



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRANCISCO RONALDO PEREIRA NASCIMENTO JUNIOR**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E EFEITO DO DIÂMETRO DOS AGREGADOS NA  
RESISTÊNCIA TÊNซิล E FRIABILIDADE DE SOLOS COM E SEM CARÁTER  
COESO**

**FORTALEZA**

**2022**

FRANCISCO RONALDO PEREIRA NASCIMENTO JUNIOR

ATRIBUTOS FÍSICOS E EFEITO DO DIÂMETRO DOS AGREGADOS NA RESISTÊNCIA  
TÊNSEL E FRIABILIDADE DE SOLOS COM E SEM CARÁTER COESO

Trabalho de conclusão do curso apresentado ao curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota

Coorientadora: Ma. Angélica da Silva Lopes

FORTALEZA

2022

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

---

N195a Nascimento Junior, Francisco Ronaldo Pereira.  
Atributos físicos e efeito do diâmetro dos agregados na resistência tênsil e friabilidade de solos com e sem caráter coeso / Francisco Ronaldo Pereira Nascimento Junior. – 2022.  
41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota.

Coorientação: Profª. Ma. Angélica da Silva Lopes.

1. Estrutura do solo. 2. Indicadores de qualidade do solo. 3. Adensamento do solo. I. Título.

CDD 630

---

FRANCISCO RONALDO PEREIRA NASCIMENTO JUNIOR

ATRIBUTOS FÍSICOS E EFEITO DO DIÂMETRO DOS AGREGADOS NA RESISTÊNCIA  
TÊNSEL E FRIABILIDADE DE SOLOS COM E SEM CARÁTER COESO

Trabalho de conclusão do curso apresentado ao curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em: 20/01/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Ma. Angélica da Silva Lopes (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Ícaro Vasconcelos do Nascimento  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,  
Aos meus pais, Tânia e Ronaldo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar nas escolhas, pelo fôlego de vida e por todas as bênçãos a mim concedidas durante toda a minha vida.

Ao meu pai, Ronaldo Nascimento, e à minha mãe, Tânia Nascimento, pela amizade, amor, apoio e todo esforço realizado para que eu pudesse ter uma educação diferenciada. Para mim, são verdadeiros exemplos de força e perseverança, certamente, devo essa conquista a eles.

Ao meu irmão, Felipe Nascimento, por todo o amor e força e inúmeros momentos de alegrias durante esses anos, os quais me asseguraram firme na caminhada.

Ao Prof. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, pela amizade, a boa convivência diária, disponibilidade e ótima orientação. Um excelente profissional que não hesita em ajudar seus próximos; certamente desejo que essa parceria perdure por muito tempo.

À Ma. Sc. Angélica Lopes da Silva pela amizade, coorientação, ajuda nas análises e desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Lucas Oliveira e ao Me. Ícaro Nascimento, pela enorme colaboração na análise estatística dos dados.

Aos colegas de curso, pela amizade e vivência durante toda esta etapa acadêmica.

A todos os demais amigos que de alguma forma tenham me ajudado nessa jornada e execução deste trabalho.

*“Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar; que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas, que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza; a sua origem e o seu fim.”*

Elizabeth Jhin.

## RESUMO

O uso de indicadores de qualidade do solo é relevante para o seu manejo e conservação. Nessa perspectiva, indicadores físicos como densidade, resistência tênsil de agregados/torrões e friabilidade possibilitam o monitoramento das altera es que ocorrem no solo, sejam por causa naturais ou antrópicas. Consideraram-se as hipóteses de que: i) horizontes com caráter coeso diferem dos horizontes sem esse caráter quanto à granulometria, densidade do solo e resistência tênsil de agregados/torrões; e ii) a utiliza o do diâmetro dos agregados/torrões obtido pela média da abertura das malhas das peneiras para cálculo da resistência tênsil resulta em valores diferentes dos obtidos com o diâmetro real em horizontes com e sem o caráter coeso. Como objetivo geral, buscou-se conhecer a granulometria, a densidade do solo, a resistência tênsil considerando o diâmetro dos agregados/torrões obtido pela média da abertura das malhas das peneiras e real de agregados/torrões e calcular a friabilidade pelo coeficiente de varia o da resistência tênsil em solos com e sem o caráter coeso. Para obten o da resistência tênsil, em laboratório, utilizou-se material coletado de sete solos (Argissolos e Latossolos) considerando dois horizontes (com e sem o caráter coeso). Para cada horizonte foram realizadas análises granulométricas em dez repeti es; de igual modo, foram selecionados dez agregados/torrões para a mensura o da densidade e dez para a resistência tênsil. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey (ambos pelo software Sisvar), e análise multivariada (pelo software SAS). Os resultados evidenciaram que a granulometria, densidade e resistência tênsil diferem significativamente entre horizontes de solos com e sem o caráter coeso; os valores de resistência tênsil diferem significativamente quando são considerados os métodos de obten o do diâmetro dos agregados/torrões – sendo menores quando o diâmetro é medido diretamente – e resultam, embora em poucas situa es, em classes distintas de friabilidade para o mesmo horizonte analisado.

**Palavras-chave:** estrutura do solo. Indicadores de qualidade do solo. Adensamento do solo.



## ABSTRACT

The use of soil quality indicators is relevant for its management and conservation. In this perspective, physical indicators such as density, tensile strength of aggregates/clods and friability make it possible to monitor changes that occur in the soil, whether due to natural or anthropogenic causes. The hypotheses that: i) horizons with cohesive character differ from horizons without this character in terms of granulometry, soil density and tensile strength of aggregates/clods; and ii) the use of the diameter of the aggregates/clods obtained by the average of the opening of the meshes of the sieves to calculate the tensile strength results in different values from those obtained with the real diameter in horizons with and without the cohesive character. As a general objective, we sought to know the granulometry, soil density, tensile strength considering the diameter of the aggregates/clods obtained by the average of the mesh opening of the sieves and actual aggregates/clods and to calculate the friability by the coefficient of variation of the tensile strength in soils with and without cohesive character. Tensile strength data collection was carried out in seven soils (Ultisols and Oxisol) considering two horizons (with and without the cohesive character). For each horizon, particle size analyzes were performed in ten repetitions; likewise, ten aggregates/clods were selected for measuring density and ten for tensile strength. Data were subjected to analysis of variance, Tukey test (both by Sisvar software), and multivariate analysis (by SAS software). The results showed that the particle size, density and tensile strength differ significantly between horizons of soils with and without the cohesive character; the tensile strength values differ significantly when the methods for obtaining the diameter of the aggregates/clods are considered – being smaller when the diameter is measured directly – and result, although in few situations, in different friability classes for the same analyzed horizon.

**Keywords:** soil structure. Soil quality indicators. Soil densification.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa da Localização dos solos estudados.....	18
Figura 2 - Equipamento utilizado para realizar os ensaios de RT .....	22
Figura 3 - Porcentagem de areia para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso. .....	26
Figura 4 - Porcentagem de silte para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso. .....	26
Figura 5 - Porcentagem de argila para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso .....	27
Figura 6 - Valores médios de densidade do solo em horizontes com e sem o caráter coeso .....	28
Figura 7- Valores médios de RT de agregados para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso .....	29
Figura 8 - Valores médios de resistência tênsil de agregados do solo para as classes de solos considerando o método de determinação do diâmetro .....	31
Figura 9 - Comparação dos valores médios de resistência tênsil de agregados dos solos com e sem caráter coeso considerando os métodos de determinação dos diâmetros .....	31
Figura 10 - Análise de componentes principais utilizada para caracterizar relações entre atributos físicos e horizontes com caráter coeso (CC) e sem o caráter coeso (SC) de cada solo estudado..	35
Figura 11 - Análise de agrupamento dos horizontes dos solos com caráter coeso (CC) e sem caráter coeso (SC).....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos coletados .....	18
Tabela 2 - Análise de variância para os dados de areia, argila e silte dos horizontes com e sem o caráter coeso. ....	24
Tabela 3 - Frações granulométricas e classificação textural dos horizontes com e sem o caráter coeso. ....	25
Tabela 4 - Análise de variância da densidade dos solos em horizontes com e sem caráter coeso	27
Tabela 5 - Análise de variância análise de variância para a resistência tênsil em horizontes com e sem o caráter coeso.....	29
Tabela 6 - Variação das classes de friabilidade dos horizontes com caráter coeso utilizando a variabilidade dos dados de resistência tênsil calculada com os diâmetros da abertura das malhas das peneiras e real.....	32
Tabela 7 - Variação das classes de friabilidade dos horizontes sem caráter coeso utilizando os dados de RT obtidos com o diâmetro médio e real para sua determinação.....	33

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Horizontes com caráter coeso .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Importância socioeconômica e ambiental dos solos dos Tabuleiros Costeiros.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Principais atributos físicos de solos com caráter coeso .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Efeito do tamanho do agregado na resistência tênsil.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Local de coleta .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Trabalhos de campo e laboratório.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Procedimentos Experimentais .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Análise granulométrica .....</i></b>	<b><i>21</i></b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Densidade do solo .....</i></b>	<b><i>21</i></b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Resistência tênsil de agregados dos solos e friabilidade .....</i></b>	<b><i>21</i></b>
<b>3.4</b>	<b>Análise Estatística dos dados .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Atributos físicos de solos com e sem caráter coeso .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Granulometria e classes texturais dos solos com e sem caráter coeso.....</i></b>	<b><i>24</i></b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Densidade do solo em horizontes com e sem caráter coeso.....</i></b>	<b><i>27</i></b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Resistência tênsil em horizontes com e sem caráter coeso .....</i></b>	<b><i>28</i></b>
<b>4.1.4</b>	<b><i>A influência do diâmetro obtido pela média da abertura da malha das peneiras e o real na resistência tênsil e friabilidade. ....</i></b>	<b><i>30</i></b>
<b>4.2</b>	<b>Métodos multivariados na análise dos atributos físicos dos horizontes com e sem caráter coeso .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao se falar em manejo e conservação do solo, comumente se associa aos indicadores de qualidade do solo. No que diz respeito aos indicadores físicos, como densidade e resistência tênsil, estes possuem grande relevância por estarem relacionados às propriedades físicas, bem como aos processos do solo que dizem respeito, por exemplo, ao crescimento de raízes das plantas, armazenamento de água e resistência do solo à penetração. Todavia, outros indicadores também são utilizados para complementar as análises de qualidade do solo, como a porosidade e a capacidade de retenção de água.

