



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

**SABRINA MARIA CAVALCANTE SOUSA**

**MISTURAS DOS HORIZONTES A E B COM O CARÁTER COESO PARA  
MITIGAÇÃO DA LIMITAÇÃO FÍSICA DO SOLO**

**FORTALEZA**

**2023**

SABRINA MARIA CAVALCANTE SOUSA

MISTURAS DOS HORIZONTES A E B COM O CARÁTER COESO PARA MITIGAÇÃO  
DA LIMITAÇÃO FÍSICA DO SOLO

Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Agronomia da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola  
Romero.

FORTALEZA

2023

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

---

S698m Sousa, Sabrina Maria Cavalcante.  
Misturas dos horizontes A e B com o caráter coeso para a mitigação da limitação física do solo / Sabrina Maria Cavalcante Sousa. – 2023.  
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

1. Revolvimento do solo. 2. Resistência à penetração. 3. Densidade do solo. I. Título.

CDD 630

---

SABRINA MARIA CAVALCANTE SOUSA

MISTURAS DOS HORIZONTES A E B COM O CARÁTER COESO PARA MITIGAÇÃO  
DA LIMITAÇÃO FÍSICA DO SOLO

Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Agronomia da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 11/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

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

---

Dra. Juliana Matos Vieira  
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)

Ao meu avô Antônio Braga Pinto

*(In Memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celeste, e todas as suas formas de existência. Apesar da minha pouca fé, sei que mesmo assim esteve me guiando e me protegendo durante toda a minha vida.

À toda a minha família, em especial meus pais João e Maria Concebida, à minha irmã Bruna e meu irmão Davi, pelo apoio, incentivo e amparo durante toda a minha existência, e principalmente durante esse tempo distante de casa.

Ao meu orientador, Prof. Ricardo, o principal “culpado” por me deixar encantada pela Ciência do Solo durante as aulas da disciplina de Gênese e Morfologia do Solo, onde obtive meu primeiro contato com essa bela área da Agronomia. Muito obrigada pelo ensino, amizade, paciência, compreensão, que aliás tem sido quase um pai para mim. É uma grande honra o senhor me guiar nessa importante etapa da minha vida.

Aos participantes da banca, o prof. Jaedson Cláudio Anunciato Mota e Juliana Matos Vieira, pela disponibilidade para compor a banca examinadora e pelas valiosas dicas, críticas e sugestões ao meu trabalho.

Ao prof. Carlos Tadeu dos Santos Dias, pela disponibilidade de apoio nas análises estatísticas, suas contribuições foram de suma importância para a elaboração deste trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Ciências do Solo, por compartilharem todo o conhecimento que têm na Ciência do solo com muito amor e dedicação durante as aulas. São grandes exemplos de profissionais que levo como inspiração para o meu futuro acadêmico, além destes citados acima.

Aos meus amigos da graduação que me acompanharam durante esta trajetória: Ruan, Felipe, Louanne, Wesller, Meyari, Vitória, Vitor, Tainá, Lucas, Adyla, Fabrício, pelas risadas, brincadeiras, apoio e incentivo, ajuda em diversos momentos e aos demais amigos que não citei, da Agronomia ou não, mas que de alguma forma participaram desse processo.

Ao pessoal do Laboratório de Pedologia pela disponibilidade de espaço, pela ajuda no trabalho e os momentos de descontração. Principalmente à técnica do laboratório Emilly Souza, que adquiri um carinho especial. Grata pela atenção e apoio, sempre muito prestativa.

Aos colegas da pós-graduação do departamento, incluindo especialmente o Alexandre, Rovenne, Angélica e Ícaro, pela disponibilidade dos materiais de que precisei para a montagem do experimento e também pelo apoio, pelas dicas, conselhos e por sempre compartilhar a grandiosa experiência que vocês têm na área da Ciência do Solo.

Aos demais técnicos e funcionários do Departamento, como o Franzé, Kaio, Deyse, Crisanto, Antônio José e Amilson pela prestatividade, apoio, ensinamentos e que de certa forma colaboraram com o trabalho e pelos momentos de descontração.

À Universidade Federal do Ceará, pelas grandes vivências na instituição, e especialmente à Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis pela concessão de bolsas, auxílios e demais benefícios que colaboraram com a minha permanência na universidade.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento profissional que acabei não citando, mas que sou eternamente grata a cada um.

“A finalidade das ciências naturais não é apenas aceitar as afirmações de outros, mas investigar as causas que existem na natureza.”

(Santo Alberto Magno).

## RESUMO

O caráter coeso está relacionado a solos cujos horizontes subsuperficiais são adensados e apresentam consistência que varia de muito dura a extremamente dura, quando o solo está seco, e de friável a firme em solo úmido. A presença desses horizontes acarreta implicações na agricultura, principalmente quando se encontram mais próximos à superfície do solo, impedindo o desenvolvimento radicular. Nesse sentido, há uma carência de pesquisas para solucionar esse tipo de impedimento físico em relação aos horizontes com caráter coeso. Com a hipótese de que há diminuição da resistência do solo à penetração e da densidade do solo, realizando a mistura do horizonte A, que não apresentam o caráter coeso, com o horizonte B que já apresenta essa condição. Assim, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar se a mistura entre os horizontes A e B com caráter coeso diminui a densidade do solo e a resistência à penetração. Para tanto, foi coletado material do horizonte Ap, representando solo que não possui o caráter coeso, e do horizonte Bt, que apresenta o caráter coeso do perfil Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico, localizado no Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará. Em seguida, foram realizadas três misturas de diferentes proporções de solo com e sem caráter coeso, denominadas de tratamentos TM1, com 75% de solo com caráter coeso + 25% de solo sem caráter coeso; TM2, com 50% solo com caráter coeso + 50% de solo sem caráter coeso; e TM3, com 25% de solo com caráter coeso e 75% de solo sem o caráter coeso. Também foram utilizadas duas testemunhas: tratamentos TC (100% do solo com caráter coeso) com o material do horizonte Bt e o tratamento TNC (100% do solo sem o caráter coeso) coletado no horizonte Ap. As amostras foram acomodadas em tubos de PVC e passadas por nove ciclos de umedecimento e secagem, e depois realizou-se uma avaliação dos parâmetros quantitativos que medem o nível de coesão dos solos: a resistência à penetração (RP) e a densidade do solo (Ds). Como resultado, foi obtido que a variável RP obteve uma redução significativa a partir do tratamento TM2, cuja média do tratamento foi de 0,98 MPa, enquanto a variável Ds obteve maiores valores significativos nos tratamentos TM2, TM3 e TNC quando comparados com o TC. Observou-se uma certa diferença na densidade entre as testemunhas onde o tratamento TC, registrou uma média de  $1,28 \text{ g cm}^{-3}$ , o tratamento TNC, demonstrou um valor médio mais elevado, aproximadamente  $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ . Este resultado pode ser justificado pela maior proporção da fração areia observada no horizonte Ap.

**Palavras-chave:** revolvimento do solo; resistência à penetração; densidade do solo.

## ABSTRACT

The cohesive character is associated with soils whose subsurface horizons are compacted and exhibit consistency ranging from very hard to extremely hard when dry, and friable to firm when moist. The presence of these horizons have implications for agriculture, especially when they are closer to the soil surface, hindering root development. There is a lack of research to address this type of physical impediment related to cohesive horizons. The hypothesis is that soil penetration resistance and soil density decrease by mixing Horizon A, which lacks cohesive character, with Horizon B, which exhibits this condition. Thus, this study was developed with the aim of assessing whether the mixture of cohesive and non-cohesive horizons A and B reduces soil density and penetration resistance. To do so, material was collected from the Ap horizon, representing soil without cohesive character, and the Bt horizon, which has cohesive character, from the profile of Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico located in the Departamento de Engenharia Agrícola at the Universidade Federal do Ceará. Subsequently, three mixtures of different proportions of soil with and without cohesive character were prepared, labeled as treatments TM1, with 75% cohesive soil + 25% non-cohesive soil; TM2, with 50% cohesive soil + 50% non-cohesive soil, and TM3, with 25% cohesive soil + 75% non-cohesive soil. Two controls were also used: TC (100% cohesive soil) with material from the Bt horizon and TNC (100% non-cohesive soil) collected from the Ap horizon. The samples were placed in PVC tubes and subjected to nine cycles of wetting and drying, followed by an evaluation of quantitative parameters measuring soil cohesion: penetration resistance (RP) and soil density (Ds). As a result, RP showed a significant reduction from treatment TM2, with a treatment mean of 0.98 MPa, while Ds obtained higher significant values in treatments TM2, TM3, and TNC when compared to TC. There was a noticeable difference in density between the controls, where TC registered an average of 1.28 g cm<sup>-3</sup>, and TNC demonstrated a higher average value, approximately 1.36 g cm<sup>-3</sup>. This result can be justified by the higher proportion of the sand fraction observed in the Ap horizon.

