



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ANTONIO CARLOS DA SILVA

**RETENÇÃO DE ÁGUA EM CLASSES DE SOLOS NO OESTE POTIGUAR**

MOSSORÓ

2018

ANTONIO CARLOS DA SILVA

**RETENÇÃO DE ÁGUA EM CLASSES DE SOLOS NO OESTE POTIGUAR**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jeane Cruz Portela – UFRSA.

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C CARLOS DA SILVA, ANTONIO.  
334 r RETENÇÃO DE ÁGUA EM CLASSES DE SOLOS NO OESTE  
POTIGUAR / ANTONIO CARLOS DA SILVA. - 2018.  
70 f. : il.

Orientadora: JEANE CRUZ PORTELA.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Manejo de Solo e Água, 2018.

1. Água no solo. 2. Estruturação. 3.  
.Semiárido. 4. Vegetação nativa. I. CRUZ PORTELA,  
JEANE, orient. II. Título.

ANTONIO CARLOS DA SILVA

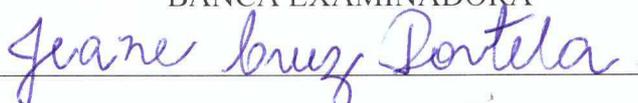
**RETENÇÃO DE ÁGUA EM CLASSES DE SOLOS NO OESTE POTIGUAR**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

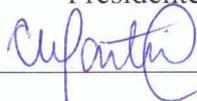
Defendida em: 28/02/2018.

BANCA EXAMINADORA



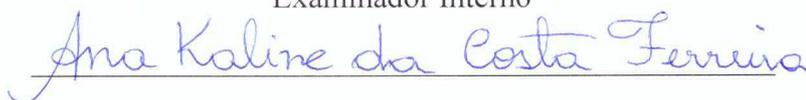
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Jeane Cruz Portela (UFERSA)

Presidente



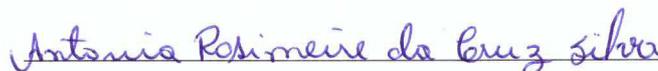
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Carolina Malala Martins Souza (UFERSA)

Examinador Interno



Dr.<sup>a</sup>. Ana Kaline da Costa Ferreira (UFERSA)

Examinador Interno



Dr.<sup>a</sup>. Antônia Rosimeire da Cruz Silva (AGROTERRA)

Examinador Externo

Aos meus pais **Manoel Feliciano da Silva** (*in memoriam*) e **Ozita Rocha** a quem sempre acreditaram e depositaram confiança nas minhas decisões e me apoiaram nos desafios que tive de enfrentar. Meu muitíssimo obrigado, pois não teria conseguido sem o auxílio de vocês.

Aos meus irmãos **Maria do Carmo da Silva;**  
**Maria Veneranda da Silva;** **João Bosco da Silva;** **Francisco Oziel da Silva** e minha noiva e companheira **Aldicleide Rege Nunes Rocha**, por todo incentivo, dedicação e compreensão em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a pessoa mais importante que é Deus, pois só ele sabe o quanto me esforcei e dediquei para alcançar tamanha vitória. Obrigado meu senhor;

À minha mãe Ozita Rocha, que é o meu maior tesouro, ela que sempre me fortaleceu, inspirou pela sua garra, determinação, honestidade, singeleza e amor incondicional. O meu eterno agradecimento por tudo;

À minha orientadora, Professora Jeane Cruz Portela, que foi a principal idealizadora desse sonho. Obrigado por todo ensinamento, dedicação, paciência, compreensão, profissionalismo e amor pelo seu trabalho. Muitíssimo obrigado. Que Deus abençoe você e toda sua família;

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Centro de Ciências Agrárias (CCA) Laboratório de Análise de Solo Água e Planta (LASAP), pela oportunidade de progressão profissional;

Aos Professores (as) do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Sêmi-Árido. Muito obrigado pela dedicação de todos vocês que nos orientam a trilhar os melhores caminhos através dos seus preciosos ensinamentos.

Aos amigos funcionários do LASAP, Elídio Andrade Barbosa, Ana Kaline da Costa Ferreira, Antônio Tomaz da Silva Neto, Talita Barbosa Abreu Diógenes, Maria Valdete da Costa e a Daianni Ariane da Costa Ferreira. A todos vocês meus companheiros de grande estimar e valor, que guardarei no meu coração por toda vida;

Aos meus colegas e alunos do programa de Pós Graduação de Manejo de Solo e Água, Jacques Carvalho Ribeiro Filho, Alisson Gomes da Silva, Rutilene Rodrigues da Cunha, Maria Elidayane da Cunha e Lunara Gleika da Silva Rêgo. Obrigado pelo companheirismo e ajuda de todos nesta conquista

Ao grupo de Alunos Graduando e Pós-Graduando do LASAP, Tarcisio Jose de Oliveira filho, Sandy Thomaz dos Santos, Francisco Wellington Andrade da Silva, Joaquim Emanuel Fernandes Gondim, Phâmella Kalliny Pereira Farias, Pollyana Mona Soares Dias, Joseane

Dunga da Costa, Thaís Cristina de Souza Lopes, Lucas Ramos da Costa e Luiz Eduardo Vieira de Arruda, a todos vocês que colaboraram incansavelmente para que todos os objetivos traçados fossem alcançados. Meus sinceros agradecimentos.

À banca por acrescentar contribuição de conhecimentos adquiridos e transmitidos, que serviu como complemento para a concretização dessa realização profissional.

Enfim a todos que colaboraram de forma direta ou indireta nesta vitória que será lembrada por toda vida. A todos o meu muitíssimo Obrigado.

## RESUMO

A estrutura do solo, do ponto de vista da física é um atributo dinâmico, influenciado pelas condições genéticas e alterações antrópicas que necessita de uma abordagem integrada, sendo a curva de retenção uma das principais ferramentas utilizadas para este fim. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar relações estruturais em classes de solos, associados aos atributos químicos em agroecossistemas no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix Sept Rosado-RN, tendo em vista apontar distinção dos ambientes. Foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas em dez perfis, nos seus respectivos horizontes, cujas classes de solos envolveram: Cambissolo Háptico, Latossolo Vermelho-amarelo, Chernossolo Rêndzico e Neossolo Flúvico. As análises constituíram de atributos físicos, dentre os quais a granulometria, Ds, PT det e de aeração, macroporosidade e microporosidade, CC, PMP, AD, conseqüentemente, a curva de retenção de água no solo e químicos, sendo CE, pH, e os macronutrientes (P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) e (H+Al), PST e COT. Os resultados foram expressos pela média de quatro repetições por horizonte, nas respectivas classes para os atributos analisados, por meio da análise multivariada, como ferramenta principal utilizada na detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes. Os atributos físicos e químicos das diferentes classes de solos apresentaram-se de forma determinante na distinção dos ambientes, quanto a suas características e particularidades locais, bem como as frações inorgânicas, em destaque silte e argila, com reflexos na microporosidade, porosidade de aeração e água disponível. Na classe do Chernossolo Rêndzico, o material de origem influenciou nos atributos físicos e químicos em função da predominância da fração silte, enquanto, a argila foi determinante para as classes dos Cambissolos Háptico e Neossolo Flúvico, quanto à fração areia em superfície e argila no horizonte diagnóstico (Bw) para o Latossolo Vermelho-amarelo. Em relação à expressividade dos atributos físicos agrupados destacaram-se: Ds, CC, AD, PMP, U,  $\theta$ , Paeração e macroporosidade. Para os atributos químicos mais sensíveis na diferenciação encontram-se o Chernossolo Rêndzico com as variáveis: PST, Na<sup>+</sup> e CE. Latossolo Vermelho-amarelo, destacaram-se: (H+Al) e Al<sup>3+</sup>, e os Cambissolos Hápticos e Neossolo Flúvico, são: pH, K<sup>+</sup>, P, COT, Ca<sup>2+</sup>, SB e T.

**Palavras-chave:** Água no solo. Estruturação. Semiárido. Vegetação nativa.

## ABSTRACT

The soil structure from the point of view of physics is a dynamic attribute, influenced by genetic conditions and anthropic changes that require an integrated approach. The retention curve is one of the main tools used for this purpose. In this sense, the objective of this work was to evaluate structural relationships in soil classes, associated to the chemical attributes in agroecosystems in the Terra de Esperança Land Settlement Project in Governador Dix Sept Rosado-RN aiming at distinguishing the environments. Deformed and undisturbed samplings were collected in 10 profiles, in their respective horizons, which classes of soils involved: Haplustepts, Eustrtox, Calciustolls, Usticfluents. The analysis consisted of physical attributes, including granulometry, Ds, PT det and aeration, macroporosity and microporosity, CC, PMP, AD, and consequently the water retention curve in soil and chemicals, being CE, pH, and the macronutrients (P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) and (H+Al), PST and TOC. The results were expressed by the average of four replicates per horizon, in the respective classes for the analyzed attributes, through the multivariate analysis. It was the main tool used to detect the most sensitive attributes in the environment distinction. Physicochemical attributes of the different soil classes were determinant in distinguishing the environments, their local characteristics and particularities, as well as the inorganic fractions, in particular silt and clay, reflecting in microporosity, aeration porosity and water available. In the class of Calciustolls, the origin material influenced in the physical and chemical attributes in function of the predominance of the silt fraction, whereas, the clay was determinant for classes of Haplustepts and Usticfluents, as for the sand fraction in surface and clay in the horizon (Bw) for the Eustrtox. Regarding the expressiveness of the grouped physical attributes, Ds, CC, AD, PMP, U,  $\theta$ , P, aeration and macroporosity stood out. For the most sensitive chemical attributes in the differentiation are included the Calciustolls with the variables: PST, Na<sup>+</sup> and CE. Eustrtox with (H+Al) and Al<sup>3</sup>, and Haplustepts and Usticfluents: : pH, K<sup>+</sup>, P, COT, Ca<sup>2+</sup>, SB and T.

**Keywords:** Water in soil. Structuring. Semiarid. Native vegetation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização da área de estudo: Projeto de Assentamento Terra de Esperança, no País, Estado e Município de Governador Dix-Sept Rosado-RN.....	29
Figura 2	– Áreas da realização da pesquisa no Município de Governador Dix-Sept Rosado, Assentamento Terra da Esperança, no Oeste Potiguar.....	31
Figura 3	– Dendograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.....	43
Figura 4	– Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis segundo fator loadings (B).....	43
Figura 5	– Curva de retenção de água dos Cambissolos Háplicos, nos respectivos horizontes, Perfis (P): P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN); P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN); P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica - (MN); P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN); P7 - Cambissolo Háplico - (MN); P9 - Cambissolo Háplico (MN) e; P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajareneiras).....	48
Figura 6	– Curva de retenção de água no Latossolo - Cajueiro (P4), nos respectivos horizontes.....	50
Figura 7	– Curva de retenção de água no Chernossolo Rêndzico - Pastejo, nos respectivos horizontes.....	51
Figura 8	– Curva de retenção de água no Neossolo Flúvico (P8) (Preservação Permanente - APP - Oiticica), nos respectivos horizontes .....	52
Figura 9	– Dendograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.....	57
Figura 10	– Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis segundo fator loadings (B).....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Distribuição do tamanho das partículas, classificação textural, e as coordenadas geográficas em classes de solos, nos respectivos horizontes, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança-RN.....	39
Tabela 2	– Atributos físicos estruturais em classes de solos nos respectivos horizontes, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança-RN.....	40
Tabela 3	– Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físicos do solo nas áreas em estudo.....	42
Tabela 4	– Parâmetros das curvas de retenção de água dos Cambissolos Háplicos.....	46
Tabela 5	– Parâmetros da curva de retenção do Latossolo (Cajueiro).....	49
Tabela 6	– Parâmetros da curva de retenção do Chernossolo Rêndzico (Pastejo).....	51
Tabela 7	– Parâmetros da curva de retenção do Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP).....	52
Tabela 8	– Atributos químicos nas classes solos no Projeto de Assentamento Terra de Esperança-RN.....	53
Tabela 9	– Matriz de correlação entre as variáveis químicas nas classes de solos no Projeto de Assentamento Terra de Esperança – RN.....	56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Objetivo específico</b> .....	15
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	16
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>4.1</b>	<b>Contextualização do solo</b> .....	17
<b>4.2</b>	<b>Formação geológica da Chapada do Apodi</b> .....	18
<b>4.3</b>	<b>Caracterização dos solos e clima da Região da Chapada do Apodí-RN .</b>	19
<b>4.4</b>	<b>Características dos principais solos das áreas em estudo</b> .....	20
<b>4.5</b>	<b>Retenção de água no solo</b> .....	22
4.5.1	Fatores que afetam a curva de retenção de água no solo .....	23
<b>4.6</b>	<b>Atributos químicos do solo</b> .....	24
4.6.1	Carbono Orgânico Total – (COT).....	26
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
<b>5.1</b>	<b>Localização e caracterização da região Oeste Potiguar</b> .....	29
5.1.1	Definição das áreas de estudo no Projeto de Assentamento Terra de Esperança- RN .....	30
5.1.2	Coleta e preparo das amostras de solos.....	32
<b>5.2</b>	<b>Descrição das análises físicas e químicas com amostras de solos com estrutura deformada</b> .....	33
5.2.1	Análise granulométrica, argila dispersa em água e grau de floculação.....	33
<b>5.3</b>	<b>Descrição das análises físicas com amostras de solos com estrutura indeformada</b> .....	34
5.3.1	Curva de retenção de água no solo .....	34
5.3.2	Macroporosidade, microporosidade e porosidade total determinada.....	35
5.3.3	Densidade do solo.....	35
<b>5.4</b>	<b>Análises químicas do solo</b> .....	35
<b>5.5</b>	<b>Análise estatística</b> .....	35
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>6.1</b>	<b>Análises dos atributos físicos do solo</b> .....	37

<b>6.2</b>	<b>Análises dos atributos químicos do solo .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro corresponde a quase 90 % da região Nordeste, onde o padrão climático é o principal responsável pelo bioma caatinga, caracterizado pelos baixos índices de precipitação pluvial, elevadas taxas de evapotranspiração e, solos pouco desenvolvidos (rasos), do ponto de vista pedogenético, com restrições físicas e boas características química.

Inserida nessa região, está a Chapada do Apodí-RN distribuída no Rio Grande do Norte e Ceará, detentora de formação geológica oriunda do calcário Jandaíra e arenito Açú, dando origem às classes Cambissolo, Latossolo, Chernossolo Rêndzico e Neossolo Flúvico, sendo os Cambissolos os que se apresentam em maior proporção.

Ao manejar os solos desse sistema, percebe-se que a retenção de água no solo apresenta variabilidade, fator este atrelado às características intrínsecas do solo, bem como ao seu manejo e cultivo agrícola adotado, sendo assim, uma ferramenta essencial para auxílio na conservação dos recursos solo, água e planta, apresentando relevante destaque a produção agrícola.

Estudos voltados aos atributos estruturais do solo são restritos, dificultando a adoção de técnicas adequadas às particularidades locais, fundamentadas na manutenção da capacidade produtiva do solo. Nesta perspectiva, são necessários estudos referentes às propriedades hidráulicas, sendo a curva de retenção uma das principais ferramentas utilizadas para este fim.

A curva de retenção de água do solo (CRA) é representada pela relação entre a quantidade de água que o solo pode reter, em um dado valor do potencial mátrico, a partir dos fenômenos de capilaridade e adsorção, cujos efeitos para retenção da água são de difícil separação. De modo geral, quanto mais próximo da capacidade de campo, onde os microporos encontram-se preenchidos por água, a capilaridade terá influência e, quanto mais seco o solo, maior será o efeito da adsorção (Libardi, 2012).

Os atributos químicos estão interligados aos físicos por meio dos agentes cimentantes, agregantes, suas cargas elétricas e outros. Contudo, os elementos químicos ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ , P dentre outros) que compõem o solo, são decisivos para sua fertilidade, contribuindo para retenção de água no solo e no crescimento e desenvolvimento vegetal.

Por esta razão, é fundamental que se busque informações quanto à curva de retenção de água no solo e os fatores que o influenciam, nas condições locais de estudo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar relações estruturais em classes de solos, associados aos atributos químicos em agroecossistemas no Projeto de Assentamento (P.A) Terra de Esperança em Governador Dix Sept Rosado-RN, tendo em vista apontar distinção dos ambientes.

### **2.2 Objetivo específico**

- Determinar a curva de retenção de água no solo, as frações inorgânicas, argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total determinada e de aeração e, CE, pH, e os macronutrientes (P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) e (H+Al), PST e COT.

### **3 HIPÓTESES**

1. Os atributos físicos e químicos do solo são influenciados pelos usos e sua posição na paisagem devido às condições genéticas e as alterações antrópicas e;
2. A fração argila e silte terá maior influência na diferenciação dos ambientes, por diferirem quanto à litologia, na sua fertilidade e forças de coesão e adesão, bem como, no espaço poroso e na retenção de água no solo.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Contextualização do solo**

O termo solo é definido como um material mineral ou orgânico, de origem natural, formando um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) com potencial para o desenvolvimento de plantas e atuando, também, como um componente vital para os processos e ciclos ecológicos, bem como meio de armazenagem e filtragem da água, atuando assim, como um sistema vivo, aberto, complexo e interligado, ou seja, trocando energia com o meio. Porém, as modificações por interferências antrópicas podem ser positivas e/ou negativas, quanto ao potencial produtivo para fins agrícolas (Hollis, 1991; Vezzani & Mielniczuk, 2011; Santos et al., 2013).

Tal contextualização, contudo, varia de acordo com o grau de conhecimento e da função a que lhe é atribuído, como por exemplo, para profissionais da engenharia civil, o solo é tido como base de sustentação para as edificações; para a ecologia, este é tido como local onde se processa parte dos ciclos naturais; enquanto que para o agrônomo, é o lugar onde as plantas retiram os recursos necessários sua nutrição, servindo também para fixar suas raízes (Resende et al., 2002).

De acordo com Prevedello (1996), o solo possui variabilidade espacial, onde as frações inorgânicas (argila, silte e areia) variam de tamanho e forma, como também o material orgânico de origem animal/vegetal, constituindo a parte sólida, denominada matriz do solo, a qual determina seu arranjo estrutural. As partículas sólidas, principalmente a textura, em função de diferentes tipos de argila apresentam características coloidais diferentes, influenciando diretamente no espaço poroso, na agregação, aeração, condução e retenção de água, bem como no processo de resistência à penetração e, conseqüentemente, na absorção de água e nutrientes disponíveis na solução do solo (Hillel, 1972; Hillel, 1980; Reinert & Reinert, 2006).

