhorando propriedades estruturais, permeabilidade e taxas de infiltração, além de reduzirem a erosão hídrica e contribuírem para o uso eficiente da água (BEZERRA *et al.*, 2007). Por ter capacidade de absorver água e fornecê-la lentamente para as raízes das plantas, o uso do hidrogel melhora algumas características do solo, como retenção, disponibilidade de água, aeração e diminuição da compactação (PLAZA, 2006). Esses polímeros possuem algumas propriedades, como, peso molecular, conformação, tipos de carga e densidade, e, dentre essas propriedades, o tipo de carga é o que determina os mecanismos que controlam a adsorção dos polímeros (THENG 1979; THENG 1982). A poliácridamida (PAM) vem sendo utilizada na redução da erosão do solo, aumento da coesão entre partículas e mantendo a boa estruturação do solo, desde a década de 1990, a (SOJKA *et al.*, 2007; LEE *et al.*, 2010; WU *et al.*, 2011).

Estudos utilizando a aplicação do hidrogel como condicionador de solo apresentaram melhorias na porosidade do mesmo, bem como a disponibilidade de água. Gales *et al.*, (2016), avaliando a interação entre um chernossolo e hidrogel, encontraram que o solo sem o uso do hidrogel teve uma perda de água significativa nas primeiras horas de armazenamento, efeito contrário foi encontrado na mistura hidrogel/solo. Navroski *et al.* (2015), estudando um polímero hidrorretentor comercial a base de acrilamida e acrilato de potássio, incorporado ao substrato para semeadura de *Eucalyptus dunniiforam*, observaram melhorias significativas nas características físicas e químicas do mesmo, principalmente em relação à retenção de água. A adição de 3 g L⁻¹ do hidrogel misturado ao substrato reduziu o uso de irrigação para 12 mm dia⁻¹.

A poliácridamida não conseguem se degradar biologicamente, quando introduzidas no solo, sofrem paulatina degradação ou dissociação pela ação dos raios ultravioletas, pelo cultivo, ou fracionamento por meio de implementos agrícolas (SZMIDT & GRAHAM, 1991). Por ser um produto agrícola sintético de poliácridamida, derivado de petróleo, quem tem o dióxido de carbono, a água e o amoníaco como produtos finais da dissociação, não ocorre, portanto, problemas relacionados à contaminação ambiental (AZEVEDO *et al.*, 2002; AZEVEDO *et al.*, 2006).

4.7 Ciclos de umedecimento e secagem em solos coesos

Os ciclos de umedecimento e secagem estão envolvidos com a estruturação do solo. Nos solos que apresentam horizontes com caráter coeso esses ciclos são apontados como influenciadores da gênese. A estrutura do solo é modificada a cada processo de umedecimento e secagem, em razão das mudanças no estado de energia, essas mudanças com reflexos principalmente na rede porosa do solo (BRESSION E MORAN, 2003). Freitas *et al.* (2016) observou que em nove ciclos de umedecimento e secagem houve um aumento dos valores de resistência a penetração do solo.

Através do processo de umedecimento e secagem do solo, são formadas pontes interagregados, a formação dessas, originam perturbação por conta da interface água – ar, de tal forma que a força de coesão é atribuída ao filme de umidade, ocasionando em alterações no volume total de uma determinada amostra (BAUMGARTL E KÖCK, 2004). Singer *et al.*, 1992 a dureza do solo (seco) que são comumente observada em horizontes fragipãs é resultante do adensamento provocado por pontes de ligação de argila com o esqueleto do solo. O estudo de fatores e processos atuantes no endurecimento de horizontes evidenciaram que a condição hidráulica do ambiente é um fator determinante no desenvolvimento da cimentação do solo (LAMOTTE *et al.*, 1997).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do experimento e coleta de solo

O solo utilizado no estudo foi um ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico classificado por (VIEIRA, 2013), com base nas características morfológicas detalhadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS, 2018). A coleta foi realizada no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Campus Pici – UFC – Fortaleza, Ceará (Figura 1). O horizonte selecionado para realização da coleta foi um Bt₂ coeso, de textura franco argilo-arenosa que está localizado entre 79 e 112 cm abaixo da superfície. As características físicas e químicas estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2, retiradas de VIEIRA (2013).

Figura 1 - Representação da localização do perfil de solo onde a coleta foi realizada no município de Fortaleza-CE

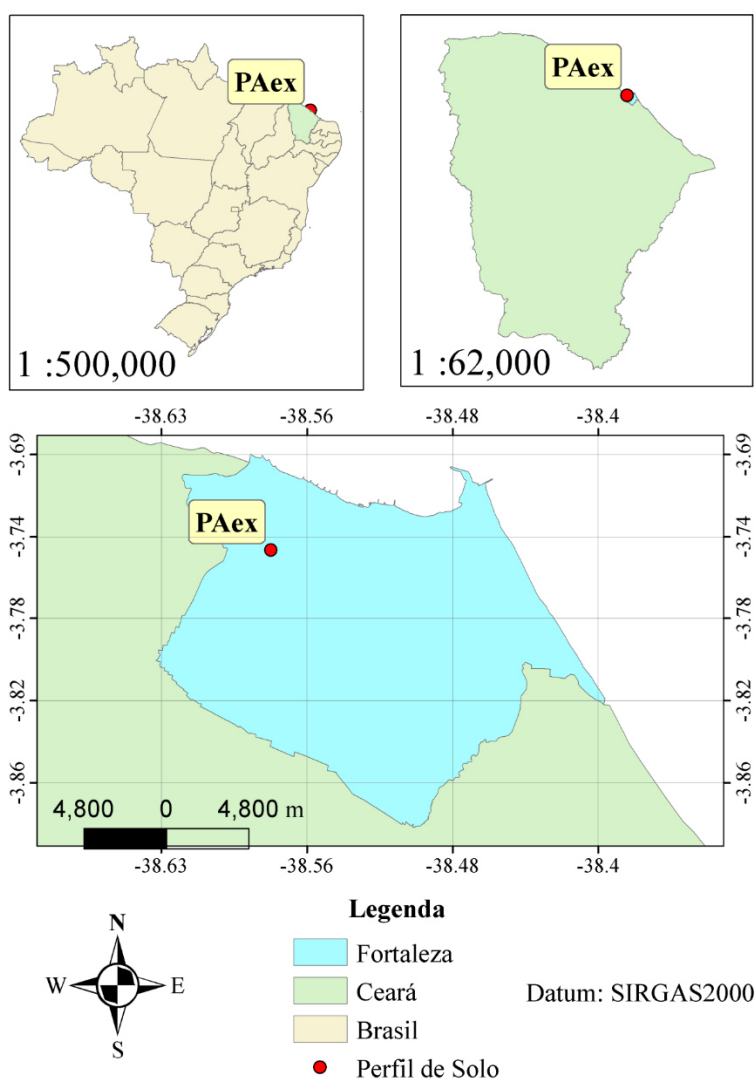


Tabela 1 - Características físicas ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila
	Cm	----- g kg ⁻¹ -----		
Ap1	0-10	861	94	45
Ap2	10-17	788	138	74
E	17-39	648	164	188
BE	39-63	672	78	250
Bt1	63-79	580	103	317
Bt2	79-112	596	66	338
Bt3	112-152	536	167	297
Bt4	152-187+	515	219	266

Tabela 2 - Características químicas ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico

Cátions trocáveis											
Hor.	Prof.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	T	V	
-----	cm	----- cmolc Kg ⁻¹ -----					-----				%
Ap1	0-10	1,6	2,2	0,17	0,37	0,6	1,6	4,35	6,55	66	
Ap2	10-17	1,0	2,4	0,11	0,43	0,6	1,8	3,93	6,33	62	
E	17-39	1,2	3,0	0,07	0,38	0,6	1,8	4,65	7,05	66	
BE	39-63	1,0	2,0	0,05	0,37	0,8	1,4	3,43	5,63	61	
Bt1	63-79	0,6	2,6	0,05	0,38	0,9	1,4	3,63	5,93	61	
Bt2	79-112	1,0	3,0	0,04	0,34	0,7	2,0	4,38	7,08	62	
Bt3	112-152	1,4	2,0	0,05	0,43	0,3	2,0	3,88	6,18	63	
Bt4	152-187+	0,8	2,8	0,04	0,37	0,3	2,6	4,02	6,92	58	

SB: Soma de bases, T: Capacidade de troca de Cátions, V: Saturação de Bases

5.2 Coleta de Solo

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em anéis de aço e de PVC, com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. O horizonte que apresenta o caráter coeso Bt2 possui 30 cm de espessura; nos primeiros 15 centímetros foram alocados 40 cilindros e nos 15 centímetros inferiores foram alocados mais 40 cilindros, totalizando 80 unidades experimentais. Na coleta foi considerada a posição horizontal em que os cilindros foram posicionados de acordo com a Figura 2. Após a coleta as amostras foram levadas ao laboratório para limpeza e toaleta e logo em seguida foram secas ao ar.