**Keywords:** soil disturbance; penetration resistance; soil density.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de solo cujo horizonte com caráter coeso se encontra na faixa do 20 cm de profundidade, localizado no município de Aquiraz - Ceará.....	19
Figura 2 – Amostras dos tratamentos em tubos de PVC nas bandejas.....	22
Figura 3 – Imagens do equipamento no momento do teste de resistência à penetração em uma amostra.....	23
Figura 4 – Valores médios de resistência à penetração ( $R_p$ ) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC. Médias seguidas da mesma barra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	34
Figura 5 – Valores médios de densidade do solo ( $D_s$ ) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC. Médias seguidas da mesma barra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição de valores de resistência à penetração ( $R_p$ ) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC e seus respectivos valores médios.....	32
Gráfico 2 – Distribuição de valores de densidade do solo ( $D_s$ ) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC e seus respectivos valores médios.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição morfológica dos horizontes dos solos que foram coletados.....	20
Tabela 2 – Caracterização granulométrica dos tratamentos utilizados no estudo.....	27
Tabela 3 – Caracterização química dos dois horizontes utilizados no estudo.....	31

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1	<b>Caráter coeso</b> .....	15
2.2	<b>Gênese dos solos com caráter coeso</b> .....	16
2.3	<b>Características dos horizontes com caráter coeso</b> .....	17
2.4	<b>Limitações quanto ao uso e possíveis soluções</b> .....	18
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
3.1	<b>Ensaio experimental</b> .....	21
3.2	<b>Análises físicas</b> .....	22
3.2.1	<i>Resistência à Penetração</i> .....	22
3.2.2	<i>Densidade do solo</i> .....	23
3.2.3	<i>Granulometria</i> .....	23
3.3	<b>Análises químicas</b> .....	24
3.3.1	<i>Potencial hidrogeniônico, pH (H<sub>2</sub>O, KCl)</i> .....	24
3.3.2	<i>Complexo sortivo</i> .....	25
3.3.3	<i>Carbono orgânico total</i> .....	26
3.4	<b>Análise estatística dos dados</b> .....	26
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
4.1	<b>Granulometria</b> .....	27
4.2	<b>Caracterização Química</b> .....	29
4.3	<b>Resistência à Penetração (RP)</b> .....	32
4.4	<b>Densidade do Solo (Ds)</b> .....	35
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40
	<b>ANEXO A – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO UTILIZADO</b> ....	45



## 1 INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro são uma unidade geomorfológica que abrangem uma grande faixa de extensão litorânea, que se originaram a partir dos sedimentos da Formação Barreiras, depositados durante o período Terciário. Os solos dessa formação possuem diversas características que favorecem a exploração agrícola, tais como a topografia plana a suave ondulado em grandes extensões e uma boa localização, permitindo um fácil escoamento da produção. Entretanto, esses solos também exibem determinadas características limitantes, como a baixa fertilidade natural e a presença, em determinados locais, de horizontes com caráter coeso, que podem interferir negativamente na capacidade produtiva das culturas.

Os horizontes com caráter coeso são descritos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2018) como horizontes pedogenéticos subsuperficiais, naturalmente adensados, e que são muito duros a extremamente duros quando secos e se tornam friáveis ou firmes quando úmidos. Desse modo, a característica fundamental reside na forte resistência à penetração, o que representa um grande empecilho ao desenvolvimento das raízes, e que também afeta a drenagem, a retenção de água e aeração do solo. Além disso, esses solos não são considerados reservatórios ideais de nutrientes, devido à baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e à acidez mais elevada.

Por mais que existam alguns autores, como Cintra *et al.* (2000), afirmando que estes horizontes em grandes profundidades podem ser benéficos, podendo manter o maior teor de água por mais tempo no solo, quando essa coesão se encontra mais próximo da superfície, pode afetar o crescimento e desenvolvimento radicular de diversas culturas, dificultando a penetração das raízes, a aeração e a circulação de água no solo. Além disso, existe carência em relação à estudos desenvolvidos para solucionar esse tipo de impedimento físico.

Nesse contexto, o estudo em questão explora a viabilidade do revolvimento do solo como uma alternativa potencial para mitigar as restrições físicas decorrentes do caráter coeso, com a hipótese de que realizando a mistura do horizonte A superficial, que não apresenta o caráter coeso, com o horizonte B que apresenta essa condição, há diminuição da densidade e de sua resistência à penetração. Neste estudo, com o objetivo de avaliar se a mistura entre os horizontes A e B com caráter coeso diminui a densidade do solo e a resistência à penetração, foram realizadas misturas de diferentes proporções de solo com e sem caráter coeso e duas testemunhas: material de solo com caráter coeso e sem caráter coeso, seguido da avaliação, após nove ciclos de umedecimento e secagem, de parâmetros quantitativos que mensuram o nível de adensamento, como a resistência à penetração (RP) e a densidade do solo (Ds).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Caráter coeso

O caráter coeso no solo é um atributo diagnóstico definido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2018), que descreve solos com horizontes subsuperficiais adensados e resistentes à penetração de faca ou martelo pedológico. Esses horizontes são duros a extremamente duros quando secos, mas tornam-se friáveis ou firmes quando úmidos, chegando a se desmanchar ao ser imersa em água, quando utiliza-se uma amostra seca do horizonte com caráter coeso. Em condições naturais, são geralmente maciços e podem apresentar tendência a formar blocos, apresentando fraca organização estrutural.

A princípio, essa característica foi creditada apenas na classe de Latossolos Amarelos no antigo SiBCS de 1999, ainda que pouco definida (LIMA *et al.*, 2004; LIMA NETO *et al.*, 2009). Posteriormente, Jacomine (2001) registrou esse comportamento em Argissolos Amarelos e Argissolos Acizentados. Nos anos seguintes, foi incluído como atributo diagnóstico “caráter coeso” em 2006 (LIMA NETO *et al.*, 2009) e, então, o sistema (SiBCS) incorporou o critério de caracterização de solos com caráter coeso definido por Jacomine (2001), Ribeiro (2001) e Santos *et al.* (2015) também em Argissolos, como no atual SiBCS (EMBRAPA, 2018).

A presença desses horizontes com caráter coeso está ligada à ocorrência de depósitos sedimentares argilosos e areno-argilosos, provenientes da Formação Barreiras, associados à unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, abrangendo extensas áreas ao longo da costa brasileira, desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro, abrangendo as regiões Norte, Nordeste e Sudeste (JACOMINE, 2001). Geralmente o caráter coeso ocorre em horizontes transicionais AB e/ou BA entre 30 cm e 70 cm abaixo da superfície, podendo prolongar-se até o Bw ou o Bt, no todo ou em parte, no entanto, estudos posteriores de Lima *et al.* (2004) e Vieira *et al.* (2012), encontraram horizontes com caráter coeso em profundidades ainda maiores no estado do Ceará, relacionado ao horizonte Bt de Argissolos.

A identificação desse tipo de horizonte tem sido predominantemente realizada de maneira qualitativa em campo, baseada na descrição morfológica de perfis (VIEIRA, 2012) com avaliação da consistência e da resistência à penetração. No entanto, mostrou-se que a resistência à penetração do solo, determinado por aparelho (penetrômetro) é uma importante variável para essa identificação, em termos quantitativos (GIAROLA *et al.*, 2003), especialmente quando combinada com outros parâmetros, como a densidade do solo e porosidade, a fim de proporcionar uma caracterização mais abrangente do comportamento coeso do solo (VIEIRA, 2012). Portanto, as novas propostas para a determinação do caráter

coesos para a última edição do SiBCS, conforme definido pela Embrapa (2018), sugerem que acrescentem tais variáveis quantitativas como a densidade do solo, que normalmente varia entre  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  e a resistência à penetração, que deve atingir valores geralmente acima de 5 MPa em amostra seca nas condições laboratoriais (SANTOS *et al.*, 2023).

## 2.2 Gênese dos solos com caráter coeso

A origem do caráter coeso em solos ainda não está completamente esclarecida, mas sabe-se que decorre de uma natureza pedogenética (RIBEIRO, 2001; LIMA NETO *et al.*, 2009; VIEIRA, 2013; VIEIRA, 2019), tais como: o entupimento dos poros com argila iluvial levando à redução da porosidade do solo; presença de compostos orgânicos poucos polimerizados; presença e acúmulo de sílica secundária, óxido de ferro e argila dispersa nos microporos; o adensamento do solo, devido à alteração da sua estrutura resultante da alternância de ciclos de umedecimento e secagem (LIMA NETO *et al.*, 2009).

Estudos adicionais sugeriram também que pode estar ligada a uma cimentação temporária e fraca, induzida por compostos amorfos que envolvem material de silício e alumínio. Durante os períodos secos, ocorre uma polimerização e precipitação desses compostos, e, durante os períodos úmidos, a despolimerização contribui para manter a condição de friabilidade do solo (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001).

Embora existam estudos realizados por Moreau (2001), Corrêa *et al.* (2008) que analisaram os solos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, e por Lima Neto *et al.* (2010) no estado de Alagoas, indicando que os compostos amorfos de sílica e alumínio não sejam atuantes significativamente na gênese do caráter coeso, Vieira *et al.* (2012), Duarte (2015) e Paula (2018) ao analisarem os horizontes de caráter coeso no Estado do Ceará, destacam que os compostos de sílica e alumínio de baixa cristalinidade presentes nesses horizontes podem desempenhar um papel crucial na formação desses horizontes. Observou-se que, após a remoção desses compostos, houve uma redução significativa na resistência à penetração e na densidade do solo, sugerindo que tais compostos desempenham um papel cimentante nessas estruturas.

Outros tipos de solos com comportamento semelhante ao caráter coeso do Brasil são os *Hardsettings*, encontrados na Austrália. Franzmeier *et al.* (1996), demonstraram que esse atributo poderia ser resultado dos agentes químicos cimentantes temporários de compostos com sílica amorfa, complementando-se com os efeitos do potencial mátrico do solo, ocorrendo o aumento da resistência por ocasião do secamento (GIAROLA; SILVA, 2002).

