



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

LÍSSIA LETÍCIA DE PAIVA OLIVEIRA

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO E MANEJO DO SOLO NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E HÍDRICAS EM CAMBISSOLO NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR

MOSSORÓ – RN

2016

LÍSSIA LETÍCIA DE PAIVA OLIVEIRA

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO E MANEJO DO SOLO NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E HÍDRICAS EM CAMBISSOLO NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR

Dissertação apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em Manejo de
Solo e Água.

Orientador (a): Prof^ª. D.Sc. Jeane Cruz Portela

MOSSORÓ – RN

2016

© 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 da 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.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ
Setor de Informação e Referência

O48i Oliveira, Lissia Letícia de Paiva.

Influência do sistema de cultivo e manejo do solo nas propriedades físico-químicas e hídricas em cambissolo no semiárido potiguar / Lissia Letícia de Paiva Oliveira. - Mossoró, 2016.
86f: il.

Orientador: Profa. Dr. Jeane Cruz Portela

Dissertação (MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA) -
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

1. Solos. 2. Carbono orgânico total. 3. Manejo do solo. I. Título

RN/UFERSA/BOT/032

CDD 631.4

INFLUENCIA DO SISTEMA DE CULTIVO E MANEJO DO SOLO NAS
PROPRIEDADES FÍSICOS-QUÍMICAS E HÍDRICAS EM CAMBISSOLO NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR

Dissertação apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em Manejo do
Solo e Água.

DATA DA DEFESA: 19/02/2016

BANCA EXAMINADORA



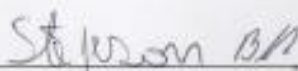
Prof. D.Sc. Jeane Cruz Portela – UFRSA

Presidente



D.Sc. Thiago Mielles Brito Ferreira Oliveira - UERN

Examinador Externo



Prof. D.Sc. Stefeson Bezerra de Melo – UFRSA

Examinador Interno

Assim como uma planta deve enfrentar muitos obstáculos antes de se transformar numa árvore,
nós precisamos experimentar muitas dificuldades no caminho da vitória.

Nitiren Daishonin

OFEREÇO

À minha família, que
sempre me amparou,
incentivou e fortaleceu.

DEDICO

Aos meus pais, Ivaneize Maria e Raimundo Neto,
pelo exemplo e dedicação durante a minha criação.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, pela oportunidade de realização deste trabalho e pela força nesta caminhada.

Aos meus pais Raimundo Neto e Ivaneize Maria. Que nunca mediram esforços para continuar me incentivando a cada dia. Nos momentos difíceis, nos momentos de alegria, sempre estiveram comigo. Vocês não me deram tudo que queriam, mas me deram tudo que tinham. Obrigado por tudo, tudo mesmo. Cada palavra, mesmo longe, todos os dias. Sou muito grata, por ter vocês ao meu lado. A vocês devo a minha vida.

Aos meus irmãos Carlos Nascimento e Rafaela Rithelly, que sempre me motivaram a continuar no caminho certo.

Aos meus avós José Dias, Raimunda Ferreira e Elizora Câmara, pelo amor e apoio incondicional ao longo desses anos.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água e aos profissionais técnicos do LASAP, que possibilitaram a realização deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Professor Nildo da Silva Dias, pela amizade, dedicação e confiança que em mim depositou, sempre contribuindo para transformar-me em uma profissional cada vez melhor.

A Professora Eulene Francisco da Silva, pela amizade, orientações, estímulos, ensinamentos e apoio pessoal.

A Professora Jeane Cruz Portela, pela orientação no processamento desta pesquisa.

Ao Acácio Perboni pela colaboração, apoio, estímulo, carinho e amor durante esta etapa. Sou

muito grata por ter você ao meu lado.

Ao amigo Italo Sorac, pela amizade de todas as horas, pela doçura e mansidão no falar que muito me acalma e pelo incentivo, fatores determinantes para o fechamento de mais esta etapa.

A todos os meus amigos de longe, de perto, aos de longa data e as novas amizades, muito obrigada pelo carinho e incentivo que me ajudaram a concluir esta etapa e continuar a jornada.

Aos funcionários Francisco Souto, Ana Kaline da Costa Ferreira, Elídio Andrade Barbosa e Antônio Carlos da Silva, Maria José de Nazaré Ferreira da Costa e Antônio Tomaz da Silva Neto, por todas as orientações dentro do laboratório e pela contribuição para essa dissertação.

