



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

**ALESSA MILENA SOUZA DA SILVA ARAÚJO**

**GRANULOMETRIA DE SOLOS: HORIZONTES COM CARÁTER COESO E SUA  
RESISTÊNCIA TÊNSIL**

**FORTALEZA**

**2017**

**ALESSA MILENA SOUZA DA SILVA ARAÚJO**

**GRANULOMETRIA DE SOLOS: HORIZONTES COM CARÁTER COESO E SUA  
RESISTÊNCIA TÊNซิล**

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. Área de concentração: Gênese e Classificação de Solos.

Orientador: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

---

Araújo, Alessa Milena Souza da Silva.  
Granulometria de solos: Horizontes com caráter coeso e sua Resistência Tênsil/ Alessa Milena Souza da Silva Araújo – 2017.  
60f.: il. color. enc.; 30 cm.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2017.  
Área de Concentração: Caracterização, gênese e pedologia aplicada.  
Orientação: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota.  
1. Solos - Composição. 2. Solos – Resistência Tênsil. 3. Física do solo. I. Título.

---

**ALESSA MILENA SOUZA DA SILVA ARAÚJO**

**GRANULOMETRIA DE SOLOS: HORIZONTES COM CARÁTER COESO E SUA  
RESISTÊNCIA TÊNซิล**

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. Área de concentração: Gênese e Classificação de Solos.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

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

---

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

*A Deus, por ter permitido que esse sonho se concretizasse.*

*À minha família, pelo amor, carinho, compreensão e paciência.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me permitir alcançar mais essa vitória, por me dar força, capacidade e entusiasmo para vencer todos os desafios.

Aos meus amados pais que sempre tiveram tanto zelo com minha educação, que me incentivaram para que eu conquistasse meus objetivos e contribuíssem para que eu me tornasse a pessoa que sou.

Às minhas filhas que são a alegria da minha vida, a maior dádiva que poderia ter, e o maior estímulo para que eu continue buscando melhorar a cada dia.

Ao meu amado esposo Lincoln Araújo pelo amor incondicional, pelo carinho, compreensão e paciência de todos os dias, e por ter tanto zelo e cuidado comigo e com a nossa família.

À minha amada irmã Cláudia Rivele pela sua lealdade, amizade e amor recíproco nesses longos anos em que compartilhamos nossas vidas juntas.

À minha querida tia Fátima que cuidou de mim desde o meu nascimento e que cuida até hoje, por cuidar também das minhas filhas, do meu marido, da minha casa, por todo amor, carinho e abnegação. E por ser minha eterna tia Di.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade que me foi dada de aperfeiçoar meus conhecimentos e me proporcionar uma melhor capacitação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que com os recursos do Projeto Pró-Integração (nº55/2013) e do PROAP viabilizaram a realização desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota pelo compromisso, profissionalismo e competência que apresentou desde o início e até a execução final desse trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora: Professor Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, Professor Ricardo Espíndola Romero e Professor Dr. Brivaldo Gomes de Almeida pelo tempo disponibilizado, pelas colaborações e sugestões valiosas que engrandeceram esse trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo que mesmo não contribuindo diretamente com o trabalho, mas colaboraram com o meu crescimento intelectual e acadêmico.

Aos meus colegas do Laboratório de Física do Solo: Thiago, Alcione, Márcio, Cillas, Arilene, Ícaro, Alexandre, Mirla, e em especial ao colega Ademir, que em vários momentos ajudaram na execução, tiraram algumas dúvidas e sempre foram bastante solícitos nos momentos de dificuldades.

Aos colegas Dimitri e Juliana, que mesmo não fazendo parte diretamente do meu trabalho, em muitas ocasiões se disponibilizaram em ajudar.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, Edilson e Marilene, que sempre foram bastante prestativos. Aos funcionários do laboratório de Química do Solo, Fátima e Crisanto, que me orientaram em momentos de dúvidas.

Obrigada também aos que, mesmo não sendo citados ou não contribuindo diretamente, fazem parte da minha vida e me ajudaram a chegar até aqui.

*“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas”.*

(Carl Sagan)

## RESUMO

Os solos dos Tabuleiros Costeiros são fator importante de desenvolvimento econômico e social na região costeira do Brasil. No entanto, esses solos manifestam algumas limitações químicas e físicas. Com relação às limitações físicas, uma das mais expressivas é a ocorrência dos horizontes com caráter coeso, cuja gênese ainda não está bem esclarecida. Nessa pesquisa, consideraram-se as hipóteses de que a) o caráter coeso em solos, cuja magnitude da coesão apresenta correlação direta e proporcional com a resistência tênsil dos agregados/torrões, tem a sua gênese influenciada pela granulometria e má seleção da fração areia e b) que há variação na resistência tênsil no horizonte do solo. Portanto, objetivou-se avaliar a contribuição da granulometria e da distribuição de partículas da fração areia na gênese de horizontes com caráter coeso nos Tabuleiros Costeiros do Ceará, bem como conhecer a variabilidade da resistência tênsil no horizonte do solo. O estudo foi realizado no município de Aquiraz-CE, onde foram coletadas amostras de dois solos (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico – PVAd; Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupático – PAex) nos horizontes Bt1 (com caráter coeso) e Bt2 (sem caráter coeso) no topo, meio e base de cada horizonte. Foram realizadas análises de granulometria (com fracionamento das areias) e de resistência tênsil em agregados/torrões. Os dados de cada perfil de solo foram analisados, considerando o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 (dois graus de coesão: Bt coeso e Bt não coeso, e três posições no perfil: topo, meio e base), com cinco repetições. Foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para averiguação da normalidade, ao teste F para a análise de variância, e ao teste de Tukey para a comparação de médias, todos a 5% de probabilidade. A relação entre a resistência tênsil e cada um dos demais atributos físicos (frações areia, silte e argila), considerando todos os dados obtidos, foi mensurada a partir de análises de regressão (considerando o modelo de regressão linear) e de correlação. Aplicou-se o teste t, a 5% de probabilidade, para avaliar a significância dos coeficientes angular (b) e de correlação (r). Os resultados evidenciaram que em todos os horizontes (com e sem caráter) a fração areia foi predominante, definindo com as frações silte e argila a textura franco-argilo-arenosa nos horizontes Bt1 e Bt2 do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico (PVAd) e textura argilo-arenosa nos horizontes Bt1 e Bt2 do Argissolo Amarelo Eutrocoeso Abrupático (PAex). Com relação ao fracionamento das areias, observou-se para todos os horizontes investigados, e nas três posições nos horizontes (topo, meio e base) o predomínio de areia média, seguido, pela ordem, de areia fina e muito fina juntas, areia grossa e areia muito grossa. Quanto aos valores de resistência tênsil, foram mais

elevados em horizontes com caráter coeso, com diminuição da resistência tênsil dos agregados/torrões do topo em direção à base. Concluiu-se que as frações areia e argila influenciam na gênese do caráter coeso em solos. No tocante à fração areia, a má seleção de grãos concorre para empacotamento de partículas mais adensado, contribuindo significativamente para a coesão dos agregados/torrões. Há variação significativa da resistência tênsil no horizonte do solo.

Palavras-chave: Pedogênese. Empacotamento de partículas. Adensamento.

## ABSTRACT

Soils of the Coastal Boards are an important factor of economic and social development in the coastal region of Brazil. However, these soils manifest some chemical and physical limitations. With respect to physical limitations, one of the most expressive is the occurrence of cohesive horizons, whose genesis is still not well understood. In this research, we hypothesized that a) the cohesive character in soils, whose magnitude of cohesion presents a direct and proportional correlation with the tensile strength of the aggregates/clods, has its genesis influenced by the granulometry and poor selection of the sand fraction and b) That there is variation in the tensile strength at the horizon of the soil. The objective of this study was to evaluate the contribution of particle size and particle distribution of the sand fraction in the genesis of cohesive horizons in the Coastal Boards of Ceará, as well as to know the variability of tensile strength in the soil horizon. The study was carried out in the city of Aquiraz-CE, where samples of two soils (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico - PVAd; Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico - PAex) were collected at the Bt1 (cohesive) and Bt2 (non-cohesive) horizons at the top, middle and base of each horizon. Analyzes of granulometry (with sand fractionation) and tensile strength were performed in aggregates/clods. The data of each soil profile were analyzed, considering a completely randomized design, in a 2 x 3 factorial scheme (two degrees of cohesion: Bt cohesive and Bt non-cohesive), and three positions in the profile: top, middle and base, with five replications). They were submitted to the Shapiro-Wilk test for normality, the F test for the analysis of variance, and the Tukey test for the comparison of averages, all at 5% probability. The relationship between the tensile strength and each of the other physical attributes (sand, silt and clay fractions), considering all the data obtained, was measured from regression analysis (considering the linear regression model) and correlation. The t-test, at 5% probability, was used to evaluate the significance of the angular ( $\beta$ ) and correlation ( $r$ ) coefficients. The results showed that in all horizons (cohesive and non-cohesive) the sand fraction was predominant, defining with the silt and clay fractions the sandy clay loam in the horizons Bt1 and Bt2 of the Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd) and sandy clay texture in the horizons Bt1 and Bt2 of the Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico (PAex). With regard to the fractionation of the sands, the predominance of medium sand was observed for all the horizons investigated, and in the three positions in the horizons (top, middle and base), followed by order of fine and very fine sand together, coarse sand and very coarse sand. As for the tensile strength values, they were higher in cohesive horizons, with decreasing the

tensile strength of the aggregates/tops of the top towards the base. It was concluded that the sand and clay fractions influence the genesis of cohesive character in soils. Regarding the sand fraction, the poor selection of grains competes for more densely packed particles, contributing significantly to the cohesion of the aggregates/clods. There is significant variation of tensile strength in the soil horizon.

Keywords: Pedogenesis. Particle packing. Dense horizon.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa dos Tabuleiros Costeiros no Nordeste Brasileiro.....	22
Figura 2 – Mapa do Brasil, do estado do Ceará, do Município de Aquiraz, da Fazenda São Jerônimo e localização do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd) e Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupto (PAex).....	32
Figura 3 – Detalhe da coleta no Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupto-PAex.....	33
Figura 4 – Detalhe da coleta no Argissolo Amarelo Eutrocoeso Abrupto – PAex, com indicação das posições meio e base.....	33
Figura 5 – Distribuição das areias nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex). Valor phi ( $\phi$ ) de -1,00 a 0 (areia muito grossa); de 0 a 1,00 (areia grossa); de 1,00 a 2,00 (areia média); de 2,00 a 4,24 (areia fina e muito fina).....	40
Figura 6 – Relação das frações areia, silte e argila com resistência tênsil. As barras representam o erro-padrão da média.....	45
Figura 7 – Relação do desvio-padrão dos diâmetros da fração areia em escala phi ( $[\phi = -\log_2 D \text{ (mm)}]$ ) com a resistência tênsil. As barras representam o erro-padrão da média.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subdivisão do Neogeno.....	18
Tabela 2 – Fração areia nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex) .....	38
Tabela 3 – Fração silte nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).....	38
Tabela 4 – Fração argila nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).....	39
Tabela 5 – Parâmetros estatísticos para a distribuição da fração areia ( $\mu \pm$ desvio padrão) e grau de seleção segundo Folker e Ward (1957) para horizontes com e sem caráter coeso).....	41
Tabela 6 – Resistência tênsil de agregados/torrões nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).....	44

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Formação Barreiras .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Tabuleiros Costeiros.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Os solos de Tabuleiros Costeiros.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Horizontes com caráter coeso.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Resistência tênsil: relação com atributos físicos.....</b>	<b>29</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Coleta e análises dos solos.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Análise dos dados.....</b>	<b>35</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros são feições geomorfológicas que apresentam, de maneira geral, topografia plana ou suavemente ondulada e estão relacionados com os sedimentos da Formação Barreiras, distribuídos por quase toda a faixa costeira do Brasil.

A importância dos solos dos Tabuleiros Costeiros se destaca pelo aspecto econômico devido, principalmente, a exploração com cana-de-açúcar, fruticultura tropical, mandioca e também pecuária. No entanto, alguns desses solos manifestam limitações químicas e físicas.

Quanto ao aspecto químico, observa-se baixa fertilidade natural do solo e baixa capacidade de troca catiônica, atributos que são justificados pela composição mineralógica destes solos e pelos baixos teores de matéria orgânica. Com relação às limitações físicas a ocorrência dos horizontes com caráter coesos se destaca, e sua gênese ainda não está bem esclarecida.

O termo “caráter coeso” é amplamente empregado para destacar horizontes minerais subsuperficiais do solo, que se apresentam duros à extremamente duros quando secos, e friáveis a firmes quando úmidos (Embrapa, 2013). Os solos que possuem horizontes com caráter coeso são potencialmente limitadores à exploração agrícola, promovem importantes alterações na dinâmica da água, dificultando a infiltração, a aeração e o desenvolvimento das raízes das plantas.