A textura é relatada por van Lier (2010), como uma característica física de difícil modificação ao longo do tempo, sendo inerente ao solo, uma vez que a estabilidade das partículas é considerada elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo e do zoneamento agrícola. Outro fator atrelado à mesma diz respeito à capacidade de retenção e condutividade hidráulica, além de propriedades químicas como, por exemplo, a capacidade de troca catiônica e atividade coloidal (Stefanoski et al., 2013).

A estrutura corresponde ao arrançamento e organização das partículas primárias e secundárias (agregados) do solo, de diferentes formas, tamanhos e graus de desenvolvimento, como resultado da intensidade dos processos gerais e específicos de seu intemperismo, resultando na formação de diferentes classes de solos do ponto de vista pedogenético, sendo assim estática. Porém, sob o ponto de vista da física do solo, a estrutura se mostra de forma complexa, dinâmica e funcional, exercendo influência direta no movimento da água e do ar, atividade biológica, crescimento radicular e produtividade agrícola (Reinert & Reinert 2006; Redin et al., 2011; Daniells, 2012).

Segundo Vezzani e Mielniczuk (2011), a estrutura pode ser alterada sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, a exemplo disto, tem-se a densidade do solo que, de acordo com Klein & Libardi (2002), é dada pela relação existente entre a massa de solo e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros, sendo expressa pelo arranjo estrutural e porosidade do solo, a qual pode ser afetada pelo processo de compactação, oriunda do tráfego e manejo inadequado que favorecem a redução de sua porosidade.

A compactidade natural (pedogenética) ou antrópica é uma importante propriedade do solo a ser considerada, pois interfere na dispersão ou rearrançamento dos agregados e, conseqüentemente, decréscimo da porosidade de aeração, retenção de água no solo, disponibilidade de água às plantas e difusão de gases no solo (Taylor & Brar, 1991), cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais.

A porosidade do solo é um índice utilizado para quantificar a fração volumétrica ocupada pelos poros, uma vez que a distribuição, funcionalidade e conexão dos diâmetros do espaço poroso, condiciona seu desempenho físico-hídrico. Desta forma, torna-se importante o conhecimento quanto à permeabilidade, processo de infiltração e retenção de água no solo, na qual a zona radicular vai estar inserida, sendo as características intrínsecas do solo e o material orgânico, responsáveis pela variabilidade estrutural (Hillel, 1970; Klein & Libardi, 2002; Ribeiro et al., 2007).

## **4.2 Formação geológica da Chapada do Apodi**

De acordo com Angelim et al. (2006), a formação geológica calcário Jandaíra é composta basicamente de dois tipos de calcário: o calcítico, que apresenta disposição estratificada sobre o arenito, com coloração variando de cinza claro e branco ou amarela de granulação fina a média e, o dolomítico de cor cinzenta ou amarela de granulação mais grosseira. Além disso, ocorre formação de áreas aluvionais provenientes da deposição de

sedimentos não consolidados, arenosos, siltosos e argilosos. Em determinadas áreas, o calcário é recoberto por sedimentos arenosos, oriundos do Grupo Barreiras (que apresenta também frações granulométricas mais finas como silte e argila de cores bastante variadas) (Mota et al., 2008).

Autores como Ernesto Sobrinho (1980) e Lemos et al. (1997), realizaram estudos na Chapada do Apodi quanto a mineralogia dos solos ali existentes. Coelho & Vidal-Torrado (2003), ressaltam que a composição mineralógica do solo é um aspecto determinante, pois influencia os fenômenos físicos e químicos que nele ocorrem. Do ponto de vista da gênese, a composição e as transformações mineralógicas do solo resultam no entendimento da evolução dos sistemas de intemperismo e pedogênese do mesmo.

Buckman & Brady (1989) e Fontes (2002), descrevem que a mineralogia das frações areia e silte são constituídas, principalmente, por minerais resistentes ao intemperismo. A exemplo disto tem-se o quartzo como principal constituinte desta fração, enquanto que as demais são compostas por olivinas, anfibólios, piroxênios, feldspatos e micas. Para a fração argila, segundo Allen & Hajek (1989) e Fontes (2002), sua composição dar-se por minerais de natureza secundária, provenientes de alteração física, química e biológica.

#### **4.3 Caracterização dos solos e clima da Região da Chapada do Apodi-RN**

O Nordeste brasileiro é uma região com variabilidade de clima, paisagens e solos, estendendo-se por nove estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, bem como o Norte de Minas Gerais. O Semiárido compõe a maior parte do Nordeste, compreendendo uma área de 969.589 km<sup>2</sup> de 1.133 municípios com aproximadamente 28 milhões de habitantes (Coelho et al., 2009).

Coelho et al. (2014), descrevem que na natureza existem uma diversidade de solos que se distinguem quanto às suas características, como a espessura que corresponde a superfície do solo; a cor que encontra-se diretamente relacionada ao material de origem, bem como a presença de teor matéria orgânica e óxidos de ferro; a fertilidade que encontra-se atrelada a capacidade do solo em fornecer nutrientes as culturas e a estrutura que está relacionada ao rearranjo das partículas sólidas que podem ser facilmente modificadas.

Os solos da região semiárida são caracterizados por serem pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético, apresentando assim restrições físicas, devido à profundidade efetiva e afloramento rochoso, constituindo em limitação ao desenvolvimento das plantas, além dos reduzidos teores de matéria orgânica. Apesar das condições físicas limitantes

presentes, boa parte desses solos apresentam elevada fertilidade, em função de sua litologia e o padrão climático, interligados com os demais fatores e processo de formação dos solos. (Bastos et al., 2012, Cândido et al., 2013; Silva et al., 2014).

Nesta perspectiva, surge a necessidade do conhecimento para com os atributos físico-químicos do solo, que englobam a determinação da granulometria, densidade do solo, porosidade, retenção de água, estrutura e consistência dentre outros, propiciadores de meios para o manejo e/ou conservação do solo, a partir de seu conhecimento. Quanto aos atributos químicos, encontram-se o potencial Hidrogeniônico, condutividade elétrica, fósforo, carbono orgânico total, cálcio, magnésio, potássio, sódio e alumínio, ambos relacionados à fertilidade do solo (Mota et al., 2008; Artur et al., 2014).

No recorrente ao clima predominante na região, conforme classificação de Köpper, tem-se o semiárido quente e seco, com precipitação pluvial média anual de 712 mm, caracterizado pela irregularidade e má distribuição de chuvas, em períodos concentrados do ano durante os meses de fevereiro a maio, com elevadas temperaturas que favorecem as altas taxas de evaporação e balanço hídrico negativo durante boa parte do ano (Coelho et al., 2009).

#### **4.4 Características dos principais solos das áreas em estudo**

O principal fator comum da classe de Cambissolo, diz respeito à presença do horizonte diagnóstico B incipiente, subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (Manzatto et al., 2002; Santos et al., 2013). Nessa classe de solo, as características físico-químicas variam no tocante a diversos parâmetros, dentre os quais estão pH, fertilidade do solo, colorações diversas, textura franco arenosa ou mais argilosa, solos pedregosos, cascalhentos e muitas vezes rochosos e drenagem variada (IBGE, 2006).

Os Latossolos são solos minerais, intemperizados, ocorrendo praticamente em todas as regiões do Brasil, caracterizados por apresentarem profundidade efetiva, com boas propriedades físicas, quanto à drenagem, sendo considerados aptos para atividades agropecuárias (Kluthcouski & Stone, 2003). Uma das principais características, refere-se a presença dos horizontes A, Bw e C, formado por minerais intemperizados, resultando em uma baixa atividade da fração argila (Palmieri & Larach, 2004). Quanto a sua textura, apresenta variação de média a muito argilosa, com boa drenagem e altos teores de alumínio trocável, apresentando caráter ácido, fator este que pode ocasionar problemas quanto ao crescimento e desenvolvimento das culturas (Kluthcouski & Stone, 2003). De acordo com Vieira (1988), as

principais classes deste são: o Latossolo Vermelho, Latossolo Bruno, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo.

Os Chernossolos ocorrem em várias regiões do Brasil, mas têm concentração expressiva na região da Campanha Gaúcha (Ebânicos), onde são utilizados como pasto e lavouras. No restante do país ocorrem relativamente dispersos (Argilúvicos), ou em pequenas concentrações no Mato Grosso do Sul (Serra da Bodoquena) e Rio Grande do Norte (Rêndzicos) (IBGE, 2006). Essa classe compreende os solos minerais que apresentam como horizonte diagnóstico o A chernozêmico, sobrejacente a horizonte Bt ou Bi com argila de atividade alta, ou sobre horizonte C carbonático ou horizonte cálcico, ou ainda sobre a rocha, quando o horizonte A apresenta concentração de carbonato de cálcio. É um solo rico em matéria orgânica, com elevada saturação por bases e fertilidade natural (Manzatto et al., 2002; Santos et al., 2013). De acordo com Brasil (1981) e Melo et al. (2017), na Chapada do Apodi, existem significativas manchas de Chernossolos. Os mesmos caracterizam-se por serem predominantemente rasos (sem desenvolvimento pedogenético avançado) com afloramentos rochosos ao longo das áreas, sendo que o material de origem dessa classe de solo é o calcário fossilífero (ou seja, rochas ricas em bases, predominantemente cálcio e magnésio) pertencente ao Grupo Apodi da era cretácea.

Os Neossolos ocorrem em praticamente todas as regiões do Brasil, embora sem constituir representatividade espacial expressiva, ou seja, ocorrem de forma dispersa em ambientes específicos, como é o caso das planícies à margem de rios e córregos (Neossolos Flúvicos) e nos relevos muito acidentados de morrarias e serras (Neossolos Litólicos). Os Neossolos Quartzarênicos, muito expressivos no país, são comuns na região litorânea e em alguns estados do Nordeste, ocupam também grandes concentrações em alguns estados do Centro-Oeste e Norte, como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins. Solos formados por material mineral ou orgânico, cuja principal característica é a ausência do horizonte B diagnóstico (Santos et al., 2013), outra caracterização diz respeito ao seu grau de desenvolvimento, ou seja, são pouco evoluídos e possuem textura arenosa que, associada à baixa fertilidade natural, elevada toxidez por alumínio e baixa capacidade de reter água, dificultam o seu uso para atividades agrícolas (Coelho et al., 2002).

Donagema et al. (2016), relatam que essa classe de solo apresenta-se homogênea. Contudo, os Neossolos apresentam os seguintes critérios para diferenciação: a dinâmica da matéria orgânica, teor e mineralogia da fração argila, teores de areia grossa e de areia total em relação aos de areia fina, diâmetro médio da fração areia, capacidade de retenção de água e, por conseguinte, capacidade de água disponível para as culturas. Os Neossolos são

classificados conforme níveis categóricos, enquadrando-se nas seguintes subordens: Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos (Santos et al., 2013).

#### **4.5 Retenção de água no solo**

A curva de retenção de água do solo (CRA) representa o potencial matricial versus a umidade volumétrica ( $\theta_s$ ). Por meio da associação entre o conteúdo de água no solo e a energia que fica retida nos poros e/ou adsorvida em suas partículas minerais (potencial matricial) (Van Genuchten, 1980; Dexter & Bird, 2001).

Em estudos realizados por Buckman & Brady (1989), com a capacidade de retenção de água no solo, verificou-se que a curva de retenção é uma ferramenta importante utilizada na identificação das condições de saturação, uma vez que, caracteriza as propriedades hidráulicas do solo. Nesta perspectiva, a água apresenta-se como fator limitante quanto ao crescimento vegetal, uma vez que é responsável por disponibilizar os nutrientes para a solução do solo, em contato íntimo com a raiz na solução aquosa. É importante ressaltar que o processo de retenção de água ocorre em solos não saturados, em decorrência de fatores que interferem em sua movimentação no mesmo, como as forças de capilaridade e adsorção que operam na matriz do solo variando em função da textura, mineralogia, profundidade, estrutura, granulometria, porosidade, matéria orgânica e uso agrícola (Reichardt & Timm, 2004; Libardi, 2011).

O conteúdo de água de saturação ( $\theta_s$ ) e de água residual ( $\theta_r$ ) são propriedades essenciais na elaboração da CRA. No entanto, vários fatores como a expansão das argilas, temperatura, tamanho, forma e o arranjo das partículas são consideradas na obtenção da curva de retenção (Hutson & Cass, 1987; Moraes et al., 1993). A temperatura influencia em uma maior ou menor intensidade com que as forças de retenção da água atuam (Moraes et al., 1993). Porém, segundo Kluter (1986), os efeitos da temperatura ainda precisam de mais estudos para melhores explicações.

Quanto à textura e estrutura do solo atuam sobre as características dos poros, onde o ar e a água ficam retidos (Adámoli et al., 1985; Reichardt, 1985).

A CRA revela-se, ainda, de fundamental importância para a prática da irrigação, pois resulta em um manejo apropriado da água, evitando desperdícios e, também, para estudos sobre deslocamento da água no solo (Costa et al., 2008). Além disso, é possível obter uma correlação entre os dados da curva de retenção e de propriedades do solo, podendo também

ser utilizada para avaliar sua qualidade, fornecendo informações para práticas agrícolas (Machado et al., 2008).

Na condição de solo seco, as forças de adsorção atuarão no meio quando submetidas a altas tensões e, à medida que o solo umedece, as forças de atração entre a água e sólidos aumentam, prevalecendo às forças capilares (Correia et al., 2008).

Em estudo realizado com solo saturado em equilíbrio com água livre, Klar (1988), constatou que, no sistema solo-planta-atmosfera, a força de sucção tem influência na drenagem livre do solo, à medida que o mesmo perde água, o ar penetrará no interior dos poros, reduzindo a película de água que envolve as partículas, visto que, será necessário um dispêndio de energia, o qual é tanto maior quanto mais fortemente as partículas de água estiverem presas ao solo.

A obtenção da CRA pode ser realizada in loco, diretamente no campo, ou em laboratórios por meio de amostras deformadas de solo (Campbell, 1988; Urach, 2007; Teixeira et al., 2017). A metodologia mais tradicionalmente utilizada é a proposta por Richards (1965), utilizando a câmara de pressão para médias e altas tensões. No entanto, outros métodos são conhecidos como os métodos da centrífuga (Silva et al., 2006; Costa et al., 2008), do funil de placa porosa para baixas tensões (Cintra et al., 2004), tensiometria (Evangelista et al., 2013) e método do papel-filtro (Lucas et al., 2011).

A câmara de pressão de Richards apesar de ser o método mais utilizado, apresenta algumas desvantagens como, o contato íntimo da amostra com a placa porosa, o longo tempo para obtenção das medidas, o custo do equipamento, a fragilidade das placas porosas, entre outras (Tavares et al., 2008).

#### 4.5.1 Fatores que afetam a curva de retenção de água no solo

A determinação da curva de retenção de água no solo (CRAS) é influenciada por diversos fatores, e dentre eles os atributos físicos intrínsecos ao solo como textura, distribuição de poros e teor de matéria orgânica (Mello et al., 2005; Klein, 2006). Solos de textura argilosa, em geral, apresentam maior retenção de água se comparados a solos arenosos em função da predominância da fração argila que possui cargas elétricas negativas, atividade coloidal e área superficial específica alta. De acordo com Urach (2007) a textura afeta o conteúdo de água no solo, na medida em que predomina a fração argila, sendo que quanto maior for o seu teor, maior será o conteúdo de água retida sob um dado potencial matricial, enquanto que em solos arenosos a tendência é ocorrer o inverso.

Essa característica distinta da fração argila justifica-se pela alta reatividade no sistema solo, sendo essa reatividade presente nos diferentes tipos de argila atribuída à existência e predominância de cargas elétricas negativas e atividade coloidal frente à fração areia que é comparativamente inerte, constituída basicamente por quartzo (Libardi, 2010).

Os microporos, geralmente encontrados dentro das unidades estruturais, contribuem para a retenção de água disponível as plantas nos poros dos agregados pela ação das forças capilares, à medida que ocorre a drenagem livre de água, enquanto a função dos macroporos, mais abundantes em solos arenosos, basicamente se resume a infiltração e drenagem de água gravitacional e difusão de gases, correlacionando-se mais com a aeração do que com a retenção propriamente dita, conforme observado por Fidalsky (2013).

Outro ponto importante sobre o estudo da retenção de água no solo é a influência indireta exercida sobre sua determinação no momento do ensaio de campo e em laboratório por meio dos diferentes métodos analíticos de determinação, e até mesmo o tamanho da amostra, sobretudo, em solos argilosos que pode interferir no conteúdo de água no solo na condição natural, gerando distorções nos resultados conforme observados por Antinoro et al., (2014) e Solone et al., (2012).

Outro aspecto a ser levado em consideração no estudo da curva de retenção é a influência da matéria orgânica do solo (MOS). Apesar dos dados presentes na literatura ainda serem incipientes e por vezes contraditórios, necessitando de mais estudos, alguns autores tem se debruçado sobre este tema. Silva & Mendonça (2007), destacam a influência da MOS sobre a CRA, contudo esta influência está também na dependência da textura, pois em solos argilosos seu efeito será menos perceptível, porém mais pronunciada em solos de textura arenosa (Sidiras et al., 1984; Araújo et al., 2004; Klein & Klein, 2015).

#### **4.6 Atributos químicos do solo**

A análise dos atributos químicos do solo é de fundamental importância para monitorar a qualidade produtiva do solo em função dos diferentes manejos adotados, o que permite se ter uma ideia do estado de conservação/degradação deste recurso natural. Assim, Melo & Alleoni (2009), destacam que análise de elementos químicos do solo é considerada uma importante ferramenta na medida em que revelam os teores totais de nutrientes disponíveis as plantas, elementos contaminantes do solo, além de fornecer subsídios para monitorar os limites de elementos potencialmente tóxicos nos solos agrícolas.

Dentre os atributos químicos mais relevantes para o estudo do solo, destacam-se os índices gerais de fertilidade, quais sejam: potencial hidrogeniônico (pH), capacidade de troca catiônica (CTC), bases trocáveis, ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$   $\text{Na}^{+}$ ) teor de P, Matéria orgânica do solo na forma de COT ( carbono orgânico total) e suas frações, saturação por bases (t) e por alumínio (m), além e acidez potencial (H+Al) condutividade elétrica (CE) e porcentagem de sódio trocável ( PST) . A saturação por bases e a CTC são indicativos das condições de fertilidade do solo, fortemente influenciado pelo material de origem e mineralogia da fração argila (Ronquim et al., 2010), ao passo que pH, influência a disponibilidade de nutrientes, a concentração de sais diversos e de sódio no solo (mensurados respectivamente pelos valores de CE e PST) afetam diretamente ou indiretamente uma série de processos no solo e na fisiologia das plantas (Souza et al, 2007). Cavalcanti et., al (2016) estudando os atributos de Neossolos associados a usos agrícolas na Região Semiárida do Rio Grande do Norte, concluiu que os atributos químicos do solo, tais como pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e soma das bases (V), CTC efetiva (t),  $\text{Na}^{+}$  e PST) funcionam como eficientes indicadores que permitem a diferenciação de ambientes sob diferentes usos agrícolas, sendo os mais sensíveis  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^{+}$  Al, concordando com Ribeiro (2016) que encontrou resultados semelhantes ao estudar os atributos químicos e físicos do solo sob diferentes usos agrícolas em solos do Oeste Potiguar.