Nesse sentido, a relevância do conhecimento a respeito dos indicadores de qualidade do solo está relacionada à boas práticas de manejo e conservação, de modo que práticas de preparo para o cultivo, comumente realizadas de forma equivocada ou sem a devida técnica, são vistas como um dos principais problemas relativos à conservação do solo. Conhecer os indicadores de qualidade do solo também se faz importante por minimizar danos à estrutura do solo, como erosão, compactação ou, inclusive, a desertificação, além de permitir monitorar sua capacidade produtiva.

A resistência tênsil é um indicador sensível às alterações na estrutura do solo, podendo ser apontado como potencial avaliador da qualidade física do solo, bem como seus valores são apontamentos em relação à friabilidade do solo, que também é considerada parâmetro indicativo da qualidade do solo. Determinar a resistência tênsil e associá-la aos outros parâmetros pode ser considerado estratégico na avaliação quanto à limitação à penetração e o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, tal como ocorre em solos com horizontes com caráter coeso.

Solos com caráter coeso possuem horizontes subsuperficiais adensados como uma de suas principais características. A depender do grau de compactação destes horizontes, a estrutura do solo pode ser modificada. Sabe-se que a densidade é uma propriedade física dinâmica e que varia em função da textura, podendo sofrer influência do cultivo, compressão de máquinas ou animais, bem como das condições ambientais.

Considerando o exposto as hipóteses foram: i) horizontes com caráter coeso diferem daqueles sem o referido caráter quanto à granulometria, densidade do solo e resistência tênsil de agregados/torrões; e ii) a utilização do diâmetro dos agregados/torrões obtido pela média da abertura das malhas das peneiras para cálculo da resistência tênsil resulta em valores diferentes

dos obtidos com o diâmetro real em horizontes com e sem o caráter coeso, fazendo diferir também a friabilidade estimada com o coeficiente de variação da resistência têsnil.

O objetivo do trabalho foi conhecer a granulometria, densidade e resistência têsnil (obtida com o diâmetro dos agregados/torrões obtido pela média da abertura das malhas das peneiras e real) e friabilidade para horizontes de solos com e sem caráter coeso.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 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 quebradacidade 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 sobrejacentes e subjacente (RIBEIRO, 2001).

Os solos que apresentam o caráter coeso, como os antigos Latossolos e Podzólicos Amarelos desenvolvidos dos sedimentos do Grupo Barreiras, estão distribuídos, principalmente, por uma grande extensão da costa brasileira, englobando as regiões Norte, Nordeste e Sudeste, em locais com precipitação pluviométrica regular. Sua ocorrência é, a priori, associada à Formação Barreiras, depósitos sedimentares datados do período terciário e quaternário, com predomínio de materiais argilosos, argiloarenosos e arenosos; geralmente cauliniticos, pobres em ferro e em avançado estágio de intemperismo. A Formação Barreiras está relacionada à unidade geomorfológica denominada Tabuleiros Costeiros, que se estende desde o estado do Amapá até o do Rio de Janeiro (JACOMINE, 2001).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018) indica que os horizontes com caráter coeso além de serem caracteristicamente subsuperficiais adensados, são muito resistentes à penetração de faca ou martelo pedológico e que se apresentam como duros a extremamente duros quando secos, passando de friáveis a firmes quando úmidos. Em condições naturais, solos com caráter coeso são de textura média, argilosa ou muito argilosa, com fraca organização estrutural, sendo geralmente maciços ou com tendência à formação de blocos.

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 processo de formação de solos com caráter coeso é natural e pode estar relacionado a diversos fatores como: i) a migração de argila que provoca o entupimento de poros, ao ser depositada entre as partículas maiores (areia, por exemplo) (MOREAU *et al.*, 2006; LIMA NETO *et al.*, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2018); ii) A presença de materiais mal selecionados nos solos, os grãos menores de material grosseiro são acomodados nos espaços entre os grãos maiores, onde também é depositada a argila transcolada, preenchendo assim os poros antes existentes provocando um empacotamento mais denso das partículas, contribuindo para o aumento da densidade e coesão nestes solos (ARAÚJO *et al.*, 2018); iii) a cimentação temporária pelos compostos amorfos, associados aos ciclos de umedecimento e secagem. No período úmido, ocorre a despolimerização da sílica e de outros aluminossilicatos que contribuem para a condição de friabilidade dos solos. Durante o período seco há polimerização e precipitação da sílica que se liga as partículas dos solos levando a máxima expressão da coesão (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001; VIERA, 2012; LIMA NETO *et al.*, 2009).

## **2.2 Importância socioeconômica e ambiental dos solos dos Tabuleiros Costeiros**

Os solos dos Tabuleiros Costeiros estendem-se por quase toda a faixa litorânea do Brasil, do Estado do Amapá ao do Rio de Janeiro, estendendo-se pelo vale do Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. Limita-se na parte ocidental, com morros do cristalino e na parte oriental com a Baixada Litorânea. Ocupam, ainda, grande extensão de terras no médio e baixo vale do rio Amazonas e afluentes, nos Estados do Maranhão e Piauí e nas zonas semiáridas de Pernambuco e Bahia, prolongando-se para o sul e para a região do Jequitinhonha, em Minas Gerais (JACOMINE, 1996).

O papel econômico dos solos dos tabuleiros costeiros, em especial para a região nordeste, é de grande relevância, visto que são geradores de emprego e renda para a maioria da população, contribuindo com parte expressiva da receita proveniente da agropecuária (CUENCA, 2001). Na região nordeste, ocupam uma área estimada de 10.000.000 ha, o que corresponde a aproximadamente 16% da área total da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (SOUZA *et al.*, 2001).

A influência da fruticultura nesses solos é favorecida pela predominância de áreas de solo com relevo plano a suave ondulado, que permitem intensificar os cultivos, o que favorece o aumento de produtividade das fruteiras, bem como a manutenção da relação custo/benefício das explorações a patamares competitivos. No entanto, a presença de horizontes com caráter coeso nos solos dos Tabuleiros Costeiros pode impactar o potencial produtivo destas áreas ao promover restrições ao aprofundamento do sistema radicular, quando seco, limitando o desenvolvimento de plantas e a produtividade das plantas (CINTRA, *et al.* 1997; LIMA NETO *et al.*, 2009; LIRA *et al.*, 2016). Além da limitação do crescimento das raízes, os horizontes coesos alteram a dinâmica dos gases e dos nutrientes nestes solos.

### 2.3 Principais atributos físicos de solos com caráter coeso

Solos com caráter coeso podem representar resistência à penetração radicular. A raiz, durante o processo de crescimento da planta, exerce uma pressão gerada pelos mecanismos biofísicos da planta sobre as partículas do solo, todavia quando a planta não consegue vencer a resistência imposta pelo solo, a raiz não se desenvolve, contribuindo para redução da profundidade efetiva do volume de raízes e impedimento para a emergência de plântulas.

O caráter coeso também contribui para aumento da densidade, resistência tênsil, diminuição da porosidade do solo, influenciando na aeração e comportamento hidráulico do solo como um todo. Contudo, as restrições de ordem física são relativas ao período seco, onde a sua coesão se manifesta de forma mais expressiva (RAMOS *et al.*, 2013).

Quanto à densidade, costuma atingir altos valores e, associada à baixa macroporosidade, à presença de argila e outros agentes químicos resulta em entupimento dos poros diminuindo a taxa de infiltração de água no solo e a condutividade hidráulica em seu interior (SOUZA, 1997). Em relação a mineralogia da fração argila, em solos com caráter coeso, o predomínio é de caulinita, de modo que o arranjo face a face deste mineral contribui para maior adensamento das partículas, implicando em maior densidade do solo, menor macroporosidade e menor permeabilidade (JACOMINE, 1996; FERREIRA *et al.*, 1999). Contudo, há trabalhos que relatam que o grau de ordenamento da caulinita encontrada nos Tabuleiros Costeiros não permite associar o empacotamento da fração argila com a ocorrência do caráter coeso nestes solos (GIAROLA *et al.*, 2009).

A resistência à penetração, está relacionada à má estruturação, com aspecto maciço e vários graus de coesão (JACOMINE, 2001). Para a resistência tênsil, a influência exercida pelo



caráter coeso se dá pelo fato desta possuir grande sensibilidade às modificações estruturais do solo. Fato também importante é que a resistência tênsil é dependente da composição do solo, bem como do volume do agregado/torrão (DEXTER; KROESBERGEN, 1985).

Em relação à porosidade total para os solos com caráter coeso, é reduzida. Isto é devido ao fato de que, em solos com alto grau de adensamento, a exemplo dos que possuem horizontes com caráter coeso, os macroporos são comprimidos implicando em redução total dos poros, dificultando o movimento e disponibilidade de água nestes solos (CINTRA; LIBARDI, 1998; GUÉRIF, 1988; MUNKHOLM *et al.*, 2001).

## 2.4 Efeito do tamanho do agregado na resistência tênsil

A resistência tênsil é definida como a força por unidade de área necessária para causar a ruptura de agregados (DEXTER; KROESBERGEN, 1985), atributo que se confunde em parte com a consistência do solo seco – que inclui a resistência à compressão e ao esforço cisalhante, a depender das forças de adesão e coesão (HILLEL, 2004). É uma propriedade dinâmica sob condições de campo (KAY; DEXTER, 1992) e, no solo, reflete os efeitos de fatores naturais e do uso e manejo na organização hierárquica dos agregados na estrutura.

Nos protocolos de determinação, a resistência tênsil pode ser medida utilizando testes diretos e indiretos. Na determinação direta, duas forças de mesma direção e sentido oposto são aplicadas em dois extremos do agregado, separando-o em duas partes pela ação dessas forças. Na determinação indireta, o estresse não é aplicado diretamente sobre o agregado – uma força compressiva é aplicada a uma placa, que transmite a força ao agregado, produzindo incremento do estresse em seu interior (DEXTER; KROESBERGEN, 1985; DEXTER; WATTS, 2000; MUNKHOLM, 2015).