O cultivo contínuo e excessivo dos solos de Tabuleiros Costeiros pode levá-los à degradação, removendo a parte superficial. Isso faz com que o horizonte coeso fique exposto ou mais superficial, reduzindo expressamente a produtividade das culturas. Por esse motivo são necessários estudos para caracterizar esse tipo de solo e recomendar um manejo correto que evite um processo de degradação, principalmente no estado do Ceará, que dispõe de poucos trabalhos nessa área.

Resultados de pesquisas indicam que o horizonte coeso, de ocorrência natural, é resultante da ação de diferentes processos pedogenéticos que determinaram a sua formação. No entanto, solos desenvolvidos do mesmo material de origem, com granulometria e composição mineralógica semelhantes, apresentam, em uma mesma área, perfis de solo com e sem horizontes com caráter coeso.

Estudos indicam que a origem de horizontes com caráter coeso está relacionada a vários processos tais como: perda de plasma argiloso das camadas superficiais para as subjacentes, presença de compostos orgânicos pouco polimerizados; presença e acúmulo de

sílica secundária, ferro e argila dispersa nos microporos, e adensamento por dessecação resultante da modificação da estrutura pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem.

A resistência tênsil tem sido empregada para mensurar o efeito do adensamento natural dos horizontes com o caráter coeso e pode ser compreendida como a força por unidade de área necessária para causar ruptura dos agregados. É um parâmetro relevante para determinar a energia suficiente para cultivar o solo e rompê-lo em agregados menores.

Nessa pesquisa, consideraram-se as hipóteses de que a) o caráter coeso em solos, cuja magnitude da coesão apresenta correlação direta e proporcional com a resistência tênsil dos agregado/torrões, tem a sua gênese influenciada pela granulometria e má seleção da fração areia e b) que há variação na resistência tênsil no horizonte do solo. Portanto, objetivou-se avaliar a contribuição da granulometria e da distribuição de partículas da fração areia na gênese de horizontes com caráter coeso nos Tabuleiros Costeiros do Ceará, bem como mensurar a variabilidade da resistência tênsil no horizonte do solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Formação Barreiras

A Formação Barreiras no litoral brasileiro ocupa quase toda faixa costeira do Brasil, desde o Estado do Amapá até o Estado do Rio de Janeiro, com extensão até o Vale do Paraíba do Sul, no estado de São Paulo. É constituída por materiais argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, sempre bastante intemperizados, tipicamente caulíníticos e pobres em ferro (Jacomine, 2001).

A deposição da Formação Barreiras ocorreu no final da época Pliocênica, há três milhões de anos, decorrente da predominância de um clima árido a semiárido (Figura 1). Essas condições climáticas favoreceram a erosão do manto de intemperismo, que teria se desenvolvido sobre as rochas do embasamento cristalino. O material erodido acumulou-se no sopé das encostas formando extensos depósitos de leques aluviais. A deposição cessou com o retorno das condições de clima úmido à região (Costa et al., 2002).

Tabela 1 - Subdivisão do Neogeno

Sistema/Período	Série/Época	Andar/Estágio	Idade (Ma)
Quaternário	Pleistoceno	Gelasiano	mais recente
Neogeno	Plioceno	Piacenziano	2.58–3.600
		Zancleano	3.600–5.333
	Mioceno	Messiniano	5.333–7.246
		Tortoniano	7.246–11.63
		Serravalliano	11.63–13.82
		Langhiano	13.82–15.97
		Burdigaliano	15.97–20.44
		Aquitano	20.44–23.03
Paleogeno	Oligoceno	Chattiano	mais antigo

Subdivisão do Neogeno de acordo com a Tabela Cronoestratigráfica Internacional versão 2015/1 da Comissão Internacional sobre Estratigrafia.

Fonte: Comissão Internacional sobre Estratigrafia 2015/1

Após as ações intempéricas de erosão, transporte e deposição, constata-se que a mineralogia da Formação Barreiras não é complexa. A fração grosseira dos sedimentos é predominantemente constituída por quartzo, podendo apresentar concreções ferruginosas, enquanto que, na fração argila, a caulinita é o material dominante (Jacomine, 1996; Ribeiro, 1998).

A Formação Barreiras do estado do Ceará caracteriza-se por depósitos de granulometria variada e composição mais frequente de argila, silte, areias e até conglomerados, em proporções variáveis, de consolidação fraca e cores predominantemente avermelhadas ou amareladas. É mais comum nestas áreas 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).

No Ceará, a Formação Barreiras ocorre no litoral em uma faixa praticamente contínua (interrompido apenas pelos estreitos vales dos rios que desembocam no mar), com direção Leste-Oeste e largura variando de 7 a 60 km (Brasil, 1973).

A unidade geológica em questão distribui-se como uma faixa, acompanhando a linha de costa, à retaguarda dos sedimentos eólicos antigos e atuais. Por vezes ocorre muito próxima ao litoral. Sua espessura chega a ser bastante variável em função do seu relacionamento com a superfície irregular do embasamento, aprofundando-se em direção à costa onde se encontra por baixo dos sedimentos eólicos que constituem as paleodunas (Holanda et al., 2003).

A Formação Barreiras é uma unidade geológica litologicamente constituída por sedimentos continentais pouco consolidados, geralmente afossilíferos (Mabesoone et al., 1972; Suguio & Nogueira, 1999). Quando a Formação Barreiras está exposta à superfície e sujeita à atuação dos processos pedogenéticos seus sedimentos originam os solos dos Tabuleiros Costeiros (Romero & Lima, 2004).

## **2.2 Tabuleiros Costeiros**

Segundo Jacomine (2001), o termo “Tabuleiros Costeiros” é usado para indicar uma forma de superfície do tipo tabular, dissecada por vales profundos e encostas com forte declividade. Comumente, apresentam uma topografia plana e com menos frequência suavemente ondulada, podendo apresentar área com forte dissecamento, com topografia

ondulada ou até fortemente ondulada. Estão distribuídos nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil e apresentam solos com caráter coeso, os quais podem provocar limitações físicas quanto ao crescimento das raízes e dinâmica da água (Vieira et al., 2012).

Na faixa litorânea, desde o Amapá até o Rio de Janeiro, predominam nas altitudes de 20 a 220 metros. No Vale do Paraíba do Sul, em São Paulo, essas feições apresentam altitudes de 550 a 750 metros. Na região do Médio Jequitinhonha, as altitudes alternam de 450 a 800 metros. Nos Sertões de Pernambuco, Bahia e Piauí predominam altitudes de 320 até 600 metros em algumas chapadas (Jacomine, 2001).

No estado do Ceará, os Tabuleiros Costeiros abrangem áreas próximas ao litoral, formando uma faixa praticamente sucessiva com maior penetração para o interior nas áreas próximas ao Vale do Baixo Jaguaribe, cortado apenas pelos cursos d'água que desembocam no oceano. Essa unidade geomorfológica é dissecada por vales profundos e formam encostas com forte declividade. São constituídos por sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras que estão sobrepostos diretamente sobre o embasamento cristalino, diminuindo de espessura à proporção que penetram para o interior. Estudos comprovaram também pequenas áreas na parte leste, procedentes de sedimentos cretáceos. Compreendidas em toda área, aparecem depressões aplainadas do Pré-Cambriano ou do Holoceno, bem como maciços residuais elevados (Brasil, 1973).

Nos Tabuleiros Costeiros as áreas são predominantemente úmidas, com precipitações pluviométricas médias anuais que variam de 1000 a 2300 mm no litoral; de 1500 a 3000 mm na Amazônia; 1300 a 1700 mm em São Paulo; de 900 a 1000 mm na região do Médio Jequitinhonha em Minas Gerais; e de 400 a 600 mm nos sertões de Pernambuco, Bahia e Piauí (Jacomine, 2001).

A vegetação que predomina nos Tabuleiros Costeiros são florestas perenifólias e subperenifólias na Amazônia e no litoral, onde ocorre o cerrado em pequena proporção. Adentrando, ainda na faixa costeira, prevalecem as florestas tropicais subcaducifólias e caducifólias, as quais também ocorrem na região do médio Jequitinhonha em Minas Gerais. No Sertão de Pernambuco e da Bahia domina a caatinga hiperxerófila (Jacomine, 2001).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam associações de solos, enquadrados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) como Latossolos e Argissolos Amarelos, Neossolos Quartzarênicos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Acinzentados, Latossolos Vermelho-Amarelos, Espodossolos e Plintossolos (Jacomine, 1996; Ribeiro, 1996; Ribeiro 1998; Araújo Filho et al., 2001).

Os Tabuleiros Costeiros têm despertado grande interesse para exploração devido a alguns fatores favoráveis, tais como: localização, extensão, condições climáticas e edáficas. Os estudos surgiram a partir da segunda metade da década de 1950 e fortaleceram-se em 1980 e, cada vez mais, despertam interesse de instituições públicas e empresas privadas (Jacomine, 2001).

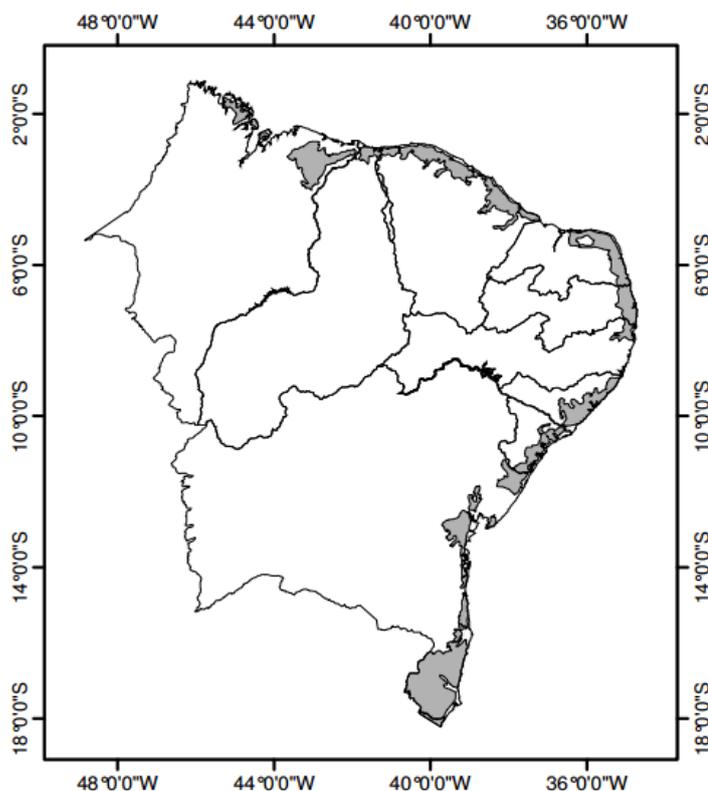
Segundo Lima (2004), nos tabuleiros costeiros estão localizadas as áreas potencialmente produtoras de alimentos, as quais ocupam na região Nordeste uma área estimada de 10.000.000 ha, o que corresponde a aproximadamente 16% da área total dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará. A região de ocorrência destaca-se pela significativa importância econômica e social, como também pela enorme capacidade atual e potencial para uso agrícola visando à produção de alimentos (Souza et al., 2001).

Os Tabuleiros Costeiros foram muito utilizados para cultivo de cana-de-açúcar desde o litoral do Nordeste até a região de campos e Macaé, no Estado do Rio de Janeiro. A fruticultura também é praticada em todas as áreas dos Tabuleiros Costeiros. Pastagens estão sendo implantadas sobre os Tabuleiros da Amazônia. Outras culturas como mandioca, batata-doce, inhame, ou cará e feijão-de-corda, também são cultivadas. A agricultura irrigada está se ampliando nos tabuleiros do sertão de Pernambuco (Jacomine, 2001).

### **2.3 Os solos de Tabuleiros Costeiros**

Os solos de tabuleiros estão distribuídos por quase toda a faixa costeira do Brasil, indo desde o Amapá até o Rio de Janeiro, com extensão até o vale do rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. Além de ocuparem grande extensão no médio e baixo vale do rio Amazonas e afluentes, estendendo-se aos Estados do Maranhão e Piauí. Estudos recentes comprovaram a existência desses solos também na zona semi-árida de Pernambuco e Bahia, com extensão para sul e para a região do Médio Jequitinhonha, em Minas Gerais. Considera-se que no Brasil, as áreas de Latossolos, Argissolos e outros solos provenientes de sedimentos do tipo barreiras ou similares, atinjam extensão de 200.000 km<sup>2</sup> (Jacomine, 2001).

Figura 1 - Mapa dos Tabuleiros Costeiros no Nordeste Brasileiro.