Figura 2 - Detalhe da coleta e localização dos anéis de aço e PVC no horizonte coeso Bt2 do ARGIS-SOLO AMARELO Eutrocoeso típico



Fonte: A própria autora, (2019).

5.3 Aplicações do hidrogel e os ciclos de umedecimento e secagem

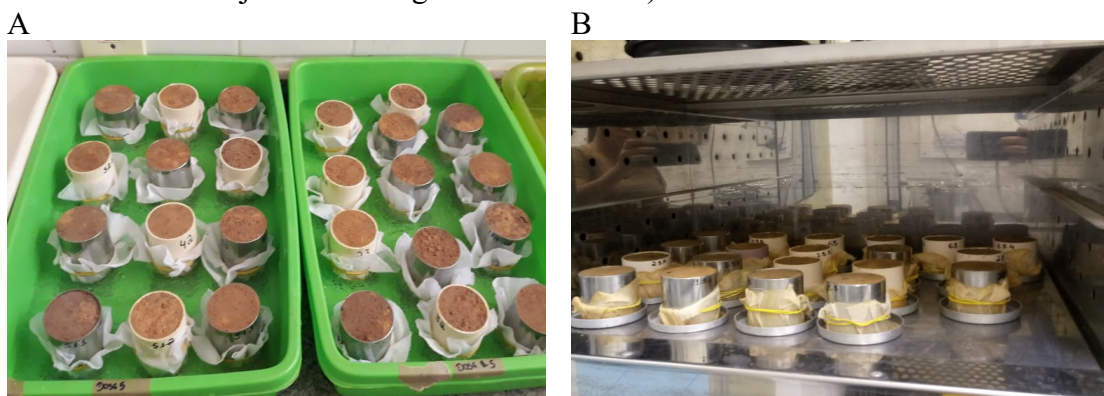
O experimento foi conduzido nos laboratórios de Pedologia e Física do Solo pertencentes ao Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará-UFC, campus do Pici, Município de Fortaleza – CE.

Para iniciar os ciclos de umedecimento e secagem, as amostras foram previamente secas ao ar. O hidrogel foi aplicado por meio de solução contendo hidrogel + água destilada, a qual foi inserida nas amostras de solo por capilaridade. As doses de hidrogel que foram utilizadas no experimento seguiram a recomendação do fabricante do copolímero, as quais foram: 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 g L⁻¹

Os ciclos de umedecimento e secagem consistiram da seguinte forma: as doses de hidrogel foram colocadas em uma bandeja contendo água destilada de acordo com a proporção para cada dose, as amostras permaneceram no umedecimento até atingir o ponto de saturação ou quando era observado um fio espelhado de água, depois era feita secagem em estufa a 65° C por aproximadamente 32 h ou até atingir massa constante. Os ciclos foram feitos em cinco níveis: C1 (dois ciclos de umedecimento e secagem); C2

(quatro ciclos); C3 (oito ciclos); C4 (16 ciclos); e C5 (32 ciclos). Foram utilizadas bandejas de plástico contendo água destilada de modo que garantisse que a amostra ficasse com dois terços de altura submergidos para assegurar o preenchimento dos poros por capilaridade; em seguida as doses de hidrogel foram adicionadas de acordo com as quantidades estabelecidas para cada tratamento. Os anéis foram colocados nas bandejas com solução e na parte inferior do cilindro colocou-se uma tela de aço para facilitar a passagem da solução e impedir o bloqueio contra obstrução dos poros. Após aproximadamente 14 h de saturação as amostras foram levadas à estufa e permaneceram por aproximadamente 34 h na temperatura de 65° C, até atingirem massa constante. Nas figuras 3 e 4 está exemplificado o procedimento realizado durante o processo de umedecimento e secagem.

Figura 3 - Representação dos ciclos de Umedecimento e Secagem (saturação das amostras nas bandejas - A e secagem em estufa - B)



Fonte: A própria autora, (2019).

5.4 Análises físicas

5.4.1 Densidade do solo

A densidade do solo foi calculada a partir de amostras com estrutura preservada utilizando os valores de massa (com o auxílio de balança analítica) e volume das amostras secas a 105° C (com o auxílio de um paquímetro digital) de acordo com metodologia proposta por (BLAKE e HARTGE, 1986b):

$$\rho_s(g.cm^{-3}) = \frac{\text{Massa do solo (g)}}{\text{Volume total da amostra (cm}^3\text{)}}$$

5.4.2 Resistência do solo à penetração (RP)

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada em amostras com estrutura preservada, com a umidade estabelecida na tensão de 10 kPa pois é a umidade referente a capacidade de campo do solo (SILVA; KAY; PERFECT, 1994). A determinação foi realizada com o auxílio de um penetrômetro eletrônico estático de bancada, equipado com um atuador linear de célula de carga de 20 kgF com velocidade constante de penetração de 1 cm min⁻¹. As leituras foram registradas a cada segundo por um microcomputador para aquisição dos dados do *software* acoplado ao equipamento, segundo (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998a), sendo que o primeiro e último centímetro de cada amostra foram desprezados. Para cada análise foram realizadas três repetições.

Figura 4 - Imagem do penetrômetro de bancada utilizado para determinação de resistência do solo a penetração



Fonte: Própria autora, (2019).

5.4.3 Resistência tênsil (RT)

As amostras foram colocadas em mesa de tensão de placa porosa a 10 kPa até atingirem aproximadamente a capacidade de campo. Em seguida, foram quebrados torrões utilizando a mínima força para que esses se rompessem em seus pontos de fraqueza. Os torrões foram secos ao ar por 36 h para equilibrar o teor de água e em seguida levados para estufa à 60° C por 24 h (FIGUEIREDO *et al.*, 2011). Finalizado o procedimento, os torrões foram deixados em temperatura ambiente por 24 h para a realização do ensaio de resistência tênsil.

Foi utilizado um atuador eletrônico linear com velocidade constante de 0,03 mm s⁻¹ (TORMENA *et al.*, 2008). Para a aplicação da força, cada torrão foi colocado na posição mais estável para o melhor desenvolvimento da análise, de modo que foi utilizada a posição vertical que os torrões se encontravam no cilindro. A carga utilizada para ruptura tênsil do torrão foi de 20 kgF e os dados foram obtidos por um sistema eletrônico de aquisição de dados. Para auxiliar e melhorar a visualização no início da ruptura, utilizou-se um espelho localizado por trás da amostra de acordo com proposto por Young e Mullins (1991). Ao final dos procedimentos os torrões foram deixados por 48 h em estufa a 105°C e em seguida pesada a massa em balança analítica e calculado o teor de água nos mesmos.

A resistência tênsil foi calculada, segundo Dexter & Kroesbergen (1985), por:

$$RT = (0,576 P) / (D^2 10^3)$$

Em que: RT é a resistência tênsil dos torrões (kPa), 0,576 a constante de proporcionalidade da relação entre o estresse compressivo aplicados e o estresse tênsil gerado no interior do torrão, P a força aplicada (N), e D o diâmetro efetivo do torrão (m).