A resistência tênsil é influenciada por vários fatores tais como umidade do solo, mineralogia, matéria orgânica do solo, forma e o tamanho dos agregados (IMHOFF, 2002; TORMENA *et al.*, 2008). Com relação ao tamanho dos agregados e sua relação com a resistência tênsil, Tormena *et al.*, (2008) informam que a resistência tênsil aumenta com a redução do tamanho, de modo que agregados maiores são esboroados mais facilmente em menores tamanhos, o que provoca maior amplitude da distribuição por tamanho quando do preparo ou da abertura do sulco de semeadura.

Em pesquisa para avaliar o efeito do tamanho dos agregados na sua resistência tênsil, Nascimento Júnior *et al.* (2020) consideraram como tratamentos agregados de cinco horizontes de

solos com diâmetros de 13,5 e 22 mm e encontraram que a resistência tênsil é influenciada pelo diâmetro dos agregados, com os de menor diâmetro apresentando maiores valores para o referido atributo e que o menor coeficiente de variação dos dados para a maioria dos horizontes se deu para os agregados de menor diâmetro.

Dexter e Kroesbergen (1985) já haviam abordado a respeito do tema, inclusive propondo métodos para mensurar/estimar o diâmetro de agregados, visto que este parâmetro é necessário quando dos cálculos para a estimativa da resistência tênsil de agregados. Dentre os métodos, propuseram que i) o diâmetro fosse mensurado (ou seja, obtendo-se a informação real) e ii) estimado a partir do valor médio quando se faz a separação por tamanho considerando a abertura das malhas de duas peneiras – de modo que os agregados, no peneiramento, passam pela abertura da primeira malha, mas ficam retidos na malha da segunda; neste protocolo do peneiramento, os autores propuseram que o diâmetro efetivo seja ajustado de acordo com a sua massa individual.

Vale destacar que Dexter e Kroesbergen (1985) concluíram que o procedimento de medição direta dos agregados não é recomendado, porque é difícil medir individualmente o tamanho de cada agregado – especialmente quando são pequenos – e que o método de estimativa do diâmetro por uso das peneiras é fácil e de rápida execução, enquanto fornece um baixo coeficiente de variação, sendo, portanto, recomendado para uso geral.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local de coleta**

Foram utilizadas amostras de solos coletadas em sete horizontes com e sem o caráter coeso de Argissolos e Latossolo (em Brejo/MA, um Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico – PAdx, UTM 23S 726350. 9590638.08); em Fortaleza/CE, um Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico – PAex, UTM 24 547044 9586290) e um Argissolo Vermelho Amarelo – PVAe, UTM 24 546525.73 9586060.23; em Goiana/PE, um Argissolo Amarelo Distrocoeso epiirredóxico – PAdx, UTM 25S 285384.09154451.0; em Rio Largo/AL um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico – LAdx, UTM 25S 189147.88. 8952524; em Neópolis/SE, um Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático – PAdx, UTM 24 S 74962400 8855333; e em Cruz das Almas/BA, um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico – PAdx, UTM 24 S 0490548 8597830). Todos os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018). A localização está apresentada na Figura 1 e a descrição morfológica na Tabela 1.

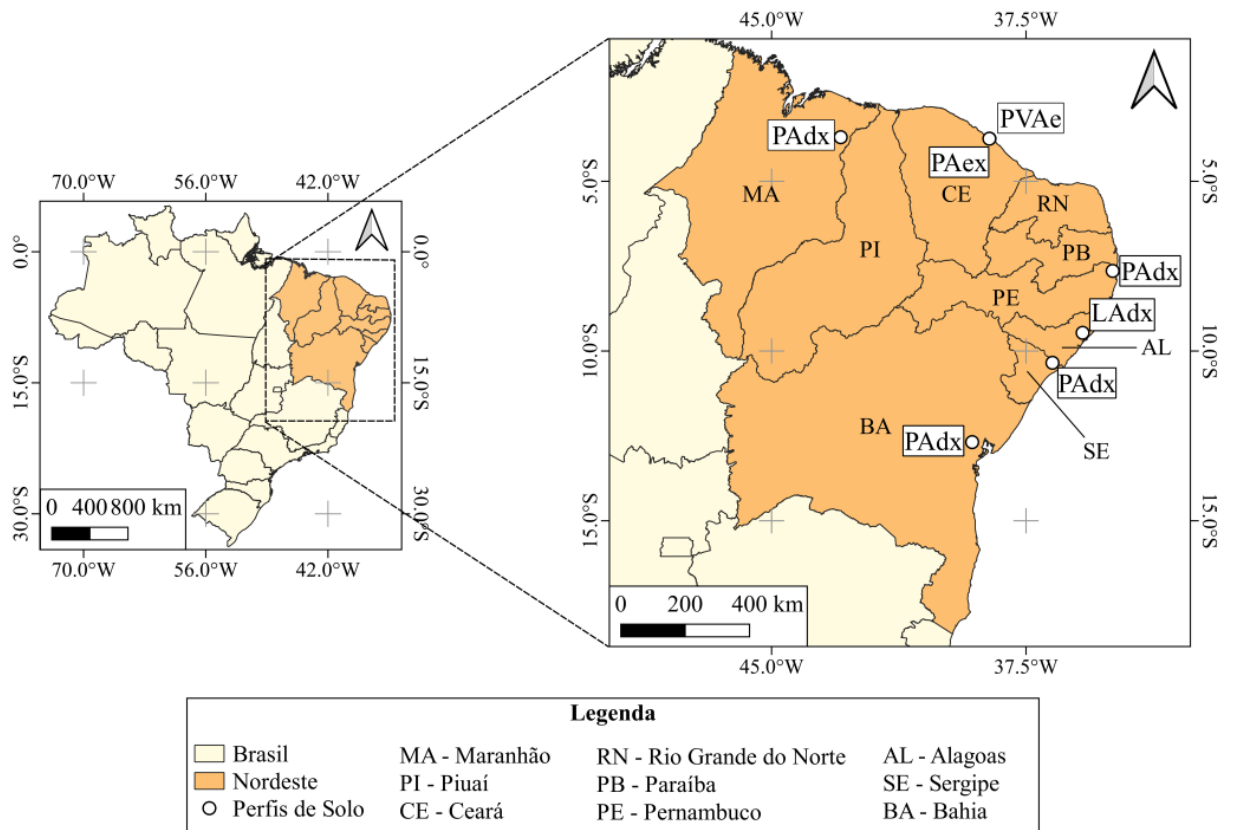


Figura 1- Mapa da Localização dos solos estudados.

Tabela 1 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos coletados

(continua)

Local	Classe de solo	Horizonte	Descritivo Morfológico
Brejo/MA <sup>1</sup>	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso plintossólico (PAdx)	AB Coeso	43–60 cm, bruno (10YR 5/3, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco), mosqueado ocasional (raro), pequeno e médio, distinto, bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4); franco-argiloarenosa; maciça e fraca pequena e média blocos subangulares e angulares; muito dura a extremamente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
		Bt1 Sem caráter coeso	60–100 cm, bruno-claro (7,5YR 6/4, úmido) e rosado (7,5YR 7/3, seco), mosqueado pouco, médio e distinto, bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4), e pouco, pequeno e difuso, bruno-claro-acinzentado (2,5Y 7/3); franco-argiloarenosa; fraca pequena e média blocos subangulares e angulares, e maciça; dura a muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

Tabela 1 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos coletados

(continuação)

Local	Classe de solo	Horizonte	Descritivo Morfológico
Fortaleza/ CE <sup>2</sup>	ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico (PAex)	Bt2 Coeso	79–112 cm; bruno forte (7,5 YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6 seca); maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
		Bt1 Sem caráter coeso	63–9 cm, bruno (7,5 YR 5/4 úmida), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6); moderada média a grandes blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico (PVAe)	Bt1 Coeso	96–145cm; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo-avermelhado (5 YR 6/8 seca); maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente duro, friável a firme, plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.
		BE Sem caráter coeso	62–96 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (5YR 6/6 seca); moderada a forte média a grandes blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara
		Bt Coeso	43–70 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/4) argilo-arenosa; maciça e partes, fraca pequena e média blocos subangulares; poros comuns pequenos e poucos médios; friável com partes firmes, plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
Goiana/PE <sup>3</sup>	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso epiáquico (PAdx)	Bw Não coeso	135–190 cm, amarelo, mosqueado pouco, médio e proeminente (2,5YR 4/6); argilo-arenosa; fraca pequenas e média bloco subangulares com aspecto maciço poroso; muitos poros pequenos e poucos médios, muito friável, plástica e pegajosa.
	LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso argissólico (LAdx)	BA Coeso	35–60 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); mosqueado pouco, pequeno a médio e difuso bruno forte (7,5YR 5/6); argiloarenosa; fraca pequena a média bloco angular a subangular e parte maciça; poucos poros pequenos; friável a firme, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
Rio Largo/AL <sup>3</sup>			

Tabela 1 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos coletados

(conclusão)

Local	Classe de solo	Horizonte	Descritivo Morfológico
Rio Largo/AL <sup>3</sup>		Bw2 Não coeso	115–170 cm +, amarelo-brumado 10YR 6/8 (úmido); argiloarenosa; fraca pequena a média bloco subangular; muitos poros pequenos; friável, plástico e pegajoso.
Neópolis/SE <sup>4</sup>	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico (PAdx)	Bt1 Coeso	25–50 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco), bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido); franco-argiloarenosa; fraca pequena e média blocos angulares e subangulares e partes maciças; poros comuns pequenos; muito duro a extremamente duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
		Bt3 Não coeso	95–160 cm+, amarelo-avermelhado (5YR 6/6, úmido) mosqueado comum, grande e distinto vermelho-amarelado (5YR 5/6); francoargilosa; fraca pequena a média blocos subangulares; poros comuns pequenos; friável com partes firmes (mosqueados), plástico e pegajoso.
Cruz das Almas/BA <sup>5</sup>	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico (PAdx)	Bt1 Coeso	114–148 cm, bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); argilo-arenoso; fraca pequena e média a blocos subangulares e partes maciças; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.
		Bt2 Não coeso	148–190 cm+, bruno amarelado (10YR 5/8, úmido); argila; fraca pequena e média em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.

<sup>1</sup>SILVA *et al.*, 2020a; <sup>2</sup>VIEIRA 2013; <sup>3</sup>ARAÚJO FILHO, ALMEIDA e ANDRADE, 2014; <sup>4</sup>ARAÚJO FILHO e SILVA, 2019; <sup>5</sup>MELO FILHO e ARAÚJO FILHO, 1996; COSTA e LIMA, 2019.