Fonte: Lima Neto (2008)

Os solos dos Tabuleiros Costeiros tiveram sua evolução associada a diferentes processos de transformação de Latossolos, sendo desenvolvidos sobre sedimentos muito pedogeneizados, e considerados os primeiros solos da cobertura pedológica, e que, de certa forma, apresentavam coloração avermelhada a vermelho escura (Ribeiro, 2001).

Estudos mostram que os processos da neotectônica atuais podem estar comprimindo toda costa brasileira (ou sulamericana) por meio de pressões provenientes do dorso atlântica. Estes fatos são geradores de modificações sensíveis na dinâmica da cobertura pedológica, gerando as depressões que, por apresentarem comportamentos hidrodinâmicos diferenciados originam um novo padrão de distribuição de solos a cada momento, em íntima associação com características pedobioclimáticas determinando processos pedobiogeoquímicos diferenciados (Ribeiro, 2001). A cobertura pedológica dos Tabuleiros se desenvolveu sobre um material de origem bastante evoluído pedogeneticamente. Em virtude dos períodos Terciário e Quaternário terem sofrido sucessivas fases de pedogênese, erosão, sedimentação, além de suas estreitas relações com a formação e alteração de couraças ferruginosas, o material de origem é bastante complexo (Ribeiro, 1998).

Nos Tabuleiros Costeiros ocorrem diversas classes de solo, dentre as quais predominam os Latossolos Amarelos e os Argissolos Amarelos (Jacomine, 1996; Embrapa, 2013). Contudo, podem ser 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).

Os Latossolos Amarelos de Tabuleiros são os que apresentam, em condições naturais, o caráter coeso, ou seja, presença de horizontes de consistência dura ou muito dura quando seco, e geralmente friável quando úmido. Em geral, a parte coesa coincide com uma faixa compreendida entre 20 e 60 cm, podendo atingir até maiores profundidades. Essa parte endurecida corresponde geralmente aos horizontes AB e/ou BA, podendo atingir o topo do Bw (Jacomine, 2001).

Os Latossolos Amarelos são encontrados nas regiões equatoriais e tropicais úmidas, e, pequena proporção, na região semiárida do Brasil. Apresentam horizonte A usualmente moderado, ocorrendo também A proeminente, fraco e antrópico. As cores são tipicamente amarelas, tendo o horizonte B matizes 10YR, 7,5YR e 5Y, com ocorrência de cores amarelo-avermelhadas, com valores e cromas quase iguais ou maiores que 5. A textura varia de muito argilosa a média com predomínio de solos argilosos. A estrutura é fracamente desenvolvida em blocos nos horizontes AB, BA e no Bw. Os Latossolos Amarelos são os que apresentam maior densidade, com valores variando de 1,30 – 1,60 gcm<sup>-3</sup> (nos horizontes AB, BA e Bw) e conseqüentemente, menor porosidade total, cujos valores, estão compreendidos entre 40-50% (Jacomine, 2001). Trabalhos de Ribeiro (1998) com Latossolos nos Tabuleiros Costeiros na Bahia constataram que há instabilidade dos agregados na superfície, aumentando sensivelmente na profundidade onde ocorrem os horizontes com caráter coeso.

Considerando os atributos químicos, os Latossolos apresentam baixos teores de óxidos provenientes do ataque sulfúrico, com valores para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> normalmente menores que 7,0%. Esses valores baixos, aliados a uma CTC muito baixa, tornam esses solos muito susceptíveis à perda das partículas coloidais da parte superficial para os horizontes subsuperficiais. São solos ácidos a fortemente ácidos, com pH em água normalmente com valores entre 4,0 e 5,0. Em geral, contêm alumínio trocável e são álicos, ou seja, com saturação por alumínio igual ou maior que 50%. A CTC é muito baixa e normalmente está abaixo de 6,5cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de argila. A mineralogia das frações areia (grossa e fina), registra predomínio quase absoluto do quartzo, com valores entre 95 e 100%. Na fração argila há predomínio da caulinita, com percentagem entre 70 e 90% (Jacomine, 2001).

Estudos realizados por Jacomine (2001) constataram que a mineralogia das

frações areia e cascalho, em solos com presença de horizontes coesos, é composta principalmente por quartzo, sendo esses solos carentes de minerais facilmente decompostos. Para Duarte (2015) a dominância do quartzo na fração grosseira ocorre por esse mineral ser bastante resistente ao intemperismo ao qual fora submetido durante a gênese da Formação Barreiras.

Segundo Araújo Filho et al. (2001) a mineralogia que deu origem aos sedimentos dos solos estudados é considerada simples, com quartzo predominando na fração areia e na fração argila há predominância do grupo caulinita e em proporções menores óxidos de ferro hidratados (goethita).

Para Moreau et al. (2006) a baixa quantidade de silte, assim como a relação silte/argila, que apresentam os solos de Tabuleiros Costeiros está relacionada com o grau de intemperismo e com a natureza do material de origem.

Os Argissolos Amarelos são encontrados nos Tabuleiros Costeiros, sobretudo nos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Na Amazônia há registro de pequenas ocorrências. Foram encontradas também na zona semiárida de Pernambuco e Bahia (Jacomine, 2001). No Ceará, a classe dos Argissolos Amarelos foi identificada recentemente; isso ocorre pelo fato de tais solos passarem, há pouco, a constituir classe distinta entre os Argissolos, sendo anteriormente englobada dentro dos Argissolos Vermelho-Amarelos (Lima et al., 2004a).

As propriedades químicas e mineralógicas desses solos são bastante similares às do Latossolos Amarelos. Os Argissolos são distintos dos Latossolos Amarelos por ter gradiente textural mais alto, indicado que nesses há maior concentração de argila no Bt, muitas vezes, com mudança textural abrupta. Muitos Argissolos Amarelos apresentam horizonte E, indicando maior perda de argila que nos Latossolos. A argila dispersa em água atinge maiores profundidades nos Argissolos, por vezes estando presente em grande parte do Horizonte B. O caráter coeso, além de estar presente logo abaixo do A, atinge maior profundidade no Bt que nos Latossolos (Jacomine, 2001).

Os Argissolos são quimicamente são semelhantes aos Latossolos, ou seja, são ácidos a fortemente ácidos, com predomínio de solos álicos e distróficos. A presença de solos eutróficos foi registrada no Sertão de Pernambuco e na região do Médio Jequitinhonha em Minas Gerais. Na mineralogia das frações areia (fina e grossa) e no que tange à mineralogia da argila, os solos são também similares aos Latossolos, ou seja, há um predomínio quase exclusivo de quartzo na areia, sendo a fração argila constituída quase totalmente por caulinita (Jacomine, 2001).

Os solos desse domínio possuem limitações de natureza química e física para a exploração agrícola, pois geralmente apresentam baixa fertilidade natural, aumento da acidez com a profundidade, caráter álico ou distrófico, baixa CTC, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, embora sejam profundos, o aparecimento de horizontes coesos causa redução da profundidade efetiva, esses atributos podem contribuir para uma baixa produtividade de culturas, em condições naturais (Jacomine, 1996; Ribeiro, 1996; Souza, 1996; Ribeiro, 1998).

## **2.4 Horizontes com caráter coeso**

O termo coeso é usado para distinguir horizontes subsuperficiais adensados, de textura média, argilosa ou muito argilosa, sem uma organização estrutural visível, não apresentando a quebradicidade dos fragipãs, mas sim uma lenta deformação, quando submetidos à compressão. Em condições naturais, estes horizontes são encontrados entre 30 e 70 cm, apresentando densidade mais elevada que a dos horizontes subjacentes e subjacente (Ribeiro, 2001).

Os horizontes com caráter coeso apresentam características limitantes que dificultam o crescimento das raízes, restringem a dinâmica da água e do ar, diminuem a respiração radicular, contribuem para o surgimento da zona saturada e alteram a produtividade agrícola (Souza et al., 2008).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) estabelece que os solos com caráter coeso, apresentam horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca ou martelo pedológico e que se apresentam como duros a extremamente duros quando secos, passando de friáveis a firmes quando úmidos. Esses horizontes, em condições naturais, são de textura média, argilosa ou muito argilosa, apresentam uma fraca organização estrutural, e na maioria das vezes, maciços ou com tendência a formação de blocos. O caráter coeso é geralmente observado, compreendendo AB e/ ou BA, entre 30 cm e 70 cm da superfície do solo, podendo estender-se até o Bw ou Bt, no todo ou em parte.

O horizonte com caráter coeso comumente é encontrado abaixo do A, mas pode também ser encontrado mais superficialmente, em decorrência da erosão sofrida pelo horizonte que se encontrava acima dele. O caráter coeso diferencia-se do fragipã por, em vez de por uma lenta deformação, desintegrar-se instantaneamente em partículas menores. A

saturação por bases é baixa ( $V < 50\%$ ), e o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (pelo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) é menor que 8% e a relação (Ki) é 1,7 ou maior, isto é, são caulíníficos (Jacomine, 2001).

Apesar dos estudos de identificação dos solos coesos, ainda há dificuldade na distinção entre solos coesos e não coesos, principalmente em condições de campo, quando a identificação inicial é feita por pedólogos, por intermédio da análise morfológica do perfil, sendo necessária a observação de uma trincheira com solo seco para examinar a consistência dura a extremamente dura (Lima et al., 2004).

A gênese dos horizontes com caráter coeso ainda não foi completamente explicada. Contudo, estudos mostram que ocorre de forma natural e que pode estar associada a diferentes processos tais como: granulometria dos solos, processos de translocação de argila, ação de agentes cimentantes orgânicos e inorgânicos, forte instabilidade estrutural, perda do plasma argiloso das camadas superficiais do solo para as camadas subjacentes e adensamento por dessecação, proveniente da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (Ribeiro, 1986; Duarte, 2015).

Os horizontes com caráter coeso comumente apresentam macroporosidade relacionada à atividade biológica, sendo os poros menores de difícil observação; são raras as raízes que aparecem no interior desses horizontes, e as que conseguem adentrar encontram-se mortas; pode-se verificar uma combinação estrutural fragmentar, com existência de estrutura do tipo blocos subangulares, quase sempre relacionados a pequenas concreções de material orgânico proveniente da decomposição das raízes ou atividade biológica; geralmente é possível constatar, ainda com muita dificuldade e uso de lentes, a presença de microestrutura soldada como uma colméia de abelha (Ribeiro, 1991).

Em decorrência da falta de agregação nos horizontes com caráter coeso, a coleta de amostras com estruturas preservadas, ou mesmo o exame do perfil, torna-se bastante difícil, quando seco. A retirada de torrões é dificultada devido à ausência de penetração da faca e do martelo, só permitindo a retirada de fragmentos finos e superficiais. Os perfis mais argilosos apresentam poucos e pequenos fendilhamentos, que podem facilitar a coleta de torrões e por onde penetram algumas raízes (Ribeiro, 2001).

Os horizontes com caráter coeso dos solos de Tabuleiros apresentam consistência muito dura e firme, na maioria dos casos não apresentando agregados, a não ser em alguns casos relacionados à atividade biológica, quando exhibe uma estrutura maciça, quebrando-se em fragmentos angulosos. Por isso, dificultam a infiltração e a circulação de compostos, gerando um lençol de água suspenso onde águas excedentes ascendem e escoam superficialmente do solo levando argilas dispersas, ocasionando um processo de

empobrecimento em argilas nos horizontes superficiais. O lençol suspenso é possivelmente o responsável pela presença das manchas discretas, relacionadas a um processo de pseudogley, comumente visualizadas nos horizontes superficiais e topo do horizonte com caráter coeso (Ribeiro, 2001).

A camada coesa de natureza genética é típica dos Latossolos e Argissolos, geralmente apresenta expressão máxima entre 20 e 100 cm de profundidade, podendo alcançar espessuras muito maiores. Essa camada, em condições naturais, é uma zona do perfil com maior densidade e dureza em relação às demais camadas. Tal característica sugere que a conservação de umidade das terras é importante, não apenas como um fator de produtividade das culturas, mas também como um condicionamento na redução da resistência física à penetração de raízes. A expressão máxima da coesão, portanto, é observada no material seco e em geral ocorre nos solos mais argilosos. A densidade média da camada coesa situa-se na faixa de 1,5 a 1,8 g cm<sup>-3</sup>, enquanto nos horizontes superficiais, em condição natural, varia 1,2 a 1,48 g cm<sup>-3</sup> (Araújo Filho et al., 2001).

A principal diferença morfológica entre o material coeso e o cimentado, é que o coeso se torna friável quando úmido, enquanto o cimentado permanece firme e extremamente firme, ou pode apresentar ruptura súbita, sob pressão, dependendo do grau e natureza da cimentação. Entre o coeso (adensado) e o compactado, o primeiro tem natureza genética e o segundo, decorre do manejo do solo (Araújo Filho et al., 2001).