Figura 5 - Penetrômetro de bancada para determinação da Resistência Tênsil (RT)



Fonte: A própria autora, (2019).

5.4.4 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados foi analisada por meio do método de via úmida, em que é determinada a quantidade e distribuição do tamanho de agregados estáveis em água, levando em consideração os que não se desfaziam com a tamisação em água (KEMPER e ROSENAU, 1986). Inicialmente os agregados foram umedecidos com jatos de água de pequenas gotículas em intervalos de 10 minutos por 6 vezes; tal procedimento foi realizado para eliminar o ar aprisionado no interior dos agregados, evitando um possível aumento na pressão interna durante a peneiração a úmido e assim diminuir a possibilidade de quebra dos agregados. As amostras foram agitadas em um oscilador vertical elétrico composto por um conjunto de cinco peneiras com malhas entre 4,76 e 0,25 mm de diâmetro. Para a estimativa do diâmetro médio ponderado (DMP), o conteúdo de agregados em cada peneira foi contido nas peneiras de mesma abertura de malha citada anteriormente e foi expresso pela equação:

$$\% \text{ de agregados estáveis por classe} = \left(\frac{Ma - Mp}{Ms - Mw - \sum Mp} \right) \cdot 100,$$

Em que: Ma = massa dos agregados aparentes da classe (g), Mp = massa das partículas primárias na classe(g), Ms = massa da amostra original antes do processo de tamisação e Mw = massa de água na amostra original (g).

O diâmetro médio ponderado é um índice de agregação proposto por Van Bavel (1949) e foi calculado a partir da proporção em massa Wi de um determinado tamanho de uma fração qualquer multiplicado pelo diâmetro médio Xi desta fração. O diâmetro médio ponderado (DMP) é o resultado da soma dos produtos para todos os tamanhos das frações.

$$DMP = \sum_{i=1}^N Xi \cdot Wi$$

O diâmetro médio geométrico proposto por Gardner (1956), onde o peso dos agregados de um tamanho específico é multiplicado pelo logaritmo do diâmetro médio dessa fração.

$$DMG = \sum_{i=1}^N (Wi \cdot \text{Log}Xi) / \text{peso}$$

5.4.5 Análise dos dados

O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 4 x 5 x 5, sendo quatro doses de hidrogel, cinco níveis de ciclos de umedecimento e secagem e cinco repetições. Os dados referentes aos ciclos de umedecimento e secagem foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 0,05. As doses de hidrogel foram comparadas por meio de ajustes a modelos de regressão. A seleção dos modelos foi feita com base na significância e no coeficiente de determinação (R^2). O programa estatístico utilizado para análise dos dados foi o SISVAR (FERREIRA, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3 encontra-se o resumo da análise de variância para as variáveis resistência do solo à penetração, resistência tênsil, densidade do solo e, ainda, para aquelas relacionadas à estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

Tabela 3 - Quadro de análise de variância e teste de Tukey à 5% de probabilidade para a comparação das médias dos tratamentos

Fontes	Variáveis					
	RP (MPa)	RT (kPa)	Ds (g cm ³)	DMG	DMP	
Doses	D1	4,55 a	92,56 a	1,49 a	1,84 c	1,84 c
	D2	4,47 a	88,28 b	1,52 a	2,22 b	2,83 b
	D3	4,33 a	84,93 c	1,5 a	2,83 b	3,23 b
	D4	4,62 a	93,62 a	1,5 a	4,43 a	4,43 a
Ciclos	C1	4,34	88,16	1,52	2,53	2,81
	C2	4,39	94,51	1,51	2,78	2,94
	C3	4,46	88,67	1,47	3,29	3,46
	C4	4,48	89,48	1,54	3,29	3,79
	C5	4,67	88,41	1,46	3,51	3,80
F_(teste)						
Ciclos	1,991 ^{ns}	3,869 ^{**}	1,166 ^{ns}	5,36 ^{**}	5,01 ^{**}	
Doses	1,800 ^{ns}	1,357 ^{ns}	1,688 ^{ns}	46,51 ^{**}	42,83 ^{**}	
Ciclos x Doses	2,341 [*]	2,990 ^{**}	1,800 [*]	0,60 ^{ns}	0,52 ^{ns}	
CV (%)	9,50	25,38	7,78	25,53	27,74	

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ns; ** e * : Não significativo; significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

² Tratamentos: C1 a C5, respectivamente, 2, 4, 8, 16 e 32 ciclos de umedecimento e secagem; D1, D2, D3 e D4: representam respectivamente as doses (0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 g) de hidrogel.

³ F.V: Fontes de Variação. RP: Resistência a penetração. RT: Resistência a tênsil. Ds: Densidade do solo. DMG: diâmetro médio geométrico. DMP: diâmetro médio ponderado.

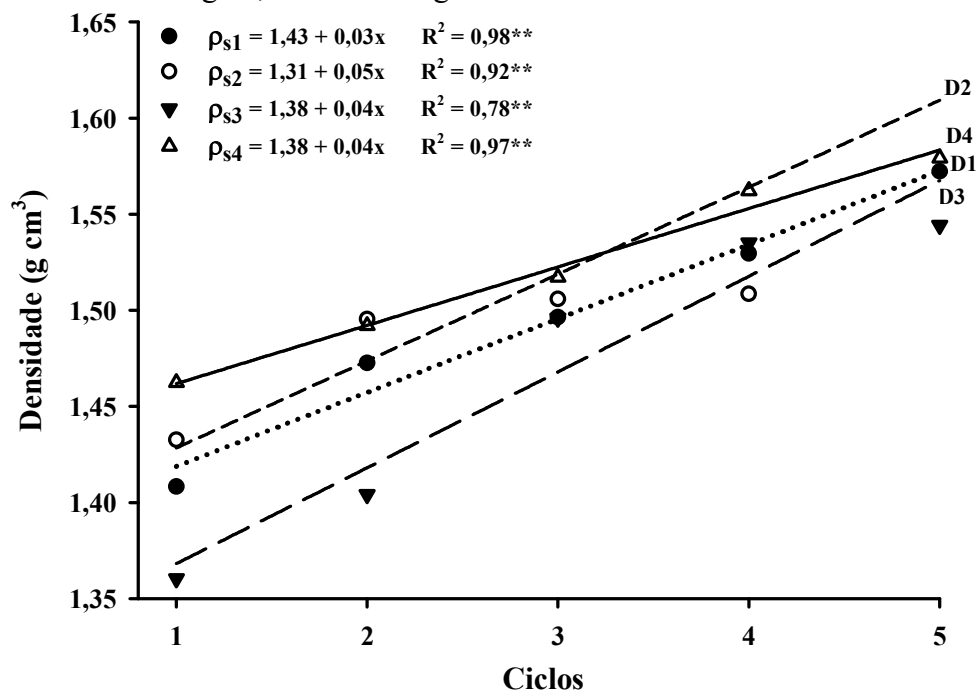
6.1 Densidade do Solo

Os valores de densidade do solo encontrados para o tratamento controle, sem adição das doses de hidrogel, variaram entre 1,42 e 1,55 g cm⁻³. Segundo Araújo Filho (2001), a densidade de horizontes com caráter coeso encontra-se na faixa de 1,5 a 1,8 g cm⁻³, o que foi constatado nas amostras analisadas no presente experimento.

Ao se analisar a influência da quantidade de ciclos de umedecimento e secagem sobre a densidade do solo, observa-se que, para todas as doses de hidrogel, os resultados se ajustaram à equação linear (Figura 6). Com o aumento do número de ciclos de umedecimento e secagem houve um incremento nos valores de densidade do solo.

Jantsh (1997) realizando experimento em laboratório, concluiu que as condições para surgimento de camadas adensadas estão relacionadas com a mineralogia e com ciclos de umedecimento e secagem que favorecem o fracionamento dos agregados.