Além disso, atributos químicos do solo são sensíveis na detecção da perda de qualidade do solo, permitindo detectar o impacto da ação antrópica, sobretudo quando ocorre eliminação da vegetação original e depreciação dos estoques de MOS (matéria orgânica do solo), em função do processo erosivo, que aliada às práticas agrícolas inadequadas, geram com o passar do tempo, declínio da disponibilidade de nutrientes comprometendo a qualidade física, química e biológica, conseqüentemente, redução da capacidade produtiva do solo, (Costa et al., 2015; Pavinato e Rosolem, 2008;. Silva Junior et al., 2012), verificaram depreciação dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes usos, evidenciados nos menores teores de cátions básicos trocáveis presentes na área com uso intensivo, envolvendo monocultivos e pastagens conduzidas de forma inadequada, comprometendo a produtividade agrícola nesses agroecossistemas, comparativamente a área preservada de mata nativa. Semelhantemente, Iwata et al. (2012) e Lima et al. (2001), ao comparar sistemas agroflorestais, na região do nordeste brasileiro verificaram que os mesmos promoveram a melhoria dos indicadores químicos do solo com aumento do pH, redução da saturação por alumínio, aumento dos teores de nutrientes e maior estabilidade da qualidade química do solo sob efeito da sazonalidade.

Corrêa et al. (2009) ao estudar atributos químicos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco verificou modificação dos atributos químicos do solo, com destaque para os maiores valores dos nutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e P), na área de mata nativa frente aos sistemas de cultivo adotados (culturas de ciclo curto, fruticultura e pastagem). Marinho et al. (2016) corrobora essa idéia ao realizar a caracterização química de um Cambissolo Háplico em área de assentamento no oeste do Rio Grande do Norte, verificando maiores teores de nutrientes nos sistemas de manejo agroecológico, mata nativa e pomar frente aos sistemas de preparo convencional do solo e área de colúvio, que estavam sendo utilizados sob agricultura convencional, concordando com resultados anteriormente obtidos por Lira et al. (2012), que ao estudar os efeitos dos sistemas de uso do solo na caatinga sobre os atributos químicos na Chapada do Apodi, observou, perda de fertilidade do solo na área de cultivo agrícola convencional, com destaque para redução dos índices gerais de fertilidade bases trocáveis e CTC, evidenciando a importância de monitorar os indicadores de qualidade química do solo sob diferentes manejos.

#### **4.6.1 Carbono Orgânico Total – (COT)**

No estudo da matéria orgânica, o solo e suas formas de uso e manejo pode ser considerado fonte ou dreno de  $\text{CO}_2$  atmosférico, dependendo do sistema de produção agrícola adotado, uma vez que, o declínio ou acréscimo da matéria orgânica do solo (MOS) pode nos permitir mensurar o grau de preservação dos agroecossistemas. Alterações na (MOS) influenciam diretamente na conservação do ambiente, susceptibilidade à erosão, na infiltração, retenção de água, a fertilidade do solo, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo (Conceição et al., 2005; Ribeiro et al., 2011).

Do Semiárido, estima-se que 40, 30, 15 e 15 % são ocupados com caatinga, pastos nativos, pastos plantados e lavouras, com estoques de biomassa de 47, 15, 2 e 1  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. A caatinga possui formação vegetal com características bem definidas com árvores baixas, arbustos, cactáceas e bromeliáceas agrupadas em três estratos: arbóreo, medindo de 8 a 12 metros; arbustivo de 2 a 5 metros e herbáceo com menos de 2 metros (Alves et al., 2009). Em estudo desenvolvido na caatinga do Rio Grande do Norte na Estação Ecológica do Seridó (EsEc-Seridó), Santana & Souto (2011) constataram que, após doze meses foram depositados 2.068,55  $\text{kg ha}^{-1}$  de serapilheira, com as folhas constituindo a fração predominante responsável por 79,90 % do material decíduo. A fitomassa de galhos e cascas atingiu 9,27 % do total depositado, enquanto a participação de material reprodutivo foi de

2,92 % e a de miscelânea 7,91 % (fragmentos de folhas, galhos, ramos, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais de difícil identificação, além de insetos ou partes destes e fezes), sendo que o pico de deposição da fração material reprodutivo ocorreu em março, enquanto para as demais frações ocorreu em maio, que coincidiu com o início da estação seca durante o período estudado, reduzindo durante o período de menor precipitação pluvial (julho-dezembro) e voltando a crescer após as chuvas de janeiro, mostrando marcante sazonalidade.

No geral em relação aos estoques e fluxos de carbono no Semiárido Nordeste as concentrações de C no solo foram estimadas em 9,25 e 5 g C kg<sup>-1</sup> solo, nas profundidades de 0-20 e 20-100 cm, totalizando 8,9 kg de C (Sampaio & Costa, 2011). No agreste paraibano, Fraga & Salcedo (2004) em solos sob caatinga, determinaram em média 13,7 g de COT kg<sup>-1</sup> de solo na camada de 0-15 cm (período úmido) e Sousa (2006), em microbacia em São João do Cariri-PB, sob diferentes tipos de vegetação caatinga, encontrou valores entre 4,16 e 11,42 g kg<sup>-1</sup> em Luvisolos e 3,94 a 6,27 g kg<sup>-1</sup>, em Vertissolos, em período úmido, na camada de 0-20 cm. Com o início das chuvas, a maior umidade no solo determina um forte aumento da atividade biológica, com a conseqüente mineralização de parte do carbono aportado (Salcedo & Sampaio, 2008). Como na caatinga o sistema é frágil em termos de decomposição do C no solo devido à alta temperatura e baixo aporte de resíduo, a exploração de uma cultura na caatinga deve estar condicionada à utilização racional de diversos fatores de produção, não apenas com vistas em obter índices de produtividade, mas também no sentido de preservar a qualidade do solo, portanto análises físico-químicas e da matéria orgânica do solo (MOS) periódica são fundamentais para observar a sustentabilidade do sistema produtivo.

O estudo da MOS é um tema essencial na avaliação de agrossistemas, apesar da MOS, quando bem manejada, encontrar-se numa faixa de apenas 1 a 6 % em percentagem de peso na maioria dos solos, esta apresenta alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, pois a natureza do carbono (lábil, particulado, livre, protegido em complexos organo-minerais) exerce papel significativo nestas propriedades. Além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes para as plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão, e também atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo (Silva & Mendonça, 2007).

A degradação do recurso natural solo muitas vezes tem seu maior potencial provocado pelo manejo inadequado seguido por falta de cobertura natural, principalmente nos solos do semiárido do nordeste brasileiro (Menezes & Sampaio, 2002). Quando se retira a vegetação

nativa, no caso a caatinga, e associado a longos períodos de estiagem, observa-se uma acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, como por exemplo, as altas temperaturas e as baixas umidades características desta região, reduzindo conseqüentemente, seu potencial produtivo, degradando o solo (Trevisan et al., 2002). O teor de C orgânico tem sido utilizado frequentemente como indicador-chave, tanto em sistemas agrícolas como em áreas preservadas (Jansen, 2005).

Para o bioma Caatinga, vários autores discutem tanto ganhos como perdas nos estoques de C e N nos diferentes usos do solo e tipo de vegetação. De acordo com Maia et al. (2006), no semiárido cearense, em sistemas convencionais e agrossilvipastoris observaram que no cultivo intensivo (milho), no sistema Agrossilvipastoril (milho/leucena/pastejada por ovinos como banco de proteína) e, no Agrossilvipastoril tradicional desde 1998 (milho/pastejo ovinos) promoveram redução de 40, 38 e 35 % nos teores de COT, respectivamente, em relação à caatinga nativa na camada de 0-6 cm. Assis et al. (2010), avaliando agroecossistemas irrigados, anuais e perenes na MOS e frações de fósforo na Chapada do Apodi/RN em um Cambissolo Háplico, concluíram que os estoques de COT e NT, e C em substâncias húmicas foram reduzidos pelo cultivo do solo, independentemente do sistema de manejo. Além disso, o cultivo afetou a dinâmica de P no solo, aumentando a fração de P inorgânico no agroecossistema perene e, a fração de P orgânico no agroecossistema anual.

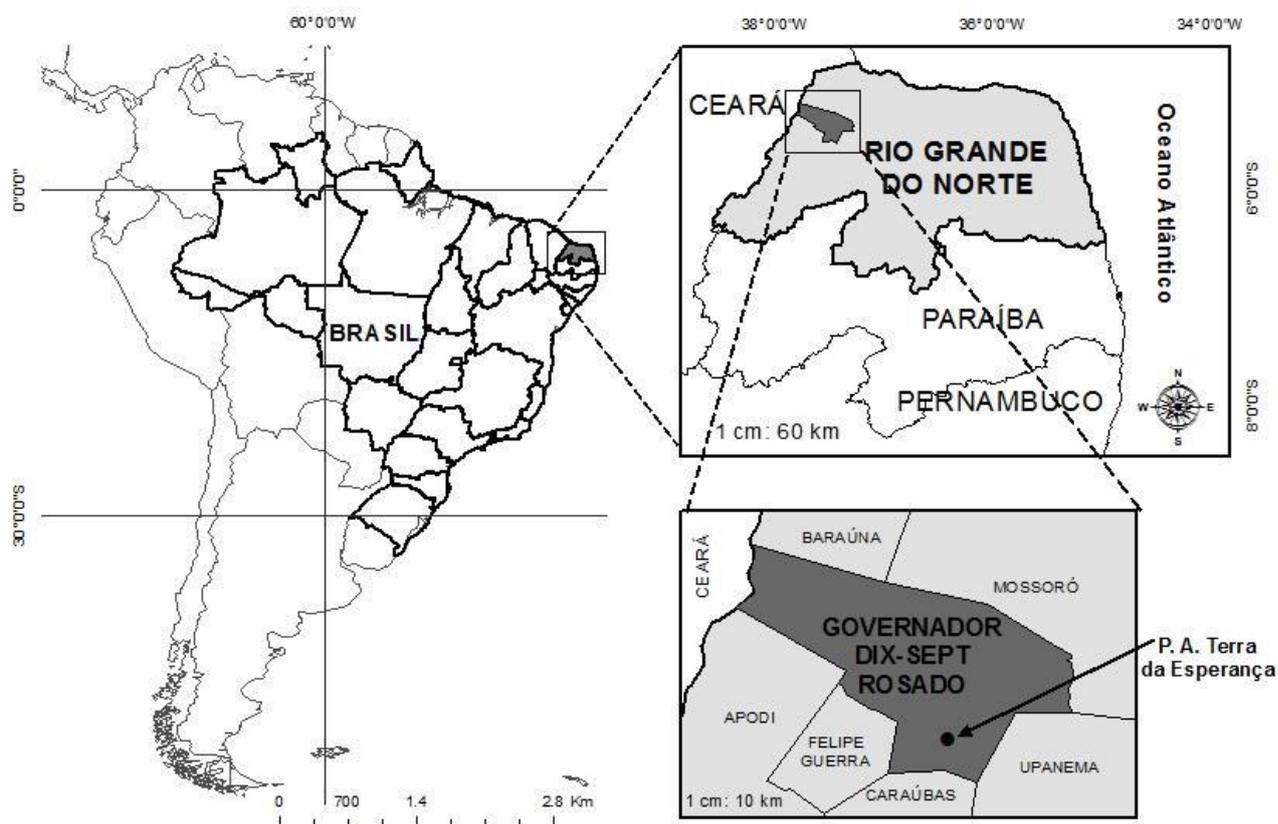
Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo. As reduções nestes compartimentos são, de modo geral, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo total de C do solo (Leite et al., 2003; Conceição et al., 2005; Silva et al., 2011). Dentre os compartimentos o carbono lábil (CL) apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Localização e caracterização da região Oeste Potiguar

A pesquisa foi realizada no município de Governador Dix Sept Rosado, localizado na Microrregião da Chapada do Apodi, no estado do Rio Grande do Norte, nas coordenadas 05° 27' 32,4" de latitude Sul e 37°31'15,6" de longitude Oeste, com área total municipal de 1.263 km<sup>2</sup> (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área de estudo: Projeto de Assentamento Terra de Esperança, no País, Estado e Município de Governador Dix-Sept Rosado-RN.



**Fonte:** Grupo de pesquisa de Física e Manejo do Solo, UFERSA (2018).

Pela classificação de Köpper, o clima da região é tropical semiárido, tipo BSw, caracterizado pela escassez e irregularidade das precipitações pluviiais, com média anual de 673,9 mm, sendo chuvas de verão com forte evaporação devido as altas temperaturas. A temperatura média é de 27 °C e a umidade relativa do ar média de 68,9 %, com a vegetação natural sendo a Caatinga hiperxerófila.

As áreas estudadas estão sobre calcário da Formação Jandaíra, que, em determinados locais, é recoberto por sedimentos arenosos mais recentes do Grupo Barreiras. Ocorrem também áreas aluvionais formadas por sedimentos não consolidados, arenosos, siltosos e argilosos referentes ao Holoceno (DNOCS, 1978).

#### 5.1.1 Definição das áreas de estudo no Projeto de Assentamento Terra de Esperança- RN

A pesquisa foi desenvolvida no Projeto de Assentamento (P.A.) Terra de Esperança em Governador Dix Sept Rosado/RN, constituído de uma área total de 6.297 hectares, distribuídos numa vila de 30 lotes com 113 famílias, cada uma com 30 hectares. Se investigou diferentes agroecossistemas, preservados (referência) e em usos agropecuários, em classes de solos, nos respectivos horizontes.

Foram selecionadas dez (10) áreas, sendo estas georeferenciadas e definidas a partir de prioridade dos (as) agricultores (as), baseadas nas seguintes definições dos Perfis (P): P1- Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN); P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN); P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica – (MN); P4 – Latossolo Vermelho-amarelo - Cajueiro; P5 – Chernossolo Rêndzico– Pastejo; P6 - Cambissolo Háplico) Pastagem (MN); P7 - Cambissolo Háplico - (MN); P8 - Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP – Oiticica); P9 - Cambissolo Háplico (MN) e P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajareneiras) (Figura 2).

A identificação das classes de solos, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013), consta de pesquisa em andamento da discente Joseane Dunga da Costa, pertencente ao grupo de pesquisa de Física e Manejo do Solo-UFERSA.

**Figura 2.** Áreas da realização da pesquisa no Município de Governador Dix-Sept Rosado, Assentamento Terra da Esperança, no Oeste Potiguar.



**P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN)**  
05° 29' 13,0" S 37° 24' 33,1" W



**P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN)**  
05° 30' 17,6" S 37° 27' 01,3" W



**P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica – (MN)**  
05° 30' 22,9" S 37° 27' 06,8" W



**P4 - Latossolo Vermelho- amarelo  
Cajueiro**  
05° 29' 42,7" S 37° 28' 30,3" W



**P5 - Lote – Chernossolo Rêndzico – Pastajejo**  
05° 32' 21,18" S 37° 26' 01,2" W



**P6 - Cambissolo Háplico – Pastagem**  
05° 32' 24,0" S 37° 25' 59,4" W



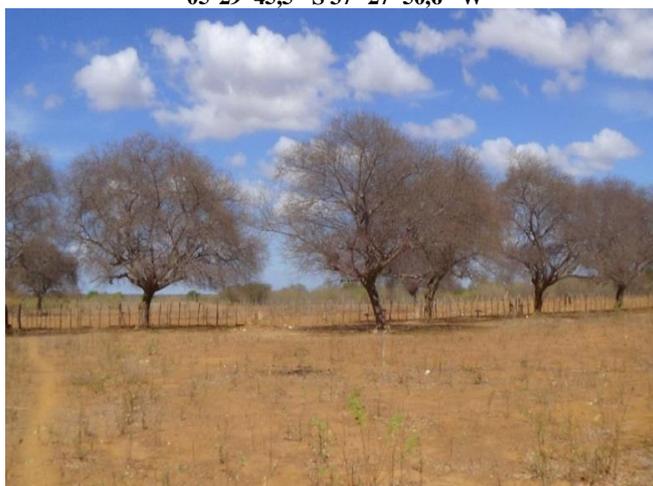
**P7 - Cambissolo Háplico - (MN)**  
05°28' 40,7" S 37° 26' 16,3" W



**P8 - Neossolo Flúvico (APP - Oiticica)**  
05°29' 45,5" S 37° 27' 50,6" W



**P9 - Cambissolo Háplico (MN)**  
05°28' 54,7" S 37° 24' 52,7" W



**P10 - Cambissolo Háplico (Cajarana)**  
05°29' 50,9" S 37° 27' 14,8" W

**Fonte:** Compilação do Autor (2018).

### 5.1.2 Coleta e preparo das amostras de solos

Foram coletadas amostras de solos com estruturas deformadas e indeformadas em diferentes agroecossistemas (P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN); P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN); P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica - (MN); P4 - Latossolo - Cajueiro; P5 - Lote - Chernossolo Rêndzico - Pastejo; P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem; P7 - Cambissolo Háplico - (MN); P8 - Neossolo Flúvico (APP - Oiticica); P9 - Cambissolo Háplico (MN) e P10 - Cambissolo Háplico (Cajarana)), em classes de solos, nos respectivos horizontes para a realização das análises.

As amostras deformadas foram coletadas nas áreas supracitadas e seus respectivos horizontes, acondicionadas em sacos plásticos e, depois levadas ao Laboratório de Pesquisa

da UFERSA. Posteriormente, foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Estas foram submetidas às análises físicas como: granulometria, argila dispersa em água e grau de floculação, e os atributos químicos:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , P, CE, pH, (H+Al) e COT.

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando aparelho tipo Uhland e anéis com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, para as análises: curva de retenção de água no solo (macro, micro, porosidade total e de aeração, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível) e densidade do solo.

As análises físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios de Física do Solo e Fertilidade e Nutrição de Plantas, respectivamente, ambos no complexo do Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA), seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017).

## **5.2 Descrição das análises físicas e químicas com amostras de solos com estrutura deformada**

### **5.2.1 Análise granulométrica, argila dispersa em água e grau de floculação**

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando 20 g de TFSA e dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) com agitação mecânica lenta em agitador (tipo Wagner 50 rpm) por 16 horas, onde a fração areia (2 – 0,05 mm) foi obtida por tamisagem, argila (< 0,002 mm) por sedimentação e o silte (0,05 – 0,002) por diferenciação.

Argila dispersa em água (ADA) foi determinada a partir da TFSA, utilizando-se agitação mecânica lenta (tipo Wagner 50 rpm por 16 horas) e água destilada.