Por fim, Bezerra *et al.* (2015), Araújo *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2020) afirmam que a má seleção da fração areia também pode influenciar na coesão dos solos. Nos horizontes mais profundos, o aumento do teor de areia fina preenche os espaços entre as partículas maiores, resultando no adensamento natural desses horizontes. Esse fenômeno, por sua vez, favorece indiretamente o acúmulo de argila iluvial (QUEIROZ, 2021). Ou seja, os atributos físicos também são determinantes para a gênese dos horizontes coesos, além da alteração da estrutura do solo causado pela alternância entre ciclos de umedecimento e secagem, em que durante o período seco, os agentes cimentantes se desidratam e a matriz argilosa se consolida, resultando no adensamento. No período úmido, os agregados são destruídos devido ao aumento da pressão do ar em seu interior (GIAROLA; SILVA, 2002).

O entendimento da origem dos horizontes com caráter coeso é essencial, pois o conhecimento mais aprofundado das propriedades e dos processos de formação desses horizontes pode contribuir na definição de práticas de manejo mais adequadas para exploração desses solos, uma vez que os solos de Tabuleiros Costeiros são bastante utilizados para a produção agrícola, sobretudo na região Nordeste do Brasil (VIEIRA, 2019).

### **2.3 Características dos horizontes com caráter coeso**

A principal característica para a identificação dos horizontes com caráter coeso refere-se a alta resistência à penetração do martelo pedológico, faca, ou trado, bem como a ausência de uma organização estrutural, sendo geralmente maciços ou com tendência à formação de blocos, além de serem muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (EMBRAPA, 2018). Ademais, geralmente apresenta textura média, argilosa ou muito argilosa, além de ser considerados naturalmente adensados (SANTOS *et al.*, 2023), no qual esse forte adensamento, juntamente com a alta resistência do solo à penetração vai conferir as limitações na produção agrícola em solos que apresentam essas características.

Em função do material de origem, os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ataque com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) são inferiores a  $80 \text{ g kg}^{-1}$ , ou seja, pobres em óxidos de ferro, com predomínio de goethita, o que confere uma coloração geralmente bruno-amarelada, podendo ocorrer cores mais pálidas, bruno-amarelada claro, bruno claro acinzentado ou bruno com matiz 10YR, valores 5 e 6 e cromas variando de 3 a 6 (RIBEIRO, 2001). No estado do Ceará, tonalidades de cores vermelho-amareladas associados aos horizontes com caráter coeso podem ser observadas nos estudos de Lima *et al.* (2004) e Vieira (2013).

Outra característica comum desses solos é o Ki baixo (normalmente de 1,7 a 2,0), quando comparado aos valores geralmente observados nos Latossolos e nos Argissolos, em função da caulinita ser o mineral dominante e a fração areia é constituída essencialmente por quartzo (GIAROLA; SILVA, 2002; LIMA NETO *et al.*, 2009). Segundo Ribeiro (2001), este horizonte é comumente encontrado em solos formados a partir de sedimentos terciários da Formação Barreiras, nos Tabuleiros Costeiros. O caráter coeso geralmente é encontrado nos Argissolos e Latossolos dos Tabuleiros Costeiros, mas nem todos os solos dessa região apresentam esse atributo diagnóstico (SANTOS *et al.*, 2023).

Vale ressaltar que não deve ser confundido o caráter coeso com outros atributos diagnósticos que possuem características semelhantes, como os fragipãs ou duripãs, que apresentam uma certa coesão acentuada, mas que possuem processos de formação distintos dos horizontes coesos. No caso do fragipã, se rompe em fragmentos menores quando úmido, apresentando comportamento quebradiço, e o duripã, confere um grau de cimentação bastante forte, sem esboroar-se mesmo com muito tempo de umedecimento (MOREAU *et al.*, 2006).

#### **2.4 Limitações quanto ao uso e possíveis soluções**

Apesar da região dos Tabuleiros Costeiros apresentar características favoráveis para a exploração agrícola, como uma topografia predominantemente plana ou suavemente ondulada e desempenhar diversos papéis econômicos e sociais na Região Nordeste (CINTRA; LIBARDI, 1998; REZENDE, 2000), as atividades econômicas relacionadas com a produção agrícola têm sido dificultadas devido a presença de impedimentos relacionados ao caráter coeso apresentado pelos solos dessa região.

Autores como Cintra *et al.* (2000) têm afirmado que se o horizonte coeso ocorrendo em maiores profundidades no perfil de solo, poderia ser benéfico até certo ponto, podendo proporcionar como um reservatório de água durante período de déficit hídrico. Entretanto, os problemas relacionados com a elevada resistência à penetração do solo quando seco pode influenciar o desenvolvimento radicular das plantas, o teor de água disponível e a aeração e a absorção de nutrientes, constituindo um inibidor físico que pode afetar a produção agrícola (CINTRA *et al.*, 1997; REZENDE, 2000; LIMA *et al.*, 2004). Os solos que apresentam horizontes com caráter coeso também não são considerados bons reservatórios de nutrientes, sobretudo, os horizontes subsuperficiais, por causa da baixa CTC e da acidez (JACOMINE, 1996).

Em trabalhos de caracterização de solos com caráter coeso foram verificados que a ocorrência desses horizontes tanto em profundidades mais próximas à superfície do solo como em camadas mais profundas, se estendendo desde 0,21 até 1,42 metro de profundidade (LIMA *et al.*, 2004; GIAROLA *et al.*, 2009; LIMA NETO *et al.*, 2009; VIEIRA *et al.*, 2012). E tal limitação física pode ser mais evidente em perfis de solo com horizontes próximos à superfície, a exemplo de um perfil de solo localizado em Aquiraz, no estado do Ceará (Figura 1), entre outros que podem ser vistos nos trabalhos de Giarola *et al.* (2009) e Lima Neto *et al.* (2009). Nesse sentido, quando a camada adensada associada ao caráter coeso se encontra mais próximo à superfície, pode dificultar a aeração e circulação de água no solo e também na penetração das raízes, afetando o desenvolvimento da maioria das plantas (SANTOS; ZARONI, 2021).

Figura 1 – Perfil de solo cujo horizonte com caráter coeso se encontra na faixa do 20 cm de profundidade, localizado no município de Aquiraz - Ceará.



Fonte: Ricardo Romero.

Nesses cenários, é imprescindível considerar a implementação de práticas eficazes de preparação do solo, especialmente aquelas que dizem respeito à profundidade da subsolagem e à regulagem dos implementos agrícolas, necessários para romper a camada coesa, ou parte dela, no intuito de possibilitar um melhor desenvolvimento do sistema radicular das espécies vegetais nessas áreas. Desse modo, o conhecimento correto sobre os horizontes coesos pode permitir implantação mais racional e maior desenvolvimento de culturas nas áreas de ocorrência de solos dessa natureza, como o eucalipto (BA e ES), citros (SE) e cana-de-açúcar (PE, AL e RJ) (CORRÊA *et al.*, 2008).

Para solucionar esses entraves ocasionados pelo caráter coeso, diversos estudos como os de Marcelo (2015) e Silva (2019), que analisaram a utilização de agentes químicos, e outros estudos como os de Amorim (2020) e Calvache (2021), que foram realizados para encontrar possíveis direcionamentos de práticas agrícolas que possam modificar as variáveis relacionadas aos efeitos negativos do caráter coeso em solos, tais como a resistência à penetração e densidade do solo. No entanto, ainda há uma carência da literatura no que diz respeito à possibilidade do uso de práticas de preparo do solo, como o revolvimento, para atenuar o adensamento do solo causado pelo caráter coeso nos solos, especialmente em perfis de solos cujo os horizontes com caráter coeso se situem próximos à superfície.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no *Campus* do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), no município de Fortaleza (CE), utilizando material do horizonte Ap sem o caráter coeso, localizado de 0 a 8 cm de profundidade, e do horizonte Bt1 com caráter coeso, localizado entre 96 e 145 cm de profundidade, do perfil de solo classificado como Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico, localizado no Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias, em que foram obtidas as amostras deformadas de ambos os horizontes. Na Tabela 1 pode-se observar as características morfológicas dos horizontes utilizados para o estudo.

Tabela 1 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos que foram coletados.

Local	Clima	Classe de solo	Horizonte	Descritivo Morfológico
Fortaleza/ CE1 <sup>1</sup>	Aw', Tropical chuvoso com chuvas de verão (Classificação de Koppen)	ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico (PAex)	Ap	0-8cm; bruno acizentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno – acizentado escuro (10YR 4/2 seca); fraca média a grande granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
			Bt1	96–145cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8 úmida), amarelo-avermelhado (7,5 YR 7/6 seca); mosqueado médio, comuns, proeminente, amarelo-avermelhado (2,5YR 5/8); maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente duro, friável a firme, plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.

Fonte: <sup>1</sup> VIEIRA (2013) - Fortaleza/ CE1<sup>1</sup> – Perfil da Engenharia agrícola/ DENA (Segue anexo, pág. 45).

### 3.1 Ensaio experimental

Para a montagem dos tratamentos, as amostras (horizontes Ap e Bt1) foram secas ao ar, destorroadas e passadas em uma peneira com malha de 2 mm (terra fina seca ao ar – TFSA). Foram realizadas três misturas de diferentes proporções de solo com e sem caráter coeso, denominadas de tratamentos TM1, com 75% de solo com caráter coeso + 25% de solo sem caráter coeso; TM2, com 50% solo com caráter coeso + 50% de solo sem caráter coeso; e TM3, com 25% de solo com caráter coeso e 75% de solo sem o caráter coeso. Também foram utilizadas duas testemunhas: tratamentos TC (100% do solo com caráter coeso) com o material do horizonte Bt e o tratamento TNC (100% do solo sem o caráter coeso) coletado no horizonte Ap. Os materiais para os tratamentos com as misturas de horizontes TM1, TM2 e TM3 foram pesados, separados em sacos plásticos e em seguida misturados nas suas devidas proporções. Os 5 tratamentos TM1, TM2, TM3, TC e TNC foram avaliados em 6 repetições cada, totalizando o uso de 30 amostras no experimento.