Figura 6 – Efeito da adição de diferentes doses de hidrogel em cinco níveis de umedecimento e secagem, análise de regressão densidade do solo



¹ C1 a C5: representam respectivamente, 2, 4, 8, 16 e 32 ciclos de umedecimento e secagem.

² D1, D2, D3 e D4: representam respectivamente as doses 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 g de hidrogel.

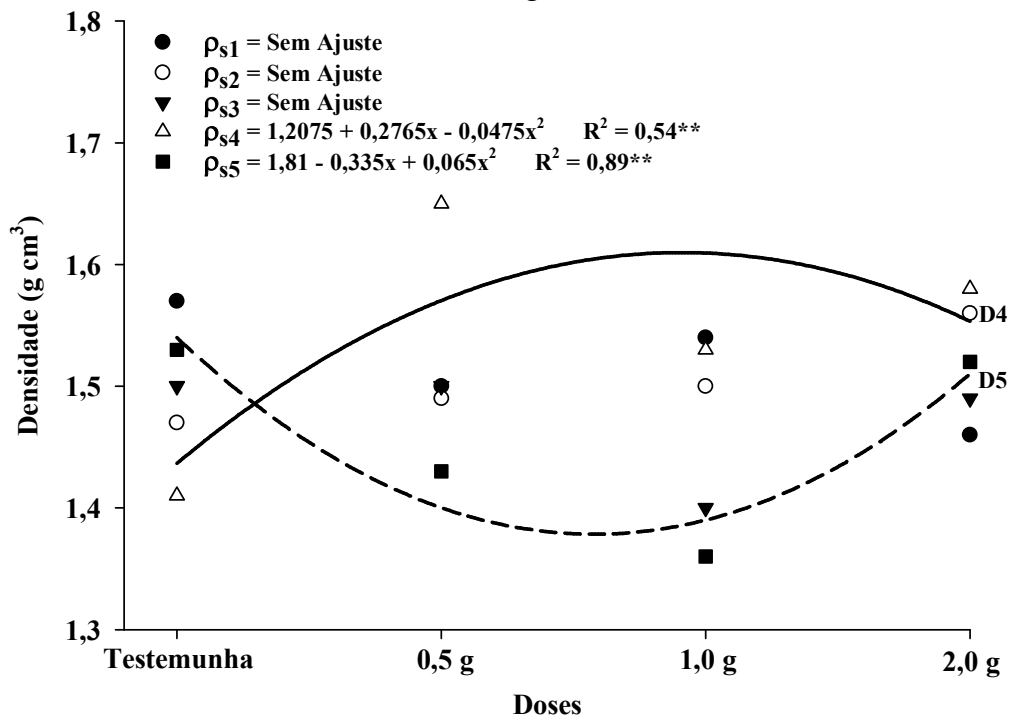
Vieira *et al.* (2012), estudando a influência de ciclos de umedecimento e secagem na gênese de horizontes com caráter coeso, constataram aumento da densidade com o crescente número de ciclos, entretanto, o trabalho desses autores foi desenvolvido usando-se material destorroado. No caso deste estudo (Figura 6), as amostras usadas foram coletadas com estrutura indeformada, portanto, indicando que pode haver ainda um incremento na densidade do solo de alguns horizontes que já apresentam o caráter coeso.

A gênese dos horizontes com caráter coeso pode estar associada à mineralogia caulínica, que permite um maior empacotamento e um possível aumento da densidade nesse horizonte (VIEIRA *et al.*, 2012) e, ainda, ter a influência dos baixos teores de óxidos (CORRÊA *et al.*, 2015) que favorecem esse empacotamento.

A análise de regressão, avaliando o efeito das doses de hidrogel sobre a densidade, mostra que as médias para os ciclos 4 e 5 ajustaram-se ao modelo quadrático (Figura 7). Ao observar o comportamento das doses D2 (0,5 g. L⁻¹) e D3 (1 g. L⁻¹) para o

quinto nível de umedecimento e secagem (C5), nota-se que houve um decréscimo para os valores de densidade do solo (Figura 7). Com isso, é possível inferir que a presença do hidrogel na matriz do solo torna-se um dos mecanismos responsáveis pelo processo de estruturação do solo, mais precisamente devido à floculação do solo. Com a entrada do hidrogel é possível que tenha ocorrido o processo de aproximação das partículas primárias, principalmente por retenção de água e a partir daí, pontes de hidrogênio podem ter ocasionado essa aproximação.

Figura 7 - Análise de regressão para a densidade do solo em função das doses de hidrogel sob diferentes ciclos de umedecimento e secagem



Segundo Bresson e Moran (2003), em cada ciclo de umedecimento e secagem ocorre modificação na estrutura do solo em razão das mudanças no estado de energia, com reflexos principalmente na rede porosa do solo.

O incremento inesperado da densidade na dose 4 (2 g. L⁻¹) para o ciclo 5 pode estar associado à presença de sódio e potássio no hidrogel, cátions monovalentes que podem favorecer a dispersão das partículas e conseqüentemente o adensamento do solo.

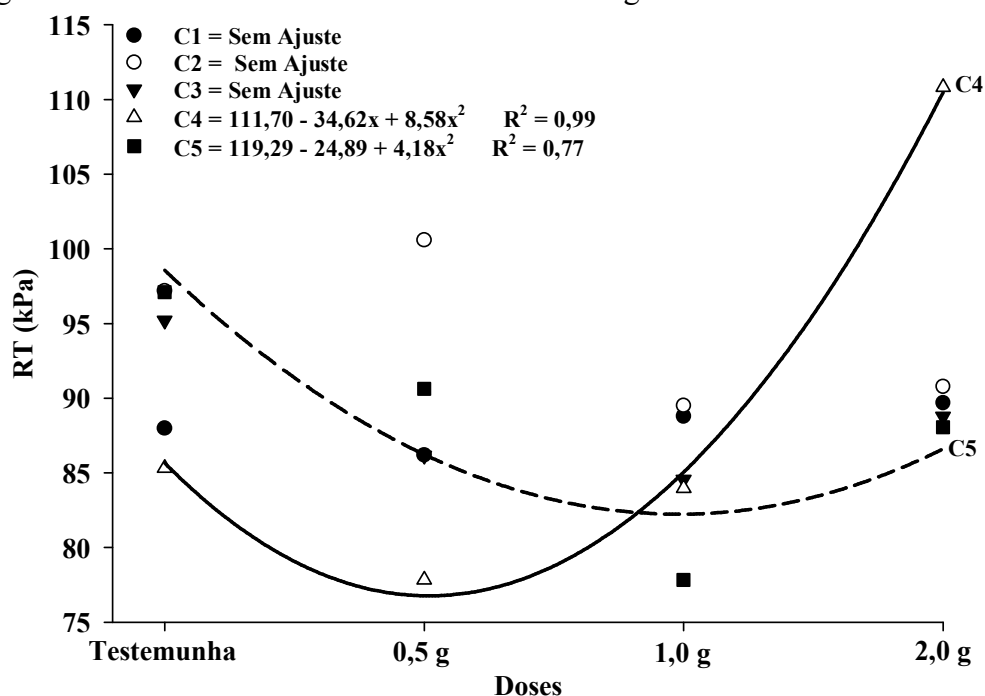
6.2 Resistência Tênsil (RT)

A análise descritiva dos dados referentes à resistência tênsil (RT) é apresentada na tabela 3, de modo que se observa efeito significativo, a 1% de

significância, para os ciclos e também para a interação doses x ciclos de umedecimento de secagem.

A análise de regressão não permitiu um ajuste para os ciclos C1, C2 e C3, entretanto, observa-se uma semelhança no comportamento dos tratamentos dos ciclos C4 e C5 (Figura 8). Inicialmente, os valores encontrados para RT no tratamento testemunha estão entre 86 e 99 kPa, com a aplicação das doses de hidrogel há uma diminuição nos valores de RT, entretanto, observa-se um incremento na maior dose (D4=2,0g) em ambos os ciclos.