O grau de floculação (GF) da argila foi calculado pela expressão seguindo a metodologia descrita no manual de métodos de análises físicas (Teixeira et al., 2017) (Equação 1).

$$GF = \frac{100 * (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água})}{\text{argila total}} \quad (1)$$

### 5.3 Descrições das análises físicas com estrutura indeformada

#### 5.3.1 Curva de retenção de água no solo

Para determinação das curvas de retenção de água, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram utilizadas amostras com estrutura indeformada, sendo dez amostras para cada horizonte, nas respectivas classes de solos. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando aparelho tipo Uhland. Para elaboração da curva de retenção, foram utilizadas as tensões 0; 2; 6; 10; 33; 50; 100; 200; 500 e 1500 kPa.

A mesa de tensão foi utilizada para aplicação das tensões 0; 2; 6 e 10 kPa, em câmaras de baixa tensão, 33, 50 e 100 kPa para médias e, 200, 500 e 1500 kPa para alta. As amostras foram mantidas, tanto nas mesas de tensão como nas câmaras de pressão, pelo tempo necessário para atingir o equilíbrio, ou seja, o momento em que não houve mais drenagem de água, atingindo a condição de equilíbrio. O ajuste das curvas de retenção da água no solo foi feito com base na equação de van Genuchten (1980), utilizando o software Soil Water Retention Curve (SWRC) versão 3.0 beta, desenvolvido por Dourado Neto et al. (2001). A Equação 3 considera o potencial mátrico ( $\phi_m$ ), como variável independente e a umidade volumétrica ( $\theta$ ), como variável dependente:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|)^n\right]^m} \quad (3)$$

Em que:

$\theta_r$  = umidade volumétrica residual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_s$  = umidade volumétrica saturada ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$|\phi_m|$  = potencial mátrico (kPa) e;

$\alpha$ ,  $m$ ,  $n$  = parâmetros empíricos da equação.

Por ser um parâmetro teórico que pode variar entre 10 kPa e 33 kPa, o valor da capacidade de campo (CC) foi definido na tensão de 10 kPa para a classe de Latossolo e 33 kPa para as demais, que representa a condição de solos argilosos. O ponto de murcha permanente (PMP), foi obtido com a tensão de 1500 kPa. A água disponível foi determinada pela diferença entre CC e PMP.

### 5.3.2 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Para determinação da microporosidade foi utilizada a mesa de tensão com a aplicação da tensão de 6 kPa. A mesa estava saturada com água, sem bolhas de ar na coluna. Após a aplicação da tensão, aguardou-se de 12 a 24 horas até que a amostra entrasse em equilíbrio, o qual acontece quando a água deixa de ser drenada.

### 5.3.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, calculando-se a relação entre massa de solo seco a 105°C e volume total do anel (Teixeira et al., 2017).

## 5.4 Análises químicas do solo

Para determinação das análises químicas foram utilizadas amostras com estrutura deformada, para cada horizonte, nas respectivas classes de solos. Após a coleta e identificação, as amostras foram conduzidas ao LASAP na UFERSA, beneficiadas, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA) para análise dos atributos: potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica (CE) em água, teor de cálcio trocável ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio trocável ( $\text{Mg}^{2+}$ ) com extrator cloreto de potássio, acidez potencial (H+Al) com utilização de acetato de cálcio, análise do fósforo (P), sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) com extrator Mehlich 1. Conseqüentemente foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), como também, o carbono orgânico total (COT), sendo analisados conforme (Teixeira et al., 2017). Os resultados desses atributos químicos foram interpretados conforme tabelas de recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, (Ribeiro et al., 1999).

## 5.5 Análise estatística

Os resultados dos atributos físicos e químicos dos solos obtidos estão apresentados em tabelas expressas pela média de quatro repetições (laboratório) por horizonte, nas respectivas classes, sendo interpretados por meio da técnica de análise multivariada como ferramenta principal, especificamente a Análise de Componentes Principais (STATISTICA 7, 2004), para distinção dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Análises dos atributos físicos do solo**

Os atributos físicos avaliados a serem discutidos neste tópico são a granulometria (areia, silte e argila), sua classificação textural, argila dispersa em água, relação silte/argila e grau de flocculação (Tabela 1), bem como, os atributos físicos estruturais em classes de solos nos respectivos horizontes para as classes de Cambissolos Háplicos, Latossolo Vermelho-amarelo, Chernossolo Rêndzico e Neossolo Flúvico.

Na Tabela 1, encontra-se representado a distribuição do tamanho das partículas, sua classificação textural, argila em água, relação silte e argila e grau de flocculação em classes de solos, nos respectivos horizontes.

**Tabela 1.** Distribuição do tamanho das partículas, sua classificação textural, argila em água, relação silte/argila e o grau de floculação em classes de solos, nos respectivos horizontes, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança-RN.

Horizonte	Distribuição do tamanho das partículas						Classificação Textural (SBCS)	Argila em Água	Relação Silte/Argila	GF
	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila				
	cm	g kg <sup>-1</sup>								
<b>P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN)</b>										
A moderado	0-8	364	124	489	174	337	franco argilo arenosa	275	0,52	18,40
Bi	8-37	457	81	537	97	366	argila arenosa	280	0,27	23,50
C	37-51	616	26	642	106	252	franco argilo arenosa	172	0,42	31,75
<b>P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN)</b>										
A fraco	0-3	530	143	673	94	233	franco argilo arenosa	195	0,40	16,31
AB	3-7	477	144	621	126	253	franco argilo arenosa	244	0,50	35,6
Bi	7-22	429	139	569	151	281	franco argilo arenosa	246	0,54	12,46
BiC	22-36	427	133	560	170	270	franco argilo arenosa	230	0,63	14,81
CB	36-52	409	127	536	182	282	franco argilo arenosa	224	0,65	25,7
<b>P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica - (MN)</b>										
A fraco	0-4	515	176	691	90	219	franco argilo arenosa	188	0,41	14,16
BA	04-10	524	155	679	77	244	franco argilo arenosa	217	0,32	11,07
Bi	10-42	475	162	637	65	298	franco argilo arenosa	264	0,22	11,41
BiC	42-70	564	110	674	63	264	franco argilo arenosa	263	0,24	0,38
<b>P4 - Latossolo Vermelho-Amarelo - Cajueiro</b>										
A	0-7	661	246	907	35	58	areia	54	0,60	6,90
AB	7-25	492	114	606	50	344	argila arenosa	303	0,15	11,92
BA	25-50	571	87	658	47	295	franco argilo arenosa	250	0,16	15,25
Bw	50-200 <sup>+</sup>	710	78	788	38	175	franco arenosa	132	0,22	24,57
<b>P5 - Chernossolo Rêndzico - Pastejo</b>										
Ak	0-20	93	116	209	617	174	franco siltosa	157	3,55	9,77
Ck1	20-50	110	108	218	574	208	franco siltosa	145	2,76	30,29
Ck2	50-120	70	100	169	640	191	franco siltosa	134	3,35	29,84
Ck3	120-140 <sup>+</sup>	90	90	179	696	124	franco siltosa	122	5,61	1,61
<b>P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN)</b>										
A	0-5	417	108	526	207	267	franco argilo arenosa	250	0,78	6,37
Bi	5-27	451	126	577	118	305	franco argilo arenosa	276	0,39	9,51
<b>P7 - Cambissolo Háplico - (MN)</b>										
A	0-7	389	92	482	171	347	argila arenosa	294	0,49	15,27
AB	7-15	416	90	507	114	379	argila arenosa	364	0,30	3,96
BA	15-35	373	92	465	119	416	argila arenosa	361	0,29	13,22
Bi	35-75	345	93	439	147	414	argila	381	0,36	7,97
<b>P8 - Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP - Oiticica)</b>										
A	0-30	274	78	352	135	513	argila	274	0,26	46,59
C	30-100	257	91	348	123	529	argila	403	0,23	23,82
<b>P9 - Cambissolo Háplico (MN)</b>										
A	0-8	375	126	501	167	331	franco argilo arenosa	271	0,50	18,13
BA	8-19	351	120	471	127	401	argilo arenosa	334	0,32	16,71
Bi	19-60	284	100	383	131	485	argila	385	0,27	20,62
Cv (slinkensides)	60-200	273	95	369	119	513	argila	423	0,23	17,54
<b>P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajareiras)</b>										
A	0-12	399	101	500	166	334	franco argilo arenosa	324	0,50	2,99
AB	12-24	414	70	484	91	424	argilo arenosa	362	0,21	14,62
BA	24-41	356	67	424	89	488	argila	409	0,18	16,19
Bi	41-92	307	80	387	83	530	argila	379	0,16	28,49
BC	92-115	303	85	389	96	515	argila	371	0,19	27,96

**Nota:** Prof – profundidade; SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência Do Solo e P - perfil.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

Para a análise granulométrica, os perfis apresentaram variações texturais, prevalecendo a classificação franco argilo arenosa (Cambissolo Háplico), franco siltosa (Chernossolo Rêndzico), argila (Neossolos Flúvicos) e franco arenosa (Latosolos Vermelho-amarelo). Observa-se que os maiores teores de argila foram conferidos a classe dos Cambissolos Háplicos, variando de 219 a 530 g kg<sup>-1</sup>. A fração silte foi expressiva para distinguir a classe do Chernossolo Rêndzico, com valores variando de 574 a 696 g kg<sup>-1</sup>, obtendo classificação textural Franco siltosa (Tabela 1). Tal fato pode ser explicado em função do material de origem ser predominantemente do calcário Jandaíra. Melo et al. (2017), estudando diferentes ordens de Chernossolo na Chapada do Apodi-RN, encontraram condições semelhantes e, atribuíram ao calcário fossilífero (material de origem) de granulação fina.

A fração areia predominou no Latossolo Vermelho-amarelo (variando de 606 a 907 g kg<sup>-1</sup>), com classificação textural variando de franco arenosa a arenosa. Podendo ser explicado pela gênese (arenito), em processo intenso de imtemperização, com predominância de quartzo (mineral resistente aos processos intempéricos).

Em relação ao Neossolo Flúvico verificou teores de argila (513 a 529 g kg<sup>-1</sup>), com classificação textural argilosa. Tal fato é incomum para essa ordem de solos, podendo ser explicado em função da posição na paisagem (área coluvial), onde normalmente áreas de baixas cotas recebem sedimentos oriundos de outros locais, dos quais a fração argila, por ser mais leve, é mais facilmente transportada e depositada nas áreas aluviais, bem como a influência do lençol freático. Refletindo na argila dispersa em água (ADA) no horizonte C (403 g kg<sup>-1</sup>), seguidos dos Cambissolos Háplicos, Chernossolo Rêndzico e Latossolo Vermelho-amarelo (somente na superfície), com reflexos na relação silte/argila e grau de flocculação, principalmente nos horizontes diagnósticos, em função do incremento das frações silte e argila (Tabela 1).

A relação silte/argila no Chernossolo Rêndzico se destacou entre as demais classes (2,76 - 5,61 g kg<sup>-1</sup>), sendo indicativo do seu baixo grau de intemperismo (Tabela 1). Valores similares (3,00- 6,00 g kg<sup>-1</sup>) foram encontrados por Melo et al. (2017), em Chernossolos na Chapada do Apodi-RN.

O grau de flocculação foi superior para o Neossolo Flúvico, no horizonte A (46,59 %), seguido do Chernossolo Rêndzico (Ck1 - 30,29 % e Ck2 - 29,84 %), pelas frações inorgânicas (silte e argila), como também, as bases trocáveis Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Tabela 8).

Na Tabela 2, encontram-se representados os valores correspondentes aos atributos físicos estruturais em classes de solos nos respectivos horizontes.

**Tabela 2.** Atributos físicos estruturais em classes de solos nos respectivos horizontes, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança-RN.

Horizonte	Prof. cm	Ds g/cm <sup>3</sup>	U (g/g)	$\theta$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	PT det.	Microp.	Macrop. %	Paeração	CC	PMP cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	AD
<b>P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN)</b>											
A moderado	0 - 8	1,01	0,29	0,28	61,79	56,32	5,46	29,01	0,48	0,22	0,26
Bi	8-37	1,25	0,25	0,31	52,87	50,76	2,12	24,76	0,48	0,23	0,25
C	37 - 51	1,50	0,17	0,22	43,31	41,31	2,00	20,18	0,37	0,21	0,16
<b>P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN)</b>											
A fraco	0-3	1,38	0,14	0,19	48,02	44,65	3,37	23,60	0,37	0,22	0,15
AB	3-7	1,63	0,10	0,16	44,67	40,93	3,74	21,26	0,39	0,21	0,18
Bi	7-22	1,34	0,16	0,22	49,56	44,63	4,94	22,17	0,39	0,22	0,17
BiC	22-36	1,60	0,16	0,25	48,02	42,97	5,05	21,01	0,44	0,18	0,26
CB	36-52	1,32	0,17	0,27	50,21	44,89	5,32	21,93	0,40	0,17	0,23
<b>P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica - (MN)</b>											
A fraco	0-4	1,49	18,23	27,94	43,89	38,41	5,48	18,99	0,28	0,16	0,12
BA	4-10	1,51	0,14	0,24	44,53	44,00	0,53	21,57	0,33	0,16	0,17
Bi	10-42	1,42	0,13	0,19	46,32	42,09	4,23	20,86	0,37	0,15	0,22
BiC	42-70	1,45	0,19	0,28	45,41	42,82	2,59	20,20	0,37	0,16	0,21
<b>P4 - Latossolo Vermelho-Amarelo - Cajueiro</b>											
A	0-7	1,39	0,11	0,15	47,49	42,68	4,81	21,98	0,09	0,06	0,03
AB	7-25	1,54	0,11	0,17	41,91	38,96	2,95	19,34	0,15	0,11	0,04
BA	25-50	1,42	0,17	0,24	46,34	40,13	6,21	20,00	0,18	0,11	0,07
Bw	50-200 <sup>+</sup>	1,40	0,44	0,57	47,15	37,66	9,49	18,21	0,20	0,15	0,05
<b>P5 - Chernossolo Rêndzico - Pestejo</b>											
Ak	0-20	1,29	0,18	0,24	51,16	45,32	5,84	21,92	0,33	0,21	0,12
Ck1	20-50	1,19	0,28	0,34	55,00	44,11	10,89	21,65	0,39	0,15	0,24
Ck2	50-120	1,33	0,22	0,31	49,65	45,71	3,94	21,41	0,40	0,09	0,31
Ck3	120-140 <sup>+</sup>	1,30	0,21	0,26	51,11	43,55	7,56	21,64	0,39	0,10	0,29
<b>P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN)</b>											
A	0-5	1,22	0,21	0,26	54,15	50,95	3,20	27,92	0,39	0,22	0,17
Bi	5-27	1,21	0,23	0,26	54,34	46,21	8,12	23,06	0,37	0,20	0,17
<b>P7 - Cambissolo Háplico - (MN)</b>											
A	0-7	1,20	0,22	0,30	54,68	51,68	3,00	24,42	0,43	0,20	0,23
AB	7-15	1,27	0,33	0,40	51,92	50,53	1,39	23,73	0,38	0,25	0,13
BA	15-35	1,23	0,27	0,33	53,52	49,87	3,64	24,30	0,42	0,18	0,24
Bi	35-75	1,36	0,27	0,38	51,79	50,63	1,17	24,72	0,45	0,21	0,24
<b>P8 - Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP - Oiticica)</b>											
A	0-30	1,12	0,25	0,28	57,85	52,68	5,17	25,75	0,46	0,16	0,30
C	30-100	1,16	0,33	0,33	56,10	55,32	0,77	27,24	0,44	0,18	0,26
<b>P9 - Cambissolo Háplico (MN)</b>											
A	0-8	1,04	0,31	0,30	60,70	58,76	1,94	27,74	0,45	0,25	0,20
BA	8--19	1,29	0,13	0,16	55,13	51,33	3,80	24,03	0,41	0,22	0,19
Bi	19-60	1,29	0,15	0,20	59,01	58,06	0,95	28,24	0,45	0,22	0,23
Cv (slinkensides)	60-200	1,42	0,23	0,34	53,74	51,24	2,50	23,60	0,39	0,25	0,14
<b>P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajaraneiras)</b>											
A	0-12	1,16	0,29	0,35	56,28	53,43	2,85	26,27	0,30	0,24	0,06
AB	12-24	1,18	0,23	0,27	55,33	49,43	5,91	23,86	0,41	0,15	0,26
BA	24-41	1,19	0,27	0,32	54,98	53,07	1,91	25,99	0,42	0,19	0,23
Bi	41-92	1,23	0,35	0,43	53,55	53,15	0,40	25,27	0,53	0,22	0,31
BC	92-115	1,31	0,28	0,37	54,64	51,83	2,81	24,91	0,43	0,21	0,22

**Nota:** Prof – profundidade; Ds – densidade do solo; U – umidade a base de massa;  $\theta$  – umidade a base volume; PT det. – porosidade total determinada; Microp. - microporosidade; Macrop. - macroporosidade; Paeração – porosidade aeração; CC – capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente e; AD – água disponível.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

De maneira geral, a densidade do solo apresentou pouca variação, denotando em valores para os Cambissolos Háplicos na faixa de 1,01 a 1,63 g cm<sup>-3</sup>, refletindo assim, em maior microporosidade, bem como a água disponível, seguido do Latossolo Vermelho-amarelo (1,39 a 1,54 g cm<sup>-3</sup>), apresentando menor água disponível em função da predominância da areia (Tabelas 1 e 2). Quando avaliado o Chernossolo Rêndzico, constatou-

se que nos horizontes subsuperficiais houve a predominância dos microporos e água disponível, fator atrelado à fração silte e argila e, conseqüentemente decréscimo da areia. Estudos realizados por Mota et al. (2008) e Mota et al. (2013), apresentaram valores similares para o Cambissolo ( $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ ) e Latossolo Vermelho-amarelo ( $1,4$  a  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ ), na chapada do Apodi-RN.

Quanto à porosidade de aeração do solo, foram obtidos valores mais expressivos nos respectivos horizontes diagnósticos, em função do incremento das frações inorgânicas silte e argila, apresentando a mesma tendência para os atributos porosidade determinada, microporos, capacidade de campo e água disponível (Tabela 2 e 3). Ao avaliar a umidade em função da porosidade de aeração, verificou-se que a água disponível aumentou gradativamente na presença de microporos, denotando as inter-relações entre as variáveis originais e as componentes principais, bem como a contribuição de cada variável em relação a cada fator estudado.

Ao avaliar de forma isolada a densidade do solo com as demais variáveis, constatou-se correlação significativa com as variáveis, porosidade total determinada, microporosidade e porosidade aeração, ressaltando a importância da estrutura do ponto de vista da física do solo que é complexa e dinâmica (Tabela 3).