As amostras dos tratamentos foram acomodadas em tubos de PVC com as dimensões de 7 cm de altura e 5 cm de diâmetro, sendo coberta com uma camada de tecido na extremidade inferior para impedir a perda de solo. Estes tubos contendo as amostras foram então posicionados em bandejas plásticas (Figura 2), e submetidos a 9 ciclos de umedecimento e secagem, com o intuito de avaliar as alterações físicas nas misturas de solos com e sem caráter coeso.

A definição da quantidade de ciclos para o delineamento experimental foi baseada nos estudos de Vieira (2019), nos quais foram constatados que esse quantitativo de ciclos foi suficiente para que houvesse uma redução significativa da porosidade do solo, como também favoreceu o processo de translocação e iluviação de argila, provocando o entupimento dos poros, e, conseqüentemente, um aumento na coesão do solo. E para o presente trabalho, essa quantidade de ciclos pode ser suficiente para avaliar as mudanças físicas que poderiam ocorrer nas amostras.

Figura 2 – Amostras dos tratamentos em tubos de PVC nas bandejas.



Fonte: Elaborado pela autora.

O ciclo foi executado da seguinte maneira: para a etapa de umedecimento, a água destilada foi cuidadosamente adicionada à base da bandeja a fim de garantir a saturação das amostras via ascensão capilar, ao longo de um período de 24 horas. Após o umedecimento da camada superficial, o excesso de água da bandeja foi descartado e o material submetido a um processo de secagem em estufa a 45 °C por 48 horas. Após esse procedimento, um novo ciclo foi iniciado, conforme descrito por Vieira (2013).

Após a conclusão do 9º ciclo, as amostras foram submetidas às análises físicas.

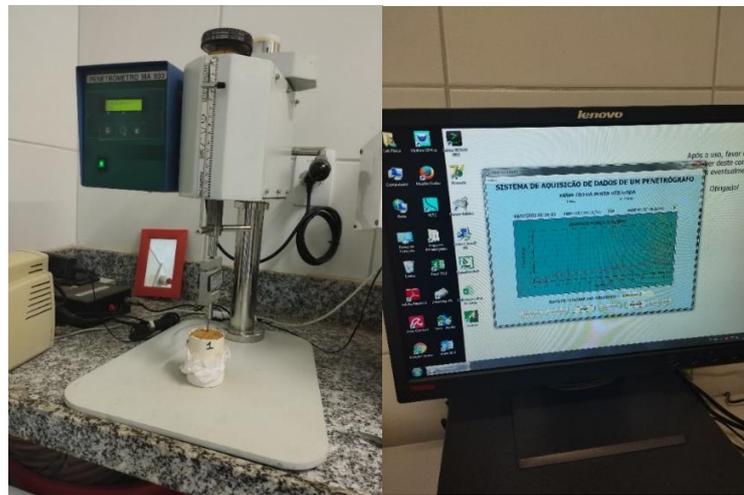
### 3.2 Análises físicas

As análises físicas foram conduzidas no Laboratório de Física do Solo, vinculado ao Departamento de Ciências do Solo. Durante as análises, as amostras dos tratamentos após os 9 ciclos de umedecimento e secagem foram submetidas à determinação da resistência à penetração (RP), com leituras realizadas em triplicata, e da densidade do solo (Ds). Além disso, a análise granulométrica foi realizada para a caracterização geral dos tratamentos, utilizando uma amostra dos horizontes Ap e Bt1 para representar as testemunhas TNC e TC, respectivamente, e os tratamentos de misturas foram feitos por ponderação.

#### 3.2.1 Resistência à Penetração

As amostras submetidas aos ciclos de umedecimento e secagem foram levadas para a câmara de Richards, e foi aplicada uma tensão de 5 atm para uniformizar a umidade das amostras. Posteriormente, a resistência do solo à penetração foi avaliada em 3 leituras de cada amostra, utilizando um penetrômetro eletrônico estático de laboratório, com uma velocidade constante de penetração de 0,01 m min<sup>-1</sup>. Esse equipamento tinha acoplado um atuador linear de célula de carga de 20 kgf e conectado a um computador para aquisição dos dados (Figura 3), conforme descrito por Tormena *et al.* (1998).

Figura 3 – Imagens do equipamento no momento do teste de resistência à penetração em uma amostra.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2.2 Densidade do Solo

Após a avaliação da resistência do solo à penetração, a determinação da densidade do solo foi conduzida nas amostras, seguindo o método do cilindro volumétrico, cujo procedimento é estabelecido pela Embrapa (2017). No laboratório, as amostras foram submetidas a uma temperatura de 105 °C em estufa por aproximadamente 48 horas. Após a secagem, as amostras foram retiradas da estufa, colocadas em um dessecador para esfriar e depois pesadas. O cálculo do volume do cilindro foi realizado antecipadamente por meio das dimensões medidas em triplicata dos tubos de PVC que acondicionam as amostras do solo, utilizando um paquímetro. A densidade do solo foi então obtida utilizando a seguinte fórmula:

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad (1)$$

Em que:

$D_s$  - densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>.

$m_a$  - massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

$V$  - volume do cilindro, em cm<sup>3</sup>.

### 3.2.3. Granulometria

A análise granulométrica foi conduzida de acordo com o método da pipeta, utilizando como dispersante químico o hidróxido de sódio (NaOH) 1 N e depois passadas em

um agitador elétrico durante 10 minutos em ambas as amostras (AMARO FILHO; ASSIS JUNIOR; MOTA, 2008). Em seguida, o silte e a argila foram separados da fração areia por peneiramento, e para isto, foi utilizada uma peneira de 0,053 mm. A fração argila (3) foi separada por sedimentação cuja duração foi em torno 3h e alguns minutos, sob auxílio de uma pipeta de 25 mL. O silte (4) foi determinado pela diferença entre os teores de areia e argila. E a areia (2) foi determinada por pesagem em latas de alumínio com massa conhecida após secagem em estufa à 105 °C por 24 h. Foram utilizadas as seguintes equações para a determinação dos teores:

$$\% \text{ areia} = \text{peso da areia} \times 5 \times "f" \quad (2)$$

$$\% \text{ argila} = [(\text{peso da argila} + \text{dispersante}) - \text{dispersante}] \times 200 \times "f" \quad (3)$$

$$\% \text{ silte} = 100 - (\% \text{ argila} + \% \text{ areia}) \quad (4)$$

em que, o "f" denota o fator de correção de umidade aplicado em várias análises laboratoriais da massa do solo. Esse fator é calculado como a relação entre a massa da amostra seca ao ar (TFSA) e a massa da amostra seca a 105 °C, ou seja, Terra Fina Seca em Estufa (TFSE), alcançada após atingir um peso constante.

Após a conversão de todas as frações do solo para a unidade de massa, em  $\text{g kg}^{-1}$ , a fração areia foi submetida a um processo de fracionamento, utilizando um conjunto de peneiras de diferentes malhas, visando classificar os componentes em cinco categorias distintas: muito grossa (1,00 mm), grossa (0,50 mm), média (0,25 mm), fina (0,106 mm) e muito fina (0,053 mm), de acordo com os padrões estabelecidos pelo sistema do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

### 3.3 Análises químicas

Em relação às análises químicas, para a determinação do pH e do complexo sortivo, foram adotados os métodos propostos pela Embrapa (2017), seguindo as diretrizes estabelecidas. Já o carbono orgânico total foi avaliado conforme a metodologia de Mendonça e Matos (2005). Nesse contexto, as amostras de solo foram utilizadas em triplicata nas análises subsequentes para a caracterização geral dos horizontes Ap e Bt1.

#### 3.3.1 Potencial hidrogeniônico, pH (H<sub>2</sub>O, KCl)

Foi determinado por meio de um potenciômetro de eletrodo imerso em suspensão solo: líquido, seguindo a proporção de 1:2,5., usando-se H<sub>2</sub>O destilada e solução salina de cloreto de potássio (KCl) 1N.

### 3.3.2 Complexo Sortivo

O alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), que é o indicativo da acidez trocável, foi extraído com a solução de cloreto de potássio ( $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e analisado por complexometria com hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$   $0,02243 \text{ mol L}^{-1}$ ), usando o azul-de-bromotimol como indicador.

O alumínio e o hidrogênio, em que ambos caracterizam a acidez potencial ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ), foram extraídos usando a solução de acetato de cálcio ( $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por complexometria com hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ), e empregando a fenolftaleína 1% como indicador.

O hidrogênio extraível ( $\text{H}^+$ ) foi determinado pela diferença entre a acidez potencial e o alumínio trocável, correspondendo à acidez não trocável.

A detecção dos íons trocáveis de potássio ( $\text{K}^+$ ) e o sódio ( $\text{Na}^+$ ) foi conduzida utilizando a solução extratora de Mehlich-1, e a determinação desses íons foi dada por meio da espectrofotometria de chama.

Os íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis foram determinados usando uma solução extratora de cloreto de potássio ( $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por complexometria utilizando ácido etilenodiamino tetracético dissódico ( $\text{EDTA}$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ). O negro de eriocromo foi empregado como indicador do conjunto  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , enquanto a murexida foi utilizada como indicador exclusivo para o  $\text{Ca}^{2+}$ .

A determinação da soma de bases (Valor S) foi definido pelo somatório dos teores das bases cálcio, magnésio, potássio e sódio (5). No caso da CTC total (6), ou seja, o Valor T, as bases são somadas com a acidez potencial ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ), correspondendo ao total de cargas negativas que o solo pode adsorver.