### 3.2 Trabalhos de campo e laboratório

Foram selecionados em cada solo os horizontes Bt com e sem caráter coeso, nos quais foram coletadas amostras de solo em forma de bloco com dimensão de 15 x 20 x 10 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente. Os blocos, ainda em campo, foram envoltos em filmes plásticos. Logo após, em laboratório, os blocos foram postos em bandejas com água e forradas com esponja (2 cm de espessura) para que se pudesse atingir até aproximadamente a capacidade de campo por capilaridade (ARAÚJO *et al.*, 2018). A partir daí os blocos foram destorreados em seus agregados/torrões naturais pela aplicação de uma força mínima, contudo suficiente para

separá-los pelos seus pontos de fraqueza. Foram utilizados agregados/torrões com diâmetro entre 19 mm e 25 mm (ALMEIDA, 2008). Em seguida, para secagem do teor de água, os agregados/torrões foram postos para secar ao ar por 36 horas.

### **3.3 Procedimentos Experimentais**

#### **3.3.1 *Análise granulométrica***

A quantificação da fração argila foi realizada pelo método da pipeta a partir da coleta da alíquota de 25 mL da suspensão a 2,5 cm de profundidade conforme sugerido por Mota *et al.* 2019. A fração areia foi mensurada por tamisamento e o silte pela diferença entre o total da amostra de terra fina seca em estufa e o somatório de areia e argila (GEE; BAUDER, 1986).

#### **3.3.2 *Densidade do solo***

A densidade do solo foi obtida por meio do método do torrão parafinado, que consiste na coleta de torrões de volume variável, secos ao ar, e impermeabilizado em parafina líquida (AL-SHAMMARY *et al.*, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2009). Para isso, foram tomados dez agregados/torrões, com massa conhecida, de cada horizonte. Os agregados/torrões foram amarrados com uma linha (também de massa conhecida) e imersos, individualmente, em parafina, a 60-65 °C, por aproximadamente dez segundos. Após o revestimento, cada agregado/torrão teve sua massa aferida. Na sequência, o volume de cada agregado/torrão foi determinado pelo volume de água deslocado por eles quando imersos em água, segundo o princípio de Arquimedes (BLAKE, 1965; ALMEIDA *et al.*, 2009). Em seguida, uma fração de cada agregado/torrão foi seca em estufa, a 105 °C e até massa constante, para determinação da umidade.

#### **3.3.3 *Resistência tênsil de agregados dos solos e friabilidade***

O ensaio de resistência tênsil (RT) foi realizado conforme descrito por Dexter e Kroesbergen (1985). Para tal, foram tomados 10 agregados/torrões de cada horizonte. Anteriormente ao ensaio de resistência tênsil, cada agregado/torrão teve sua massa mensurada em balança analítica. O agregado/torrão foi colocado na posição mais estável entre duas placas metálicas: uma inferior, fixa à base do equipamento, e outra superior móvel e ligada à extremidade

da célula de carga do atuador eletrônico linear, com capacidade de 200 N. O valor da carga empregado para a ruptura foi armazenado por um sistema eletrônico de aquisição de dados (Figura 2).

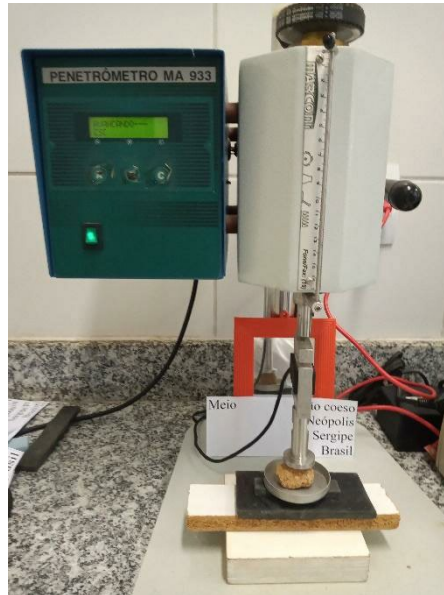


Figura 2 - Equipamento utilizado para realizar os ensaios de RT

Depois de cada procedimento de ruptura, uma porção da amostra do agregado/torrão teve sua massa mensurada em balança analítica para, posteriormente, ser submetida à secagem em estufa, a 105 °C até massa constante, para o cálculo da umidade.

A resistência tênsil foi calculada, segundo Dexter e Kroesbergen (1985), considerando a equação 1,

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

em que  $RT$  é a resistência tênsil do torrão (kPa), 0,576 a constante de proporcionalidade da relação entre o estresse compressivo aplicado e o estresse tênsil gerado no interior do agregado/torrão,  $P$  a força aplicada (N), e  $D$  o diâmetro efetivo do torrão (m). O diâmetro efetivo do agregado/torrão foi calculado pela equação 2 (WATTS; DEXTER, 1998),

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

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 do torrão individual seco a 105 °C (g), e  $M_o$  a massa média dos torrões secos a 105 °C (g).

Para comparação da influência do diâmetro sobre o valor final de resistência tênsil (se considerando o obtido pela média da abertura das malhas das peneiras ou o real), para cada

torrão/agregado mediu-se seu diâmetro real com auxílio de um paquímetro digital (sendo obtidas três medidas e, com elas, o diâmetro médio). O diâmetro efetivo foi calculado considerando a equação 3

$$D = D_r (M/M_o)^{0,333}, \quad (3)$$

sendo  $D_r$  o diâmetro real do agregado/torrão. Os demais parâmetros de entrada seguem iguais ao da equação 1.

A friabilidade foi obtida por meio do método do coeficiente de variação proposto por Watts & Dexter (1998), equação 4,

$$F = \sigma_y/Y \pm \sigma_y/Y\sqrt{2n}, \quad (4)$$

em que  $\sigma_y$  é o desvio-padrão dos valores medidos da RT,  $Y$  é a média dos valores de RT e  $n$  é o número de repetições. As classes de friabilidade foram caracterizadas como propõem Utomo e Dexter (1981): não friável ( $< 0,05$ ), ligeiramente friável (0,05–0,10), friável (0,10–0,25), muito friável (0,25–0,40) e mecanicamente instável ( $> 0,40$ ). Na determinação dos valores máximos e mínimo da friabilidade foi utilizado os valores de RT obtidos a partir do diâmetro real e o diâmetro médio.

### 3.4 Análise Estatística dos dados

Os solos e graus de coesão (com o sem o caráter coeso) foram comparados quanto aos valores de areia, silte e argila, densidade, resistência tênsil e friabilidade. Foi seguido o delineamento inteiramente aleatorizado, considerando o esquema fatorial 7 x 2 (sete solos; dois graus de coesão) com 10 repetições para as variáveis areia, silte, argila e densidade do solo. Para a resistência tênsil, o esquema fatorial foi 7 x 2 x 2 (sete solos; dois graus de coesão; dois modos de obtenção dos diâmetros de agregados/torrões) com 10 repetições. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA, 2014) e em todas as situações, os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparação de médias (teste de Tukey), com significância de 5%.

Também foram utilizados métodos estatísticos multivariados: análise de componentes principais para caracterizar os tratamentos; e análise de agrupamento, para a formação de grupos com os tratamentos de maior similaridade. Todas as análises multivariadas foram feitas no software Statistical Analysis System (SAS) University version (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2012–2018).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos de solos com e sem caráter coeso

#### 4.1.1 Granulometria e classes texturais dos solos com e sem caráter coeso

Com a análise de variância foi possível observar diferenças estatísticas significativas para solos, coesão, bem como para a interação entre eles para as frações areia, silte e argila. (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de variância para os dados de areia, argila e silte dos horizontes com e sem o caráter coeso.

Variáveis	Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Areia	Solos (S)	6	11566,15	1927,69	1561,44*
	Graus de Coesão (C)	1	162,26	162,26	131,43*
	Interação S x C	6	2409,09	401,52	325,23*
	Erro	126	155,55	1,23	
	Total corrigido	139	14293,06		
	CV (%)	1,92			
Silte	Solos (S)	6	452,64	75,44	69,80*
	Graus de Coesão (C)	1	2,64	2,64	2,44 <sup>ns</sup>
	Interação S x C	6	169,69	28,28	26,17*
	Erro	126	136,18	1,08	
	Total corrigido	139	761,14		
	CV (%)	14,21			
Argila	Solos (S)	6	14606,84	2434,47	3765,78*
	Graus de Coesão (C)	1	206,48	206,48	319,39*
	Interação S x C	6	1688,43	281,41	435,29*
	Erro	126	81,46	0,65	
	Total corrigido	139	16583,21		
	CV (%)	2,32			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrados médios; F: teste F. \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para a maioria dos solos a fração areia foi predominante, com exceção do PAdx – BA, corroborando as informações comumente relatadas na literatura para os solos dos Tabuleiros Costeiros (BEZERRA *et al.*, 2014). A classe textural para a maioria dos solos foi a franco-argiloarenosa (Tabela 3), também já identificada nos trabalhos de Corrêa *et al.* (2008), Giarola *et*

*al.* (2003), Moreau *et al.* (2006), e em trabalhos mais recentes com horizontes com caráter coeso (GOMES *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020b).

Tabela 3 - Frações granulométricas e classificação textural dos horizontes com e sem o caráter coeso.

Local	Classe de solo	Graus de coesão	Areia	Silte	Argila	Classe textural
			----- % -----			
Brejo/MA	PAdx	Coeso	65	10	25	Franco-argiloarenosa
		Não Coeso	60	9	31	Franco-argiloarenosa
Fortaleza/CE	PAex	Coeso	59	5	36	Argiloarenosa
		Não Coeso	64	6	30	Franco-argiloarenosa
Fortaleza/CE	PVAe	Coeso	57	10	33	Franco-argiloarenosa
		Não Coeso	70	6	24	Franco-argiloarenosa
Goiana/PE	PAdx	Coeso	71	5	24	Franco-argiloarenosa
		Não Coeso	61	8	31	Franco-argiloarenosa
Rio Largo/AL	LAdx	Coeso	51	5	44	Franco-argiloarenosa
		Não Coeso	39	6	55	Argila
Neópolis/SE	PAdx	Coeso	67	11	22	Franco-argiloarenosa
		Não Coeso	63	10	27	Franco-argiloarenosa
Cruz das Almas/BA	PAdx	Coeso	44	6	50	Argila
		Não Coeso	42	6	52	Argila

Os horizontes com e sem caráter coeso, em geral, apresentaram diferenças significativas para os teores totais da fração areia (Figura 3). No entanto, estas diferenças não provocaram alterações quanto às classes texturais dos horizontes com e sem caráter coeso para a maioria dos solos. É importante destacar que estas diferenças encontradas em relação fração areiam não explicam isoladamente o aumento da coesão nos horizontes (ARAÚJO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020b). Apenas os PVAe – CE e o LAdx – AL apresentaram classes texturais distintas para os horizontes com e sem caráter coeso (Tabela 3).