A sociedade Brasileira de Ciência do Solo adota como conceito para adensamento “redução natural do espaço poroso e conseqüente aumento da densidade de camadas ou horizontes do solo por dessecação, iluviação ou precipitação química”; e já o termo compactação é usado para caracterizar a compacidade provocada por forças mecânicas externas como trânsito de máquinas e pisoteio de animais (Curi, 1993). Ao referir-se ao adensamento como um processo natural, ou seja, pedogenético, de imediato diferencia-se do fenômeno de compactação, que resulta da ação antrópica, embora os efeitos de ambos no solo sejam muito semelhantes, em termos de alterações estruturais, de restrição à dinâmica da água no perfil e, finalmente, em relação ao comportamento das plantas (Souza et al., 2001).

Nos solos com B textural o adensamento atinge comumente profundidades maiores. Em solos cultivados, a coesão se prolonga para os horizontes superficiais A e AB, em decorrência de processos de compactação. Os horizontes com caráter coeso têm textura franco-argilo-arenosa ou mais fina, sendo o grau de coesão proporcional ao aumento do teor de argila. Tem coloração geralmente bruno-amarelada, tendendo muitas vezes a cores pálidas, bruno-amarelado claro, bruno claro acinzentado e de cores mais pálidas, presença de

mosqueados pequenos, bruno forte, ao redor de poros e canais de raízes, refletindo a baixa aeração durante o período chuvoso (Ribeiro, 2001).

Os horizontes com caráter coeso apresentam características que impulsionam alterações complexas nas propriedades físicas e químicas do solo, na disponibilidade de água para as plantas, na distribuição do sistema radicular, podendo ocasionar zonas temporárias de encharcamento ou de ressecamento, deixando o sistema radicular das plantas em condições de má oxigenação, no período de chuvas e na estação seca, muitas vezes, em completa ausência de água (Cintra, 2001).

Estudos realizados por Vieira et al. (2012) evidenciaram que os horizontes com caráter coeso apresentam valores de resistência à penetração significativamente superiores aos horizontes sem o referido caráter, a partir do que puderam inferir que o caráter coeso se apresenta sob condições naturais, através de processos pedogenéticos.

A gênese do horizonte com caráter coeso está relacionada com a cimentação fraca e temporária de compostos amorfos, que compreende a presença de sílica. A sílica amorfa por ser mais solúvel que a sílica cristalina, pode ser mais atuante na cimentação os solos. Quanto aos aspectos micromorfológicos, a sílica responsável pela cimentação está presente na forma de linhas ou ramos, preenchendo os microporos e nas extremidades das superfícies dos poros maiores (Ribeiro, 2001).

Segundo Vieira et al. (2012), analisando a influencia de componentes amorfos na gênese de horizontes com caráter coeso no estado do Ceará, houve redução significativa da resistência à penetração após a extração de componentes amorfos, evidenciando que esses compostos atuam como agentes cimentantes em horizontes com caráter coeso.

Ribeiro (1986) relacionou a coesão com a presença de sílica, pseudo cristalinizada, também denominada de pseudo amorfa, que se apresenta na forma de linhas ou ramos agregando-se as estruturas de poros maiores e preenchendo os microporos. Esse material geralmente apresenta coloração esbranquiçada, que pode chegar a levemente amarelada. Estudos de Araújo Filho et al. (2001) comprovaram a presença de materiais sílico-aluminosos impregnados à matriz caulínica, possivelmente, influenciando na formação de horizontes com caráter coeso.

A importância da matéria orgânica nos processos pedogenéticos em solos com horizontes com caráter coeso foi evidenciada por Ribeiro (1998), considerando que os compostos leves ou pouco humificados, assim como os ácidos fúlvicos, muitas vezes dominante entre os compostos humificados, atacam quimicamente os argilominerais, provocando a liberação da sílica, do alumínio e do ferro. O autor acredita também que os altos

teores de argilas dispersas em águas podem estar relacionados ao ataque de substâncias orgânicas às micelas argilosas.

Araújo Filho et al. (2001) com base em resultados obtidos, a sílica e outros aluminossilicatos, no período de secamento do solo, atuam como agentes cimentantes ou de endurecimento nos horizontes de baixa permeabilidade. Concluíram ainda, que o excesso de sílica ou alumínio encontrado nas microanálises, deve influenciar no endurecimento temporário de horizontes com caráter coeso, considerando o grau de umidade do solo. O período seco é o intervalo em que a sílica ou outros compostos sílico-aluminosos apresentam-se precipitados, estabelecendo a fase de mais alta expressão do caráter coeso.

Para Ribeiro (2001), somente a quantidade de sílica presente em horizontes coesos não é suficientes para determinar a ocorrência do caráter coeso; contudo é preciso considerar também a qualidade do material, como também a associação com outros componentes minerais ou orgânicos, a variação nas formas como ocorrem, os elementos químicos presentes, poderão ser mais determinantes para a manifestação desse caráter.

## **2.5 Resistência tênsil: relação com atributos físicos**

A resistência tênsil dos agregados é explicada como sendo a força ou estresse por unidade de área necessária para causar a ruptura dos agregados; pode ainda ser definida como a força de compressão ou de tração necessária para que o solo se desagregue (Dexter & Watts, 2000).

Dexter & Kroesbergen (1985) observaram que a resistência tênsil é notadamente uma medida bastante utilizada para mensurar a resistência individual dos agregados do solo, por ser um indicador muito sensível da condição estrutural do solo, e ser determinada por um teste simples em grande variedade de tamanhos de agregados. A resistência tênsil revela o ordenamento dos agregados na estrutura do solo, de maneira que o rompimento dos agregados maiores ocorre nos planos de fraqueza derivados das fissuras e microfissuras que formam áreas de menor resistência

A resistência tênsil de agregados pode ser utilizada como um sinalizador da qualidade física do solo e estabilidade estrutural do solo. É influenciada por vários fatores como: ciclos de umedecimento e secagem, composição química do solo, conteúdo de argila, concentração da solução do solo, teor de matéria orgânica, entre outros (Rahimi et al 2000).

Utomo & Dexter (1981) concluíram que a resistência tênsil do solo é influenciada por vários fatores: umidade, teor de argila dispersa em água e composição da solução do solo.

O caráter coeso é um atributo diagnóstico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), que é designado como um estado de coesão do solo que aparece sem cimentação visível quando seco e diminui ou desaparece quando o solo se encontra úmido. A resistência tênsil apresenta-se como uma alternativa na mensuração do caráter coeso do solo, como descreveu Dexter & Kroesbergen (1985).

Segundo Giarola et al. (2003) existem diferenças relevantes entre solos coesos e solos não coesos. Os solos com comportamento coeso apresentam elevada resistência, que ocorre em virtude das ligações dos grãos de areia por argila e silte, mantendo uma considerável rigidez. Essa resistência durante o secamento ocasiona fortes limitações físicas em relação ao preparo e desenvolvimento de culturas.

Estudos realizados por Giarola et al. (2003) na Bahia permitiram concluir que as propriedades físicas analisadas foram influenciadas pelos valores relacionados a resistência tênsil, resistência do solo à penetração e densidade do solo, sendo responsáveis pela diferenciação entre solos com e sem caráter coeso.

Para Ferreira et al (2009), a resistência tênsil do solo serve como indicador dos resultados do manejo na qualidade do solo, em consequência do efeito dos processos físicos e mecânicos relacionados a utilização dos solos, como a formação de crostas superficiais, preparo, penetração radicular, entre outros.

Os horizontes com caráter coeso parecem ter sua gênese influenciada pela má seleção da fração areia. Para Abrahão et al. (1998), estudos das características da distribuição de frequência de tamanho de grãos de areia podem contribuir para explicar a ocorrência de adensamento do solo.

Estudos realizados por Abrahão et al. (1998) concluíram que os horizontes subsuperficiais que apresentam areia mal selecionada, ou seja, areia que apresenta grande variação no tamanho das partículas, e elevado teor de partículas menores são mais propensas ao acúmulo de argila, considerando a elevada compactação da combinação das partículas da fração areia, quando comparados aos horizontes superficiais que possuem maior teor de material grosseiro que estão mais susceptíveis à eluviação e apresentam também areia mais bem selecionada.

Estudos realizados por Corrêa et al. (2008) indicam que em Argissolos de clima seco, a maior coesão está relacionada à granulometria menos argilosa desses solos e maior proporção de translocação de argila.

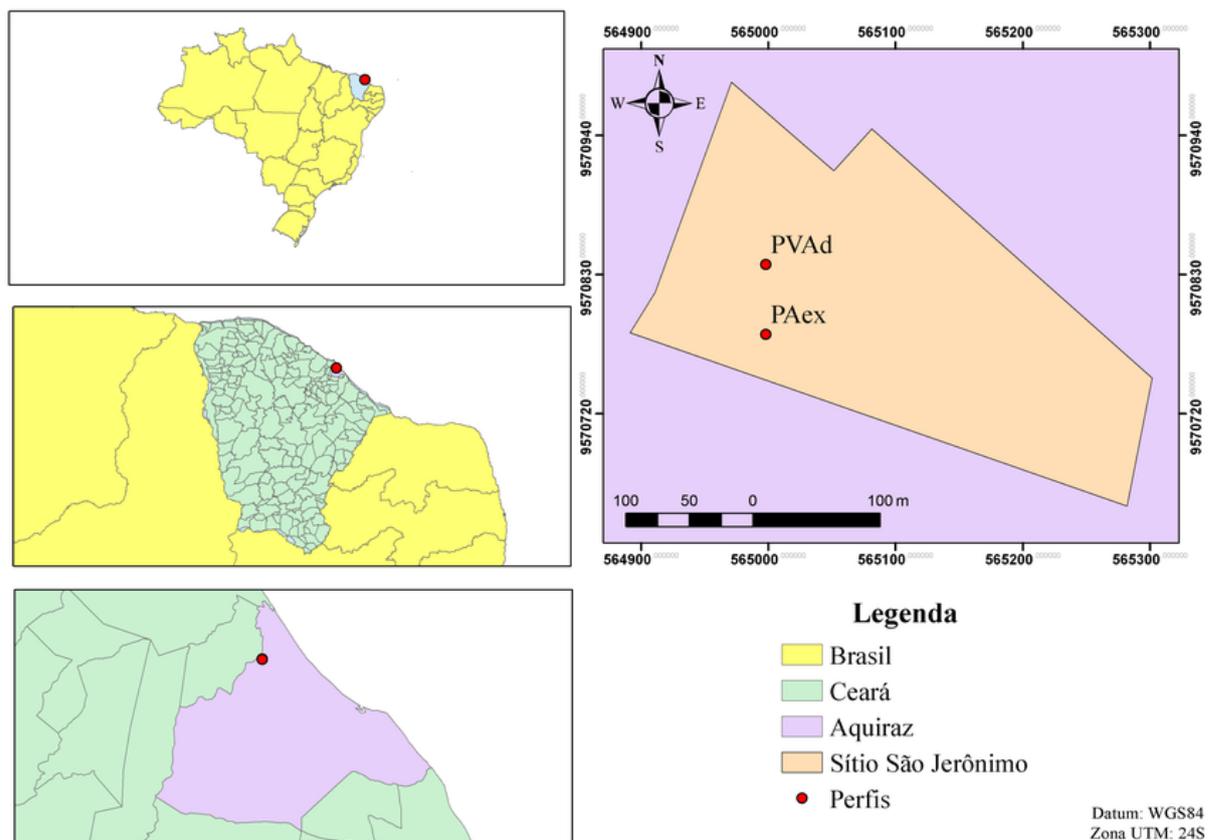
Para Almeida (2008) a resistência tênsil tem sido aplicada para mensurar o resultado do adensamento natural dos horizontes coesos. Para Souza (1996) as camadas adensadas podem estar relacionadas com a dominância das fra es de areias mais finas

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta e análises dos solos

Os dois solos em que foram realizadas as coletas (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico – PVAd; Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico – PAex) estão localizados no Município de Aquiraz, estado do Ceará (Figura 3), em área de Tabuleiro Costeiro, cujas descrições morfológicas estão apresentadas nos ANEXOS I e II. O critério para a seleção dos referidos solos foi de que, necessariamente, pelo menos um horizonte apresentasse caráter coeso.

Figura 2 - Mapa do Brasil, do estado do Ceará, do Município de Aquiraz, da Fazenda São Jerônimo e localização do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd) e Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico (PAex).



Em cada solo foram selecionados os horizontes Bt com e sem caráter coeso, nos quais foram coletados blocos com dimensão de 15 x 20 x 10 cm de largura, comprimento e

altura, respectivamente. Em cada horizonte a coleta dos blocos se deu de modo a abranger o topo, o centro e a base do horizonte (Figuras 4 e 5).

Figura 3 - Detalhe da coleta no Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico – PAex.