O percentual de saturação por bases, conhecido V% (7) foi definido pela razão entre a soma de bases e o Valor T, indicando a proporção das bases trocáveis na CTC do solo. Já a saturação por alumínio (8) foi determinada pela proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo, enquanto a saturação por sódio (9) representa a proporção de sódio trocável em relação a CTC total do solo. Todas as equações utilizadas estão definidas logo abaixo:

$$\text{Valor S} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ \quad (5)$$

$$\text{Valor T} = \text{Valor S} + (\text{Al}^{3+} + \text{H}^+) \quad (6)$$

$$\text{V}\% = \frac{\text{Valor S} \cdot 100}{\text{Valor T}} \quad (7)$$

$$\text{m}\% = \frac{\text{Al}^{3+} \cdot 100}{(\text{Al}^{3+} + \text{H}^+)} \quad (8)$$

$$\text{Saturação por sódio} = \frac{100 \cdot \text{Na}^+}{T} \quad (9)$$

Os resultados calculados nas fórmulas 5 e 6 são expressos em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Já nas fórmulas 7, 8 e 9, os resultados são expressos em porcentagem.

### **3.3.3 Carbono Orgânico Total**

O carbono orgânico total do solo foi obtido através da oxidação da matéria orgânica úmida com o método de Walkley-Black, em que utiliza o dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ ) em meio ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) como agente oxidante, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e aquecimento. A titulação foi realizada por meio da solução de sulfato ferroso amoniacal ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ), utilizando-se o Ferroin como indicador.

### **3.4 Análise estatística dos dados**

As análises das variáveis resistência à penetração e densidade do solo foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e a comparação entre as médias foram realizadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%. Os dados foram executados utilizando o software Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2012–2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Granulometria

Em relação à granulometria (Tabela 2), nota-se um incremento de argila expressivo na testemunha TC (327 g kg<sup>-1</sup>), que representa o horizonte Bt1 com caráter coeso. Com os tratamentos de misturas (Tabela 2), pode-se verificar que, com a mistura de 25%, 50% e 75% do material do horizonte Ap, indicado nos tratamentos TM1, TM2 e TM3 respectivamente, há uma diminuição expressiva da quantidade de argila. O incremento no teor de argila em horizontes subsuperficiais são típicos dos Argissolos (EMBRAPA, 2018), e nos horizontes com caráter coeso não é diferente, podendo ser vistos em diversos estudos, tais como os de Lima *et al.* (2004), Vieira (2013) e Marques (2019) realizados nos Argissolos nos Tabuleiros Costeiros do Ceará. Outros resultados semelhantes também foram vistos nas pesquisas de Corrêa *et al.* (2008), analisando os solos com horizontes coesos e fragipãs da Bahia e do Espírito Santo, e Lima Neto *et al.* (2009), estudando os solos no estado de Alagoas.

Tabela 2 - Caracterização granulométrica dos tratamentos utilizados no estudo.

Trat.	Composição Granulométrica			Fracionamento da areia					Classe textural
	Areia	Silte	Argila	AMG	AG	AM	AF	AMF	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----								
TC	595	78	327	31	51	171	217	124	Franco argilo arenoso
TM1	634	88	278	31	51	178	241	133	Franco argilo arenoso
TM2	674	98	229	31	50	185	265	143	Franco argilo arenoso
TM3	713	108	179	32	49	192	289	152	Franco Arenoso
TNC	752	118	130	32	48	198	313	161	Franco Arenoso

Trat.: Tratamentos; TC: 100% do solo com caráter coeso; TM1: mistura de 75% solo com caráter coeso e 25% solo sem caráter coeso; TM2: mistura de 50% solo com caráter coeso e 50% sem caráter coeso; TM3: mistura de 25% solo com caráter coeso e 75% solo sem caráter coeso; TNC: 100% do solo sem caráter coeso; AMG: areia muito grossa (2 – 1 mm); AG: areia grossa (1 – 0,50 mm); AM: areia média (0,50 – 0,25 mm); AF: areia fina (0,25 – 0,10 mm) e AMF: areia muito fina (<0,10 – 0,05 mm).

Fonte: Elaborada pela autora.

Isso pode estar associado ao processo de translocação da argila para as camadas subsuperficiais, ocasionando o entupimento dos poros, o que leva à redução da porosidade do solo (LIMA NETO *et al.*, 2009) e aumento da densidade do solo, sendo, portanto, um dos processos relacionados à gênese destes horizontes que se dá pela iluviação de partículas de argila muito finas em profundidade (CORRÊA *et al.*, 2008). Porém, somente a fração argila por si só não é responsável pela determinação do caráter coeso nos horizontes do solo (ARAÚJO *et al.*, 2018). Nos estudos de Bezerra *et al.* (2015), por exemplo, o caráter coeso estava associado ao baixo grau de seleção das areias e os autores encontraram, ainda, que os valores de resistência à penetração e densidade do solo foram maiores no horizonte Bt com caráter coeso que apresentava menor teor de argila, em relação aos outros Bt de uma topossequência do Ceará.

Proporcionalmente, há mais areia no tratamento TNC (752 g kg<sup>-1</sup>), representando o horizonte Ap sem o caráter coeso, em comparação ao TC (595 g kg<sup>-1</sup>), e essa diferença pode ser observada expressivamente na predominância das frações mais finas (areia média, fina e muito fina). Entre as misturas TM1, TM2 e TM3 também observa-se que há um aumento expressivo do teor de areia a cada aumento das proporções do horizonte Ap. Outro dado relevante é que a diferença granulométrica entre os horizontes analisados fez com que houvesse uma mudança na classe textural, enquanto o horizonte Ap (testemunha TNC) foi classificado como franco-arenoso, o horizonte Bt1 com caráter coeso (testemunha TC) foi dado como franco argiloarenoso. Entre as misturas, também houve uma diferenciação: enquanto os tratamentos TM1 e TM2 foram classificados como franco argiloarenoso assim como a testemunha TC, o tratamento TM3 foi classificado franco-arenoso, assim como o TNC.

Esses resultados entram em concordância com os dados das análises granulométricas em Argissolos do Ceará realizados por Lima *et al.* (2004), os quais revelaram que há um predomínio da fração areia em todos os perfis dos solos estudados por esses autores, com maiores teores nos horizontes superficiais, como também foi observado a classe textural franco argiloarenosa nos horizontes Bt coesos. Outros resultados semelhantes no Ceará também foram vistos nos estudos de Bezerra *et al.* (2015) e Araújo *et al.* (2018). Nos Tabuleiros Costeiros da Bahia e do Espírito Santo, também foram encontrados resultados semelhantes, os quais mostraram que horizontes com caráter coeso podem apresentar classe textural argiloarenosa, franco argiloarenosa e franco-arenosa (MOREAU, 2001; CORRÊA *et al.*, 2008), atendendo o que está estabelecido no SiBCS (EMBRAPA, 2018).

Autores como Bezerra *et al.* (2015), Araújo *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2020) observaram que, geralmente há predomínio de areias com grãos mal selecionados nos solos dos

Tabuleiros Costeiros do Ceará, levando a influência desta fração para a manifestação característica do surgimento da coesão desses solos. A predominância da fração mais fina das areias pode ser explicado pelos trabalhos de Abrahão *et al.* (1998), os quais 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. Vale destacar também que outros autores como Dantas *et al.* (2014), estudando os solos com caráter coeso no leste maranhense, observaram que a presença de areia fina em quantidades elevadas pode influenciar na vedação dos poros, reduzindo o volume poroso e consequentemente aumentar a densidade do solo.

Para a fração silte, nota-se que não há o acúmulo expressivo no tratamento TC (horizonte Bt1), tal fato foi justificado por Araújo *et al.* (2018), que também não observaram diferença significativa entre os teores de silte nos horizontes com e sem caráter coeso em um Argissolo do Ceará, porque as partículas de silte são mais difíceis de serem transportadas, devido ao maior adensamento no horizonte com caráter coeso.

#### 4.2 Caracterização química

Os resultados analíticos das características químicas (Tabela 2), de ambos os horizontes, mas com uma maior ênfase no horizonte Bt1, apresentam baixos valores de soma de bases (S) e de capacidade de troca de cátions (T) e pH ácido. Tais resultados enquadram-se nas características atribuídas ao solo com caráter coeso definidas por Jacomine (1996), afirmando que os solos de Tabuleiros Costeiros são quimicamente pobres por se desenvolverem de materiais altamente intemperizados. O baixo valor de T observado no horizonte Bt1 ( $7,54 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ), que apresenta o caráter coeso está associado a caulinita, considerada como mineral dominante na fração argila dos horizontes com caráter coeso (LIMA *et al.*, 2005), cujos baixos valores de CTC, refletem a mineralogia caulinítica já do material de origem desses solos (LIMA NETO *et al.*, 2009), desenvolvidos dos sedimentos da Formação Barreiras.

Outro dado relevante apresentado na caracterização química é a alta saturação por bases (V) nos horizontes. Apesar de contradizer com os dados químicos de Argissolos do Ceará feitos por Lima *et al.* (2004), que mostraram horizontes Bt coesos distróficos e com alta saturação por alumínio. Entretanto, outros autores, como Moreau *et al.* (2006) e Corrêa *et al.* (2008) nos solos da Bahia e do Espírito Santo, como também Vieira (2013) nos Argissolos do Ceará, apresentaram caracterizações químicas de perfis de solos exibindo horizontes com caráter coeso, que são classificados como eutróficos ( $V \geq 50\%$ ).