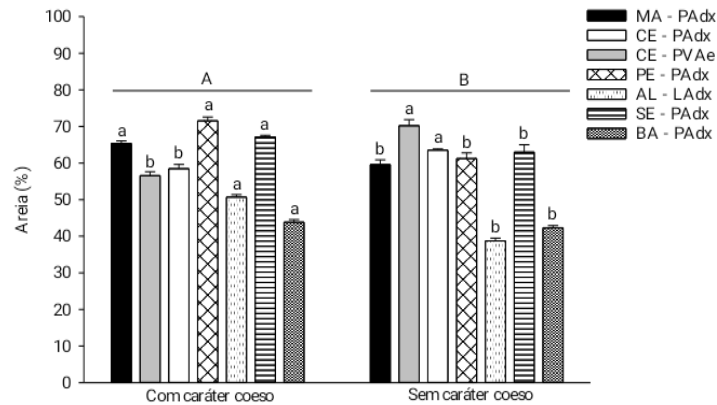


Figura 3 - Porcentagem de areia para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso. As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os graus de coesão, e minúsculas entre as classes de solos com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A maioria dos solos apresentou diferenças significativas para os teores totais da fração silte, exceção apenas para o PAdx – BA (Figura 4) – sendo a fração de menor predominância em todos os solos analisados. Nestes solos, a baixa razão silte/argila é relacionada ao material de origem e ao estágio de intemperismo mais avançado (MOREAU *et al.*, 2006; DANTAS *et al.*, 2014).

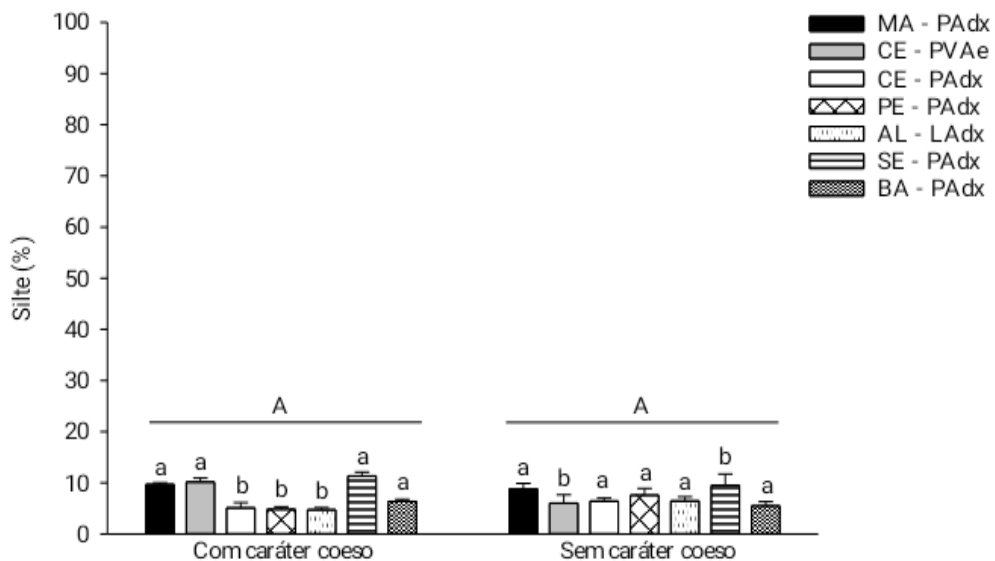


Figura 4 - Porcentagem de silte para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso. As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os graus de coesão, e minúsculas entre as classes de solos com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Os horizontes com e sem caráter coeso apresentaram diferenças significativas para os teores totais da fração argila (Figura 5) para todos os solos, sendo PAex e PVAe os solos que apresentaram teores de argila superiores nos horizontes com caráter coeso. Para o PVAe – CE, o horizonte sem caráter coeso estudado foi um horizonte transicional (BE), como pode ser visto no

descritivo da Tabela 1. Portanto, os maiores teores de argila para o horizonte coeso neste solo estão relacionados, em parte, à translocação da argila do horizonte subjacente. Uma explicação similar pode ser usada para justificar o maior teor de argila do PAex, pois o horizonte com caráter coeso foi coletado abaixo do horizonte Bt1 sem caráter coeso.

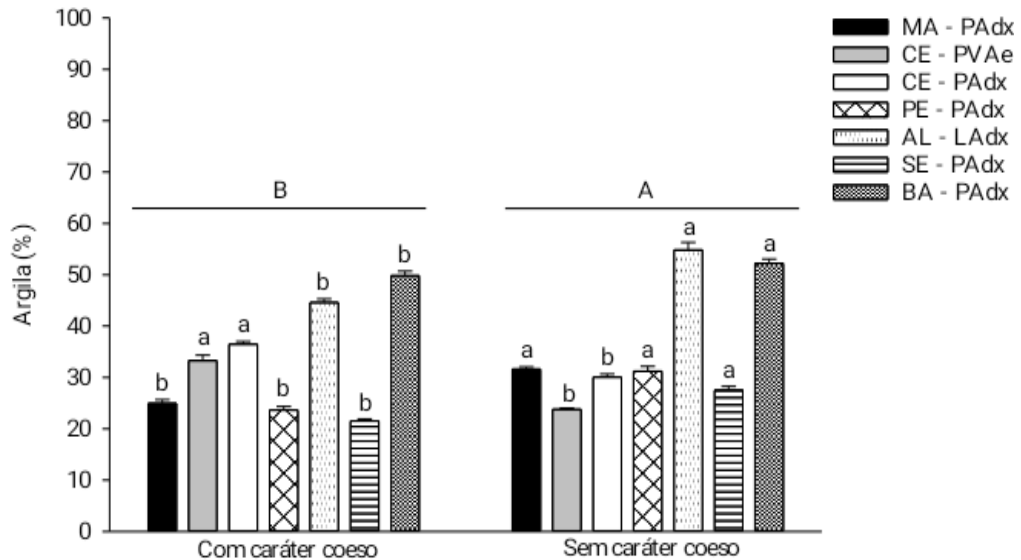


Figura 5 - Porcentagem de argila para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso. As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os graus de coesão, e minúsculas entre as classes de solos com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

#### 4.1.2 Densidade do solo em horizontes com e sem caráter coeso

Com a análise de variância foi possível observar diferenças estatísticas significativas para solos, graus de coesão, bem como para a interação entre eles (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de variância da densidade dos solos em horizontes com e sem caráter coeso

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Solos (S)	6	0,90	0,15	54,87*
Graus de coesão (C)	1	0,57	0,57	208,45*
Interação S x C	6	0,20	0,03	12,03*
Erro	126	0,34	0,01	
Total corrigido	139			
CV (%)	3,36			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrados médios; F: teste F. \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os horizontes com caráter coeso apresentam valores de densidade significativamente maiores em relação àqueles sem o referido atributo diagnóstico (Figura 6). Os valores de densidade obtidos para os horizontes com caráter coeso variaram de 1,51 a 1,73 g cm<sup>-3</sup>, portanto, na faixa da densidade média relatada na literatura em condições naturais (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001; LIRA *et al.*, 2016). As altas densidade encontradas nestes horizontes resulta do arrançamento mais fechado das partículas, favorecido pela presença da fração areia mal selecionada e fina (SILVA *et al.*, 2020b). Ao ocupar os espaços entre as partículas maiores, a areia mais fina contribui para a redução do volume de poros aumentando a densidade nos horizontes coesos (MENEZES *et al.*, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2018).

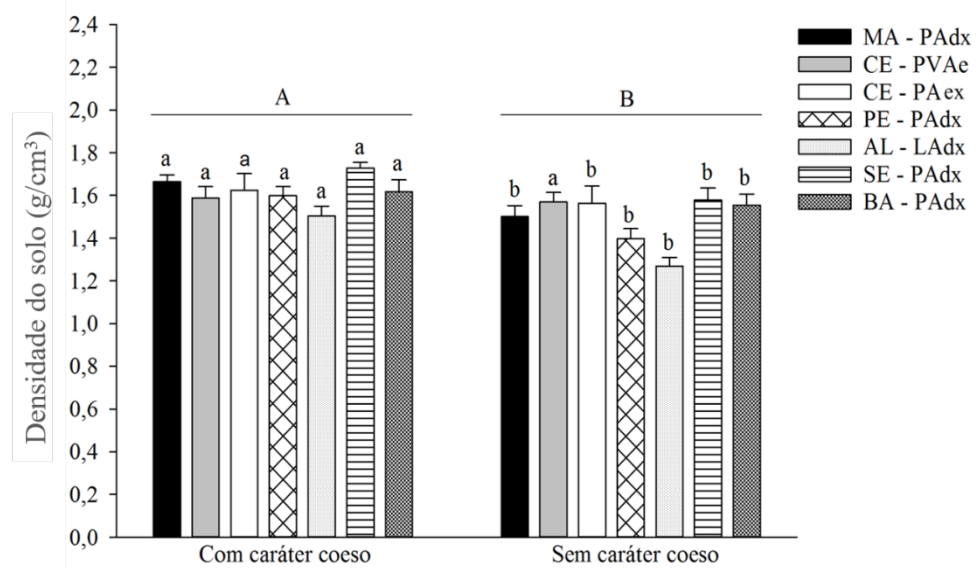


Figura 6 - Valores médios de densidade do solo em horizontes com e sem o caráter coeso. As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os graus de coesão, e minúsculas entre as classes de solos com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

#### 4.1.3 Resistência tênsil em horizontes com e sem caráter coeso

Para a resistência tênsil (RT), na análise de variância houve diferenças estatísticas significativas, porém sem interação entre graus de coesão e métodos de mensuração do diâmetro, tampouco entre os solos, graus de coesão e métodos de mensuração (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise de variância análise de variância para a resistência tênsil em horizontes com e sem o caráter coeso.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Solos (S)	6	52749,58	8791,60	33,20**
Graus de coesão (C)	1	33681,85	33681,85	127,19**
Métodos (M)	1	10762,95	10762,95	40,64**
Interação S x C	6	21618,20	3603,03	13,60**
Interação S x M	6	3420,77	570,13	2,15**
Interação C x M	1	2,72	2,72	0,01 <sup>ns</sup>
Interação S x C x M	6	1431,18	238,58	0,90 <sup>ns</sup>
Erro	252	66731,99	264,81	
Total corrigido	279	190339,26		
CV (%)	41,48			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrados médios; F: teste F. \*\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A presença do horizonte com caráter coeso promove alterações nos atributos físicos, por exemplo, na resistência tênsil (LIMA *et al.*, 2005). Com base nos dados é possível evidenciar que os valores de resistência tênsil para os horizontes com o referido atributo são significativamente maiores (com exceção para PAdx – BA e PVAe - CE) quando comparados aos horizontes que não apresentam a coesão como atributo diagnóstico (Figura 7).