Figura 4 - Detalhe da coleta no Argissolo Amarelo Eutrocoeso Abruptico – PAex, com indicação das posições meio e base.



Os blocos, ainda em campo, foram envoltos em filmes plásticos. Em laboratório, após secagem ao ar, cada bloco foi colocado em bandeja forrada com esponja (2 mm de

espessura, aproximadamente) e umedecidos por água, por capilaridade, até aproximadamente a capacidade de campo. Atingida essa condição, as amostras foram subdivididas em agregados (considerando a situação da estrutura nos horizontes Bt sem o caráter coeso) ou torrões (considerando a situação da estrutura maciça nos horizontes Bt com caráter coeso) pela aplicação de uma força mínima, contudo suficiente para separá-los pelos seus pontos de fraqueza. Essa partição manual foi realizada até que os agregados/torrões passassem em peneira com abertura da malha de 25 mm, porém contidos em peneira com abertura da malha de 19 mm (Almeida, 2008).

Os agregados/torrões foram postos ao ar por 36 horas, para secagem e homogeneização do teor de água, e, em seguida, foram postos em estufa a 60 °C por 24 horas, (Figueiredo et al. 2011). Concluído este procedimento, os agregados/torrões foram colocados em temperatura ambiente por 24 h e, em seguida, foram realizados os ensaios de resistência tênsil a partir de um atuador eletrônico linear a uma velocidade constante de 0,03mm s<sup>-1</sup> (Tormena et al., 2008). Foram considerados 90 agregados/torrões por horizonte (30 do topo, 30 do centro e 30 da base do horizonte), totalizando 180 agregados/torrões por perfil de solo estudado. Para compor uma repetição (pela necessidade de uma quantidade suficiente de TFSA para a realização das análises físicas) foram considerados seis agregados/torrões, sendo considerada a média aritmética dos dados obtidos para definir o valor da repetição. Neste caso, a partir dos 30 agregados/torrões foram definidos cinco grupos, cada um constituído por seis agregados/torrões, e, por conseguinte, totalizando cinco repetições.

Anteriormente ao ensaio de resistência tênsil, cada agregado/torrão de solo teve sua massa calculada em balança analítica, em temperatura ambiente. O agregado/torrão foi individualmente colocado na posição mais estável entre duas placas metálicas: uma inferior, fixa à base do equipamento, e outra superior móvel que liga à extremidade da célula de carga do atuador eletrônico linear, com capacidade de 20 kgf. O valor da carga empregado para a ruptura tênsil foi inscrito por um sistema eletrônico de aquisição de dados. Depois de cada procedimento de ruptura, uma porção da amostra do agregado/torrão teve sua massa mensurada em balança analítica e, posteriormente, foi submetida à secagem em estufa a 105 °C por 48 horas, e calculado o teor de água no agregado/torrão de solo. Com o que restou da amostra do agregado/torrão foram realizadas análises de granulometria e fracionamento das areias.

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

$$1. RT = (0,576 P)/D^2 10^3),$$

em que  $RT$  é a resistência tênsil de agregados/torrões (kPa),  $0,576$  a constante de proporcionalidade da relação entre o estresse compressivo aplicados e o estresse tênsil gerado no interior do agregado/torrão,  $P$  a força aplicada (N), e  $D$  o diâmetro efetivo do agregado/torrão (m). O diâmetro efetivo do agregado torrão foi mensurado pela equação (Watts; Dexter, 1998)

$$2. D = D_m (M/M_o)^{0,333},$$

sendo  $D_m$  o diâmetro médio dos agregados/torrões  $[(25 + 19)/2]$ , em mm], explicado pela média dos tamanhos da abertura das peneiras,  $M$  a massa (g) do agregado/torrão individual seco a  $105\text{ }^\circ\text{C}$ , e  $M_o$  a massa (g) média 90 dos agregados/torrões de cada horizonte secos a  $105\text{ }^\circ\text{C}$ .

Com relação à granulometria, a quantificação da fração argila foi realizada pelo método da pipeta, a fração areia por tamisamento, e silte pela diferença entre o total da amostra de terra fina seca em estufa e o somatório de areia e argila (Gee & Or, 2002). O hidróxido de sódio (NaOH) 1 N foi utilizado para a dispersão química das partículas. O fracionamento da areia se deu em quatro classes de tamanho ( $\leq 2\text{ mm}$  a  $> 1\text{ mm}$  - muito grossa;  $\leq 1\text{ mm}$  a  $> 0,5\text{ mm}$  - grossa;  $\leq 0,5\text{ mm}$  a  $> 0,25\text{ mm}$  - média; e  $\leq 0,25\text{ mm}$  a  $> 0,075\text{ mm}$  - fina e muito fina), de acordo com a classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA.

Os dados da distribuição granulométrica da fração areia foram trabalhados estatisticamente por meio do programa de microcomputador PHI, desenvolvido por Jong van Lier e Vidal -Torrado (1992), o qual faz uso de padrões estatísticos de Folk e Ward (1957). No programa PHI, os dados de entrada correspondem às porcentagens absolutas de cada fração granulométrica na amostra e seu correspondente diâmetro na escala phi [ $\phi = -\log_2 D$  (mm)]. Com a transformação dos diâmetros das classes em mm para escala phi, tem-se  $\phi$  de  $\leq 2$  a  $> 1\text{ mm} = \phi$  de  $\leq -1$  a  $> 0$ ;  $\phi$  de  $\leq 1$  a  $> 0,5\text{ mm} = \phi$  de  $\leq 0$  a  $> 1$ ;  $\phi$  de  $\leq 0,5$  a  $> 0,25\text{ mm} = \phi$  de  $\leq 1$  a  $> 2$ ;  $\phi$  de  $\leq 0,25$  a  $> 0,105\text{ mm} = \phi$  de  $\leq 2$  a  $> 3,32$  e  $\phi$  de  $\leq 0,105$  a  $> 0,053\text{ mm} = \phi$  de  $\leq 3,32$  a  $4,32$ .

### 3.2 Análise dos dados

Os dados de cada perfil de solo foram analisados, considerando o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 3$  (dois solos, dois graus de coesão: Bt com e sem caráter coeso, e três posições no perfil: topo, centro e base, com cinco repetições.

Foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para averiguação da normalidade, ao teste F para a análise de variância, e ao teste de Tukey para a comparação de médias, todos a 5% de probabilidade.

A relação entre a resistência tênsil e cada um dos demais atributos físicos (frações areia, silte e argila), considerando todos os dados obtidos, foi mensurada a partir de análises de regressão (considerando o modelo de regressão linear) e de correlação, sendo empregado o teste t, a 5% de probabilidade, para avaliar a significância dos coeficientes angular (b) e de correlação (r).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise granulométrica, especificamente da fração areia (Tabela 1), evidenciaram que em todos os horizontes (com e sem caráter coeso) a fração areia foi predominante, definindo com as frações silte e argila a textura franco-argilo-arenosa nos horizontes Bt1 e Bt2 do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico (PVAd) e textura argilo-arenosa nos horizontes Bt1 e Bt2 do Argissolo Amarelo Eutrocoeso Abrúptico (PAex). Estudos de Corrêa et al. (2008) encontraram resultados semelhantes, indicando que os horizontes coesos normalmente apresentam classes texturais franco-arenosa, franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa.

A análise estatística dos dados indicou que em geral não há diferença significativa para a fração areia desde o topo até a base dos horizontes, exceção apenas para o horizonte Bt2 sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd), cujo teor na porção central do horizonte foi inferior ao observado no topo e base, o que fez com que a média geral para os horizontes sem caráter coeso, bem como de todos os horizontes. Verificou-se também diferença significativa para os teores de areia entre os horizontes com e sem caráter coeso em cada solo analisado, entretanto sem um padrão de o sem caráter coeso ser mais arenoso que o com caráter coeso, e vice-versa, evidenciando que não houve diferença, pois de seis pares de dados apenas dois pares diferiram, o que permite inferir que a coesão não depende necessariamente do teor de areia no horizonte, mas de outros atributos a ela relacionados, como a má seleção das partículas de areia. Além disso, não houve diferença significativa para a fração areia entre os horizontes coeso e não coeso no conjunto dos solos analisados.

Estudos de Corrêa et al. (2008) indicam que Argissolos Amarelos de climas secos apresentam maior coesão quando comparados a outros solos nas mesmas condições climáticas, sendo esses resultados relacionados à granulometria menos argilosa dos solos estudados e à alta quantidade de translocação de argila

Tabela 2 - Fração areia nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).

Solo	Horizonte	Posição no horizonte			Média do Bt	Média dos Bt
		Topo	Meio	Base		
		----- % -----				
PVAd	Bt1 com caráter coeso	65,0 aA	65,0 aA	64,6 aA	64,9 A	63,6 B
	Bt2 sem caráter coeso	63,2 aA	58,2 bB	65,8 aA	62,4 B	
PAex	Bt1 com caráter coeso	72,2 aB	73,8 aA	73,4 aA	73,1 B	74,3 A
	Bt2 sem caráter coeso	76,8 aA	74,6 aA	75,2 aA	75,5 A	
Média de posições nos horizontes		69,3 ab	67,9 b	69,8 a		
Média nos horizontes coesos		68,6 aA	69,4 aA	69,0 aA	69,0 A	
Média nos horizontes não coesos		70,0 aA	66,4 bB	70,5 aA	69,0 A	
Coeficiente de variação (%)					2,7	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, dentro de cada perfil de solo e nos demais casos, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao silte (Tabela 2), percebe-se que nos horizontes com caráter coeso não há diferença significativa dos teores desde o topo até a base, enquanto que para os não coesos há aumento no sentido do topo à base. A explicação para o relatado deve levar em consideração que o silte é uma partícula pequena (desde 53  $\mu\text{m}$  até maior que 2  $\mu\text{m}$  de diâmetro) e muito móvel no solo. Como os horizontes sem caráter coeso são mais porosos, a tendência é que o silte seja deslocado pela água no solo e se deposite com acúmulo desde a base até o topo. No caso dos horizontes com caráter coeso, por serem menos porosos, a migração do silte se torna mais dificultada e, provavelmente, com o tempo, a tendência é de seu acúmulo no topo.

Tabela 3 - Fração silte nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).

Solo	Horizonte	Posição no horizonte			Média do Bt	Média dos Bt
		Topo	Meio	Base		
		----- % -----				
PVAd	Bt1 com caráter coeso	6,0 aA	5,0 aB	5,2 aB	5,4 B	6,4 A
	Bt2 sem caráter coeso	6,2 bA	7,0 bA	8,8 aA	7,3 A	
PAex	Bt1 com caráter coeso	4,8 aB	5,8 aB	5,4 aB	5,3 B	6,4 A
	Bt2 sem caráter coeso	6,2 bA	9,2 aA	7,2 bA	7,5 A	
Média de posições nos horizontes		5,8 b	6,8 a	6,7 a		
Média nos horizontes coesos		5,4 aB	5,4 aB	5,3 aB	5,4 B	
Média nos horizontes não coesos		6,2 bA	8,1 aA	8,0 aA	7,4 A	
Coeficiente de variação (%)					13,1	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, dentro de cada perfil de solo e nos demais casos, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto à fração argila, Tabela 3, constatou-se não haver um padrão de distribuição dentro do horizonte com e sem caráter coeso, evidenciando também que a fração argila sozinha não é responsável por imprimir o caráter coeso em horizontes do solo, embora, em média, o teor de argila nos horizontes com caráter coeso tenha sido significativamente superior àquele dos horizontes sem caráter coeso no conjunto dos solos estudados.

Com relação ao fracionamento das areias, observou-se para todos os horizontes investigados, e nas três posições nos horizontes (topo, meio e base) o predomínio de areia média, seguido, pela ordem, de areia fina e muito fina na mesma classe, areia grossa e areia muito grossa (Figura 6). Estudos realizados por Abrahão et al. (1998) evidenciaram que o aumento do teor de areia fina contribui para um ajuste mais compactado das partículas, causando aumento no adensamento em solos oriundos de sedimentos da Formação Barreiras.

Tabela 4 - Fração argila nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).