O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) está em maior proporção entre as bases trocáveis (Tabela 2) nos dois horizontes, entretanto o horizonte Ap apresenta teor mais elevado ( $6,97 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ) do que no horizonte Bt1 ( $3,08 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ), que apresenta a coesão. Na sequência, o  $\text{Mg}^{2+}$  apresenta teores mais elevados do que as outras bases ( $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), porém com valores bem inferiores aos de  $\text{Ca}^{2+}$ . Nos estudos de Moreau *et al.* (2006) também foram vistos resultados semelhantes, em que o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$  predominam como os principais componentes da soma de bases. Esses maiores teores ocorrem devido à frequência em que o horizonte superficial do solo é enriquecido com matéria orgânica proveniente de plantas e da decomposição pelos micro-organismos, influenciando na ciclagem de nutrientes, promovendo uma maior disponibilidade dessas bases.

Com relação ao carbono orgânico total (COT), como era de se esperar, pode-se observar que há um maior teor de matéria orgânica no horizonte Ap por conta da ação da vegetação, com  $14,83 \text{ g kg}^{-1}$  de carbono orgânico (Tabela 2), ao ser comparado com o horizonte Bt1, apresentando  $4,60 \text{ g kg}^{-1}$ . Outros valores similares foram encontrados por Lima *et al.* (2004) e Giarola *et al.* (2009). Os maiores teores de matéria orgânica no horizonte superficial (Ap) influenciaram de forma expressiva a CTC desse horizonte (Tabela 2), pois, embora tenha menos argila que o Bt (Tabela 1), o horizonte Ap apresentou valor de CTC superior. Isso acontece devido a matéria orgânica do solo, assim como as argilas, que apresentam grupamentos funcionais que carregam cargas negativas em sua estrutura, influenciando diretamente na CTC do solo, contribuindo para a disponibilidade de nutrientes.

Tabela 3 - Caracterização química dos dois horizontes utilizados no estudo.

Horizonte		pH		Cátions trocáveis						S	T	COT	V	m	Ss
Símbolo	Prof.	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>						
	cm			----- cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> -----								g kg <sup>-1</sup>		%	-----
Ap	0 – 8	5,8	5,1	6,97	0,46	0,04	0,18	0,02	4,96	7,65	12,62	14,8	61	<1	<1
Bt1	96 - 145	6	5,1	3,08	0,47	0,03	0,15	0,10	3,72	3,73	7,54	4,6	50	2,6	<1

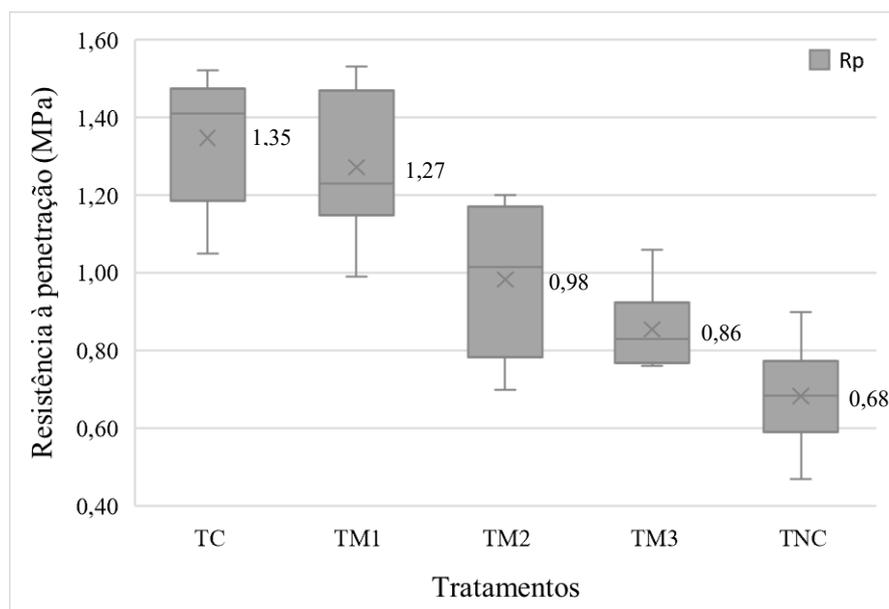
Prof.: profundidade; S: Soma de bases; T: CTC total; COT: Carbono Orgânico Total; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; Ss: Saturação por sódio.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 4.3 Resistência à penetração (RP)

De acordo com as análises realizadas, foi visto que a variável resistência do solo à penetração (RP), com a mistura dos horizontes e passados nove ciclos de umedecimento e secagem, obteve uma redução significativa a partir do tratamento TM2 (mistura de 50% do horizonte coeso e 50% do horizonte não coeso), atingindo valores entre 0,70 e 1,20 MPa, cuja a média do tratamento foi de 0,98 MPa (Gráfico 1), considerado não restritivo para o crescimento radicular. Tavares *et al.* (2001) afirmaram que a RP entre 1,0 e 3,35 limitam o crescimento do sistema radicular das plantas. Esse resultado sugere que esta combinação de horizontes A com horizonte B coeso contribui para a melhoria da estrutura do solo, possivelmente resultando em uma distribuição mais equilibrada entre os poros e uma menor coesão do solo.

Gráfico 1 - Distribuição de valores de resistência à penetração (RP) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC e seus respectivos valores médios.



TC: 100% do solo com caráter coeso; TM1: mistura de 75% solo com caráter coeso e 25% solo sem caráter coeso; TM2: mistura de 50% solo com caráter coeso e 50% sem caráter coeso; TM3: mistura de 25% solo com caráter coeso e 75% solo sem caráter coeso; TNC: 100% do solo sem caráter coeso.

Fonte: Elaborado pela autora.

Resultados similares relacionados à diminuição da RP pode ser visto por Amorim (2020), que verificou menores resistências do solo à penetração de amostras deformadas e indeformadas de um Latossolo Amarelo distrocoeso localizado na Bahia, quando submetidos a

um preparo reduzido (subsolagem) sem nenhum grau de compactação, chegando em torno de 2 MPa na camada de 0 – 20 cm de profundidade.

Outros autores também verificaram uma menor resistência à penetração em solos compactados submetidos a escarificação, considerando amostras de solo indeformadas ou parcialmente alteradas (ABREU *et al.*, 2004; SECCO *et al.*, 2004; TORMENA *et al.*, 2004 e COLLARES *et al.*, 2008). Estes estudos apresentam semelhanças com o presente trabalho, sugerindo uma coerência nos efeitos de práticas específicas de manejo do solo na resistência à penetração. A aplicação de técnicas de descompactação, como escarificação, subsolagem ou mistura de horizontes, podem ser eficaz na redução da resistência do solo à penetração, proporcionando condições mais favoráveis ao desenvolvimento radicular das plantas. Essa convergência de resultados destaca a importância do manejo do solo na promoção da estrutura adequada e na mitigação dos efeitos do caráter coeso em solos.

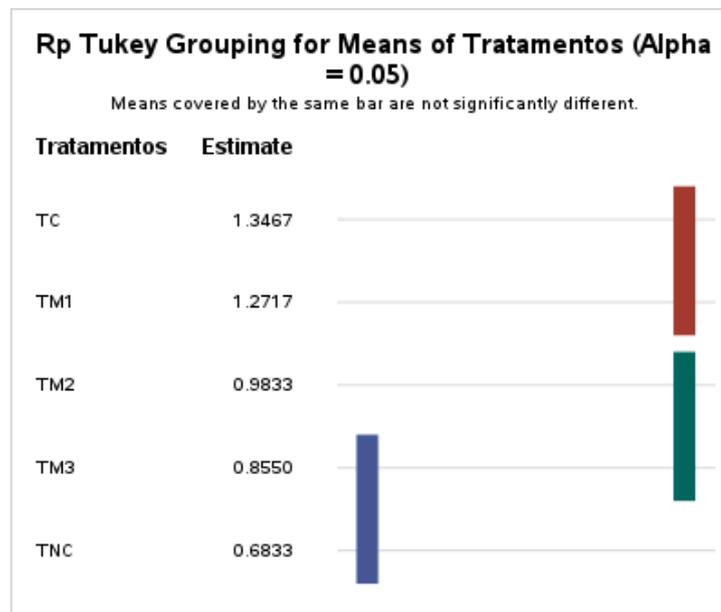
É importante salientar que as pesquisas dos autores citados anteriormente foram conduzidas de maneiras distintas, considerando o uso de amostras deformadas, indeformadas ou parcialmente alteradas, e a resistência do solo à penetração foi reduzida considerando o uso da subsolagem e escarificação.

Outros trabalhos mostraram uma redução na variável RP, podendo ser destacado o de Marcelo (2015), em relação ao uso de agentes químicos, que observou um efeito positivo no uso da poliacrilamida (PAM), pelos menores valores de RP encontrados na faixa da capacidade de campo, situando-se em torno de 2 MPa. Já Silva (2019), constatou que a dose 1 g L<sup>-1</sup> de hidrogel apresentou um menor valor de RP após 32 ciclos de umedecimento e secagem, e que esse maior aporte favoreceu uma maior interação do hidrogel com as partículas do solo, contribuindo, portanto, para diminuir a RP.

Levando em consideração a comparação entre as médias dos valores da resistência à penetração (Figura 4), nota-se que a adição de 25% de solo sem o caráter coeso (tratamento TM1) não resultou em uma redução estatisticamente significativa na resistência à penetração quando comparada à testemunha TC (com caráter coeso). Essa observação sugere que a mistura de 25% de solo não coeso não obteve um impacto significativo na diminuição da resistência à penetração. À medida que a quantidade de solo sem caráter coeso aumenta nos tratamentos TM2 e TM3 (50% e 75%, respectivamente), observa-se uma diminuição na resistência à penetração. No entanto, a comparação entre TM2 e TM3 não revelou diferença estatisticamente significativa. Isso indica que, para os percentuais estudados, a mistura de 50% do solo sem caráter coeso com 50% do solo com caráter coeso teve um efeito semelhante à mistura de 75% do solo sem caráter coeso com 25% do solo com caráter coeso.