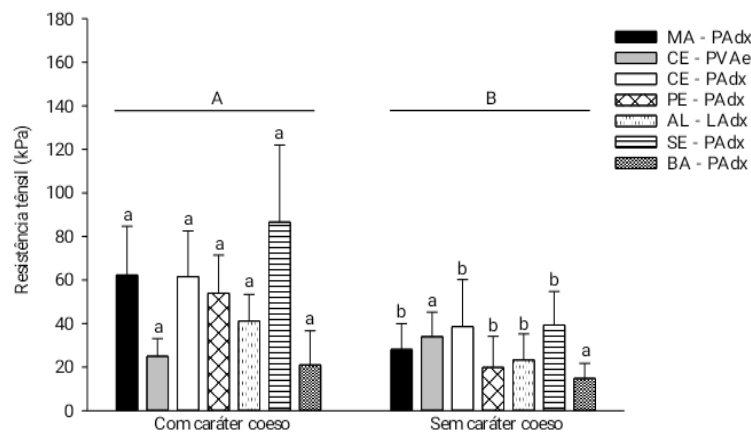


Figura 7- Valores médios de RT de agregados para as classes de solos em horizontes com e sem o caráter coeso. As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os graus de coesão, e minúsculas entre as classes de solos com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A maior resistência tênsil de agregados/torrões também foi constatada nos estudos realizados por Lima *et al.* (2005), Araújo *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2020b), ao avaliarem os agregados/torrões dos horizontes com e sem o caráter coeso. Nestes estudos foram encontrados valores médios de RT para horizontes coeso de 37,5 kPa, 76,65 e 52,4 (ARAÚJO *et al.*, 2018; GIAROLA *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2005). Como a RT é um atributo sensível à presença de

planos de fraqueza, o adensamento natural dos horizontes coesos, com a redução destes planos, provavelmente contribui para que estes apresentem maiores valores de RT (DEXTER e WATTS, 2000; GIAROLA *et al.*, 2003). Para além disso, a maior resistência nestes solos ocorre devido à forte coesão, quando secos, estabelecida entre as frações primárias do solo (areia, argila e silte) (GIAROLA *et al.*, 2003). Existem diversas pesquisas investigando os fatores e processos envolvidos na gênese desta forte coesão típica nos horizontes coesos identificada pela alta resistência tênsil de seus torrões em comparação aos de horizontes não coesos (LIMA NETO *et al.*, 2009; RAMOS *et al.*, 2013; DANTAS *et al.*, 2014; ARAÚJO *et al.*, 2018; BEZERRA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2020b).

Ainda em relação à RT, são reportadas na literatura elevadas variabilidade nos dados para este atributo. Este fato está relacionado à diversidade de fatores que a influenciam, tais como a umidade, a mineralogia do solo, a posição do agregado no equipamento, matéria orgânica, momento exato da ruptura, forma que os agregados assumem, e o tamanho (IMHOFF *et al.*, 2002; SEBEN JR *et al.*, 2013; MUNKHOLM *et al.*, 2016; BARBOSA; FERRAZ, 2020). A influência deste último foi observada ao comparar dois métodos de mensuração do diâmetro na determinação da RT discutida na próxima seção.

#### ***4.1.4 A influência do diâmetro obtido pela média da abertura da malha das peneiras e o real na resistência tênsil e friabilidade.***

Ao realizar a mensuração individual dos agregados, os valores do diâmetro real são, em geral, maiores que aqueles assumidos ao considerar o diâmetro médio da abertura das malhas das peneiras (22 mm) – o valor médio para os agregados mensurados individualmente foi 26,56 mm. Portanto, como consequência, em geral há redução significativa do valor da resistência tênsil (RT) dos agregados em horizontes com e sem o caráter coeso (Figuras 8 e 9).

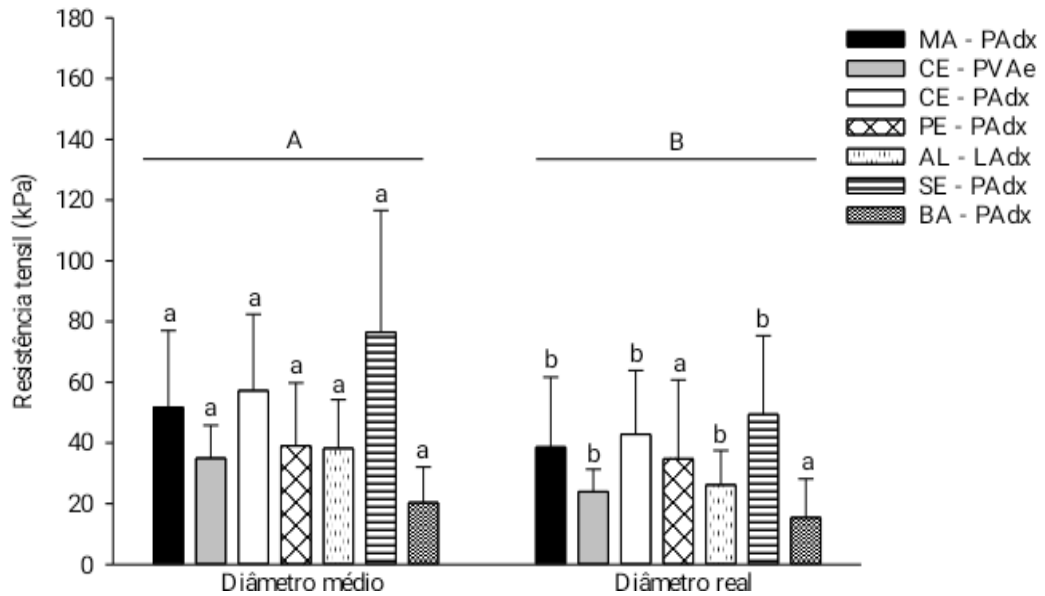


Figura 8 - Valores médios de resistência tênsil de agregados do solo para as classes de solos considerando o método de determinação do diâmetro

As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os métodos de mensuração do diâmetro, e minúsculas entre as classes de solos com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

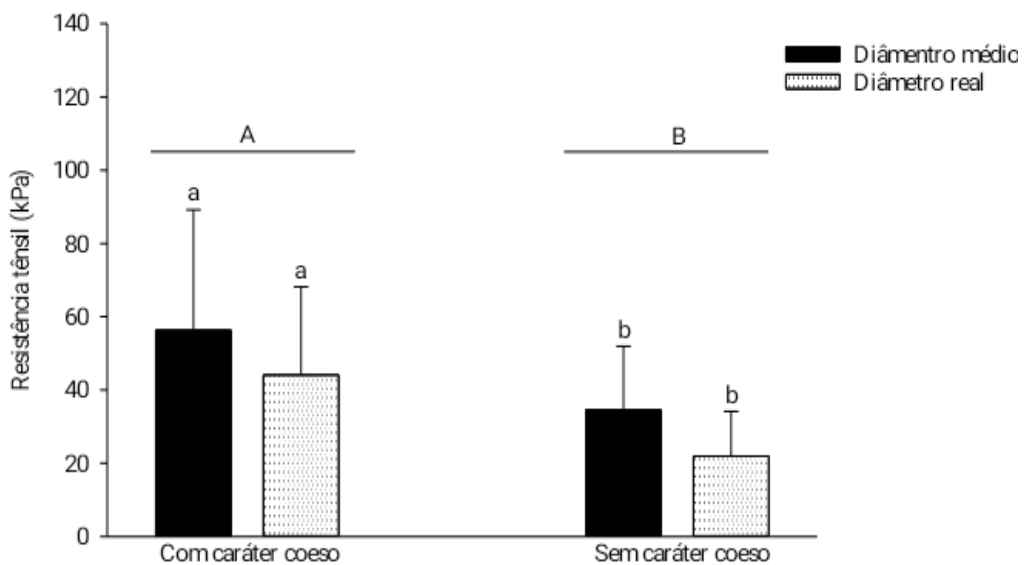


Figura 9 - Comparação dos valores médios de resistência tênsil de agregados dos solos com e sem caráter coeso considerando os métodos de determinação dos diâmetros

As barras nas colunas indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os graus de coesão, e minúsculas entre os métodos de mensuração do diâmetro dos agregados com coluna semelhante, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A forma de determinação do diâmetro dos agregados utilizada na mensuração da RT influencia também a determinação de outro atributo dos solos, a friabilidade, cuja determinação, segundo Watts & Dexter (1998), é dependente da variabilidade dos dados da RT. Os horizontes com caráter coeso foram os que apresentaram os menores valores de friabilidade para a maioria



dos solos (Tabela 6). Isso indica que um bloco destes solos pode ser fragmentado em tamanhos arbitrários uniformes de agregados, controlados pela força mínima aplicada ao desfazê-los. Esta ocorrência pode gerar ambiente inadequado para a germinação das sementes e para o crescimento de plantas (UTOMO; DEXTER, 1981; TORMENA *et al.*, 2008). Considerando isso, ao se avaliar a produtividade em solos identifica-se redução de produtividade das culturas devido à presença do caráter coeso (SOUZA *et al.*, 2008; CINTRA *et al.*, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2020).

Tabela 6 - Variação das classes de friabilidade dos horizontes com caráter coeso utilizando a variabilidade dos dados de resistência tênsil calculada com os diâmetros da abertura das malhas das peneiras e real.