No dendograma vertical, a leitura é feita da direita para esquerda, no qual as linhas verticais, ou o eixo y indicam as distâncias entre os grupos formados e, a posição da reta na escala, ou o eixo x, representa os grupos unidos por ordem decrescente de semelhança, conforme Figura 3.

**Tabela 3.** Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físicos do solo nas áreas em estudo.

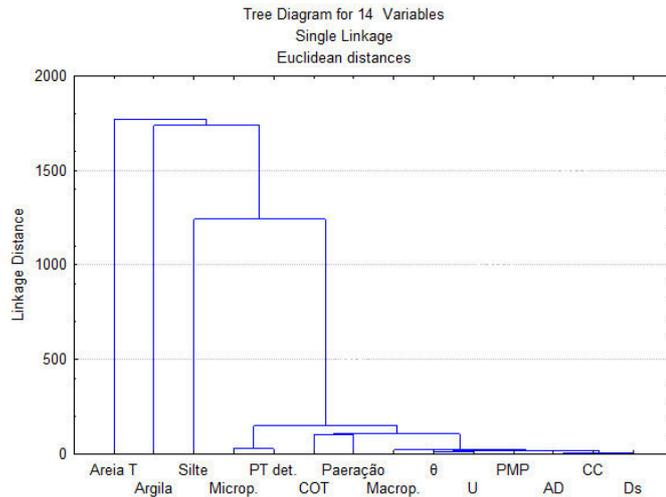
	Ds	U	$\theta$	PT det.	Microp.	Macrop.	Paeração	CC	AD	PMP	COT	Areia T	Silte	Argila
Ds	1,00													
U	0,19	1,00												
$\theta$	0,19	1,00	1,00											
PT det.	<b>-0,89</b>	-0,24	-0,25	1,00										
Microp.	<b>-0,77</b>	-0,26	-0,27	0,90	1,00									
Macrop.	-0,04	0,11	0,11	-0,06	-0,48	1,00								
Paeração	<b>-0,77</b>	-0,26	-0,26	<b>0,88</b>	<b>0,95</b>	-0,43	1,00							
CC	-0,45	-0,17	-0,17	0,60	0,66	-0,32	0,61	1,00						
AD	-0,36	-0,15	-0,15	0,45	0,45	-0,13	0,39	<b>0,87</b>	1,00					
PMP	-0,31	-0,09	-0,09	0,46	0,59	-0,42	0,57	0,58	0,10	1,00				
COT	-0,20	0,08	0,07	0,19	0,18	-0,04	0,36	0,11	-0,13	0,43	1,00			
Areia T	0,45	0,19	0,19	-0,54	-0,47	-0,02	-0,37	-0,57	-0,62	-0,12	0,18	1,00		
Silte	-0,18	-0,08	-0,08	0,14	-0,04	0,39	-0,06	0,15	0,32	-0,23	-0,07	<b>-0,74</b>	1,00	
Argila	-0,37	-0,14	-0,14	0,54	0,70	-0,52	0,60	0,56	0,39	0,48	-0,14	-0,33	-0,39	1,00

**Nota:** Ds – densidade do solo; U – umidade a base de massa;  $\theta$  – umidade a base volume; PT det. – porosidade total determinada; Microp. - microporosidade; Macrop. - macroporosidade; Paeração – porosidade aeração; CC – capacidade de campo; AD – água disponível PMP – ponto de murcha permanente e; COT – carbono orgânico total.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

No recorrente, as variáveis dos atributos físicos foram agrupadas por ordem crescente de semelhança, sendo o primeiro grupo formado por densidade do solo (Ds), capacidade de campo (CC), água disponível (AD), ponto de murcha permanente (PMP) e umidade a base de massa e volume (U e  $\theta$ ), apresentando maior similaridade e, conseqüentemente, menor distância euclidiana, sendo assim, os mais expressivos dos grupos formados; segundo grupo por porosidade aeração (Paeração), carbono orgânico total (COT), macroporosidade (Macro), porosidade total determinada (PTdet) e microporosidade (Micro) e; terceiro grupo composto pelas variáveis frações silte, argila e areia total apresentam menor similaridade em relação aos demais (Tabela 3 e Figura 3).

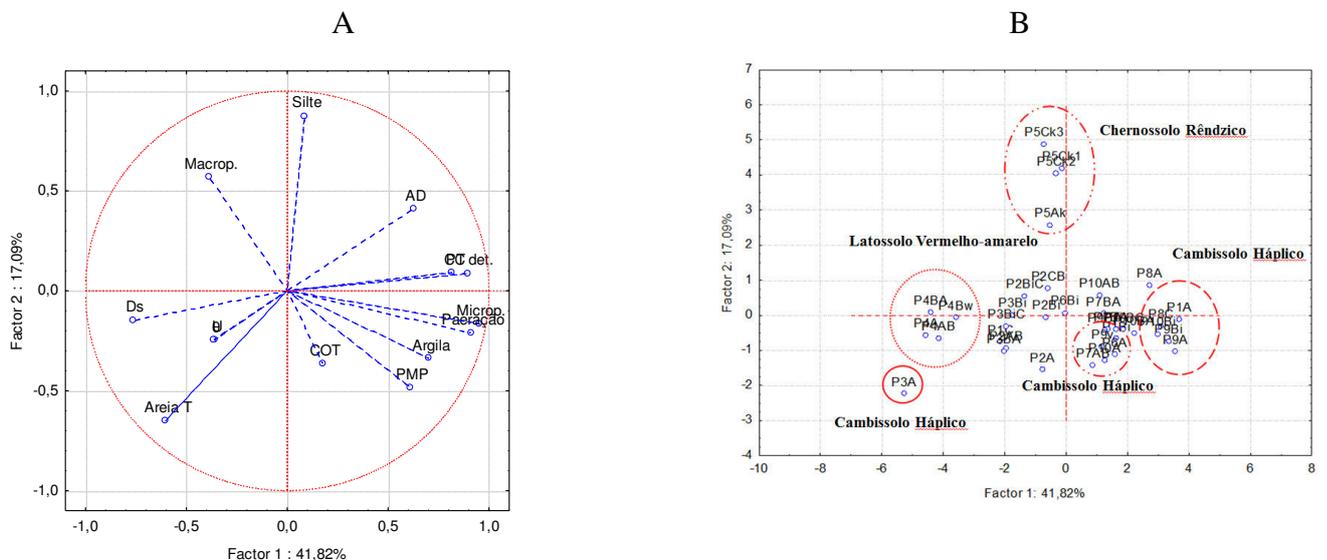
**Figura 3.** Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Na Figura 4, encontra-se a representação gráfica da distribuição da nuvem de variáveis e pontos, no círculo de correlações, das classes de solo em estudo.

**Figura 4.** Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis segundo fator loadings (B).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Observa-se ainda no círculo de correlação (Figura 4), que as frações inorgânicas não se concentraram próximas, assim pode-se inferir que os perfis estudados apresentaram uma variedade quanto à textura, esse feito reflete a predominância das variáveis que mais discriminam os ambientes quanto as classes de solo, retratando uma associação e inter-relação existente entre essas variáveis e as características predominantes de cada classe.

Outro aspecto importante refere-se à análise de componentes principais que considera os indivíduos em estudo (Figura 4 e 5), por meio da identificação do círculo de correlação unitário com a nuvem de variáveis. Observa-se que a componente 1, explica (41,82 %) das causas de variações geradas e a componente 2 (17,09 %).

A fração silte foi determinante na descrição do fator 2, localizado no eixo y, com fator discriminante de 17,09 %. Observa-se que o Chernossolo Rêndzico (P5) possui a variável silte como discriminante (Figura 4 A e B), é importante ressaltar que é comum a presença de concreções de carbonato de cálcio principalmente na porção inferior do horizonte B ou no C. A fração argila apresentou correlação entre as variáveis de Ptdeter, Micro, Paera, PMP e argila (Tabela 1), fator atrelado às frações inorgânicas serem determinantes nas distinções dos ambientes.

O círculo unitário permite realizar a sobreposição deste, sobre o primeiro plano fatorial, desta forma, é possível identificar visualmente quais variáveis estão relacionadas. Neste contexto, verifica-se que as variáveis estão sobrepostas umas às outras (Micro, Paeração) e (Areia Total, U e  $\theta$ ) e, portanto, possuem a mesma representatividade (Figura 4).

Nota-se, com o espaçamento entre pontos, uma diferenciação dos ambientes, demonstrando a distinção entre horizontes, indicando que a mesma classe de solo muda consideravelmente entre horizontes, em relação aos Cambissolos Háplicos ocorreu variação quanto a distribuição nas nuvens de variáveis e pontos, fato este atribuído as frações inorgânicas (argila e areia) por apresentarem variabilidade em função dos fatores e processos de formação do solo. Ao analisar a classe do Latossolo Vermelho-amarelo, verifica-se correlação com a densidade do solo, tal fator deve-se ao processo de intemperismo intenso conferindo boa drenagem e lixiviação das bases trocáveis e, conseqüentemente a predominância de óxidos de ferro e alumínio, diferentemente dos demais processos pedogenéticos das demais classes.

Na Tabela 4, estão apresentados os valores de  $\theta_s$  (conteúdo de água de saturação) e  $\theta_r$  (conteúdo de água residual) que expressam, respectivamente, os valores máximos e mínimos da curva de retenção de água no solo, obtido na maior tensão.

A curva característica de água no solo para o Cambissolo Háplico (Perfil 1), apresentou umidade de saturação variando entre 0,45 e 0,60  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , com ponto máximo de saturação de 0,60  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  no horizonte A. quanto ao conteúdo de água residual ( $\theta_r$ ), oscilou entre 0,20 e 0,23  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ , com ponto mínimo de 0,20  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  no horizonte C (Tabela 4). Essa maior retenção pode ser explicada em função do maior teor de areia fina presente no horizonte A (124  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) (Tabela 1). Esse resultado corrobora com Fidalski et al. (2013), que, ao trabalhar com solos de textura arenosa, observou maior retenção de água em horizontes com predominância da fração areia fina. Outra possível explicação para o fenômeno pode ser associada aos maiores valores de microporosidade encontrados no horizonte A (53,03 %), bem como os valores de porosidade total (56,79 %) (Tabela 3), uma vez que o arranjo estrutural das partículas e a distribuição dos poros influenciam a retenção de água disponível, com destaque para os poros de menor diâmetro (Kiehl, 1979).

Avaliando os demais perfis no tangente aos conteúdos de água residual ( $\theta_r$ ) e com o solo saturado ( $\theta_s$ ) verificou-se valores entre 0,05 a 0,20 e 0,50 a 0,56  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , respectivamente, para o P2 – Cambissolo Háplico – Área coletiva – (MN); 0,16 a 0,46  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para P3 – Cambissolo Háplico – Área Agroecológica – (MN); 0,20 a 0,24 e 0,49 a 0,51  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para P6 – Cambissolo Háplico – Pastagem (MN); 0,20 a 0,25 e 0,51 a 0,52  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para P7 – Cambissolo Háplico – (MN); 0,20 a 0,28 e 0,52 a 0,59  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ , para P9 – Cambissolo Háplico (MN) e; 0,16 a 0,26 e 0,50 a 0,56  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para P10 – Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajaraneiras), concomitantemente.

**Tabela 4.** Parâmetros das curvas de retenção de água dos Cambissolos Háplicos.

Horizonte	Profundidade cm	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	m	CC	PMP	AD
<b>P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN)</b>									
A moderado	0 - 8	0,23	0,60	0,01	2,06	0,51	0,48	0,22	0,26
Bi	8-37	0,22	0,56	0,01	1,73	0,42	0,48	0,23	0,25
C	37-51	0,20	0,45	0,02	1,79	0,44	0,37	0,21	0,16
<b>P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN)</b>									
A fraco	0-3	0,05	0,52	0,05	1,16	0,14	0,37	0,22	0,15
AB	3-7	0,18	0,50	0,02	1,43	0,30	0,39	0,21	0,18
Bi	7-22	0,20	0,55	0,01	1,76	0,43	0,39	0,22	0,17
BiC	22-36	0,16	0,56	0,02	1,52	0,34	0,44	0,18	0,26
CB	36-52	0,18	0,55	0,01	2,16	0,54	0,40	0,17	0,23
<b>P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica - (MN)</b>									
A fraco	0-4	0,17	0,39	0,01	2,15	0,53	0,28	0,16	0,12
BA	4-10	0,19	0,42	0,01	3,04	0,67	0,33	0,16	0,17
Bi	10-42	0,16	0,44	0,01	2,12	0,53	0,37	0,15	0,22
BiC	42-70	0,16	0,46	0,01	2,10	0,52	0,37	0,16	0,21
<b>P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN)</b>									
A	0-5	0,24	0,51	0,01	2,20	0,54	0,39	0,22	0,17
Bi	5-27	0,20	0,49	0,02	1,67	0,40	0,37	0,20	0,17
<b>P7 - Cambissolo Háplico - (MN)</b>									
A	0-7	0,22	0,52	0,01	1,86	0,46	0,43	0,20	0,23
AB	7-15	0,25	0,52	0,01	1,92	0,48	0,38	0,25	0,13
BA	15-35	0,20	0,51	0,01	1,77	0,44	0,42	0,18	0,24
Bi	35-75	0,22	0,52	0,01	1,97	0,49	0,45	0,21	0,24
<b>P9 - Cambissolo Háplico (MN)</b>									
A	0-8	0,28	0,59	0,01	2,71	0,63	0,45	0,25	0,20
BA	8-19	0,20	0,55	0,02	1,62	0,38	0,41	0,22	0,19
Bi	19-60	0,26	0,55	0,01	2,36	0,58	0,45	0,22	0,23
Cv(slinkensides)	60-200	0,25	0,52	0,01	1,73	0,42	0,39	0,25	0,14
<b>P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajaraneiras)</b>									
A	0-12	0,16	0,50	0,01	1,78	0,44	0,30	0,24	0,06
AB	12-24	0,16	0,50	0,01	1,78	0,44	0,41	0,15	0,26
BA	24-41	0,20	0,55	0,01	1,85	0,46	0,42	0,19	0,23
Bi	41-92	0,23	0,56	0,01	2,24	0,55	0,53	0,22	0,31
BC	92-115	0,23	0,55	0,02	1,54	0,35	0,43	0,21	0,22

**Nota:**  $\theta_r$  – conteúdo de água residual;  $\theta_s$  – conteúdo de água com o solo saturado;  $\alpha$ , n e m – são parâmetros da equação; CC-Capacidade de campo; PMP-Ponto de murcha permanente; AD - Água disponível.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

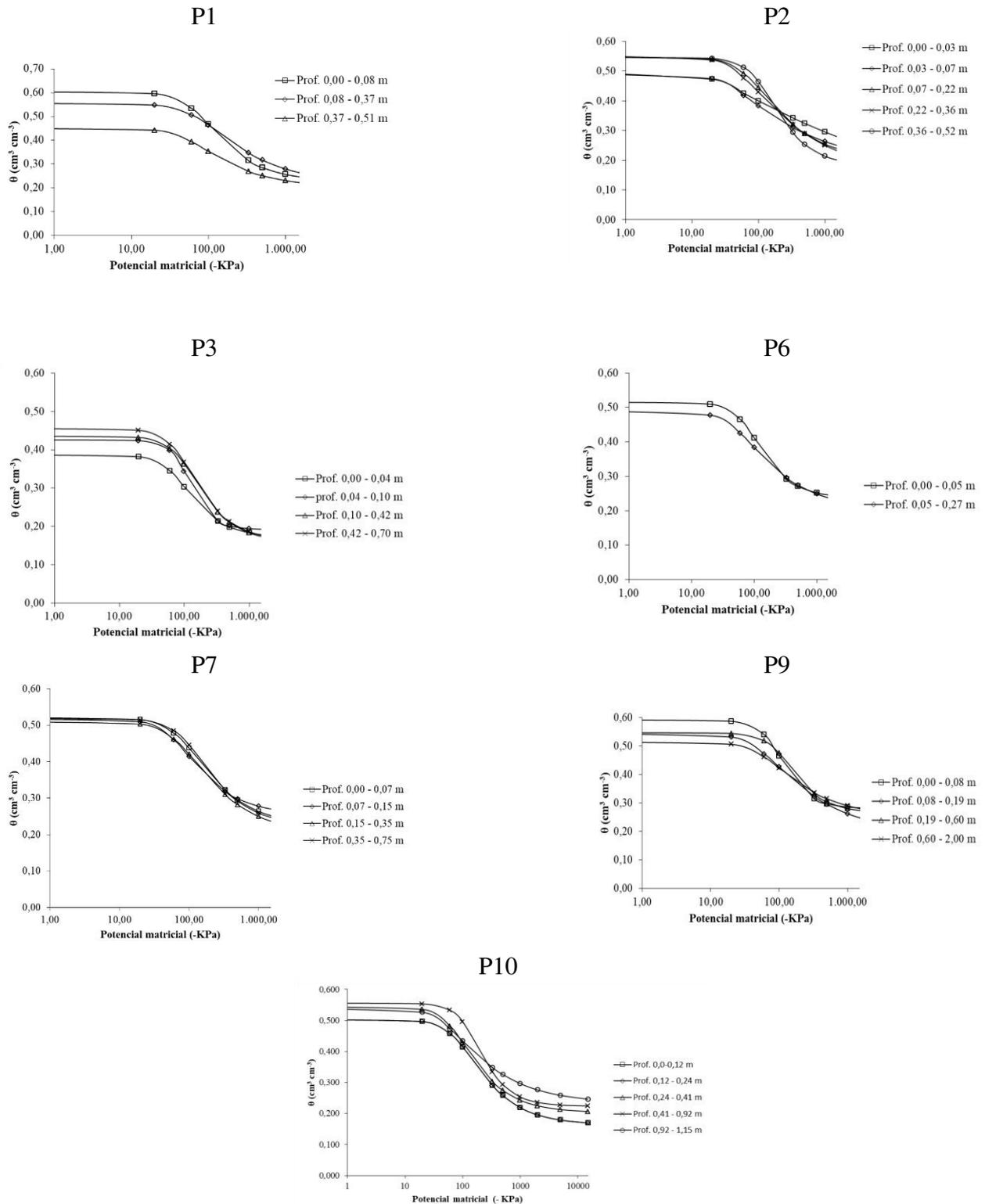
Ao avaliar o conteúdo de água disponível no solo (Tabela 4), para os Cambissolos Háplicos, se observou que não houve variação expressiva dentre os horizontes A moderado e Bi, com valores de 0,26 e 0,25  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , respectivamente, enquanto que no horizonte C, foi expressado em 0,16  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (P1). Tais fatores podem ser explicados pela maior presença da fração argila nos horizontes A moderado e Bi (337 e 366  $\text{g Kg}^{-1}$ ) (Tabela 1). Enquanto que no

referente ao horizonte C, a justificativa pode estar atrelada a predominância da areia ( $642 \text{ g Kg}^{-1}$ ) e, conseqüente macroporosidade (Tabelas 1 e 4) e (Figuras 4 A e B).