Figura 8 - Análise de regressão para a resistência tênsil (RT) em função das doses de hidrogel sob diferentes ciclos de umedecimento e secagem



Os valores de RT no tratamento testemunha apresentaram alta variação, o que pode ter ocorrido, provavelmente, por conta da distribuição aleatória dos corpos de provas durante a coleta, de modo que o horizonte coletado tinha uma espessura de 30 cm, devendo-se destacar, também, que os horizontes com caráter coeso apresentam zonas mais adensadas e outras menos adensadas (Lima *et al.*, 2006), refletindo na diferença de resistência nessas áreas.

Nos tratamentos que receberam as doses 2 e 3 (0,5 e 1,0 g. L⁻¹, respectivamente) houve uma redução para os valores de RT. Nessas doses menores com hidrogel, onde a viscosidade da solução era menor, infere-se que houve uma maior entrada do hidrogel pelos poros do solo. A menor dose de hidrogel (0,5 g. L⁻¹) apresentou

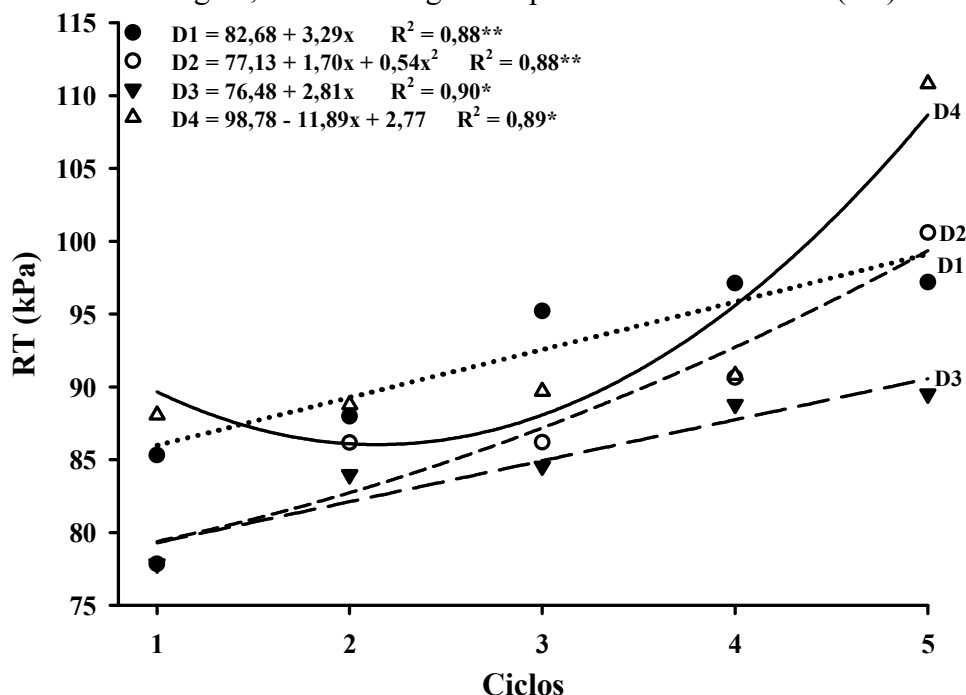
melhores resultados referentes à resistência tênsil para o ciclo C4. É provável que a menor viscosidade da solução tenha facilitado a infiltração das partículas de hidrogel, diluídas em água, pelo processo de capilaridade. Ajwa & Trout (2006) constataram um aumento linear da viscosidade relativa das soluções de poliacrilamida com o aumento das concentrações do polímero.

Na dose 4, a maior dose testada, houve um comportamento totalmente diferente do que ocorreu nas doses anteriores (D2 e D3); os valores de RT se mostram maiores, atingindo valor superior a 100 kPa, portanto a maior viscosidade nas doses mais elevadas, descrita por Ajwa & Trout (2006), deve ter impedido a entrada do hidrogel no solo.

Ao se analisar o efeito dos ciclos, observa-se que todas as doses tiveram ajustes para equação, sendo que a dose 4 (D4) teve ajuste para uma equação quadrática, as demais se ajustaram a equação linear (Figura 4). Os resultados mostram que, mesmo com o uso de amostras indeformadas, o efeito da quantidade de ciclos de umedecimento e secagem foi determinante, indicando que, para o solo estudado, o maior número de ciclos está ocasionando incremento na RT. Este comportamento deve estar relacionado ao fato que, segundo Bresson e Moran (2003), em cada ciclo de umedecimento e secagem há modificação na estrutura do solo, associado, principalmente, à rede porosa do solo.

A figura 4 também permite um maior entendimento do efeito do hidrogel, pois, em cada tratamento de ciclos (C1, C2, C3, C4 e C5), praticamente todas as doses com hidrogel (D2, D3 e D4) tiveram valores menores de RT do que o apresentado pelo tratamento controle (D1).

Figura 9 - Efeito da adição de diferentes doses de hidrogel em cinco níveis de umedecimento e secagem, análise de regressão para a resistência tênsil (RT)



As doses D2 e D3 apresentaram os menores valores de RT em relação às demais doses testadas com o uso de hidrogel.

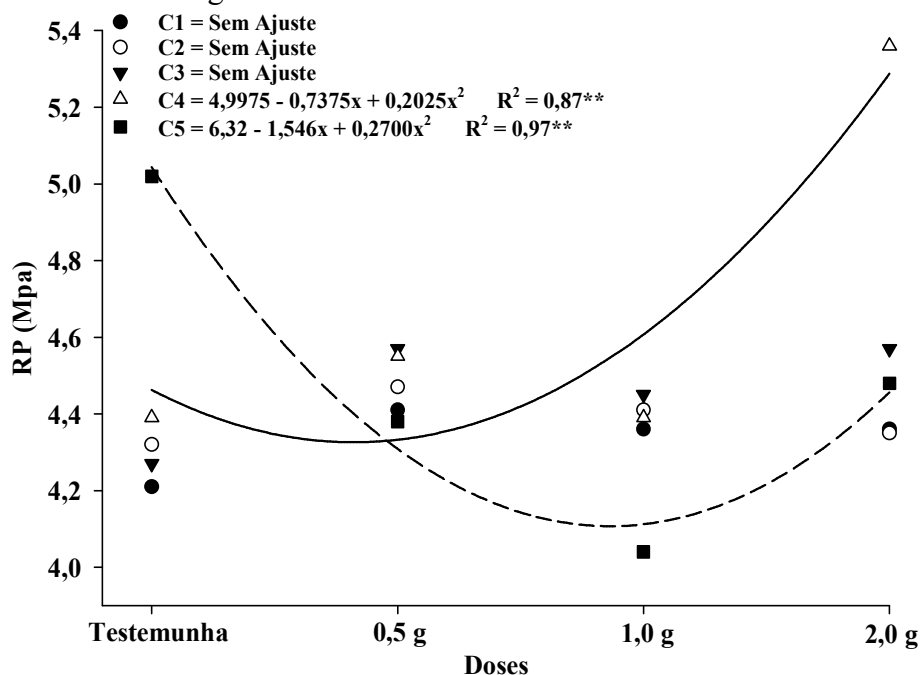
A dose 4 ($2,0 \text{ g L}^{-1}$) apresentou comportamento quadrático, como já citado anteriormente, de modo que nos ciclos (C2 e C3), essa dose teve seus menores valores em relação ao tratamento controle. Em seguida, no ciclo C4 e C5 houve um aumento significativo na RT, o que pode ser explicado pelo fato de que a dose mais elevada de hidrogel ($2,0 \text{ g L}^{-1}$) não penetrou suficientemente na amostra para que tenham ocorrido as reações esperadas entre o polímero e as partículas do solo. O elevado número de ciclos de umedecimento e secagem, mesmo com a ação do polímero, pode ter influenciado esse aumento na RT.