Local	Classe de solo	Diâmetro Real			Diâmetro Médio		
		F mínima	F máxima	Classe de friabilidade	F mínima	F máxima	Classe de friabilidade
Brejo/MA	PAdx	0,26	0,42	Muito friável a Mecanicamente instável	0,29	0,45	Muito friável a mecanicamente instável
Fortaleza/CE	PVAe	0,19	0,31	Friável a Muito friável	0,21	0,33	Friável a Muito friável
Fortaleza/CE	PAex	0,24	0,38	Friável a muito friável	0,27	0,43	Muito friável a Mecanicamente instável
Goiana/PE	PAdx	0,24	0,38	Friável a muito friável	0,27	0,43	Muito friável a Mecanicamente instável
Rio Largo/AL	LAdx	0,21	0,34	Friável a muito friável	0,15	0,24	Friável
Neópolis/SE	PAdx	0,28	0,44	Muito friável a mecanicamente instável	0,25	0,40	Muito friável
Cruz das Almas/BA	PAdx	0,41	0,64	Mecanicamente instável	0,44	0,70	Mecanicamente instável

\*F: Friabilidade do solo

Como destacado anteriormente, a friabilidade é estimada por meio do coeficiente de variação da RT e, portanto, a alteração destes coeficientes pode alterar as classes de friabilidade determinadas ao comparar os dois métodos de obtenção do diâmetro do agregado/torrão. Para os horizontes com caráter coeso, o PAex – CE, PAdx – PE, LAdx – AL e PAdx – SE apresentaram

classes de friabilidade diferentes ao comparar os dois métodos para a obtenção dos diâmetros (Tabela 6).

Para os horizontes sem o caráter coeso, por apresentarem maior distribuição de microfissuras e zonas de fraqueza, o tamanho e a forma dos agregados destes horizontes são mais irregulares, com ampla distribuição de tamanhos de agregados. São estes horizontes que apresentam maiores valores de friabilidade (Tabela 7), o que indica que estes solos podem sofrer várias rupturas a partir de uma força mínima aplicada dificultando a uniformidade do tamanho e forma dos agregados (UTOMO; DEXTER, 1981; TORMENA *et al.*, 2008). Esta maior presença de planos de ruptura reflete na redução da RT dos horizontes sem o caráter coeso em relação às classes de friabilidade. Quanto às classes de friabilidade, apenas o PAdx – PE e PAdx – SE apresentaram alteração em decorrência dos métodos de mensuração dos diâmetros dos agregados.

Tabela 7 - Variação das classes de friabilidade dos horizontes sem caráter coeso utilizando os dados de RT obtidos com o diâmetro médio e real para sua determinação.

Local	Classe de solo	Diâmetro Real			Diâmetro Médio		
		F mínim a	F máxim a	Classe de friabilidade	F mínim a	F máxim a	Classe de friabilidade
Brejo/MA	PAdx	0,27	0,42	Muito friável a Mecanicamente instável	0,28	0,45	Muito friável a Mecanicamente instável
Fortaleza/CE	PVAe	0,22	0,35	Friável a muito friável	0,20	0,32	Friável a muito friável
Fortaleza/CE	PAaex	0,41	0,64	Mecanicamente instável	0,43	0,67	Mecanicamente instável
Goiana/PE	PAdx	0,31	0,48	Muito friável a mecanicamente instável	0,56	0,89	Mecanicamente instável
Rio Largo/AL	LAdx	0,35	0,55	Muito friável a mecanicamente instável	0,37	0,59	Muito friável a mecanicamente instável
Neópolis/SE	PAdx	0,25	0,39	Muito friável	0,23	0,37	Friável a muito friável
Cruz das Almas/BA	PAdx	0,26	0,41	Muito friável a mecanicamente instável	0,35	0,55	Muito friável a mecanicamente instável

\*F: Friabilidade do solo

Vale destacar que solos não friáveis a ligeiramente friáveis apresentam muitas restrições ao preparo mecânico, pois, mesmo úmidos, seus agregados resistem ao rompimento em planos naturais de clivagem. Assim, quando do preparo do solo, há a tendência de pulverização do material, individualizando as partículas que compõem o solo, com as argilas tornando-se vulneráveis ao arraste pelo vento ou por solução aquosa. Os solos mecanicamente instáveis são muito frágeis e tendem à estrutura em grãos simples, o que do ponto de vista de conservação do solo também ruim, pois são mais propícios à erosão e degradação (QUEIROZ, 2018).

Feita essa abordagem quanto aos resultados, é importante destacar que, de fato, há diferença significativa na resistência tênsil e, em menor proporção, na classificação da friabilidade dos solos quando se adota um dos procedimentos de mensuração ou estimativa da resistência tênsil de agregados. Assim, é mais assertivo que se faça a medição de cada agregado, pois se sabe que a forma e o tamanho influem na variabilidade dos valores de resistência tênsil.

No entanto, cabe esclarecer que do ponto de vista prático, é muito mais produtor de trabalho com os agregados separados por peneiramento, visto que a medição de cada agregado resulta em um tempo demasiadamente longo – além das dificuldades de serem obtidas as medidas principalmente quando os agregados são de tamanho pequeno. Assim, para contornar essas dificuldades, como bem propuseram Dexter e Kroesbergen (1985), o protocolo da separação dos agregados por peneiramento deve ser preferido, desde que sejam selecionadas peneiras cujas aberturas das malhas não apresentem faixa muito larga de tamanho, de modo que os agregados selecionados apresentem diâmetros próximos aos obtidos por mensuração direta, o que resulta em pequena dispersão dos dados da resistência tênsil.

#### **4.2 Métodos multivariados na análise dos atributos físicos dos horizontes com e sem caráter coeso**

Na Figura 10 é possível caracterizar relações entre os atributos granulometria, densidade do solo, resistência tênsil e friabilidade para os horizontes com e sem caráter coeso de cada solo estudado, tendo os componentes principais 1 e 2 explicado cerca de 74% da variabilidade observada.

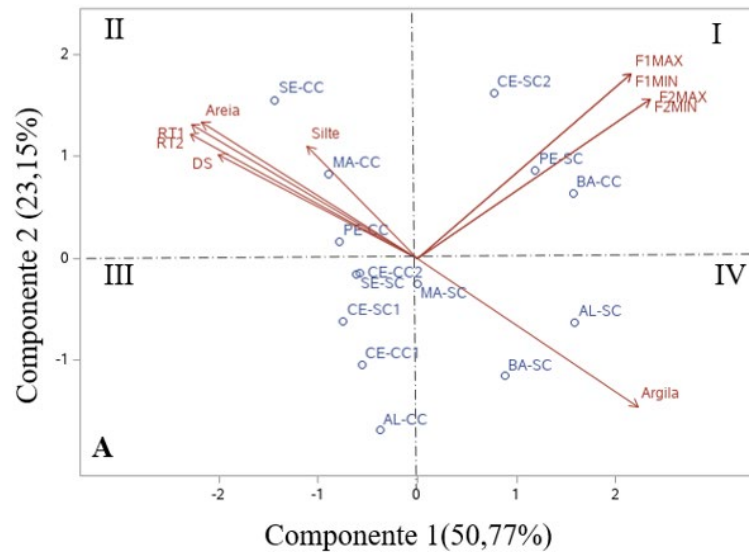


Figura 10 - Análise de componentes principais utilizada para caracterizar relações entre atributos físicos e horizontes com caráter coeso (CC) e sem o caráter coeso (SC) de cada solo estudado. (RT1: considerando o diâmetro dos agregados pela média da abertura das malhas das peneiras e RT 2: real; F1: friabilidade determinada pela RT utilizando o diâmetro dos agregados pela média da abertura das malhas das peneiras e F2: friabilidade determinada pela RT utilizando para o diâmetro real; DS: Densidade do solo).

No 1º quadrante da Figura 10 estão as variáveis friabilidades mínima e máxima, pelos dois métodos de obtenção de diâmetro (F1 para o diâmetro obtido pela média da abertura das malhas das peneiras e F2 para o diâmetro real). Para estas variáveis, os solos que se encontram no mesmo quadrante apresentaram valores acima da média, enquanto os solos presentes no quadrante oposto apresentaram valores abaixo da média para estas variáveis.

No 2º quadrante estão localizadas as variáveis areia, silte, densidade do solo e resistência tênsil pelos dois métodos de obtenção de diâmetro (RT1 para o diâmetro obtido pela média da abertura das malhas das peneiras e RT2 para o diâmetro real) – variáveis com maior peso para a discriminação dos horizontes com caráter coeso dos estados do Maranhão, Pernambuco e Sergipe e com relação inversa à variável argila no 4º quadrante (variável que discriminou os horizontes sem caráter coeso dos estados de Alagoas e Bahia. As retas de RT1 e RT2 apresentam-se praticamente paralelas, ou seja, a correlação é tão elevada que, na prática, tem-se apenas uma variável. De modo semelhante, se observa nas retas de F1 min e máx e F2 min e máx. Também é possível observar correlação entre o teor de areia e resistência tênsil. No 3º quadrante estão localizados solos que não foram discriminados por nenhum dos atributos avaliados.

Também é possível observar correlação inversa entre o teor de argila com resistência tênsil e densidade do solo. Tal comportamento pode estar relacionado às ligações mais fracas que são formadas com os compostos alifáticos na superfície dos minerais de argila. Resultados

reportados por Imnhoff et al. (2002) evidenciaram que argila+silte e a MOS foram variáveis que mais influenciaram a RT.

Quanto à análise de cluster, Figura 11, o primeiro grupo foi formado pelos solos PAdx – BA – SC, PAdx – BA (com o caráter coeso) e LAdx -AL (sem o caráter coeso), solos que apresentaram menores valores de RT. O segundo grupo incluiu a maioria dos solos sem caráter coeso e ainda aqueles caracterizados como solos que apresentam caráter coeso com um grau moderado de coesão.

O terceiro grupo foi formado apenas pelo PAdx – SE (com caráter coeso) – dentre os solos estudados, foi o que apresentou os maiores valores de RT. O grupo IV foi composto pelo PAdx -MA, PAex CE e por PAdx – PE, todos com caráter coeso. Estes solos apresentaram elevados valores de RT e de densidade do solo.