Aos agricultores pela concessão da área em estudo, pela experiência passada e o apoio para a realização dessa pesquisa.

Ao grupo de apoio do complexo laboratorial Antônia Edna da Fonseca e Maria Lúcia de Souza Costa pela gentileza, presteza nos trabalhos realizados e pelo harmonioso convívio.

Enfim, a todos que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos!!!

RESUMO

Os sistemas de manejo inadequados podem promover a degradação da qualidade físico-química do solo, com reflexos ambientais e na produtividade. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi buscar um direcionamento a respeito da retenção de água, da influencia da matéria orgânica, Ca^{2+} e Mg^{2+} na agregação do solo e dos atributos físico-químicos do solo em função dos diferentes usos agrícolas e manejo do solo, visando identificar qual destes foram os mais sensíveis na distinção dos ambientes, tendo a mata preservada como referência. Como também avaliar especificamente os atributos do solo, apontando qual destes proporcionaram melhorias ou restrições nos ambientes avaliados, em um Cambissolo Háplico no Projeto de Assentamento Terra de Esperança, situado no município de Governador Dix-sept Rosado - RN, localizado na mesorregião do Oeste Potiguar e na microrregião da Chapada do Apodi. As áreas analisadas foram: Área de mata preservada (AMP), Área de Pomar de cajaranas (AP), Área de consórcio milho/feijão (ACMF), Área de consórcio de melancia/jerimum (ACMJ) e Área agroecológica (AA). Foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30 m, beneficiadas no Laboratório de Análise de Solo Água e Planta – LASAP/DCAT/UFERSA. As análises constituíram as de granulometria, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, macro e micro porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, curva de retenção de água no solo, agregação, CE, pH, COT, P, K, Na, Ca, Mg, PST e COT, Ca e Mg dentro de cada classe de agregado. A maior quantidade de COT foi observada na AP, devido provavelmente, ao aporte de serapilheira encontrada no local, associada ao excremento de animais (caprinos, bovinos, equinos e muas) no pastejo na área. Com relação à textura, os solos da ACMJ tiveram maior teor de argila (0,55; 0,58 e 0,63 kg kg⁻¹) nas três camadas estudadas, podendo ser justificado por se tratar de uma área de colúvio. Observou-se que os solos sob preparo convencional (ACMF e ACMJ), independente do cultivo das plantas, promoveram possivelmente uma maior aeração do solo e uma menor DS, fato evidenciado pelo aumento de macroporos, especialmente na camada superficial. A AP proporcionou as melhores condições de retenção de água quando comparadas com os demais tratamentos, devido à manutenção da cobertura do solo e incremento do carbono orgânico do solo. Nas áreas de manejo convencional ACMF e ACMJ a percentagem de agregação, estabilidade de agregados e diâmetro médio ponderado foram reduzidas quando comparadas com a área de mata preservada (AMP) em todas as camadas. Os usos agrícolas ACMF (área de consórcio de milho/feijão) e ACMJ (área de consórcio de melancia/jerimum) alteraram na degradação dos atributos físicos (densidade do solo e agregação) e químicos (carbono orgânico total e Mg^{2+}) do solo em comparação a área de mata preservada (AMP).

PALAVRAS CHAVE: Solos; Carbono orgânico total; Manejo do solo.