Enquanto que no perfil 6 não foi constatado variação dentre os horizontes, mantendo-se constante ao longo destes, com valor equivalente a  $0,17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Comportamento semelhante foi observado no perfil 7 onde os horizontes A, BA e Bi se mantiveram entre  $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , com teores de argila variando entre  $347$  e  $416 \text{ g Kg}^{-1}$ , em contra partida, em AB foi observado decréscimo na AD, em relação aos demais horizontes, com  $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , podendo ser explicado pelo aumento da fração areia ( $507 \text{ g Kg}^{-1}$ ). Nos perfis 9 e 10 foram constatados decréscimos e aumentos da AD ao logo dos horizontes, também influenciados pela textura (Tabela 1), micro e macro porosidade do solo. No perfil 2, percebe-se que a água disponível (AD), foi maior nos horizontes BiC e CB ( $0,26$  e  $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) da área coletiva, similarmente ao perfil 3, onde observou-se maiores conteúdos também em subsuperfície (10-42 e 42-70 cm), nos horizontes diagnósticos Bi e BiC ( $0,22$  e  $0,21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), em função da textura dos mesmos que apresentaram fração areia de  $637$  à  $674 \text{ g Kg}^{-1}$  (Tabelas 1 e 4), conforme representado nos gráficos de distribuição de variáveis e pontos (Figuras 4 A e B).

Na Figura 5, encontram-se representados os gráficos correspondentes à curva de retenção de água dos Cambissolos Háplicos, nos respectivos horizontes, Perfis (P): P1 - Cambissolo Háptico - Mata Nativa (MN); P2 - Cambissolo Háptico - Área coletiva - (MN); P3 - Cambissolo Háptico - Área Agroecológica - (MN); P6 - Cambissolo Háptico - Pastagem (MN); P7 - Cambissolo Háptico - (MN); P9 - Cambissolo Háptico (MN) e; P10 - Cambissolo Háptico (Área Coletiva Cajaraneiras).

**Figura 5.** Curva de retenção de água dos Cambissolos Háplicos, nos respectivos horizontes, Perfis (P): P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN); P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN); P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica – (MN); P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN); P7 - Cambissolo Háplico - (MN); P9 - Cambissolo Háplico (MN) e; P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajareneiras).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Percebe-se (Figura 5) similaridade entre as curvas de retenção de água para os Cambissolos do perfil 1, 2, 3, 6, 7, 9 e 10, com pequenas variações nas tensões aplicadas, destacando-se para o P1 que apresentou  $0,60 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fato que pode ser explicado pela composição granulométrica, principalmente a argila refletindo na microporosidade, exceto o P3, que se destacou a fração areia total (Figuras 4 A e B), podendo ser justificado pela variabilidade espacial, onde os processos e fatores de formação estão interligados. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2013), quando realizou estudos em Cambissolos na Chapada do Apodi, que constataram a influência do micro relevo na distribuição das frações granulométricas, uma vez que, a existência de fraturas no material de origem favorecem rotas hídricas preferenciais.

No P2, observou-se que a água disponível (AD), foi maior no horizonte BiC ( $0,26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), quando comparado aos demais horizontes em estudo, pertencente a área coletiva do Assentamento. Tal fator pode estar associado à presença da maior quantidade de microporos (42,97 %) presentes ao longo do perfil do solo bem como aos maiores teores de silte e argila presentes no horizonte analisado (170 e  $270 \text{ g kg}^{-1}$ ) respectivamente, observando que à medida que aumenta os teores de argila, aumenta a retenção de água no solo (Figura 6) (Tabelas 1, 2 e 4). Estudando os atributos físicos de Cambissolos na região da Chapada do Apodi, Mota (2008) também verificou maior retenção de água em solos com maiores teores de argila (109 a  $309 \text{ g kg}^{-1}$ ), bem como maior percentagem de microporosidade (31 a 33 %).

Na Tabela 5, estão representados os dados referentes aos parâmetros da curva de retenção do Latossolo Vermelho-amarelo (Cajueiro).

**Tabela 5.** Parâmetros da curva de retenção do Latossolo Vermelho-amarelo (Cajueiro).

Horizonte	Profundidade cm	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	m	CC	PMP	AD
		<b>P4 - Latossolo Vermelho-amarelo – Cajueiro</b>							
A	0-7	0,07	0,44	0,01	3,47	0,71	0,09	0,06	0,03
AB	7-25	0,14	0,40	0,03	5,08	0,80	0,15	0,11	0,04
Bw	25-50	0,13	0,41	0,01	2,22	0,55	0,18	0,11	0,07
BA	50-200 <sup>+</sup>	0,16	0,39	0,01	2,12	0,53	0,20	0,15	0,05

**Nota:**  $\theta_r$  – conteúdo de água residual;  $\theta_s$  – conteúdo de água com o solo saturado;  $\alpha$ , n e m – são parâmetros da equação; CC-Capacidade de campo; PMP-Ponto de murcha permanente; AD - Água disponível.

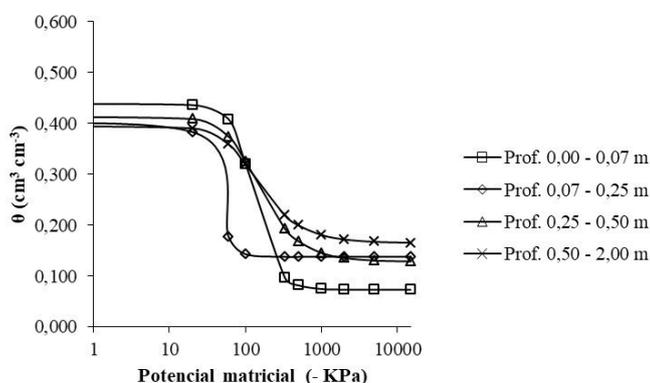
**Fonte:** Compilação do autor (2018).

Observa-se, na Tabela 5, que os valores para AD foram baixos no Latossolo Vermelho-amarelo quando comparado às demais classes em estudo, apresentando com aumento sutil na profundidade (25-50 cm), correspondente ao horizonte diagnostico Bw, que

possivelmente ocorreu devido ao incremento da fração argila, refletindo em maior porosidade de aeração, com menor retenção de água na capacidade de campo.

Na Figura 6, estão representados os dados referentes aos parâmetros da curva de retenção de água do Latossolo.

**Figura 6.** Curva de retenção de água no Latossolo - Cajueiro (P4), nos respectivos horizontes.



**Fonte:** Compilação do autor (2018).

A curva de retenção para o Latossolo Vermelho-amarelo (Figura 6) apresentou distinção das demais, com menores valores de água disponível para todos os horizontes, sendo que o horizonte diagnóstico Bw, foi superior em função do incremento da fração argila. Essa tendência pode ser atribuída à composição granulométrica, predominantemente arenosa na superfície. O predomínio da macroporosidade permitiu uma menor retenção de água no solo. Parahyba et al. (2015), estudaram a retenção de água em solos arenosos e observaram que, em geral, sobretudo naqueles em que a areia grossa predomina sobre a fina, há limitação quanto à retenção e água disponível. Este fato, segundo Reichardt (1990), ocorre devido aos solos arenosos possuírem poros geralmente maiores e, conseqüentemente esvaziados mais rapidamente sob baixas tensões, restando pequenas quantidades de água retida sob potenciais menores.

Na Tabela 6, encontram-se representados os parâmetros pertencentes à curva de retenção do Chernossolo Rêndzico (Pastejo).

**Tabela 6.** Parâmetros da curva de retenção do Chernossolo Rêndzico (Pastejo).

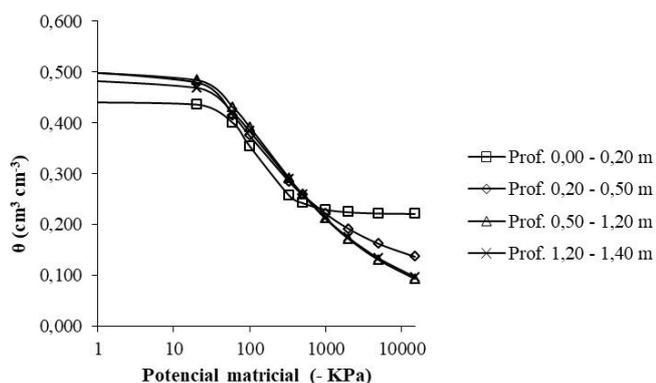
Horizonte	Profundidade cm	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n m		CC	PMP	AD
					$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$				
<b>P5 - Chernossolo Rêndzico– Pastejo</b>									
Ak	0-20	0,22	0,44	0,012	2,32	0,57	0,33	0,21	0,12
Ck1	20-50	0,08	0,52	0,03	1,35	0,26	0,39	0,15	0,24
Ck2	50-120	0,00	0,51	0,02	1,30	0,23	0,40	0,09	0,31
Ck3	120-140 <sup>+</sup>	0,00	0,49	0,02	1,29	0,23	0,39	0,10	0,29

**Nota:**  $\theta_r$  – conteúdo de água residual;  $\theta_s$  – conteúdo de água com o solo saturado;  $\alpha$ , n e m – são parâmetros da equação; CC-Capacidade de campo; PMP-Ponto de murcha permanente; AD - Água disponível.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

Ao avaliar o Chernossolo Rêndzico, verifica-se em superfície menor conteúdo de água disponível com aumento em subsuperfície, tal fator deve-se ao incremento da fração silte em profundidade, bem como a argila, principalmente, na profundidade de 50-120 cm, correspondendo ao horizonte Ck2, também as maiores umidades de saturação ( $\theta_s = 0,51 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), conforme verificado na Figura 4 A e B e Figura 7.

**Figura 7.** Curva de retenção de água no Chernossolo Rêndzico - Pastejo, nos respectivos horizontes.



**Fonte:** Compilação do autor (2018).

Na Tabela 7, encontra-se representado a curva de retenção de água no Neossolo Flúvico, nos respectivos horizontes diagnósticos.

**Tabela 7.** Parâmetros da curva de retenção do Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP).

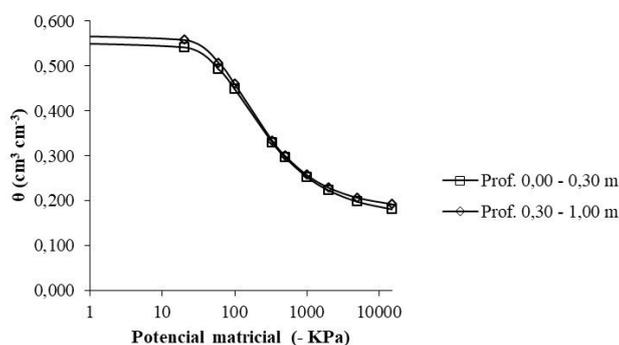
Horizonte	Profundidade cm	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	$m$	CC	PMP	AD
		<b>P8 - Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP – Oiticica)</b>							
A	0-30	0,16	0,56	0,01	1,58	0,37	0,46	0,16	0,30
C	30-100	0,18	0,57	0,01	1,64	0,39	0,44	0,18	0,26

**Nota:**  $\theta_r$  – conteúdo de água residual;  $\theta_s$  – conteúdo de água com o solo saturado;  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  – são parâmetros da equação; CC-Capacidade de campo; PMP-Ponto de murcha permanente; AD - Água disponível.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

A curva característica de água no solo mostrou tendência de retenção similar para as classes Cambissolos (Figura 5) e Neossolo Flúvico, quanto aos atributos CC, PMP, AD e  $\theta_s$ . Este fato pode ser atribuído à predominância da fração textural argila, e a sua posição do solo na paisagem, sendo área deposicional, no qual recebe sedimentos aluviais advindos de outros locais (Neossolo Flúvico), conforme Figura 8, conseqüentemente maior retenção de água nos microporos, na condição de solos não saturados, onde as forças capilares estarão presentes em baixas tensões.

**Figura 8.** Curva de retenção de água no Neossolo Flúvico (P8) (Preservação Permanente - APP - Oiticica), nos respectivos horizontes.



**Fonte:** Compilação do autor (2018).

## 6.2 Análises dos atributos químicos do solo

Na Tabela 8, encontra-se representado os atributos químicos nas classes de solo estudadas.

**Tabela 8.** Atributos químicos nas classes solos no Projeto de Assentamento Terra de Esperança-RN.

Prof.	pH	CE	COT	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+Al)	SB	t	T	V	m	PST
Cm	(água)	dS m <sup>-1</sup>	gkg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							%	
<b>P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN)</b>																
0 - 8	7,06	0,11	32,10	1,50	1,15	0,28	24,30	0,15	0	0	25,88	25,88	25,88	100	0	1
8 - 37	7,64	0,08	9,19	1,50	0,23	0,41	32,30	0,70	0	0	33,63	33,63	33,63	100	0	1
37 - 51	8,58	0,07	5,81	2,50	0,21	0,32	24,80	3,70	0	0	29,03	29,03	29,03	100	0	1
<b>P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN)</b>																
0 - 3	8,15	0,08	48,35	3,70	2,30	0,16	17,80	0,60	0	0	20,86	20,86	20,86	100	0	1
3 - 7	8,33	0,06	39,35	1,30	1,69	0,18	19,80	4,20	0	0	25,87	25,87	25,87	100	0	1
7 - 22	8,48	0,12	9,18	0,90	0,41	0,21	15,80	1,30	0	0	17,72	17,72	17,72	100	0	1
22 - 36	8,52	0,07	8,52	1,90	0,25	0,20	17,30	1,40	0	0	19,15	19,15	19,15	100	0	1
36 - 52	8,48	0,08	5,00	2,50	0,18	0,21	15,80	1,20	0	0	17,39	17,39	17,39	100	0	1
<b>P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica - (MN)</b>																
0 - 4	7,72	0,07	20,34	2,20	1,92	0,16	15,80	5,70	0	0	23,58	23,58	23,58	100	0	1
4 - 10	7,43	0,06	8,38	1,30	2,17	0,16	10,30	5,30	0	0	17,94	17,94	17,94	100	0	1
10 - 42	7,29	0,04	5,27	3,40	0,84	0,15	12,30	1,60	0	0	14,88	14,88	14,88	100	0	1
42 - 70	7,84	0,06	0,95	4,70	0,53	0,16	13,30	5,00	0	0	18,99	18,99	18,99	100	0	1
<b>P4 - Latossolo Vermelho- amarelo- Cajueiro</b>																
0-0,07	5,60	0,05	6,62	1,40	0,34	0,14	4,80	4,70	0,05	2,48	9,97	10,02	12,45	80	0	1
0,07-0,25	4,78	0,04	4,32	1,40	0,38	0,12	5,30	7,20	0,40	4,95	13,00	13,40	17,95	72	3	1
0,25-0,50	4,74	0,03	3,92	2,70	0,25	0,12	4,80	6,30	0,50	5,28	11,47	11,97	16,75	68	4	1
0,50-2	5,30	0,02	2,70	1,90	0,22	0,18	4,80	5,60	0,10	2,31	10,80	10,90	13,11	82	1	1
<b>P5 - Chernossolo Rêndzico (- Pastejo)</b>																
0 - 20	8,33	0,38	13,70	1,40	0,14	0,72	9,10	1,30	0	0	11,22	11,22	11,22	100	0	6
20 - 50	8,60	0,84	5,03	3,90	0,12	3,92	10,80	10,00	0	0	24,84	24,84	24,84	100	0	16
50 - 120	8,57	0,80	3,52	2,50	0,13	2,00	10,80	9,60	0	0	22,53	22,53	22,53	100	0	9
120 - 140	8,91	0,28	1,01	2,40	0,17	0,98	15,80	11,20	0	0	28,15	28,15	28,15	100	0	3
<b>P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN)</b>																
0 - 5	8,13	0,36	58,88	22,00	2,71	0,21	21,80	6,70	0	0	31,42	31,42	31,42	100	0	1
5 - 27	8,34	0,10	28,18	7,20	1,74	0,19	19,30	6,10	0	0	27,33	27,33	27,33	100	0	1
<b>P7 - Cambissolo Háplico - (MN)</b>																
0 - 7	8,23	0,16	37,71	4,30	2,12	0,18	18,80	0,20	0	0	21,30	21,30	21,30	100	0	1
7 - 15	7,82	0,03	20,70	2,60	2,25	0,18	18,30	0,20	0	0	20,93	20,93	20,93	100	0	1
15 - 35	8,31	0,18	8,36	1,20	0,34	0,08	15,70	2,10	0	0	18,18	18,18	18,18	100	0	0
35 - 75	8,34	0,06	5,53	1,80	0,27	0,18	15,80	2,10	0	0	18,36	18,36	18,36	100	0	1
<b>P8 - Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP - Oiticica)</b>																
0 - 30	7,05	0,02	6,85	1,00	1,25	0,15	14,9	4,10	0	0	20,40	20,40	20,40	100	0	1
30 - 100	7,12	0,02	5,50	2,50	0,86	0,15	16,8	1,70	0	0	19,51	19,51	19,51	100	0	1
<b>P9 - Cambissolo Háplico (MN)</b>																
0 - 8	6,93	0,09	28,13	1,80	1,33	0,17	16,90	1,60	0	1,49	20,00	20,00	21,48	93	0	1
8 - 19	6,84	0,05	15,71	1,30	0,52	0,17	19,70	3,30	0	1,49	23,69	23,69	25,17	94	0	1
19 - 60	7,33	0,04	5,77	6,10	0,19	0,29	21,80	1,30	0	0	23,59	23,59	23,59	100	0	1
60 - 200	7,22	0,03	5,04	2,30	0,20	0,42	20,80	2,20	0	0	23,62	23,62	23,62	100	0	2
<b>P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajareneiras)</b>																
0 - 12	7,53	0,37	23,83	7,50	0,22	0,09	15,00	2,30	0	0	17,62	17,62	17,62	100	0	1
12 - 24	7,87	0,04	12,69	2,50	2,56	0,18	13,30	1,20	0	0	17,24	17,24	17,24	100	0	1
24 - 41	7,80	0,93	6,31	1,60	2,64	0,18	14,30	0,50	0	0	17,61	17,61	17,61	100	0	1
41 - 92	7,17	0,11	3,29	2,60	0,23	0,28	17,30	0,60	0	0	18,41	18,41	18,41	100	0	2
92 - 115	6,70	0,11	3,02	3,30	0,15	0,38	17,60	6,40	0	1,65	24,54	24,54	26,19	94	0	1

**Nota:** pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; P – fósforo; COT – carbono orgânico total; Ca<sup>2+</sup> – cálcio; Mg<sup>2+</sup> – magnésio; K<sup>+</sup> – potássio; Na<sup>+</sup> – sódio; Al<sup>3+</sup> – alumínio; (H + Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

De acordo com Wutke (1972), é importante o conhecimento do pH do solo, já que esse encontrasse relacionado à dinâmica de nutrientes. Segundo Kiehl (1979), valores abaixo de 5 repercutem na deficiência de elementos como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e P, bem como na toxicidade por

$Al^{+3}$  e outros metais pesados, devido às suas maiores solubilidades nessa faixa de pH, enquanto que valores entre 8,0 e 8,5 indicam a presença de carbonato de cálcio e/ou magnésio.