6.3 Resistência à Penetração (RP)

Não houve efeito significativo para os parâmetros doses e ciclos em relação à resistência à penetração, como apresentado na tabela 1. Porém, constatou-se a interação ciclos x doses de hidrogel a um nível de 5% de probabilidade.

Os resultados da análise de regressão (Figura 4) mostram que somente os tratamentos dos ciclos C4 e C5 permitiram os ajustes dos valores médios para variável resistência à penetração.

Figura 10 - Resistência à penetração (RP) em função das doses de hidrogel para os ciclos de umedecimento e secagem



O tratamento testemunha (solo sem adição de hidrogel) apresentou valores de RP acima do considerado crítico ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular. Segundo Mullins (1987), valores de resistência à penetração do solo entre 2 MPa e 3 MPa são limitantes e causam restrições ao crescimento das raízes das plantas, mesmo com umidade do solo elevada. Tal fato é comum aos solos que apresentam horizontes com a presença do caráter coeso.

Os valores médios de RP na testemunha variaram entre 4,3 e 5,1 MPa; o ciclo 5 (32) teve as maiores médias para essa dose. Como não houve acréscimo de hidrogel, esse resultado foi influenciado apenas pelos ciclos. Elevados valores de RP, em um solo com caráter coeso no Ceará, também foram encontrados por Lima *et al.* (2004), com variação de 4,7 a 8,5 MPa (se o solo estava um pouco mais úmido ou mais seco, respectivamente).

As curvas de regressão (ciclos C4 e C5) da RP (Figura 10), em função das doses, mostram um comportamento semelhante às da RT (Figura 8), com redução nos valores para as doses D2 (0,5 g L⁻¹) e D3 (1 g L⁻¹), em que está (D3) apresentou o menor valor para RP no ciclo C5. Este nível foi submetido a uma maior quantidade de ciclos de umedecimento e secagem, sendo que o hidrogel foi colocado na amostra durante o processo de umedecimento. Possivelmente esse maior aporte favoreceu uma maior

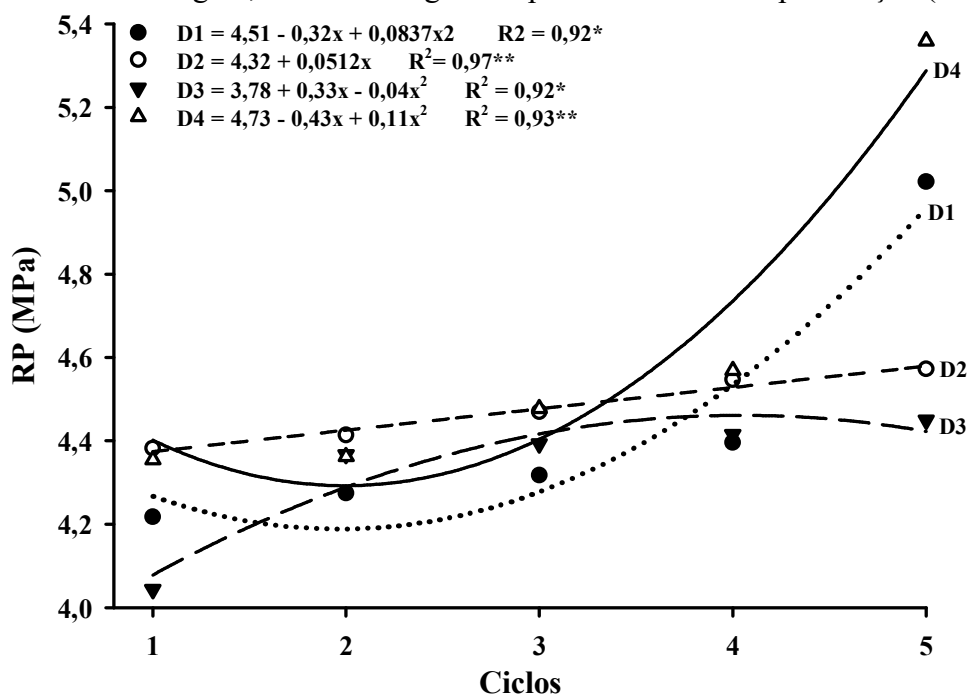
interação do hidrogel com as partículas do solo, contribuindo, portanto, para diminuir a RP.

Na dose mais elevada (D4) todos os ciclos tiveram aumento na resistência à penetração em relação ao tratamento testemunha. É possível que, devido à maior viscosidade nas soluções mais concentradas (BRESSION; MORAN, 2003), tenha ocorrido entupimento dos poros, impedindo a passagem do hidrogel, ou ainda, que o hidrogel quando penetrou na amostra, aumentou a adesão das partículas do solo a um ponto que foi prejudicial, aumentando a resistência do mesmo.

Anjos (1985) propôs que as argilas, principalmente a caulinita que é predominante nos solos dos Tabuleiros Costeiros, por causa de sua forma laminar, podem proporcionar empacotamento denso, favorecido pelos ciclos repetidos de umedecimento e secagem do solo.

Os resultados da interação entre as doses e os ciclos de umedecimento de secagem (Figura 11), permitiu verificar que o comportamento da dose 4 foi semelhante ao tratamento controle; houve um incremento a medida que foram aumentando os níveis de ciclos de umedecimento e secagem a partir do C2. As D2 e D3 não apresentaram aumentos significativos com o aumento dos ciclos. O comportamento da D4 foi semelhante ao tratamento controle (D1: sem adição de hidrogel) por conta da formação de grânulos grandes que dificultou que o hidrogel penetrasse na amostra no momento do umedecimento e, com isso, somente os ciclos de umedecimento e secagem ocasionaram aumento na RP.

Figura 11 - Efeito da adição de diferentes doses de hidrogel em cinco níveis de umedecimento e secagem, análise de regressão para a resistência a penetração (RP)



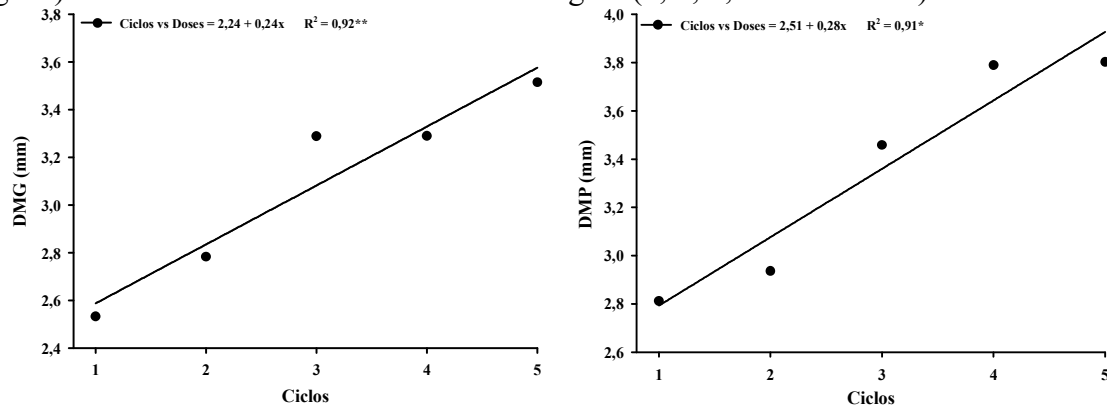
6.4 Estabilidade de Agregados

Os valores de diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) são índices que possibilitam aferir sobre uma possível melhora ou aumento de agregados estáveis para um determinado horizonte ou parte dele que se deseja avaliar.

O DMP é um indicador bastante importante na determinação da qualidade estrutural do solo; quanto mais elevado for o valor da variável, melhor é a condição física do solo. Maiores valores de DMP indicam maior distribuição espacial dos poros, melhorando a penetração do sistema radicular, elevado teor de água (o que pode favorecer a retenção de água), redução do escoamento superficial e boa aeração, favorecendo assim o desenvolvimento das culturas (SILVA *et al.*, 2006). As informações relacionadas ao DMP sintetizam como a organização estrutural do solo estudado se encontra nas classes de diâmetros.