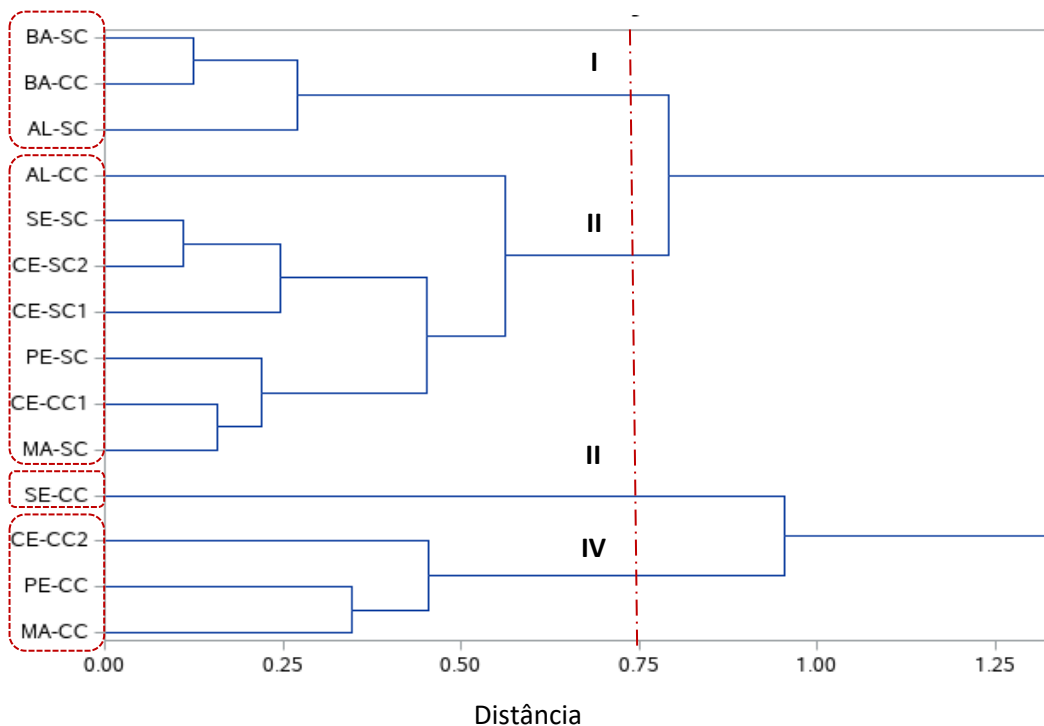


Figura 11 - Análise de agrupamento dos horizontes dos solos com caráter coeso (CC) e sem caráter coeso (SC). (BA: Bahia - PAdx; AL: Alagoas - LAdx; SE: Sergipe - PAdx; CE1: Ceará - PVAe; CE2: Ceará - PAex; PE: Pernambuco - PAdx; MA: Maranhão - PAdx.

## 5 CONCLUSÕES

A granulometria, densidade e resistência tênsil diferem significativamente entre horizontes de solos com e sem o caráter coeso;

Os valores de resistência tênsil diferem significativamente quando são considerados os métodos de obtenção do diâmetro dos agregados/torrões – sendo menores quando o diâmetro é medido diretamente – e resultam, embora em poucas situações, em classes distintas de friabilidade para o mesmo horizonte analisado.

## REFERÊNCIAS

- AL-SHAMMARY, A. A. G.; KOUZANI, A. Z.; KAYNAK, A., KHOO, S. Y.; NORTON, M.; GATES, W. Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. **Pedosphere** v.28, p.581–596, 2018.
- ALMEIDA, B. G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. Piracicaba: ESALQ, 2008. 103p. Tese de doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, 2008.
- ALMEIDA, B. G.; SILVA, A. P.; RAINE, S. R.; FIGUEIREDO, G. C. Evaluation of automotive varnish as a coating for density measurements of soil clods. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p. 449 -452, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, A. S. Descrição morfológica de um Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo. Fortaleza: UFC, 2019. (Informação pessoal).
- ARAÚJO FILHO, J. C.; ALMEIDA, B. G.; ANDRADE, R. K. Descrição morfológica de um Argissolo Amarelo. In: ANDRADE, K. R. **Atributos físico-hídricos de solos coesos da Zona da Mata de Pernambuco sob ação de condicionadores químicos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- ARAUJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracaju. 2001. **Anais**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 123-142, 2001.
- ARAÚJO, A. M. S. S.; MENEZES, A. S.; ALENCAR, T. L.; SILVA, C. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G.; ALMEIDA, B. G.; MOTA, J. C. A. Tensile strength in horizons with and without cohesive character: variability and relation with granulometry. **Catena**, v. 166, p. 290-297, 2018.
- BARBOSA, L. A. P.; FERRAZ, A. C. O. Which evidence attests for soil aggregate rupture? A new criterion to determine aggregate tensile strength. **Soil and Tillage Research**, v. 197, p. 104530, 2020.
- 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 north-east Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, p. 43–55, 2015.
- BLAKE, G. Bulk Density, in: BLACK, C. A., EVANS, D. D., WHITE, J. L., ENSMINGER, L. E., CLARK, F. E. (Eds.), **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. Madison: American Society of Agronomy, p. 374–390, 1965.
- CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1041–1051, 2009.

Cintra, F. L.D.; Libardi, P. L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do tabuleiro costeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.367-378, 1998.

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

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**, v. 32, 297–313, 2008.

COSTA, O. D. V.; LIMA, A. V. Revisão da descrição do perfil da Reunião Técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, publicado nos Anais, realizada em Cruz das Almas em 1996. Informação pessoal. Cruz das Almas: BA, 2019.

CUENCA, M. A. G. **Importância econômica dos Tabuleiros Costeiros Nordestinos na agropecuária da região**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 28p. Série Documentos, 31

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

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

DEXTER, A. R.; WATTS, C. W. Tensile strength and friability. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C.E. (Ed.). **Soil and environmental analysis: Physical Methods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2000. p. 401-430.

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

FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its Bootstrap produces in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109 - 112, 2014.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle - size analysis. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil Analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pt. 1, p. 383-411, (Agronomy Monography), 1986.

GIAROLA, Neyde Fabíola B.; LIMA, Herdjanía Veras de; ROMERO, Ricardo Espíndola; *et al.* Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 33–40, 2009.

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



GOMES, J. B. V.; ARAÚJO FILHO, J. C.; VIDAL-TORRADO, P.; COOPER, M., SILVA, E. A.; CURTI, N. Cemented Horizons and Hardpans in the Coastal Tablelands of Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–18, 2017.

GUÉRIF, J. Determination of the tensile-strength of soil aggregates – review and proposal for an improved technique. **Agronomie, Paris**, v. 8, p. 281-288, 1988.

HILLEL, D. **Soil physics and soil physical characteristics**. In: Introduction to environmental soil physics. Academic, New York, pp 3-19, 2004.

IMHOFF, S. C.; **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos. 2002. 104p.** 2002. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

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

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros; **Anais**. Aracaju: EMBRAPA, CPATC; EMBRAPA, CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, 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. p. 19-46, 2001.

KAY, B. D.; DEXTER, A. R. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a Red-Brown Earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 97-310, 1992.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Comportamento físico de um Argissolo Acinzentado coeso no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.1, p. 33-40, 2005.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M; SOUZA JÚNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1001-1011, 2009.

LIRA, R. A., ARAÚJO, M. S. B., ALMEIDA, B. G., MARCELO, V. F. Uso agrícola e atributos físico-hídricos de solo coeso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 07, 2016.

MENEZES, A. S. et al. Functionality of the porous network of Bt horizons of soils with and without cohesive character. **Geoderma**, v. 313, p. 290–297, 2018.

MELO FILHO, H. F. R.; ARAÚJO FILHO, J. O. Descrição de perfil (1984). In: NOGUEIRA, L. R. Q.; NOGUEIRA, L. C. (Eds.). **Anais da Reunião Técnica Sobre Solos dos Tabuleiros Costeiros**, Cruz das Almas: EMBRAPA- CPATC, 1996. p. 13–25.

MOREAU. et al. Caracterização de Solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1008–1019, 2006.

MUNKHOLM, L. J.; SCHJØNNING, P. & RASMUSSEN, K. J. No-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humid sandy loam. **Soil & Tillage Research**, 62:1-14, 2001.

MUNKHOLM, L. J., HECK, R. J., DEEN, B., ZIDAR, T. Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. **Geoderma**, 268, 52–59, 2016.

NASCIMENTO JUNIOR, F. R. P. **Diâmetro de agregados: influência na resistência tênsil como indicador de qualidade do solo**. Relatório final do programa institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), Fortaleza: UFC, 14 p. 2019.

QUEIROZ, Alexandre dos Santos. **Estimativa da friabilidade de solos com dados de resistência tênsil**. 2018. 31 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

RAMOS, M. R.; CURCIO, G. R; DEDECEK, R. A.; MELO, V. F.; UHLMANN, A. Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da Formação Macacu, no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v37, p.837–845, 2013.

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, 2001. p.161-168.

RIBEIRO, L. O.; COSTA, D. P.; LEDO, C. A. S.; CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L., SOARES FILHO, W. S., GIRARDI, E. A. ‘Tropical Sunki’ mandarin and hybrid citrus rootstocks under ‘Pera’ sweet orange in cohesive soil and As climate without irrigation. **Bragantia**, v.80, p.1–14, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 531 p.

SEBEN JR, G. F.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; LAL, R. Aggregate shape and tensile strength measurement. **Soil Science**, v.178, p.301–307, 2013.

Silva, M. B., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Oliveira, V.Á. (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. Brasília, DF: Embrapa, 2020b.

SILVA, C. P.; ALMEIDA, B. G.; ROMERO, R. E.; ALENCAR, T. L.; LOBATO, M. G. R.; OLIVEIRA, L. S.; SOUZA, L. S.; COSTA, M. C. G., MOTA, J. C. A. Cohesive character in Alfisols, Ultisol and Oxisols in northeast of Brazil: Relationship with tensile strength and particle size. **Geoderma Regional**, v.23, e00341, 2020b.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas. 1996. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 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, n. 2, p. 503-513, 2008.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 943-952, 2008.

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. Soil Friability. **Journal of Soil Science**. v.32, p.203–213, 1981.

VIEIRA, Juliana Matos. **Contribuição de compostos de baixa cristalinidade e ciclos de umedecimento e secagem na gênese do caráter coeso em solos do Ceará**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, 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.