Nesse contexto, foram observados valores tendendo a alcalinidade para as classes Cambissolo Háplico, Neossolo Flúvico e Chernossolo Rêndzico (sendo os maiores valores encontrados no perfil P5 (Chernossolo Rêndzico – Pastejo), (pH = 8,91) na profundidade de 120-140 cm em todos os horizontes. Esse pH inclinando-se a alcalinidade reflete na ausência da acidez potencial nos perfis 1,2,3,5,6,7,8,9 e 10 que correspondem respectivamente as classes: P1 - Cambissolo Háplico - Mata Nativa (MN); P2 - Cambissolo Háplico - Área coletiva - (MN); P3 - Cambissolo Háplico - Área Agroecológica – (MN); P5 – Chernossolo Rêndzico ( – Pastejo; P6 - Cambissolo Háplico - Pastagem (MN); P7 - Cambissolo Háplico - (MN); P8 - Neossolo Flúvico (Preservação Permanente - APP – Oiticica); P9 - Cambissolo Háplico (MN) e P10 - Cambissolo Háplico (Área Coletiva Cajareneiras).

Exceção, quanto a acidez do solo, foi observado na classe do Latossolo Vermelho-amarelo em todos os horizontes estudados do perfil P4, possivelmente em consequência dos baixos valores de pH que refletem também na presença de alumínio nesse tipo de solo, pois segundo Magistad (1925), quando o pH do solo é inferior a 5, ocorre a precipitação do alumínio, acidificando o meio. De acordo com Souza et al. (2012), baixos valores de pH, o que pode indisponibilizar os nutrientes para as plantas.

Com relação à condutividade elétrica (CE) dos perfis estudados, os maiores valores foram observados no Cambissolo Háplico - Área coletiva - (Área Coletiva Cajareneiras) – P10 ( $0,93 \text{ dS m}^{-1}$ ) e Chernossolo Rêndzico ( $0,84 \text{ dS m}^{-1}$ ), sendo considerados baixos, segundo a classificação de Richards (1954), portanto, os solos em estudo não apresentam riscos de salinidade, uma vez (CE) é maior ou igual a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ . Desta maneira, as CEs determinadas indicam que os solos, dessas áreas não apresentam riscos de acúmulo de sais solúveis em subsuperfície, atenuando o risco de salinização. As maiores médias de CE encontradas podem estar provavelmente ligadas a quantidades de bases presentes nesse tipo de solo, pois Ribeiro et al. (2005), a CE aumenta proporcionalmente à quantidade de íons formadores de sais presentes na solução do solo. Nos demais perfis pesquisados, constatou-se condutividade elétrica menor quando comparada com as maiores médias citadas anteriormente, em todas as classes de solos analisados (Tabela 9).

Quanto ao fósforo disponível (P), observou-se baixos teores em todos os perfis estudados, com exceção para o Cambissolo pastagem ( $22,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 9). Menezes et al. (2002), relataram que os solos de Caatinga, em sua grande maioria, são pobres em

nutrientes nas camadas superficiais, principalmente, em nitrogênio e fósforo, nas camadas superficiais.

Com relação aos teores de magnésio trocáveis ( $Mg^{+2}$ ), os valores, nos solos estudados variaram de (0,15 a 11,2  $cmol_c dm^{-3}$ ) (Tabela 9), considerados suficientes e superiores quando comparados aos teores médios do solo, pois segundo Guimaraes (2015), trabalhando com eucalipto em área de Pampa Gaúcho, o solo apresenta valores médios de magnésio que variam de 0,4 a 0,8  $cmol_c dm^{-3}$ .

Ainda na Tabela 9, foram constatados, no P1 (Cambissolo Háplico - MN), maiores teores de cálcio ( $Ca^{+2}$ ), variando entre 24,30 e 32,30  $cmol_c dm^{-3}$  em todas as profundidades deste perfil, isso deu-se, provavelmente, em função do material de origem calcário Jandaíra, já os menores valores foram registrados em P4 (Latosolo Vermelho-amarelo – Cajueiro), variando de 4,80 a 5,30  $cmol_c dm^{-3}$ , podendo ser justificados em função da acidez para com esta classe de solo, bem como, a redução do intemperismo químico e das bases trocáveis, podendo ser justificado pela baixa precipitação pluvial da região semiárida. Como relatado em pesquisa desenvolvida por Ker (1997), em relação à variabilidade das características físicas, químicas e mineralógicas dos Latossolos, conferindo-lhe caráter eutrófico e distróficos, em função dos fatores e processos de formação do solo, inferindo-lhe caráter especial ao padrão climático da região, interferindo principalmente no intemperismo químico.

Maiores valores para o potássio ( $K^+$ ) foram observados na classe dos Cambissolos Háplicos, com destaque para o P6 (2,71  $cmol_c dm^{-3}$ ), onde ocorreu lixiviação do íon potássio da camada 0,0-0,12 para a subjacente. Observando uma característica para este elemento, foi percebida no P10-Cambissolo Háplico- Área- Coletiva a ocorrência de aumento significativo de 0,22 a 2,56  $cmol_c dm^{-3}$  na profundidade 0,0-12 cm para a profundidade de 12-24 cm (Tabela 9). Esse aumento significativo, segundo Melo et al. (2008), pode ser explicado por causa desse elemento apresentar íon monovalente que produz ligações mais fracas frente a íons bivalentes, como é o caso do cálcio e o magnésio, podendo ser lixiviado com maior facilidade para as camadas mais profundas dos solos.

Quanto à saturação por bases (V%), todos os perfis apresentaram valores igual ou superior a 50%, dentando em caráter eutrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. A soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC), apresentaram valores semelhantes entre si, sendo uma ao P4-Latosolo Vermelho-amarelo-Cajueiro, isso possivelmente deu-se devido, ao seu alto grau de intemperismo, característico dessa classe de solo. Resultados semelhantes foram encontrados em pesquisa realizada por Alencar (2000), em estudos efetivados em solos na região nordeste.

A matriz de correlação é utilizada quando se necessita de uma padronização dos dados, evitando-se problemas como a influência da magnitude das variáveis. Na tabela 9, pode-se observar a matriz de correlação, que mostra o inter-relacionamento das variáveis, e a correlação entre as variáveis originais e as componentes principais e, a contribuição de cada variável em relação a cada fator.

**Tabela 9.** Matriz de correlação entre as variáveis químicas nas classes de solos no Projeto de Assentamento Terra de Esperança - RN.

	pH	CE	COT	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+AL)	SB	t	T	V	m	PST
pH	1,00															
CE	0,35	1,00														
COT	0,22	-0,02	1,00													
P	0,15	0,17	0,56	1,00												
K <sup>+</sup>	0,17	0,04	0,66	0,31	1,00											
Na <sup>+</sup>	0,30	<b>0,67</b>	-0,19	0,00	-0,27	1,00										
Ca <sup>2+</sup>	0,47	-0,15	0,36	0,21	0,14	-0,14	1,00									
Mg <sup>2+</sup>	-0,09	0,31	-0,18	0,19	-0,20	0,53	-0,39	1,00								
Al <sup>3+</sup>	<b>-0,72</b>	-0,16	-0,19	-0,09	-0,19	-0,11	-0,52	0,28	1,00							
(H+Al)	<b>-0,83</b>	-0,21	-0,18	-0,14	-0,22	-0,14	-0,57	0,28	<b>0,92</b>	1,00						
SB	0,50	0,10	0,36	0,36	0,16	0,21	<b>0,84</b>	0,16	-0,43	-0,50	1,00					
t	0,49	0,10	0,36	0,36	0,16	0,21	<b>0,83</b>	0,16	-0,41	-0,49	<b>1,00</b>	1,00				
T	0,33	0,06	0,34	0,36	0,12	0,20	<b>0,77</b>	0,25	-0,24	-0,30	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	1,00			
V	0,87	0,21	0,21	0,14	0,25	0,14	<b>0,61</b>	-0,30	<b>-0,89</b>	<b>-0,98</b>	0,53	0,52	0,33	1,00		
m	-0,70	-0,15	-0,19	-0,08	-0,18	-0,10	-0,50	0,28	<b>1,00</b>	<b>0,90</b>	-0,41	-0,40	-0,23	<b>-0,87</b>	1,00	
PST	0,27	<b>0,69</b>	-0,17	-0,01	-0,26	<b>0,98</b>	-0,24	0,48	-0,08	-0,11	0,09	0,09	0,07	0,12	-0,08	1,00

**Nota:** pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; COT – carbono orgânico total; P – fósforo; Ca<sup>2+</sup> – cálcio; Mg<sup>2+</sup> – magnésio; K<sup>+</sup> – potássio; Na<sup>+</sup> – sódio; Al<sup>3+</sup> – alumínio; (H + Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável.

**Fonte:** Compilação do autor (2018).

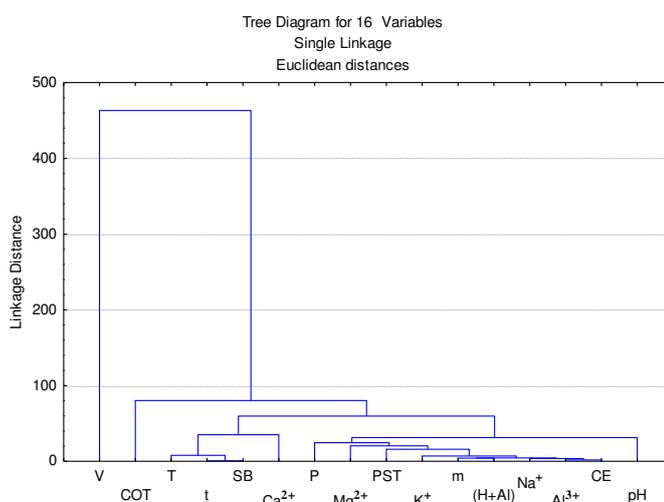
Ao avaliar de forma isolada o pH do solo constatou-se elevada correlação alumínio (Al<sup>3+</sup>), saturação por base e alumínio (V e m) e acidez potencial (H+Al). Quanto ao cálcio apresentou-se alta correlação com soma de base (SB), enquanto a saturação por alumínio (m) apresentou elevada correlação com o alumínio (Al<sup>3+</sup>) e a acidez potencial (H+Al) (Tabela 3).

Na Figura 10, o dendograma ou árvore de aglomerados, representa as variáveis da pesquisa, onde a escala vertical indica o nível de similaridade e, no eixo horizontal, são marcados os indivíduos na ordem em que são agrupados. As linhas verticais partem dos

indivíduos e têm altura correspondente ao nível em que os mesmos são considerados semelhantes.

O dendograma reflete o número de grupos formados pelas mesmas características. É interessante ressaltar que no dendograma vertical, a leitura é feita da direita para esquerda, no qual as linhas verticais, ou o eixo y, indicam as distâncias entre os grupos formados e, a posição da reta na escala, ou o eixo x, representa os grupos unidos por ordem decrescente de semelhança. Pode-se observar que o gráfico é formado com base nos pares de objetos mais similares, ou seja, com a menor distância entre eles. Logo após, estes objetos, ou grupos já formados, vão reunir-se em razão de similaridade decrescente (Figura 9).

**Figura 9.** Dendograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.



**Fonte:** Compilação do autor (2018).

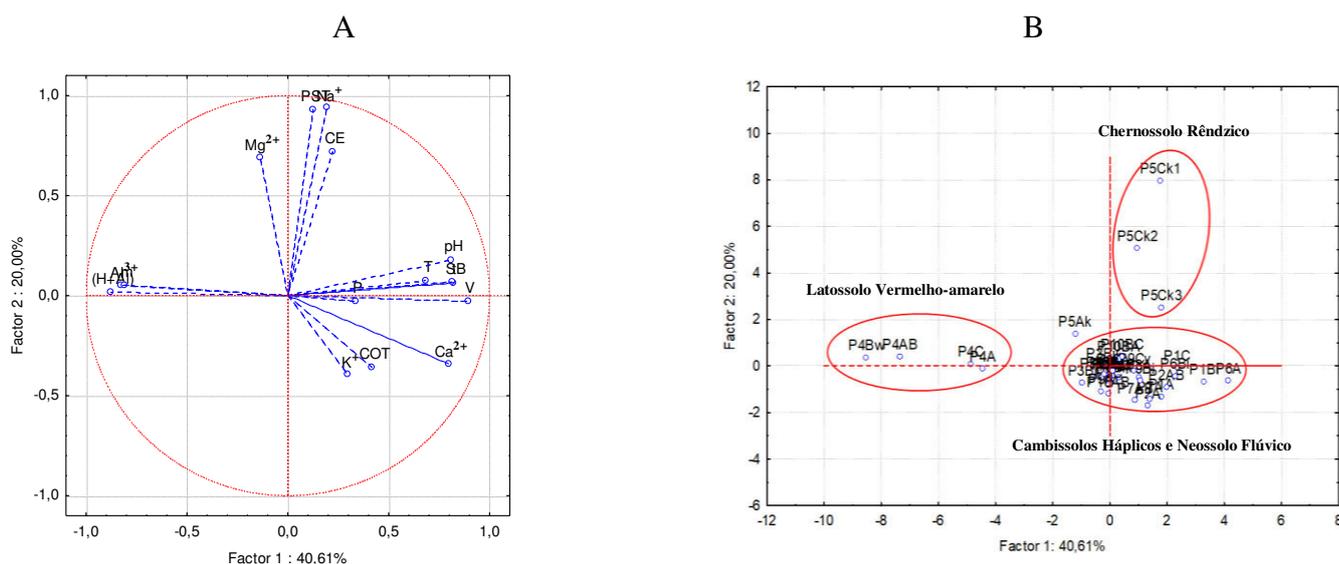
No dendograma da Figura 9, a escala vertical indica o nível de similaridade e, no eixo horizontal, são marcados os indivíduos, na ordem em que são agrupados. As linhas verticais partem dos indivíduos e têm altura correspondente ao nível em que estes são considerados semelhantes. Neste contexto, Verifica-se que as variáveis de pH, CE,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$ , (H+Al) e m, são as que possuem maior semelhança, no dendograma, por possuírem a menor distância euclidiana, sendo essas formadoras do primeiro grupo.

As variáveis PST,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e P foram agrupadas, por ordem crescente de semelhança, sendo as variáveis T, t, SB e  $\text{Ca}^{2+}$ , sendo o terceiro agrupamento, enquanto as variáveis V e COT formadoras do último grupo do dendograma, o qual manteve-se distinto dos demais

grupos formados, pelo fato de essa variável possuir pouca semelhança em relação às outras (Figura 9).

Na Figura 10 A e B, encontra-se a representação gráfica da distribuição da nuvem e pontos das variáveis, no círculo de correlações para os atributos químicos dos solos em estudo.

**Figura 10.** Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis segundo fator loadings (B).



**Fonte:** Compilação do autor (2018).

Uma das utilizações do círculo unitário é dada realizando a sobreposição deste sobre o primeiro plano fatorial. Desta forma, é possível identificar visualmente quais variáveis estão relacionadas com os casos em estudo. Sendo assim, pode-se constatar que algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras, demonstrando que essas possuem a mesma representatividade no gráfico. Observou-se no círculo de correlação unitário com a nuvem de variáveis que a componente 1 explica 40,61 % das causas de variações geradas e a componente 2, 20,00 %.

Observando a Figura 10 A e B, verificou-se ocorrência de três grupos distintos, sendo o primeiro grupo formado pelas classes de Cambissolo Háplico e Neossolo Flúvico, as quais apresentaram similaridade entre as características químicas, decorrente da concentração destas nas proximidades do centro unitário com: soma de base (SB), saturação por base (V), potencial Hidrogeniônico (pH), CTC potencial (T), fósforo (P), carbono orgânico total (COT),

potássio ( $K^+$ ) e cálcio ( $Ca^{2+}$ ). Vale ressaltar que a similaridade entre as duas classes supracitadas, deve-se a localização do Neossolo Flúvico na paisagem, com elevada percentagem de argila (Tabela 1), conferindo-lhe boas características químicas do solo, sendo a área de deposição de sedimentos oriundos das cotas mais altas, bem como a influencia do lençol freático. De acordo com Santos et al. (2013), a formação da classe dos Neossolos ocorre de forma diversa em ambientes específicos, como é o caso das planícies à margem de rios e córregos, bem como relevos acidentados, apresentando variabilidade quanto aos seus atributos.

No recorrente, a formação do segundo grupo, composto pelo Chernossolo Rêndzico, sendo as variáveis pertencentes a este o percentagem de sódio trocável (PST), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e a condutividade elétrica (CE), o qual apresentou elevado teor de silte (Figura 4 A e B), representada pela distribuição de nuvem de variáveis e pontos referentes aos atributos físicos do solo, sendo assim, características de solos jovens, pouco intemperizados, refletindo nas variáveis mencionadas anteriormente, conferindo-lhe pouca semelhança com os demais grupos.

Quanto ao terceiro e último grupo formado pelo Latossolo Vermelho-amarelo, as variáveis que se destacaram foram: alumínio ( $Al^{3+}$ ) e a acidez potencial (H+Al), refletindo em um solo mais intemperizados, quando comparado com as demais classes em estudo, como representado na distribuição de nuvem de variáveis e pontos referentes aos atributos físicos do solo (Figura 4 A e B), sendo considerado eutrófico ( $SB \geq 50 \%$ ), podendo ser justificado pelo padrão climático da região semiárida, conforme Ker (1997), os Latossolos são amplamente distribuídos pelo Brasil, considerados poligenéticos, apresentando variabilidade sob diferentes condições climáticas, relevo e material de origem, podendo assim, apresentar fertilidade natural, conferindo-lhe caráter (eutrófico), no recorrente, as condições climáticas da região semiárida, com déficit hídrico, refletindo em permanência das bases trocáveis no sistema, reduzindo assim o intemperismo químico e a lixiviação. Como também pode encontrar Latossolos (distróficos), ou seja, pobres quimicamente, em regiões que apresentam elevada precipitação pluvial. Vale ressaltar, que os minerais presentes nos Latossolos apresentam atividade coloidal baixa, mesmo apresentando caráter eutrófico, diferentemente dos demais grupos formados, por isso a ocorrência de sua separação.

## 7 CONCLUSÕES

Os atributos físicos e químicos dos solos foram eficientes na distinção dos ambientes, quanto suas características peculiares às particularidades locais.