Solo	Horizonte	Posição no horizonte			Média do Bt	Média dos Bt
		Topo	Meio	Base		
		----- % -----				
PVAd	Bt1 com caráter coeso	28,8 aB	30,0 aB	30,2 aA	29,7 A	29,7 A
	Bt2 sem caráter coeso	30,6 bA	35,2 aA	23,2 cB	29,7 A	
PAex	Bt1 com caráter coeso	23,0 aA	20,8 bA	21,2 bA	21,7 A	19,2 B
	Bt2 sem caráter coeso	16,8 aB	16,0 aB	17,4 aB	16,7 B	
Média de posições nos horizontes		24,8 a	25,5 a	23,0 b		
Média nos horizontes coesos		25,9 aA	25,4 aA	25,7 aA	25,7 A	
Média nos horizontes não coesos		23,7 bB	25,6 aA	20,3 cB	23,2 B	
Coeficiente de variação (%)		4,3				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, dentro de cada perfil de solo e nos demais casos, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando o grau de seleção das partículas areia (Folk; Ward 1957) na Tabela 4, observa-se que nos horizontes com e sem caráter coeso do Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupto (PAex) a distribuição da fração areia por tamanho levou a que em sua totalidade fosse classificado como moderadamente selecionado; já no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd), no horizonte com caráter coeso, houve predomínio no topo e meio de areias pobremente selecionadas, e de areias moderadamente selecionadas na base. No que diz respeito ao horizonte sem caráter coeso, este apresentou predomínio de areias moderadamente selecionadas no topo e meio, com a base sendo constituída por areias pobremente selecionadas.

Figura 5. Distribuição das areias nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex). Valor phi ( $\phi$ ) de -1,00 a 0 (areia muito grossa); de 0 a 1,00 (areia grossa); de 1,00 a 2,00 (areia média); de 2,00 a 4,24 (areia fina e muito fina).

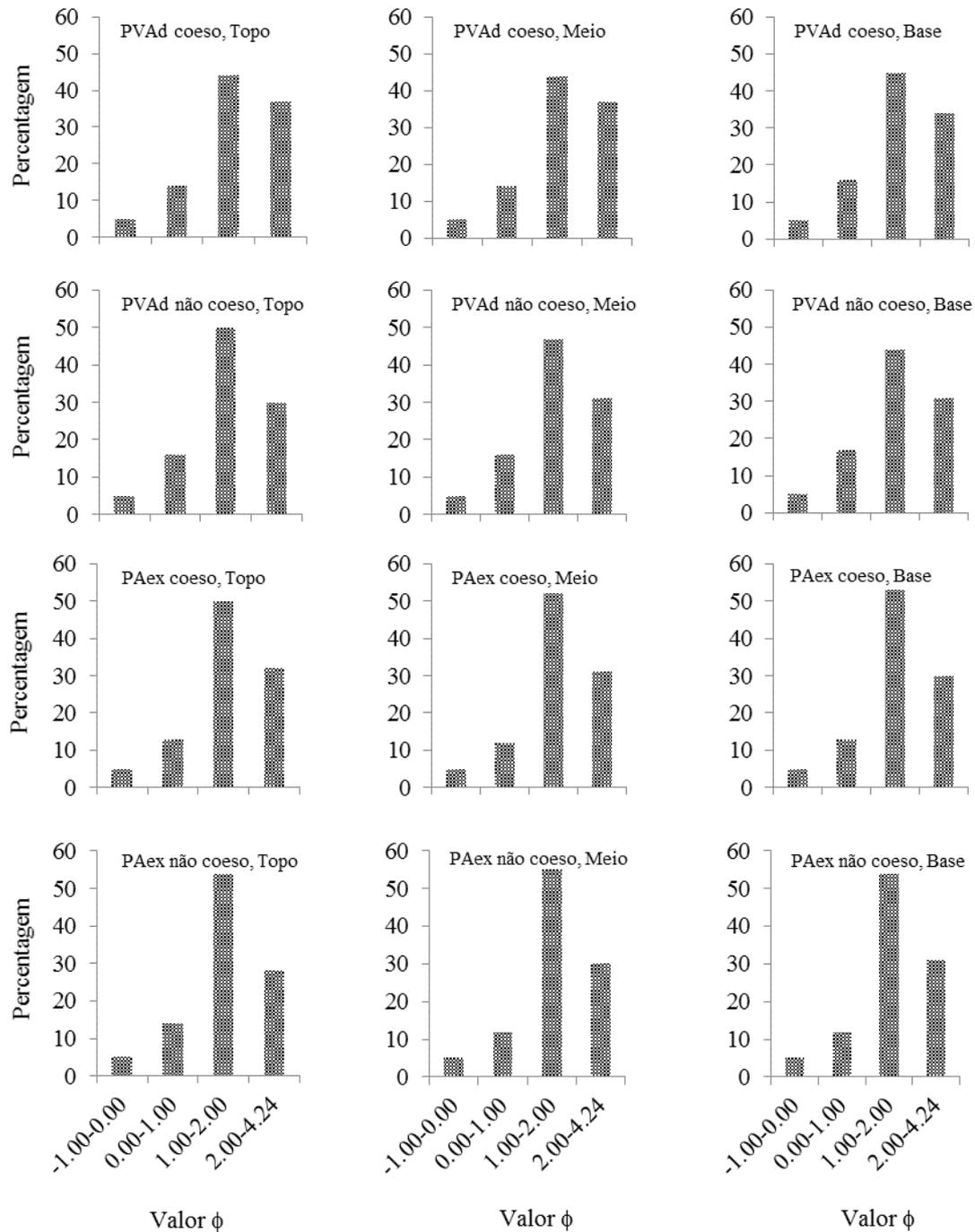


Tabela 5 - Parâmetros estatísticos para a distribuição da fração areia ( $\mu \pm$  desvio padrão) e grau de seleção segundo Folker e Ward (1957) para horizontes com e sem caráter coeso.

Perfil	Horizonte	Posição	$\phi$ ( $\mu \pm$ desvio-padrão)	Grau de seleção das areias
PVAd	Bt1 com caráter coeso	Topo	$1,772 \pm 1,001$	Pobrememente selecionado
		Meio	$1,683 \pm 1,031$	Pobrememente selecionado
		Base	$1,707 \pm 0,998$	Moderadamente selecionado
	Bt2 sem caráter coeso	Topo	$1,677 \pm 0,935$	Moderadamente selecionado
		Meio	$1,668 \pm 0,975$	Moderadamente selecionado
		Base	$1,595 \pm 1,049$	Pobrememente selecionado
PAex	Bt1 com caráter coeso	Topo	$1,729 \pm 0,954$	Moderadamente selecionado
		Meio	$1,739 \pm 0,911$	Moderadamente selecionado
		Base	$1,724 \pm 0,925$	Moderadamente selecionado
	Bt2 sem caráter coeso	Topo	$1,699 \pm 0,885$	Moderadamente selecionado
		Meio	$1,759 \pm 0,861$	Moderadamente selecionado
		Base	$1,771 \pm 0,869$	Moderadamente selecionado

Esses resultados corroboram a hipótese de Abrahão et al. (1998), quando presumiram que um dos fatores responsáveis pelo adensamento do solo é a má seleção das partículas areia, provocando maior adensamento e facilitando o arranjo mais compacto das partículas. Para estes autores, estudos das características da distribuição da frequência de tamanho da fração areia facilitam o entendimento dos fenômenos de adensamento, com também de outros atributos do solo como densidade e compacidade.

Análises estatísticas realizadas por Abrahão et al. (1998) evidenciaram que a boa distribuição granulométrica em solos com horizontes com caráter coeso favorece o adensamento, e, conseqüentemente, a formação de horizontes coesos. Isso ocorre devido à eluviação de materiais finos oriundos de horizontes superficiais com areia mais bem selecionada e com maior teor de material grosseiro e da distribuição granulométrica.

Em estudos realizados por Abrahão et al. (1998) se concluiu que os horizontes superficiais apresentam melhor seleção de partículas, porque possuem maior quantidade de material grosseiro por estarem mais sujeitos à eluviação. Já os horizontes subsuperficiais, onde predomina areia mal selecionada e maior proporção de partículas finas, apresentam alta capacidade de acumulação de argila devido ao adensamento decorrente do arranjo da fração areia, com as areias mais finas preenchendo os espaços vazios deixados entre as partículas de areias mais grossas.

Segundo Harris (1971), existem dois modelos de arranjo de empacotamento, em que no primeiro modelo a estrutura é constituída por partículas esféricas de tamanhos semelhantes, apresentando um empacotamento aberto, e no segundo apresenta uma estrutura de partículas com distribuição gradual, com areia muito grossa, grossa, média, fina e muito

fina, em que essas partículas mais finas ocupam os espaços vazios entre as partículas maiores, podendo chegar a um estado de máxima densidade. Para o autor, os solos que apresentam partículas de diversos tamanhos manifestam contato maior entre partículas do que solos com partículas de tamanhos semelhantes.

Assim, no processo de adensamento se altera o arranjo das partículas do solo minimizando o volume dos poros e aumentando a densidade. Nesta pesquisa, as frações areia média, areia fina e muito fina observadas na areia total certamente contribuem para o adensamento e consequente coesão dos horizontes estudados, uma vez que se configura o segundo modelo de Harris (1971) com distribuição gradual de tamanho de partículas

Segundo Barbosa (2008), o fenômeno de empacotamento de partículas pode ser entendido como a seleção da proporção e do tamanho apropriado das partículas, em que os espaços vazios maiores são ocupados por grãos menores, e os demais espaços vazios são ocupados novamente por partículas ainda menores, e assim sucessivamente. Conclui-se que o material que possui poucos espaços vazios apresenta densidade de empacotamento máxima, mas essa condição só poderia ser alcançada na teoria, tendo em vista a irregularidade no formato das partículas, já que essas não são completamente esféricas.

Segundo Oliveira et al. (2000), a distribuição da granulometria pode ser contínua ou descontínua. A distribuição granulométrica descontínua pode ser definida como o intervalo com ausência de algum tamanho de partículas. A distribuição granulométrica contínua apresenta distribuição de tamanhos contínua em todo o seu prolongamento. Sendo assim, agregados com distribuição granulométrica contínua contribuem para maior densidade de empacotamento das partículas. Pela (Figura 6) a distribuição da fração areia não sofreu descontinuidade nos diâmetros avaliados, apesar da discrepância nos teores de cada fração por diâmetro em cada situação considerada.

Observa-se, portanto, que o tamanho das partículas influencia na porosidade do solo, passando a aumentar à proporção que o tamanho médio das partículas aumenta. No caso dos horizontes estudados nesta pesquisa, em todos eles há o domínio da fração areia média. Contudo, em situações com diversidade de tamanho de partículas, como nos horizontes em discussão, o arranjo de partículas resulta em redução da porosidade

Para Amaro Filho et al. (2008) as partículas do solo apresentam arranjo ou empacotamento diferenciados, o que influencia diretamente na porosidade. Nesse contexto, considerando que a porosidade total em ambos os solos estudados é 33 e 39%, respectivamente, para o horizonte com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, e 36 e 39%, respectivamente, para o horizonte com e sem caráter coeso do

Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrúptico (Menezes, 2016), é razoável presumir que o modelo de partículas de empacotamento fechado, em que partículas menores preenchem os espaços vazios deixados pelas partículas maiores, é o que melhor representa os solos com caráter coeso em estudo, uma vez que nesse modelo a porosidade é muito reduzida decorrente do maior adensamento do solo.

Lima (2004) inferiu que a origem dos horizontes Bt com caráter coeso no Ceará é motivada pela falta de uniformidade da composição granulométrica do solo, em que a fração areia apresenta mais de 60% do valor total, e desses 60%, 80% são formados por fração areia média e fina. Na fração areia dos horizontes em estudo houve dominância de frações média, fina e muito fina. Para Bezerra et al. (2015) parece haver influência de processo geogênicos na constituição de horizontes coesos, considerando o fato de em seu estudo terem encontrado material mal selecionado agrupado nas frações de areia fina e média.

Em estudo de Ribeiro et al. (2007) a concentração de areia nas frações média e fina também foi predominante. Ao analisar a distribuição de poros em diversas classes de solos encontraram diminuição na quantidade de poros vazios em classes de solos preponderantemente arenosas, podendo ser atribuído à estreita relação entre as partículas. Esse resultado corrobora os dados observados na Figura 6, com predomínio das frações de areia média e fina, confirmando a hipótese que a má seleção da fração areia contribui para o adensamento e aspecto maciço em horizontes com caráter coeso.

Observou-se que, consideradas as posições de coleta dentro de cada horizonte, existe diferença nos valores de resistência tênsil, seja em horizontes coesos ou não, exceção apenas para o horizonte Bt2 não coeso, do Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrúptico (PAex) (Tabela 5). Essa informação leva à sugestão de que é necessário definir em laboratório, em conjunto com a percepção de pedólogos, escala de resistência tênsil para a identificação de coesão em solos.

Em todas as situações avaliadas os agregados dos horizontes com caráter coeso apresentaram-se mais resistentes que os agregados dos horizontes sem caráter coeso, apresentando valor médio de 52,4 e 28,3 kPa, respectivamente, fato que, como dito anteriormente, não deve ser associado exclusivamente aos teores de areia, silte e argila – o confronto dos dados das Tabelas 2, 3 e 4 com os dados de resistência tênsil permite essa assertiva.