Na figura 7 estão dispostas as médias do DMG e DMP para as quatro doses de hidrogel para os cinco ciclos de umedecimento e secagem estabelecidos.

Figura 12 - Diâmetro médio geométrico (DMG), Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água (figura A, figura B) submetidos as doses de (0,0; 0,5; 1,0; 2,0 g L⁻¹) e cinco níveis de umedecimento e secagem (2; 4; 8; 16 e 32 ciclos)



As doses de hidrogel não influenciaram os valores de DMG e DMP, portanto, os resultados não foram apresentados na forma de gráfico. Porém, tanto o DMG quanto o DMP sofreram incrementos com os níveis crescentes dos ciclos de umedecimento e secagem (Figura 12). Como já citado neste trabalho, os sucessivos ciclos de umedecimento e secagem podem alterar a organização das partículas do solo. De acordo com Singer *et al.* (1992), Apud Attou e Bruand (1998), pontes de argila ao redor do esqueleto do solo, podem ter um aumento significativo com um maior número de ciclos de umedecimento e secagem. Essas pontes de argila podem ter aumentado o adensamento aumentando a estabilidade dos agregados nesse solo.

Avaliando o efeito da compactação, processo que ocasiona resultados semelhantes ao do adensamento, Beutler *et al.* (2005) encontraram, *in situ*, macroagregados no solo compactado, porém com um menor grau de resistência da estrutura. No caso deste estudo com material de horizonte com caráter coeso, os agentes cimentados (VIEIRA *et al.*, 2012) que influenciam a coesão podem ter colaborado com os maiores diâmetros encontrados nos tratamentos com mais ciclos de umedecimento e secagem.

O aumento no DMP e DMG que foram constatados pela análise de estabilidade de agregados, não necessariamente ocasionaram aumento na melhoria na qualidade do solo com horizonte com caráter coeso, visto que, as análises que já foram citadas mostram que, houve aumento nos valores de resistência tênsil e resistência à penetração.

7 CONCLUSÕES

O uso de hidrogel influenciou significativamente os níveis mais altos de umedecimento e secagem, ou seja, quando o solo foi submetido a 16 e 32 ciclos, a adição de hidrogel influenciou a densidade do solo, a resistência tênsil e a resistência à penetração.

O maior número de ciclos de umedecimento e secagem influenciou os parâmetros analisados, incrementando os valores de densidade do solo, a resistência tênsil, a resistência à penetração, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado, mesmo com o material tendo sido coletado com amostras indeformadas.

A adição de hidrogel não ocasionou alteração nos parâmetros relacionados à estabilidade dos agregados, não tendo influenciado os valores de diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado nas condições desse trabalho.

As doses 2 e 3 (0,5 e 1,0 g. L⁻¹) respectivamente foram as que tiveram os melhores resultados em relação as variáveis analisadas, mostrando diminuição nos valores de RP e RT.

REFERÊNCIAS

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

ALVES, T. V. G. **Obtenção e caracterização de hidrogéis de policrilamida-cometilcelulose com sistemas carreadores de cloridrato de propranolol**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêutica) - Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

AMARO FILHO, J; ASSIS JÚNIOR, R. N; MOTA, J. C. A. **Física do solo: Conceitos e aplicações**. Imprensa Universitária. Fortaleza, v. 1. P. 290, 2008.

ANJOS, L. H. C. **Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma seqüência de solos do Terciário na região de Campos, RJ. 1985**. 194f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Iraguaí, 1985.

AQUINO, D. N.; ANDRADE, E.M.; LOPES, F.B.; TEIXEIRA, A.S.; CRISOSTOMO, L.A. **Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água**. Revista Ciência Agronômica, v. 39, n. 02, p. 225-232, 2008.

ARAI, M. A Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

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

ATTOU, F; BRUAND, A. Experimental study of fragipans formation in soils. Role of Clay dispersion and wetting-drying cycles. **Earth Planet.Sci.**, v.326; p. 545-552, 1998.

AZEVEDO, T. L. F. et al. Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum, Maringá**, v. 24, n.5, p. 1239-1243, 2002.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; GONCALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; DELlaCORT, R.; BERTONHA, L. C. Retenção de soluções de sulfatos por hidrogéis de poliacrilamida. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 2, p. 287-290, 2006.

BARDAJEE, G. R; HOOSHYAR, Z. One-pot synthesis of biocompatible superparamagnetic iron oxide nanoparticles/hydrogel based on salep: Characterization and drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 741-751, 2014.

BAUMGARTL, T.; KÖCK, B. Modeling volume change and mechanical properties with hydraulic models. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.57-65, 2004.

BEUTLER, A. N. CENTURION, J. F. FREDDI, O. S. ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. *Acta Scientiarum. Agron. Maringá*, v. 27, n. 2, p. 193-198, April/June, 2005.

BEZERRA, F. H. R. et al. Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences. Amsterdam*, v. 14, p. 61-75, 2001.

BEZERRA, M.N.; NETO, M.P.A.; FEITOSA, J.P.A. Hidrogéis compósitos de copolímero acrilamidaacrilato e dolomita para aplicação na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9, 2007, Campina Grande. *Anais. Campina Grande: Congresso Brasileiro de Polímeros*, p. 1-9. 2007.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pt. 1, p. 363-375, 1986a. (Agronomy Monography, 9). 1986.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 716. 2013.

BRASIL. SUDENE/EMBRAPA. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará*. Recife, v.1. 1973.

BRESSON, L.M.; MORAN, C.J. Role of compaction versus aggregate disruption on slumping and shrinking of repacked hardsetting seedbeds. *Soil Science*, v.168, p.585-594, 2003.

BRITO, C. W. Q.; RODRIGUES, F. H. A.; FERNANDES, M. V. S.; SILVA, L. R. D.; RICARDO, N. M. P. S.; FEITOSA, J. P. A.; MUNIZ, E. C. Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos a partir de copolímeros acrilamina-acrilato e caulim: efeito da constituição de diferentes caulins do nordeste brasileiro. *Química Nova*, v. 36, n. 1, p. 40-45, 2013.

CHANG, C; DUAN, B; CAI, J; ZHANG, L. Superabsorbent hydrogels based on cellulose for smart swelling and controllable delivery *Eur. Polym. J.*, 46 (1), pp. 92-100, 2010.

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

CORRÊA, M. M. KER J. C.; ARAÚJO, F. J. C.; CAMÊLO D. L. Formas de Ferro, Silício e, ou, Alumínio na Gênese de Fragipãs e Horizontes Coesos dos Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 39, p. 940 – 949, 2015.

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

COSTA JÚNIOR, M. P. **Interações morfo-pedogenéticas nos sedimentos do Grupo Barreiras e nos leques aluviais pleistocênicos no litoral norte da Bahia – município de Conde**. 2008. 247f. Tese (Doutorado em Geologia Costeira e Sedimentar) - Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2008.

DANTAS, J. S.; MARQUES, J. J.; MARTINS, F. M. V.; RESENDE J. M. A., CAMARGO L. A., BARBOSA, R. S. B. Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1039-1050, 2014.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure Soil. **Tillage Res.**, 11, pp. 199-238, 1988.

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

DUARTE, L. R. S. **Pedogênese de horizontes com caráter coeso em duas toposseqüências nos tabuleiros costeiros do Ceará**. 2015. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

DUARTE, M.N.; CURI, N.; PEREZ, D.N.; KAMPF, N.; CLAESSEN, M.E.C. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.I.], v. 36, p. 1237-1250, 2000.

ELLIOTT, E. T; COLEMAN, D. C. **Let the soil work for us** **Ecol. Bull**, 39 (1988), pp. 23-32. 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5. ed. Brasília: Embrapa, p.33, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, p. 461. (**Boletim técnico**), 1978.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, 1978. 461p. (**Boletim técnico, 45**).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEREDO, G. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; MORAES, S. O.; ALMEIDA, B. G. Desenvolvimento de um consolidômetro pneumático; modelagem da compactação, penetrometria e resistência tênsil de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 389-409, 2011.