É interessante observar que a média do tratamento TM3 não diferiu estatisticamente da testemunha TNC (sem caráter coeso). Isso sugere que, no contexto do experimento, a mistura de 75% do solo sem caráter coeso com 25% do solo com caráter coeso atingiu uma resistência à penetração comparável à de um solo sem o caráter coeso.

Figura 4 - Valores médios de resistência à penetração (RP) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC. Médias seguidas da mesma barra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.



TC: 100% do solo com caráter coeso; TM1: mistura de 75% solo com caráter coeso e 25% solo sem caráter coeso; TM2: mistura de 50% solo com caráter coeso e 50% sem caráter coeso; TM3: mistura de 25% solo com caráter coeso e 75% solo sem caráter coeso; TNC: 100% do solo sem caráter coeso.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados ressaltam a complexidade da interação entre solos com e sem caráter coeso. Eles sugerem que a adição e mistura de solo não coeso pode impactar de maneira diferente a resistência à penetração, dependendo da proporção da mistura. Além disso, a similaridade entre TM3 e TNC destaca que certas combinações de solos podem resultar em comportamentos semelhantes aos solos naturalmente não coesos. A compreensão desses resultados pode ter implicações práticas para estratégias de manejo do solo. Portanto, a mistura em diferentes proporções desses solos pode ser uma abordagem eficaz para reduzir a resistência à penetração em solos com caráter coeso, oferecendo percepções valiosas para práticas de

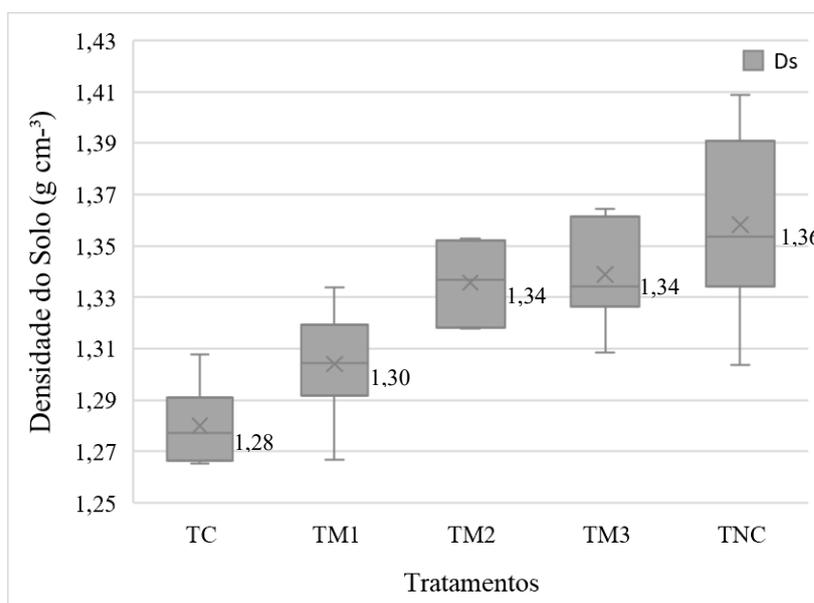
manejo que visam melhorar a estrutura e a permeabilidade do solo, proporcionando condições mais favoráveis ao crescimento das plantas.

Vieira (2013) também realizou o comparativo entre as médias entre RP, dessa vez entre horizontes Bt coesos e não coesos de um Argissolo Amarelo sem a extração dos compostos amorfos, e observou que os horizontes com caráter coeso apresentaram médias de RP significativamente superiores aos não coesos, e foi perceptível que a RP do horizonte coeso foi 25% superior ao do horizonte não coeso. Os trabalhos também entram em concordância com autores como Giarola et al. (2003) e Lima *et al.* (2005), os quais afirmam que horizontes coesos, quando mais secos, apresentam maiores valores de RP, em relação aos horizontes que não são coesos. Os resultados discutidos anteriormente corroboram com as observações de que solos com caráter coeso tendem a apresentar maior resistência à penetração, especialmente quando estão mais secos. Essa compreensão é valiosa para a gestão do solo, pois destaca a importância de considerar as características dos horizontes coesos ao buscar estratégias para melhorar a penetração e a aeração do solo.

#### **4.4 Densidade do solo (Ds)**

Em relação a variável densidade do solo (Ds), com a mistura dos horizontes e passados nove ciclos de umedecimento e secagem, houve uma diferença entre os valores das testemunhas TC, obtendo uma média de  $1,28 \text{ g cm}^{-3}$ , e TNC, com a média de  $1,36 \text{ g cm}^{-3}$  em termos numéricos (Gráfico 2). Essa diferença numérica observada entre as testemunhas TC e TNC sugere que a adição de solo sem o caráter coeso resultou em uma maior densidade do solo, podendo estar relacionado às características físicas (granulométricas) dos solos misturados. Os resultados entram em conflito com as afirmações dos mesmos autores citados anteriormente (ABREU *et al.*, 2004; SECCO *et al.*, 2004; TORMENA et al., 2004 e COLLARES *et al.*, 2008; AMORIM, 2020), pois nestes trabalhos notou-se que com a diminuição da resistência à penetração, estava associada à diminuição da densidade do solo com o uso da escarificação e subsolagem. Porém, os solos utilizados nestes estudos apresentaram características físicas semelhantes.

Gráfico 2 - Distribuição de valores de densidade do solo (Ds) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC e seus respectivos valores médios.



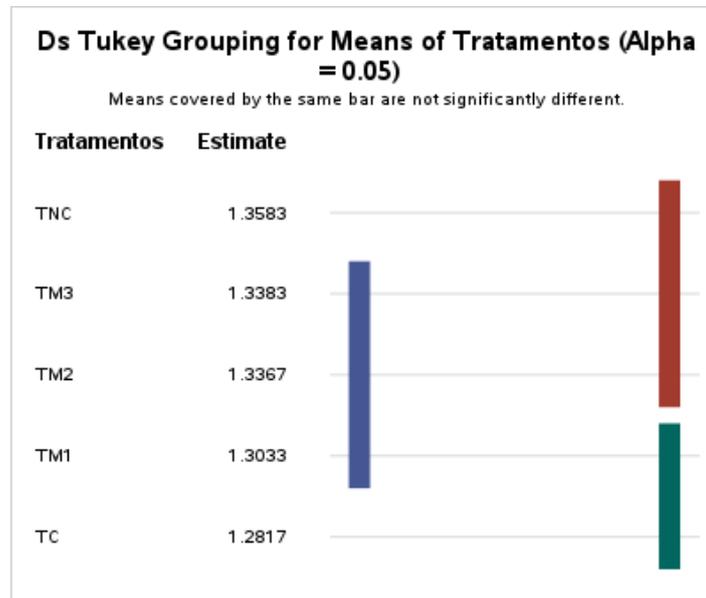
TC: 100% do solo com caráter coeso; TM1: mistura de 75% solo com caráter coeso e 25% solo sem caráter coeso; TM2: mistura de 50% solo com caráter coeso e 50% sem caráter coeso; TM3: mistura de 25% solo com caráter coeso e 75% solo sem caráter coeso; TNC: 100% do solo sem caráter coeso.

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a comparação entre as médias, os tratamentos de misturas TM2, TM3 e testemunha TNC em conjunto se diferenciaram significativamente da testemunha com coeso – TC (Figura 5). Tal observação destaca que a mistura de solos afetou a densidade do solo de maneira perceptível. Essa diferença pode ser atribuída às propriedades físicas dos horizontes misturados, relacionado à granulometria das partículas.

Entretanto, na comparação, TC e o tratamento de mistura TM1, apresentaram médias semelhantes, como também semelhanças entre as médias dos tratamentos das misturas TM1, TM2 e TM3, que quando comparadas entre si, não mostraram diferenciação estatisticamente (Figura 5). A constatação de semelhanças entre as médias destes tratamentos mesmo variando a proporção de solos com e sem caráter coeso, sugere que essas variações na proporção de solos na mistura não resultaram em diferenças mensuráveis na densidade.

Figura 5 - Valores médios de densidade do solo (Ds) dos tratamentos TC, TM1, TM2, TM3 e TNC. Médias seguidas da mesma barra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.



TC: 100% do solo com caráter coeso; TM1: mistura de 75% solo com caráter coeso e 25% solo sem caráter coeso; TM2: mistura de 50% solo com caráter coeso e 50% sem caráter coeso; TM3: mistura de 25% solo com caráter coeso e 75% solo sem caráter coeso; TNC: 100% do solo sem caráter coeso.

Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação aos solos com caráter coeso do estado do Ceará, no estudo de Vieira (2013), foi observado que não houve diferenças significativas na comparação das médias da densidade do solo nos horizontes Bt coesos e não coeso. Porém, Marques (2019), apontou que o horizonte B com caráter coeso obteve um valor maior ( $1,52 \text{ g cm}^{-3}$ ) do que o horizonte A ( $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ ), expressivamente, porém, analisando amostras indeformadas, já o presente trabalho analisou amostras que haviam sido destorroadas, em TFSA.

Infere-se que, com a diminuição da densidade do solo, a resistência do solo à penetração também deveria diminuir como consequência, pois a densidade é considerada como uma das propriedades do solo que influenciam a RP, juntamente com o teor de água, textura, agregação, cimentação, teor de matéria orgânica e mineralogia (TAVARES FILHO *et al.*, 2012). Giarola *et al.* (2009) alegam que os baixos teores de matéria orgânica (MO) podem favorecer o desenvolvimento de horizontes adensados. Por mais que na caracterização química, o horizonte Ap não coeso obteve um maior aporte de carbono orgânico em relação ao horizonte Bt1 coeso, ainda assim obteve-se um maior valor de densidade do que o horizonte coeso.