Estudos realizados por Lima (2004), os valores em agregado do horizonte com caráter coeso foram de 76,65 kPa e em agregados do horizonte sem caráter coeso foi de 18,88 kPa. Já em estudos realizados por Giarola et al. (2003) ao avaliar o comportamento físico de

solos com caráter coeso no estado da Bahia, encontraram valores de RT próximo a 37 kPa. Assim, fica evidente que a gênese do caráter coeso em solos depende de outros fatores além da granulometria e da própria textura do solo, como bem relataram Lima et al. (2005) em sua pesquisa.

Tabela 6 - Resistência tênsil de agregados/torrões nos horizontes Bt com e sem caráter coeso do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) e Argissolo Amarelo (PAex).

Solo	Horizonte	Posição no horizonte			Média do Bt	Média dos Bt
		Topo	Meio	Base		
----- kPa -----						
PVAd	Bt1 com caráter coeso	81,5 aA	61,6 bA	58,7 bA	67,3 A	53,6 A
	Bt2 sem caráter coeso	52,3 aB	38,8 bB	28,5 cB	39,9 B	
PAex	Bt1 com caráter coeso	50,3 aA	36,1 bA	26,1 cA	37,5 A	27,2 B
	Bt2 sem caráter coeso	17,3 aB	17,3 aB	15,8 aB	16,8 B	
Média de posições nos horizontes		50,4 a	38,4 b	32,3 c		
Média nos horizontes coesos		65,9 aA	48,8 aA	42,4 bA	52,4 A	
Média nos horizontes não coesos		34,8 aB	28,1 bB	22,2 bB	28,3 B	
Coeficiente de variação (%)				13,5		

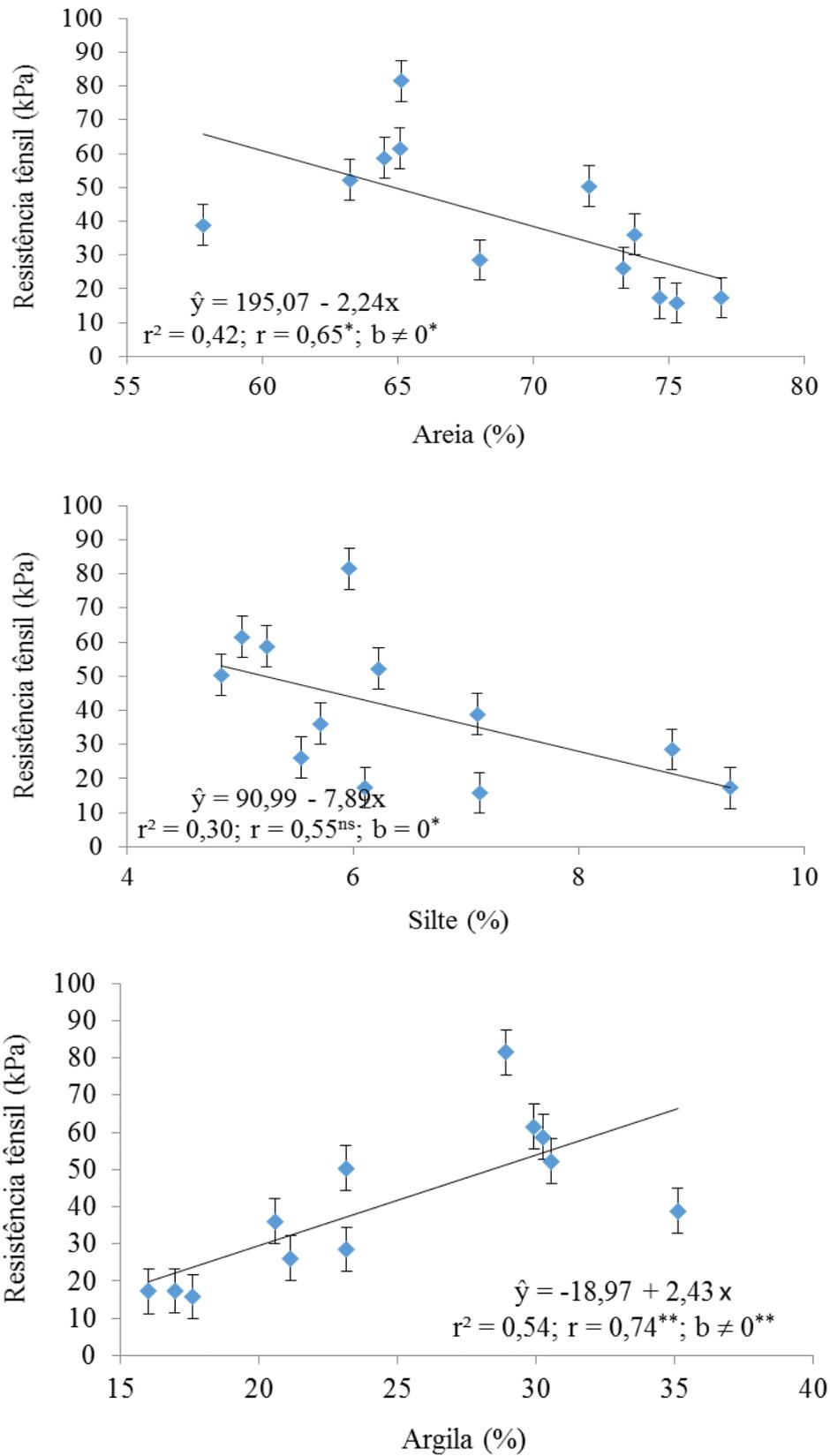
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, dentro de cada perfil de solo e nos demais casos, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de correlação entre resistência tênsil e fração areia (Figura 7) evidenciou ser de modo inverso ( $r = 0,65$ , com significância a 5%), isto é, com o aumento do teor de areia diminui a resistência tênsil do agregado/torrão, fato decorrente da areia ser uma partícula inerte, que não exhibe coesão, daí concorrer para definir estrutura em grãos simples. Além disso, a fração areia, por não apresentar cargas de superfície, não é capaz de realizar ligações com outras partículas e possui pequena superfície específica.

Com relação ao coeficiente angular, constatou-se que na função matemática  $\hat{y} = 195,07 - 2,24x$ , em que  $\hat{y}$  é a estimativa para a resistência tênsil em função da percentagem de areia  $x$ , ele é estatisticamente diferente de zero, ou seja, que a reta que representa a função linear não é paralela ao eixo das abscissas. Na prática, o não paralelismo significa que alterações no teor de areia provocam alterações significativas na resistência tênsil dos agregados/torrões do solo.

Constatou-se que o silte não apresentou contribuição significativa na resistência tênsil dos agregados/torrões, visto que o coeficiente de correlação não foi significativo a 5% e o coeficiente angular da função linear entre ambas as variáveis foi igual a zero. Provavelmente, o baixo teor dessa fração nos horizontes em estudo, com maior valor não atingindo 10%, foi o fato de não haver significância sobre a resistência tênsil.

Figura 6 - Relação das frações areia, silte e argila com resistência tênsil. As barras representam o erro-padrão da média.



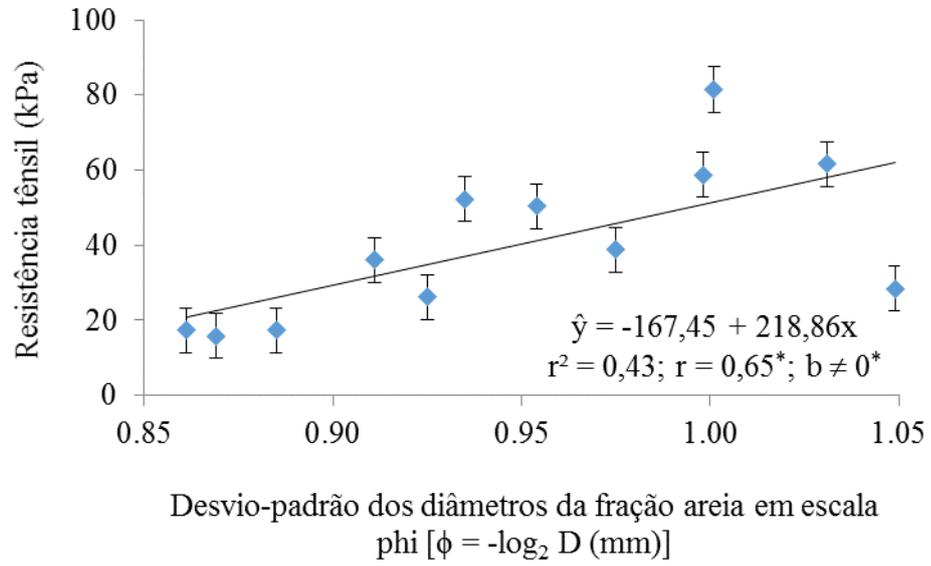
Na análise de correlação entre resistência tênsil e a fração argila ficou evidenciado que aumentando o teor de argila aumenta também a resistência tênsil ( $r = 0,74$ , significativo a 1%). Isso ocorre porque a argila apresenta cargas elétricas negativas que são responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC), facilitando assim a ligação entre partículas e a formação de agregados. Conseqüentemente, uma vez formado o agregado, a própria argila funciona como agente de cimentação/coesão e, obviamente, quanto maior o teor de argila maior a coesão do material quando seco.

Na função matemática  $\hat{y} = -18,97 + 2,43x$ , em que  $\hat{y}$  é a estimativa para a resistência tênsil em função da percentagem de argila  $x$ , ele é estatisticamente diferente de zero, ou seja, que a reta que representa a função linear não é paralela ao eixo das abscissas. Na prática, significa que alterações no teor de argila causam alterações significativas na resistência tênsil dos agregados/torrões do solo.

Em estudos realizados por Imhoff et al. (2002) os autores constataram que solos com elevados teores de argila tendem a apresentar maiores valores de resistência tênsil. Bartoli et al. (1992) observaram em suas análises executadas em solos do Brasil e da Índia, que os valores maiores de resistência tênsil foram encontrados em solos que apresentaram elevados percentuais de argila.

No tocante à correlação entre as variáveis desvio-padrão dos diâmetros de partículas na escala phi e resistência tênsil, Figura 8, constatou-se que é direta (com  $r = 0,65$ , significativo a 5%), isto é, quanto mais a fração areia apresentar variabilidade no tamanho dos grãos (areia mal selecionada), que se reflete no aumento do desvio-padrão dos diâmetros em escala phi, maior é a resistência tênsil dos agregados/torrões, uma vez que a conformação de partículas converge para empacotamento fechado. Quanto ao coeficiente angular da função  $\hat{y} = -167,45 + 218,86x$ , em que  $\hat{y}$  é a estimativa para a resistência tênsil em função do desvio-padrão dos diâmetros em escala phi  $x$ , ele é estatisticamente diferente de zero. Na prática, significa que alterações no desvio-padrão dos agregados em escala phi causam mudanças significativas na resistência tênsil dos agregados/torrões do solo, por apresentar variabilidade no tamanho dos grãos. Resultado semelhante foi observado por Bezerra et al. (2015) em outros solos coesos do estado do Ceará.

Figura 7 - Relação do desvio-padrão dos diâmetros da fração areia em escala phi ( $[\phi = -\log_2 D$  (mm)] com a resistência tênsil. As barras representam o erro-padrão da média.



## 5. CONCLUSÕES

As frações areia e argila influenciam na gênese do caráter coeso em solos. No tocante à fração areia, a má seleção de grãos concorre para empacotamento de partículas mais adensado, contribuindo significativamente para a coesão dos agregados/torrões.

Há variação significativa da resistência tênsil no horizonte do solo. Para o conjunto de horizontes estudados o decréscimo da resistência tênsil se deu do topo em direção à base.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; MELLO, J. W. V.; NEVES, J. C. L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p.1-9, 1998.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. 103p. Tese (Solos e Nutrição de Plantas) ESALQ, Piracicaba, 2008.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. 1.ed. Fortaleza: UFC, 2008. 290p.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coeso 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.
- BARBOSA, M. P. (2008). **Concreto fresco: influência do empacotamento de partículas e outros fatores**. Introdução à ciência dos materiais aplicados à engenharia civil, UNESP Ilha Solteira. Disponível em: <http://www.dec.feis.unesp.br/monica/p9.ppt>. Acesso em: 13/09/16.
- BARTOLI, F.; BURTIN, G.; GUÉRIF, J. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water-stability. **Geoderma**, v. 54, p. 259-274, 1992.
- BEZERRA, C. E. E; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; MOTA, J. C. A.; VIEIRA, J. M.; DUARTE, L. R. S.; COOPER, M. Genesis of cohesive soil horizons from Northeast Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, p. 43-55, 2015.
- BRASIL. SUDENE/EMBRAPA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife, v. 1, 1973.
- CINTRA, F. L. D. Distribuição do sistema radicular de planta na presença de horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p.229-239, 2001.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta enxertos de citros em ecossistemas de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileiro de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.
- COHEN, K. M.; FINNEY, S. C.; GIBBARD, P. L. (Janeiro de 2015). Tabela Cronoestratigráfica Internacional. Versão 2015/1. Comissão Internacional sobre estratigrafia.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, 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 Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 297-313, jan./fev. 2008.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R. L.; SOARES JÚNIOR, A.V.; VILLEGA, J. M. C. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 3, p. 519-531, 2002.