As frações inorgânicas, em destaque silte e argila foram atuantes na diferenciação dos ambientes, com reflexos na microporosidade, porosidade de aeração e água disponível, entre horizontes e classes.

O material de origem influenciou nos atributos físicos e químicos nas classes de solos estudadas, onde a fração silte foi determinante na descrição do Chernossolo Rêndzico, a argila para o Cambissolo Háptico e Neossolo Flúvico, e areia em superfície e argila no horizonte diagnóstico (Bw) para o Latossolo Vermelho-amarelo.

Os atributos físicos agrupados mais expressivos foram densidade do solo, capacidade de campo, água disponível, ponto de murcha permanente, umidade a base de massa e a base de volume, seguidos de macroporosidade e porosidade de aeração.

A retenção de água no solo foi superior nas classes dos Cambissolos Hápticos, Neossolo Flúvico e Chernossolos Rêndzico, com similaridade dentro de cada classe para os atributos: capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, com predominância das frações inorgânicas argila e silte. Com exceção do Latossolo Vermelho-amarelo que apresentou menor retenção e água disponível, com predominância da fração areia e incremento da argila no horizonte diagnóstico.

Os atributos químicos mais sensíveis na diferenciação do Chernossolo Rêndzico foram: percentagem de sódio trocável, condutividade elétrica e o sódio. Enquanto que para a classe do Latossolo Vermelho-amarelo, destacaram-se a acidez potencial e o alumínio. Para os Cambissolos Hápticos e Neossolo Flúvico, encontram-se o potencial Hidrogeniônico, potássio, fósforo, carbono orgânico total, cálcio, saturação por base e CTC potencial.

## REFERÊNCIAS

- Adámoli, J.; Macedo, J.; Azevedo, L. G.; Netto, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: Goedert, W. J. Solos dos cerrados. Tecnologias e estratégias de manejo. Brasília, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. p. 33-74.
- Alencar, G. V. Compactação e/ou adensamento de solo cultivados com melão em litossequência na região do Apodi-RN. Mestrado (Dissertação em Agronomia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 75p. 2000.
- Allen, B. L.; Hajek, B. F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, S.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Wiscosin, Soil Science Society of American, 1989. p.199-278.
- Alves, J. J. A.; Araújo, M. A.; Nascimento, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. Revista Caatinga, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- Angelim, L. A. A.; Angelim, V. C.; Nesi, J. R. Programa Geologia do Brasil –PLGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.
- Antinoro, C.; Bagarello, V.; Ferro, V.; Giordano, G.; Iovino, M. A simplified approach to estimate water retention for Sicilian soils by the Arya-Paris model. Geoderma, Amsterdam, v. 213, p. 226-234, 2014.
- Araújo, M. A.; Tormena, C. A.; Silva, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 28, p. 337-345, 2004.
- Artur, A. G.; Oliveira, D. P.; Costa, M. C. G.; Romero, R. E.; Silva, M. V. C.; Ferreira, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, p.141–149, 2014.
- Assis, c. P.; oliveira, t. S.; dantas, j. N.; mendonça, e. S. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 138, p.74-82, 2010.
- Bastos, E. A.; Nascimento, S. P.; Silva, E. M.; Freire Filho, F. R.; Gomide, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 42, p. 100-107, 2012.
- Brasil. Levantamento de Recursos Naturais. V. 23, Folhas SB.24/25 Jaguaribe/ Natal. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1981. p.739.

- Buckman, H. O.; Brady, N. C. The Nature and Properties of Soil. The Macmillan Company. INC. New York. London, 1989, 594 p.
- Campbell, G. S. Soil water potential measurement: An overview. *Irrigation Science*, v. 9, p. 265-273, 1988.
- Cândido, M. J. D.; Gomes, G. M. F.; Lopes, M. N.; Ximenes, L. J. F. Cultivo da palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. *Informe Rural* 7(3). 2013.
- Cavalcante, J. S. J. A.; Portela, J. C.; Melo, S. B.; Souza, M. M. R.; Cosme, C. R.; Costa, J. D.; Sousa G. G. C. I. Attributes of Neosols associated with agricultural uses in the Semi-arid Region of Rio Grande do Norte, Brasil. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v. 7, p. 184-190, 2016.
- Cintra, F. L. D.; Portela, J. C.; Nogueira, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.8, p.45-50, 2004.
- Coelho, M. R.; Fontana, A.; Santos, H. G. dos; Perez, D. V. O solo e a sustentabilidade agrícola no Brasil: Um enfoque pedológico, *Boletim Informativo da SBCS*, p. 30-37, 2014.
- Coelho, M. R.; Santos, H. G.; Silva, E. F.; Aglio, M. L. D. O Recurso Natural do Solo. In: MANZATTO, C. V. (Org.). *Uso Agrícola dos Solos Brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 1-12.
- Coelho, M. R.; Santos, H. G.; Silva, E. F.; Aglio, M.L.D. O recurso natural solo. In: Manzatto, C. V.; Freitas Junior, E.; Peres, J.R. R. (ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solo. p.1-11. 2009.
- Coelho, M. R.; Vidal-Torrado, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. I - Química. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:483-494, 2003.
- Conceição, P. C.; Amado, T. J. C.; Mielniczuk, J.; Spagnollo, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.
- Corrêa, R. M.; Freire, M. B. G.; Ferreira, R. L. C.; Freire, F. J. F.; Pessoa, L. G. M.; Miranda, M. A.; Melo, D. V. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 305-314, 2009.
- Correia, G. G.; Moura, R. F.; Rodrigues, J. J. V.; Barros, M. F. C.; Correia, K. G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro Paraibanos. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, p. 156-162, 2008.

- Costa, N. R.; Andreotti, M.; Ulian, N. D. A.; Costa, B. S.; Pariz, C. M.; Teixeira Filho, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. *Bioscience Journal*, 818-829, 2015.
- Costa, W. A.; Oliveira, C. A. S.; Kato, E. Modelo de ajuste e métodos para determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.32, p.515-523, 2008.
- Daniells, I. G. "Hardsetting soils: a review". *Soil Research*. V. 50, p. 349–359, 2012.
- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS. Plano diretor para o aproveitamento dos recursos de solo e água do Vale do Apodi - Rio Grande do Norte. São Paulo, Hidroservice/Ministério do Interior/DNOCS (3ª Diretoria Regional), 1978. v. I. Tomo 1.
- Dexter, A. R.; Bird, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil Till. Res.*, 57:203- 212, 2001.
- Donagemma, G. K; Freitas, P. L.; Balieiro, F. C.; Fontana, A.; Spera, S. T.; VLumbreras, J. F.; Viana, J. H. M.; Araújo Filho, J. C.; Santos, F. C.; Albuquerque, M. R.; Macedo, M. C. M.; Teixeira, P. C.; Amaral, A. J.; Bortolon, E.; Bortolon, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.51, p.1003-1020, 2016.
- Dourado Neto, D.; Nielsen, D. R.; Hopmans, J. W.; Reichardt, K.; Bacchi, O. O. S.; Lopes, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten. *Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta)*, 2001.
- Ernesto Sobrinho, F. Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 133p. Mestrado.
- Evangelista, A. W. P.; Lima, L. A.; Silva, A. C.; Martins, C. P.; Ribeiro, M. S. Soil water potential during diferente phenological phases os cofee irrigated by center pivot. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.33, p.269-278, 2013.
- Fidalski, Tormena J.; C. A.; Alves, S.J.; Auler, P.A.M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos nas formações Caiuá e Paravanaí. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 613 – 621, 2013.
- Fontes, M. P. F. Mineralogia do solo (Versão Resumida). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002.

- Fraga, V. S.; Salcedo, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science Society American Journal*, Madison, USA, v. 68, p. 215-224, 2004.
- Guimaraes, C.C., M.V. Schumacher, R. Witshoreck, H.P. Souza, J.C. Santo. Biomassa e nutrientes em povoamento de eucalyptus dunnii maiden no Pampa Gaúcho. *Revista Árvore*, 39(5):873-882. 2015.
- Hillel, D. *Fundamentals of soil physics*. New York: Academic, 1980. 413 p.
- Hillel, D. *Soil and water: physical principles and processes*. 3. ed. New York: Academic, 1972. 288 p.
- Hillel, D. *Solo e água: fenômenos e princípios físicos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231 p, 1970.
- Hollis, J. M. The classification of soils in urban areas. In: BULLOCK, P.; GREGORY, P. J. (eds), *Soils in the Urban Environment*, Blackwell Scientific Publications, p. 5-27. 1991.
- Hutson, J. L.; Cass, A. A retentivity function for use in soil-water simulation models. *J. Soil Sci.*, v. 38, p. 105-113, 1987.
- IBGE - instituto brasileiro de geografia e estatística. Diretoria de geociências. *Mapa das Unidades de Relevo do Brasil*. Rio de Janeiro, 2006. 1 mapa, escala 1:5.000.000.
- Iwata, B. F.; Leite, L. F. C.; Araújo, A. S. F.; Nunes, A. P. L.; Gehring, C.; Campos, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p.730-738, 2012.
- Jansen, H. H. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world *Canadian Journal of Soil Science*, v. 85, Special Issue, p. 467-480, 2005.
- Ker, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. *Geonomos*, v.5, p.17-40, 1997.
- Kiehl, E. J. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo. Agronômica Ceres, 1979. 263p.
- Klar, A. E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. 2ª edição. São Paulo: Nobel, p. 57-81, 1988.
- Klein, Claudia; Klein, V. Ant. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.

- Klein, V. A.; Libardi, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 857-867, 2002.
- Klein, V. A.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho Argiloso e murcha fisiológica de culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 646-650, 2006.
- Kluter, A. Water retention: Laboratory methods, In: Kluter, A. (Ed). *Methods of soil analysis*. 2ª ed. Madison: American Society of Agronomy, soil Society of America, p. 365-622, 1986.
- Kluthcouski, J. & Stone, L. F. Manejo Sustentavel dos Solos dos Cerrados. In: Aidar, H.; Stone, L. F.; Kluthcouski, J. eds. *Integração Lavoura-Pecuária*. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Feijão e Arroz, p.59-104. 2003.
- Leite, L. F. C.; Mendonça, E. S.; Neves, J. C. L.; Machado, P. L. O. A.; Galvão, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p.821-832, 2003.
- Lemos, M. S. S.; Curi, N.; Marques, J. J. G. S. M.; Ernesto Sobrinho, F. Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in Northeastern Brazil: Implications for management. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:825-834, 1997.
- Libardi, P. L. Água no solo. In: Van Lier, Q. de J. *Física do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 103-152.
- Libardi, P. L. *Dinâmica da água no solo*. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo. 346p. 2012.
- Libardi, P. L. *Dinâmica da água no solo*. São Paulo, 2011.
- Lima, S. S.; Leite, L. F. C.; Oliveira, F. C.; Costa, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. *Revista Árvore*, v. 35, p. 51-60, 2001.
- Lira, P. K., Tambosi, L. R., Ewers, R. M.; Metzger, J. P. Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, 278,80–89, 2012.
- Lucas, J. F. R.; Tavares, M. H. F.; Cardoso, D. L.; Cássaro, F. A. M. Curva de retenção de água no solo pelo método do papel filtro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1957-1973, 2011.

- Machado, J. L.; Tormena, C. A.; Fidalski, J.; Scapim, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 495-502, 2008.
- Maia, S. M. F.; Xavier, F. A. S.; Oliveira, T. S.; Mendonça, E. S.; Araujo Filho, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, v. 30, p. 837-848, 2006.
- Manzatto, C. V.; Freitas Júnior, E.; Peres, J. R. R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.
- Marinho, A. C. C. S.; Portela, J.C; Silva, E. F; Dias, N. S ; Sousa Júnior FS; Silva A. C.; Silva, J.F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, p. 32-41, 2016.
- Mello, C. R. de; Oliveira, G. C. de; Ferreira, D. F.; Lima, J. M.; Lopes, D. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 1, p.23-29, 2005.
- Melo, A. F. D.; Souza, C. M. M.; Rego, L. G. S.; Lima, N. S.; Moura, I. N. B. M. Pedogênese de chernossolos derivados de diferentes materiais de origem no oeste potiguar. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*. v. 13, p. 229-235, 2017.
- Melo, R. M.; Barros, M. F. C.; Santos, P. M.; Rolim, M. M.; Correção dos solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, p. 376-380, 2008.
- Melo, V. F; Alleoni, L. R. F. Viçosa, Parte I: Química e mineralogia do solo, v. 529, 2009.
- Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semi-árido paraibano. In: Silveira, L. M.; Petersen, P.; Sabourin, E., orgs. *Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: Avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro, AS-PTA, p. 249-260, 2002.
- Moraes, S. O.; Libardi, P. L.; Dourado Neto, D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção de água pelo solo. *Scientia Agrícola*. Piracicaba, v. 50, p.383-392, 1993.
- Mota, J. C. A.; Assis Júnior, R. N.; Amaro Filho, J. P.; Libardi, L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, 2008.
- Mota, J. C. A.; Freire, A. F.; Assis Júnior, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p.1196-1206, 2013.

- Oliveira, D. P.; Ferreira, T. O.; Romero, R. E.; Farias, P. R. S.; Costa, M. C. G. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 4, p. 676-684, out-dez, 2013.
- Palmieri, F.; Larach, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B., orgs. *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 59-122 p.
- Parahyba, R. B. V.; Almeida, B. G. de; Rolim Neto, F. C.; Araújo, M. do S. B. de; Silva, M. S. L. Retenção de água em solos arenosos da Bacia Sedimentar do Tucano, Bahia. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 15., 2015, Natal. *Anais Eletrônicos*. Natal: CBCS, 2015.
- Pavinato, P. S.; Rosolem, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Viçosa: Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.
- Prevedello, C. L. Física do solo. Editora SAEAFS; Curitiba, 1996, 250 p.
- Redin, M.; Santos, G. F.; Miguel, P.; Denega, G. L.; Lupatini, M.; Doneda, A.; Souza, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, 2011.
- Reichardt, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Ed. Manole Ltda. Cap. 3, p. 27 – 65, 1990.
- Reichardt, K. Parte I: A água. In: Reichardt, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 4ª edição revista e ampliada. Campinas: Fundação Cargil, p. 10-19, 1985.
- Reichardt, K.; Timm, L. C. *Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. São Paulo: Editora Manole, 2004. 478 p.
- Reinert, D. J.; Reinert, J. M. *Propriedades física do solo*. Santa Maria, 2006.
- Resende, M.; Curi, N.; Resende, S.B.; Correia, G. F. *Pedologia: Bases para Distinção de Ambientes*. 4ª Ed. Viçosa. Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra – NEPUT, 2002. 338p.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V. V. H. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 359p, 1999.
- Ribeiro, A. K. F. S. *Atributos de solos sob sistemas de uso agropecuários na mesorregião do Oeste Potiguar-RN*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2016.

- Ribeiro, G. M.; Maia, C. E.; Medeiros, J. F. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 09, n. 01, p. 15- 22, 2005.
- Ribeiro, K. D.; Menezes, S. M.; Mesquita, M. G. F.; Sampaio, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, p. 1167-1175, 2007.
- Ribeiro, P. H.; Santos, J. V. V. M.; Coser, S. M.; Nogueira, N. O.; Martins, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. *Revista Verde, Mossoró*, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2011.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 160p, 1954.
- Richards, L.A. Physical conditions of water in soil. In: Black, C. A., Evans, D. D.; White, J. L.; Clark, F. E. (ed.) *Methods of soil analysis - physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling*. Madison, ASASSSA, 1965. p. 128-152.
- Ronquim, C. C. *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 26 p. il, 2010.
- Salcedo, I .; Sampaio, E. V.S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: Santos, G. S.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole. p.419-441, 2008.
- Sampaio, E. V. S. B.; Costa, T.L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física, Recife*, v. 6, p. 1275-1291, 2011.
- Santana, J. A. S.; Souto, J.S. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. *DESIA (Chile)*, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2011.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. Dos; Oliveira, V. A. De; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Ver. E ampla. Brasília: Embrapa, p. 221-235, 2013.
- Sidiras, N.; Vieira, S. R.; Roth, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:265-268, 1984.
- Silva Júnior, C. A.; Boechat, C. L.; Carvalho, L. A. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Uberlândia: Bioscience Journal*, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.

- Silva, E. F.; Lourente, E. P. R.; Marchetti, M. E.; Mercante, F. M.; Ferreira, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.
- Silva, E. M.; Lima, J. E. F. W.; Azevedo, J. A.; Rodrigues, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.323-330, 2006.
- Silva, I. R.; Mendonça, E. S. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017p.
- Silva, L. M.; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; RangeL, J. H. de A.; Moreira, A. L.; Backes, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, p. 2064-2071, 2014.
- Solone, R.; Bittelli, M.; Tome, F.; Morari, F. Errors in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. *Journal of Hydrology*, v.470, p. 65-74, 2012.
- Sousa, S. M. S. C. Relações entre vegetação, relevo, fertilidade do solo e matéria orgânica em bacia hidrográfica de região semi-árida. Dissertação de Mestrado, Curso de PósGraduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal da Paraíba, 2006.
- Souza, D. M. G.; Miranda, L. N.; Oliveira, S. A. Acidez Do Solo E Sua Correção. In: Novais, R. F.; Alvarez V.,V.H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J.C.L., Eds. *Fertilidade Do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo, 2007. p. 205-274.
- Souza, D. M.; Madari, B. E.; Sena, M. M. Aplicação de métodos quimiométricos na otimização da extração de Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu e Mn em folhas de braquiária. *Revista Química Nova*, v. 35, n. 1, p. 175-179, 2012.
- STATISTICA (data analysis software system), versão 7.0, StatSoft ([www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)), 2004.
- Stefanoski, D. C.; Santos, G. G.; Marchão, R. L.; Petter, F. A.; Pacheco, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.1301-1309, 2013.
- Tavares, M. H. F.; Feliciano, J. J. Da S.; Vaz, C. M. P. Análise comparativa de métodos para a determinação da curva de retenção de água em solos. *Irriga, Botucatu*, v. 13, p. 417-524, 2008.

- Taylor, H. M.; Brar, G. S. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research*, v. 19, p. 111-119, 1991.
- Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573 p.
- Trevisan, R.; Mattos, M.L.T.; Herter, F.G. Atividade microbiana em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico coberto com aveia preta (*Avena sp.*) no outono, em um pomar de pessegueiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 7, n. 2, p.83-89, 2002.
- Urach, F. L. Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007, 79 p.
- Van Genuchten, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- van Lier, Q. J. *Física do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 298 p.
- Vezzani, F. M.; Mielniczuk, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 213-223, 2011.
- Vieira, L. S. *Manual de Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais*. 2ª Ed. São Paulo. Agronômica Ceres, 1988. 464p.
- Wutke, A.C.P. Acidez. In: *Elementos de Pedologia*. São Paulo, Polígono, Ed. da Univ. de São Paulo. p.149-168. 1972.