- FREITAS, E. D.; VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; SILVA, D. M. de ciclos de umedecimento e secagem no adensamento de solos coesos. III Influência **Reunião nordestina de ciências dos solos**, 2016.
- GALES, D. C.; TRINCA, L. C.; CAZACU, A.; PEPTU, C. A.; JITAREANU, G. Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. **Geoderma**, p. 102-111, v. 267, 2016.
- GARDNER, W.R. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 20:150-153, 1956.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A. R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**, v. 113, p. 95-108, 2003.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 613-620, 2002.
- JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, P. 19-46, 2001.
- JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, Características e Classificação dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. Pesquisa e Desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros; **Anais**. Aracaju: EMBRAPA, CPATC; EMBRAPA, CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, p.13-26, 1996.
- JANTSCH, R.L. **Estado de agregação de materiais de Latossolos submetidos a calagem em diferentes condições de temperatura e umidade relativa**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 78p. (Tese de Mestrado)
- YOUNG, I. M.; MULLINS, C. E. **Factors affecting the strength of undisturbed cores from soils with low structural stability**. Journal of Soil Jantsch, R.L. Estado de agregação de materiais de Latossolos submetidos a calagem em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 78p. (Tese de Mestrado) soil Science, v. 42, n. 2, p. 205-217, 1991.
- KEMPER, W.; ROSENAU, R.; Soil cohesion as affected by time and water content. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48, 1984. 1001–1006. 1986.
- Le BISSONNAIS, Y. Le.Aggregate breakdown mechanisms and erodibility L. Rattan (Ed.), **Encyclopedia of Soil Science** (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton (2005), p. 40-44. 2005.
- 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 **J. Soil Water Conserv.** 65, pp. 233-242, 2010.

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

LIMA NETO, J. de A. **Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos da região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas Recife**. 2008. 83p. Dissertação (Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2008.

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

LIMA, R. M. F.; SOUZA, V. V. Polímeros Biodegradáveis: aplicação na agricultura e sua utilização como alternativa para a proteção ambiental. **Revista Agrogeoambiental**. v. 3, n. 1, p. 75-82, 2011.

MELO, D. V. M.; ALMEIDA, B. G.; SOUZA, E. R.; SILVA, L. S.; JACOMINE, P. K. T. Structural quality of polyacrylamide - treated cohesive soils in the coastal tablelands of Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 476-485, 2014.

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

MULLINS, C.E.; YOUNG, I.M.; BENGHUH, A.G.; LEY, G.J. Hardsetting soils. **Soil Use and Management**, [S.L.], v.3, p. 79-83, 1987.

NAVROSKI, M. C; ARAUJO, M. M; FIOR, C. S; CUNHA, F. S; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Hydrogel enables use of reduction of irrigation and improves the inicial grownth of *Eucalyptus dunnii* Maiden seedlings. **Scientia Forestalis**, v. 43, p.467-476. 2015b.

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

NUNES, F.C.; VILAS BOAS, G.S.; SILVA, E.F.; CALDERANO, S.B.; CARVALHO, J.J.S. **Faciologia e Análise Tectônica dos Materiais de Origem dos Solos dos Tabuleiros Costeiros do Litoral Norte da Bahia**. Boletim de desenvolvimento e pesquisa Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos, Ministério da, 2011.

ORTS, W. J; SOJKA, R. E; GLENN, G. M. Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation, **Industrial Crops and Products**, v. 11. p. 19 – 29, 2000.

PAGLIAI, M; VIGNOZZI, N. The soil pore system as an indicator of soil quality *Adv. Geo Ecology*, 35, pp. 69-80. 2002.

PALUSZEK, J. Qualidade física do solo erodido alterado com polímero formador de gel *Int. Agrophys*, 25 (2011), pp. 375 – 38.

PEPPAS, N. A.; BURES, P.; LEOBANDUNG, W.; ICHIKAWA, H. Hydrogels in pharmaceutical formulations. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 50, p. 27-46, 2000.

PLAZA, M. E. **Síntesis de hidrogeles a partir de acrilato de sodio Y metacrilamida para la liberación controlada de fertilizantes**. Tesis pregrado, Universidad del Valle, Cali, Colombia (2006).

POURJAVADI, A; HARZANDI, A. M; HOSSEINZADEH, H. Modified carrageenan 3. Synthesis of a novel polysaccharide-based superabsorbent hydrogel via graft copolymerization of acrylic acid onto kappa-carrageenan in air *Eur. Polym. J.*, pp. 1363-1370. 2004.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 27,31p. (Série Estudos Agrícolas, 1). 2000.
RIBEIRO, L. P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador: SEPLANTEC, CADCT, 1998. 99p.

RIBEIRO, L. P. Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia. **Universitas**, Salvador, n. 38, out/dez, p. 59-80, 1986.

RIBEIRO, M. R. **Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros**. In: WORKSHOP COESO EM SOLOS DOS TABULEIROS 161-168, 2001.

ROMERO, R. E.; LIMA, H. V. Solos dos Tabuleiros Costeiros, compostos amorfos e parâmetros de ordem estrutural da caulinita em horizonte coeso. In: OLIVEIRA, T. S.; XAVIER, F. A. S.; LIBARDI, P. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N. **Solo e Água: Aspectos de Uso e Manejo**, Fortaleza, DCS/UFC, p. 218-241, 2004.

SAADI, A. et al. **Neotectônica da plataforma brasileira**. In: QUATERNÁRIO no Brasil. Ribeirão Preto: Holos, p. 211-230. 2005.

SANTOS, H.G; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H.C; OLIVEIRA, V. A; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ARAÚJO FILHO, J. C; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6.ed. Brasília DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H. C. dos; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. rev e ampl. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 170. 2015.

SILVA, A. P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p.1775 – 1781, 1994.

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

SOJKA, R. E; BJORNEBERG, D. L; ENTRY, J. A; LENTZ, R. D; ORTS, W. J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management Adv. **Agron.**, 92, pp. 75-162. 2007.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S. Irrigação nos Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil. **Portal do Agronegócio**. Disponível em: Acesso em: 06 out. 2008.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.P.S.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], v. 15, p. 273-286, 1985.

SZMIDT, R. A. K.; GRAHAM, N. B. The effect of poly (ethylene oxide) hydrogel on crop growth under saline condition. *Horticultural Acta*, v.287, p.211-218, 1991.

THENG, B. K. G. Clay-polymer interaction: Summary and perspectives. **Clays Clay Miner** 30:1–10, 1982.

THENG, B. K. G. Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes. Amsterdam: **Elsevier**; 1979.

TISDALL, J. M; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils *J. Soil Sci*, 33, pp. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSK, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 947-952, 2008.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

ULLAH, F; OLTMAN, M. B. H; JAVED, F; AHMAD, Z; AKIL, H. M. Classification, processing and application of hydrogels: A review. **Materials Science and Engineering C**, v. 57, p. 414-433, 2015.

VAN BAVEL, C. H. M. Mean Weight-Diameter of Soil Aggregates as a Statistical Index of Aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, 14, 20-23.1949.

VIEIRA, J. M. **Contribuição de compostos de baixa cristalinidade e ciclos de umedecimento e secagem na gênese do caráter coeso em solos do Ceará**. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 2013.

VIEIRA, J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JÚNIOR, R.N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 623-632, 2012.

WU, L; OK, Y. S; XU, X. L; KUZYAKOV, Y. Effects of anionic polyacrylamide on maize growth: a short term ¹⁴C labeling study **Plant Soil**, 350, pp. 311-322. 2011.

YOUNG, I. M.; MULLINS, C. E. Factors affecting the strength of undisturbed cores from soils with low structural stability. **Journal of Soil Science**, v. 42, n. 2, p. 205-217, 1991.