Santana *et al.* (2018) afirmam que, geralmente a densidade pode aumentar em profundidade pelo adensamento das partículas, ocasionado pelos processos de eluviação de argila e pressão exercida pelas camadas superiores, porém os mesmos autores afirmam que a densidade do solo é influenciada pela sua granulometria. Nesse sentido, a análise granulométrica dos dois horizontes (Tabela 2), por sua vez, apresentam diferenças quanto à sua textura, observando-se que a fração de areia é consideravelmente maior no horizonte Ap, representando em torno de 75% da composição granulométrica deste horizonte. Isso indica que a camada superficial do solo possui a maior proporção de areia, cuja fração é constituída essencialmente por quartzo (GIAROLA; SILVA, 2002; LIMA NETO *et al.*, 2009), o que justificativa os maiores valores de densidade do solo registrados nos tratamentos TNC, TM3 e TM2, pois o quartzo é um mineral com maior densidade de partículas (2,5 a 2,6 g cm<sup>-3</sup>) do que os argilominerais do solo (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008).

Os tratamentos TNC, TM3 e TM2, que apresentaram maiores valores de densidade do solo, são justamente aqueles nos quais a proporção de areia (Tabela 2), e, portanto, de quartzo, é destacada. A diferença entre as testemunhas e os tratamentos de misturas sugere que as alterações na composição mineral, especialmente na quantidade de quartzo, influenciam diretamente a densidade do solo. Assim, os tratamentos que apresentam uma maior proporção de areia, como TNC, TM3 e TM2, podem exibir valores mais altos de densidade do solo devido à contribuição significativa do quartzo.

## 5 CONCLUSÃO

De um modo geral, após nove ciclos de umedecimento e secagem dos materiais de horizonte sem caráter coeso (Ap) e com caráter coeso (Bt) observou-se que:

Há redução significativa na resistência do solo à penetração (RP) com a utilização das misturas de horizontes Ap e Bt1 a partir do tratamento TM2, que tinha no mínimo 50% do horizonte Ap (sem caráter coeso);

A densidade do solo (Ds) apresentou aumento significativo dos valores nos tratamentos TNC, TM3 e TM2 em relação ao TC, em decorrência das maiores proporções de areia.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 519-531, jun. 2004.
- AMORIM, Lucas Mota. **Caracterização e proposta de mitigação da limitação física em solo coeso e compactado visando à produção de espécies vegetais do Recôncavo da Bahia**. 2020. 107 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2020.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do solo: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária. 2008, 290p.
- ARAÚJO, S. S. A. M.; 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**, Cremlingen, v. 166, n. 1, p. 290–297, 2018.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. *In*: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 123-142.
- 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**, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 43, 2015.
- CALVACHE, Diego Fernando Arcos. **Preparo profundo de solo e adubação para plantio de café conilon**. 2021. 43 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, v.55, p.367-378, 1998.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.4, n.1 p.23-28, 2000.
- 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 camada coesas nos solos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 02, p. 77-80, 1997.
- COLLARES, Gilberto Loguércio; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel; KAISER, Douglas Rodrigo. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 933-942, jun. 2008.
- CORRÊA, M.M. et al. 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, 2008.

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, p.1039-1050, 2014.

DUARTE, Lilian Rfaelly de. **Pedogênese de horizontes com caráter coeso em duas topossequências nos Tabuleiros Costeiros do Ceará**. 2015. 52 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos. E-book. 5.ed, 2018.

GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo; SILVA, Alvaro Pires da. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 59, n. 3, p. 613-620, set. 2002.

GIAROLA, Neyde Fabiola Balarezo; SILVA, Alvaro Pires da; IMHOFF, Silvia; DEXTER, Anthony Roger. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**, [S.L.], v. 113, n. 1-2, p. 95-108, abr. 2003.

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: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L.; IVO, W. M. P. M. (Eds.). **Anais do workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19–46.

LIMA, H.V. **Identificação e caracterização do comportamento físico de solos coesos no Estado do Ceará**. 2004. 85f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, 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**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 467-476, jun. 2004.

LIMA, H. V.; SILVA, A P; ROMERO,R.E . Estabilidade estrutural e argila dispersa em água nos solos com horizontes coesos no Estado do Ceará. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. **XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, v. 1, p. 1-1, 2005.

LIMA NETO, José de Almeida; RIBEIRO, Mateus Rosas; CORRÊA, Marcelo Metri; SOUZA JÚNIOR, Valdomiro Severino de; LIMA, José Fernando W.F.; FERREIRA, Rafael Fernandes de Abreu e Lima. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 1001-1011, ago. 2009.

LIMA NETO, José de Almeida; RIBEIRO, Mateus Rosas; CORRÊA, Marcelo Metri; SOUZA-JÔNIO, Valdomiro Severino de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; LIMA, José Fernando W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de latossolos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 473-486, abr. 2010.

MARCELO, Valério Ferreira. **Manejo da qualidade física de solos coesos em tabuleiro costeiro de Pernambuco**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2015.

MARQUES, Edilaine da Silva. **Solos com caráter coeso: limitações do espaço poroso livre de água no desenvolvimento vegetativo do milho**. 2019. 82 f. - Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2019.

MENDONÇA, Eduardo de Sá; MATOS, Eduardo da Silva. **Matéria Orgânica do Solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005.

MOREAU, Ana Maria Souza dos Santos. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do Sul da Bahia**. 2001. 139 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

MOREAU, Ana Maria Souza dos Santos; KER, João Carlos; COSTA, Liovando Marciano da; GOMES, Felipe Haenel. Caracterização de solos de duas toposequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 1007-1019, dez. 2006.

PAULA, Nathielly Herculano de. **Contribuição de silício e alumínio na Gênese do caráter coeso**. 2018. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

QUEIRÓZ, Alexandre dos Santos. **Umidade como fator de interferência do caráter coeso em solos dos Tabuleiros Costeiros**. 2021. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

REZENDE, J. de O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, SPA, 2000. 117p.

RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos tabuleiros costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 161-168.

SANTANA, M. da S.; ANDRADE, E. M. de; GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F. Impacto da mudança do uso da terra sobre a densidade do solo em Argissolo no Semiárido. Petrolina. **Anais da III Jornada de Integração da Pós-Graduação da Embrapa Semiárido Petrolina**: Embrapa Semiárido, 2018. p. 143-149

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Proposta de Atualização da 5ª Edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - Ano 2023**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. (ed.). **Solos Tropicais**. Caráter coeso. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/classificacao-do-perfil/atributos-diagnosticos/carater-coeso>. Acesso em: 14 set. 2023.

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

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. da. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 797-804, out. 2004.

SILVA, Ana Carla Rodrigues da. **Alterações em um horizonte com caráter coeso ocasionadas por hidrogel e ciclos de umedecimento e secagem**. 2019. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

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**, [S.L.], v. 23, p. 341, dez. 2020.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B.. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 725-730, set. 2001.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E. Modelling of Soil Penetration Resistance for an Oxisol under No-Tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 89-95, 2012.

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

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J.. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 1023-1031, dez. 2004.

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.

VIEIRA, J. M. **Contribuição de compostos de baixa cristalinidade e ciclos de umedecimento e secagem na gênese do caráter coeso em solos do Ceará.** Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) - Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VIEIRA, Juliana Matos. **Fatores físicos e agentes químicos envolvidos na gênese de solos com caráter coeso.** 2019. 102 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

## ANEXO A – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO UTILIZADO

CLASSIFICAÇÃO - ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADAS: Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici. Coordenadas: UTM 24 547044 958629.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Trincheira aberta em área plana e com cobertura vegetal de pequeno porte.

ALTITUDE: 20 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos areno-argilosos.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a suave ondulado.

DRENAGEM: Moderada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Composta pelo Complexo Vegetacional da Zona Litorânea.

CLIMA: Tropical chuvoso com chuvas de verão (Aw).

USO ATUAL: Mata secundária.

DESCRIÇÃO E COLETA: Juliana Matos Vieira e Ricardo Espíndola Romero.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-8cm; bruno aczentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno – aczentado escuro (10YR 4/2 seca); fraca média a grande granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 8-15 cm; bruno aczentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno – aczentado escuro (10YR 4/2 seca); fraca média a grande granular e fraca média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- E 15-32 cm; bruno (10YR 4/3 úmida), bruno (10YR 5/3 seca); fraca a moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- EB 32-62 cm; bruno (10YR 4/3 úmida), bruno (10YR 5/3 seca); moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BE 62-96 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 5/6 úmida), bruno-amarelado-claro (10YR 6/4 seca); moderada a forte média a grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- BT<sub>1</sub> 96- 145cm; bruno forte (7,5YR 5/8 úmida), amarelo- avermelhado (7,5YR 7/6 seca); mosqueado comum médio proeminentes 2,5YR 5/8 (úmida), maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente duro, friável a firme, plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.
- BT<sub>2</sub> 145-190 cm+; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo- avermelhado (5YR 6/8 seca); moderada média blocos subangulares; muito duro a extremamente duro, friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Muitas finas e médias no horizonte Ap; comuns finas em AE; poucas finas em E; raras finas em EB e BE.

OBSERVAÇÕES: O horizonte Bt<sub>1</sub> apresenta caráter coeso; horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> apresentam mosqueados médios comuns proeminentes; as cores foram revisadas em dezembro de 2022 por Ana Maria Vieira da Silva, Angélica Lopes e Ricardo Romero. As cores do horizonte Bt<sub>2</sub> não foram revisadas.

Figura 1 - Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico.