CURI, N. (coord.). Vocabulário de ciência do solo. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

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.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K. & MULLINS, C. eds. **Soil and environmental analysis: Physical methods**. 2.ed. New York, Marcel Dekker, p. 401-430, 2000.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013, 33p.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; GIAROLA, N. F. B.; HARMS, M. G.; BRIEDIS, C. Resistência tênsil de agregados afetada pelo conteúdo de carbono orgânico em um Latossolo Vermelho com textura média e argilosa sob plantio direto. **Synergismus Scyentifica**, v. 4, p. 1-3, 2009.

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.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: A study on the significance of grain-size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3-26, 1957.

GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: USA. Soil Science Society of America. pt. 4, p.255- 293, 2002.

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

HARRIS, W. L. **The soil compaction process**. In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R. L.; VANDEN BERGER, G. E. (eds.). **Compaction of Agricultural Soils**. American Society Agriculture Engineer, St. Joseph, MI, 1971, p. 9-44.

HOLANDA, J. L. R.; VASCONCELOS, S. M. S; MAIA, L. P. Aspectos hidrogeológicos da região costeira do município de Caucaia-Ceará. **Revista de Geologia**, v. 16, p. 7-18, 2003.

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

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 & CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p. 13-24.

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

JONG VAN LIER, Q.; VIDA-TORRADO, P. PHI: Programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 277-281, 1992.

LIMA, H. V. Identificação e caracterização do comportamento físico de solos coesos no Estado do Ceará. 2004, 85p. Tese (Solos e Nutrição de Plantas) ESALQ, Piracicaba, 2004.

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

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Identificação e quantificação da coesão em solos de Tabuleiros Costeiros do Estado do Ceará. 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. 200-217, 2004.

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

LIMA NETO, J. 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.

MABESOONE, J. M.; CAMPOS E SILVA, A.; BEURLIN, K. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, p. 173-188, 1972.

MENEZES, A. S. Morfologia e funcionalidade da rede porosa de horizontes com e sem caráter coeso em solos de Tabuleiro Costeiro. 2016, 76p. Dissertação (Solos e Nutrição de plantas) UFC, Fortaleza, 2016.

MOREAU, A. M. S. S.; COSTA, L. M.; KER, J. C.; GOMES, F. H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos de tabuleiro costeiro do Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1021-103, 2006.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. Dispersão e empacotamento de partículas: Princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 195p.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. **Soil Tillage Research**, v. 54, p. 145-153, 2000.

RIBEIRO, K. D; MENEZES, S.M; MESQUITA, M. G. B. F; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciada pela distribuição de poros de seis classes de solos da região de Lavras- MG. **Ciê. Agrotec** [online], v. 31, n.4, p. 1167-1175, 2007.

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.

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

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

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

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 COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001b. p.161-190.

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, 2004, p. 218-241.

SOUZA, L. S. Uso e Manejo dos Solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais**. Aracaju: EMBRAPA-CPATC & CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p. 36-75.

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

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 tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 503-513, 2008.

SILVA, D. M. **Parâmetro físicos de horizontes com carácter coeso em uma topossequência em Aquiraz-ce.** 2013, 39 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, v. 18, p. 461-479, 1999.

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

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. Soil friability. **Journal of Soil Science**; Oxford, v. 2, p. 203-213, 1981.

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.

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

**ANEXOS**

## ANEXO I

### Descrição Geral

**PERFIL São Jerônimo 01 (SJ1)**

**DATA** – 15/08/2013.

**CLASSIFICAÇÃO (SIBCS)** – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADAS** – Sítio São Jerônimo – Aquiraz-CE, Estrada do Fio – 8,4 km da CE, 040 (03° 52' 58,8''S e 38° 24' 47,3''W).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** - Trincheira em topo de declive.

**ALTITUDE** – 27 m.

**LITOLOGIA** – Sedimentos do Terciário Quaternário.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Barreiras.

**CRONOLOGIA** – Período Terciário.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Plano.

**RELEVO REGIONAL** – Suave ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Boa.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Formação das praias e dunas.

**CLIMA** – Aw', pela classificação de Köppen, tropical, com temperatura superior a 18 °C e precipitação > 750 mm.

**USO ATUAL** – mangueira e coqueiro.

**DESCRIÇÃO, COLETA, ANÁLISES** – Ricardo Espíndola Romero e Tiago Osório Ferreira.

**CLASSIFICAÇÃO** – Thiago Leite de Alencar e Ademir Silva Menezes.

### Descrição Morfológica

- A** 0-19 cm; vermelho acinzentado (7,5YR 5/2), vermelho-acinzentado (7,5 YR 5/2); areia; fraca pequena e média blocos subangulares, macio a ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- E1** 19-52 cm; bruno amarelado (10YR 5/8); areia; fraca pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- EB** 52-67 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8); areia-franca; fraca pequena e média blocos subangulares; macio a ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara.
- BE** 67-81 cm; bruno-forte (7,5YR 5/6); franco-arenosa; moderada média blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.
- Bt1** 81-129 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6); franco-argilo arenosa; maciça blocos subangulares; extremamente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
- Bt2** 129-171 cm; vermelho-amarelo (5YR 5/8); franco-argilo arenosa; moderada média e grande blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.
- Bt3** 171-190+ cm; vermelho-amarelo (5YR 5/8); franco-argilo arenosa; moderada média blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

**RAÍZES** – muitas finas no horizonte A; poucas finas e raras médias no horizonte E1; raras finas e médias no horizonte EB; raras e grossas médias e finas no horizonte BE; raras finas no horizonte Bt1.

#### Observações:

- Caráter coeso a 81 cm (consistência extremamente dura).
- Raízes grossas e médias dispostas horizontalmente no topo do Bt1.
- 4º Horizonte (BE) com mosqueado muitos pequenos acinzentados.
- Transição EB entre (63-69 cm).

## ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Tabela 7. Atributos físicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd).

Horizontes		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina					
Hor.	Prof.	Calhaus	Cascalho	Terra Fina	Areia Total	Silte	Argila	Argila natural	Grau de Floc.	Silte /Argila
cm		g kg <sup>-1</sup>								
		%								
A	0-19	0	3,64	996,36	927,5	43,1	29,4	13,4	54,42	1,47
E1	19-52	0	3,98	996,02	915,0	44,2	40,8	30,4	25,49	1,08
EB	52-67	0	16,56	983,44	867,5	49,7	82,8	46,0	44,44	0,60
BE	67-81	0	22,39	977,61	816,0	65,2	118,8	69,6	41,41	0,55
Bt1	81-129	0	10,33	989,67	655,5	91,1	253,4	6,0	97,63	0,36
Bt2	129-171	0	10,67	989,33	683,0	87,2	229,8	1,8	99,22	0,38
Bt3	171-190+	0	8,75	991,25	671,0	86,0	243,0	5,0	97,94	0,35

Tabela 8. Atributos químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVAd).

Hor.	pH Água	Complexo Sortivo								Valor V	Sat. Al (m)	Sat. sódio	P assimilável
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%		mg kg <sup>-1</sup>	
A	6,23	0,80	0,80	0,12	0,24	1,97	0,10	1,10	3,17	62,10	4,84	7,69	0,06
E1	6,37	0,60	0,40	0,12	0,24	1,36	0,10	0,70	2,16	62,98	6,84	11,27	0,03
EB	6,30	0,40	0,60	0,18	0,27	1,45	0,10	0,90	2,45	59,25	6,44	10,99	0,01
BE	5,90	0,60	0,00	0,19	0,24	1,03	0,40	1,00	2,43	42,45	27,92	10,01	0,01
Bt1	5,16	0,40	0,60	0,10	0,24	1,34	0,50	1,10	2,94	45,59	27,16	8,28	0,00
Bt2	5,02	0,40	0,40	0,05	0,26	1,11	0,70	1,10	2,91	38,19	38,63	8,96	0,00
Bt3	5,00	0,40	0,40	0,05	0,23	1,09	0,70	1,10	2,89	37,63	39,20	8,14	0,00

Fonte: Silva (2013)

## ANEXO II

### Descrição Geral

**PERFIL São Jerônimo 02 (SJ2)**

**DATA** – 15/08/2013.

**CLASSIFICAÇÃO (SIBCS)** – Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADA** – Sítio São Jerônimo – Aquiraz-CE, Estrada do Fio – 8,4 km da CE, 040 (03° 52' 57,0''S e 38° 24' 52,4''W).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** - Trincheira em topo de declive.

**ALTITUDE** – 24 m.

**LITOLOGIA** – Sedimentos do Terciário Quaternário.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Barreiras.

**CRONOLOGIA** – Período Terciário.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Plano.

**RELEVO REGIONAL** – Suave ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Boa.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Formação das praias e dunas.

**CLIMA** – Aw', pela classificação de Köppen, tropical, com temperatura superior a 18 °C e precipitação > 750 mm.

**USO ATUAL** – Mangueira e coqueiro.

**DESCRIÇÃO, COLETA, ANÁLISES** – Ricardo Espíndola Romero e Tiago Osório Ferreira.

**CLASSIFICAÇÃO** – Thiago Leite de Alencar e Ademir Silva Menezes.

### Descrição Morfológica

- Ap** 0-20 cm; cinzento-bruno-claro (10YR 6/2), bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2); areia; fraca média blocos subangulares; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- E1** 20-70 cm; bruno-amarelo-escuro (10YR 4/4); areia; fraca média blocos subangulares; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- E2** 70-107 cm; bruno-amarelado (10YR 5/4); areia a areia franca; fraca média e grandes blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara.
- Bt1** 107-153 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8); franco-arenosa; maciça; muito dura, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
- Bt2** 153-184 cm; amarelo-brunado (10YR 6/6); franco-arenosa; moderada média e grande blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
- Bt3** 184-197+ cm; bruno-amarelado (10YR 5/8); franco arenosa; moderada média e grande blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

**RAÍZES** – poucas finas no horizonte Ap; comuns médias e poucas finas no horizonte E1; poucas médias e raras finas no horizonte E2; poucas médias no horizonte Bt1 raras médias no horizonte Bt2; raras médias e finas no horizonte Bt3.

**Observações:**

- Carvão a 20 cm de profundidade.
- Mosqueados: 2% de plintita no horizonte Bt3.
- Transição E2 entre 103-120 cm.

## ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Tabela 9. Atributos físicos do Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico (PAex).

Horizontes		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina					
Hor.	Prof.	Calhaus	Cascalho	Terra Fina	Areia Total	Silte	Argila	Argila natural	Grau de Floc.	Silte /Argila
cm		g kg <sup>-1</sup>								%
Ap	0-20	0	1,86	998,14	950,0	23,2	26,8	19,2	28,36	0,87
E1	20-70	0	3,66	996,34	940,5	21,7	37,8	25,4	32,80	0,57
E2	70-107	0	7,77	992,23	881,0	31,6	87,4	75,2	13,96	0,36
Bt1	107-153	0	4,45	995,55	742,5	61,9	195,6	6,0	96,93	0,32
Bt2	153-184	0	4,93	995,07	757,0	58,0	185,0	5,2	97,19	0,31
Bt3	184-197+	0	7,56	992,44	736,0	79,8	184,2	1,4	99,24	0,43

Tabela 10. Atributos físicos do Argissolo Amarelo Eutrocoeso abruptico (PAex).

Hor.	pH Água	Complexo Sortivo								Valor V	Sat. Al (m)	Sat. sódio	P assimilável
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%			mg kg <sup>-1</sup>
Ap	6,38	0,60	0,40	0,09	0,27	1,36	0,10	0,90	2,36	57,66	6,84	11,41	0,04
E1	5,86	0,60	0,40	0,05	0,23	1,29	0,10	0,90	2,29	56,25	7,22	10,27	0,00
E2	5,44	0,60	0,20	0,05	0,23	1,08	0,20	1,00	2,28	47,39	15,62	10,29	0,01
Bt1	5,26	0,40	0,60	0,05	0,26	1,31	0,20	1,00	2,51	52,13	13,27	10,41	0,00
Bt2	5,24	0,60	0,40	0,04	0,24	1,28	0,20	0,80	2,28	56,22	13,47	10,66	0,00
Bt3	5,23	0,60	0,40	0,05	0,27	1,32	0,30	0,70	2,32	56,81	18,57	11,64	0,00

Fonte: Silva (2013)