ABSTRACT

Inadequate management systems can promote the degradation of the physical and chemical soil quality, with environmental reflexes and productivity. In this sense, the objective of this work was to seek a direction regarding the water retention, the influence of organic matter, Ca^{2+} and Mg^{2+} in soil aggregation and the physical and chemical attributes of the soil due to the different agricultural practices and soil management, to identify which of these are the most sensitive in the environments distinction, having the forest preserved as a reference. But also specifically evaluate the attributes of soil, indicating which of these have provided improvements or restrictions in the evaluated environments, in a Cambisol the Settlement Project Land of Hope, located in the city of Governador Dix-sept Rosado - RN, located in the middle region of the West Potiguar and the micro-region of Apodi Chapada. The areas analyzed were preserved forest area (AMP), cajaranas orchard area (AP) consortium area corn / beans (ACMF), watermelon consortium Area / jerimum (ACMJ) and agroecological area (AA). collection of disturbed and undisturbed samples were carried out in layers from 0.00 to 0.10; .10 To .20; 0.20 to 0.30 m, benefited the Soil Analysis Laboratory Water and Plant - LASAP / DADA / UFERSA. The analysis constituted the particle size, particle density, bulk density, porosity, macro and micro porosity, field capacity, permanent wilting point, available water, water retention curve in the soil, aggregate, EC, pH, TOC , P, K, Na, Ca, Mg and TOC PST, Ca and Mg added within each class. The greatest amount of TOC was observed in the AP, due probably to supply litter found in the location associated with the excrement of animals (goats, cattle, horses and donkeys) in the grazing area. Regarding the texture, the soils of ACMJ had higher clay content (0.55, 0.58 and 0.63 kg kg⁻¹) in the three layers studied and can be justified because it is a colluvial area. It was observed that the soils under conventional tillage (ACMF and ACMJ), regardless of plant cultivation, possibly promoted a greater aeration of the soil and a lower DS, as evidenced by an increase of macropores in the superficial layer. AP provided the best water retention conditions compared to the other treatments, due to the maintenance of soil cover and increase soil organic carbon. In conventional management areas ACMF and ACMJ percent aggregation , aggregate stability and mean weight diameter were reduced compared to the preserved area (AMP) in all layers. Agricultural uses ACMF (area of corn consortium / beans) and ACMJ (watermelon consortium of area / pumpkin) altered the degradation of the physical attributes (bulk density and aggregation) and chemical (total organic carbon and Mg^{2+}) soil compared to preserved forest area (AMP) .

KEYWORDS: Soils; Total Organic Carbon; Soil management.

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN33
- Quadro 2.** Médias dos atributos químicos em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.35
- Quadro 3.** Distribuição dos teores de MOS, CA^{+2} e Mg^{+2} disponível nas classes de agregados em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, na camada de 0,00-0,10 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.....39
- Quadro 4.** Médias da granulometria e densidade de partículas em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.....42
- Quadro 5.** Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macro e micro porosidade do solo, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.44
- Quadro 6.** Parâmetros da equação de Van Genuchten ajustados com os dados da análise da curva de retenção de água em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.....47
- Quadro 7.** Agregação, Estabilidade de agregados e Diâmetro médio ponderado (DMP) em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Microrregião da Chapada do Apodi. Fonte: Google maps.....	20
Figura 2. Município de Gov. Dix-sept Rosado – RN. Fonte: wikimedia	21
Figura 3. Localização de Gov. Dix-sept. Rosado e do P.A.T.E. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA	22
Figura 4. (A1) Área de Mata Preservada (AMP) no período chuvoso; (A2) Área de Mata Preservada (AMP) no período seco. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA.....	23
Figura 5. (A1) Área de Pomar de Cajaraneiras <i>Spondia</i> sp. (AP) período chuvoso; (A2) Área de Pomar de Cajaraneiras <i>Spondia</i> sp. (AP) período seco. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA	24
Figura 6. (A1) Área de Consórcio Milho/Feijão no período seco (ACMF); (A2) Área de Consórcio Milho/Feijão no período chuvoso (ACMF). Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA	25
Figura 7. (A1) Área de Consórcio Melancia/Jerimum no período seco (ACMJ); (A2) Área de Consórcio Melancia/Jerimum no período chuvoso (ACMJ). Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA	26
Figura 8. (A1) Área Agroecológica (AA) no período chuvoso, (A2) Área Agroecológica (AA) no período seco. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA	27
Figura 9. Curva de retenção de um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN. (A) AMP - área de Mata Preservada, (B) AP - área de Pomar de Cajarana, (C) ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, (D) ACMJ - área de Consórcio Melancia/Jerimum (colúvio), (E) AA - área de Cultivo Agroecológico.....	48

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	3
2.1.Objetivo geral	3
2.2.Objetivos específicos	3
2.3.Hipóteses	3
3.REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1.Caracterização geral do semiárido nordestino brasileiro.....	4
3.2.Fatores que influenciam a retenção de água no solo	5
3.3.Matéria orgânica, cátions e agregação do solo	9
3.4.Influência dos usos agrícolas nos atributos físicos e químicos do solo.....	12
4.MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1.Localização do Município de Governador Dix-Sept Rosado	20
4.2.Características do Projeto de Assentamento Terra de Esperança, RN.	21
4.3.Caracterização das áreas do estudo	22
4.3.1.Área de Mata Preservada (AMP).....	22
4.3.2.Área de Pomar de Cajarana (AP)	23
4.3.3.Área de Consórcio de Milho/Feijão (ACMF).....	24
4.3.4.Área de Consórcio de Melancia/Jerimum (ACMJ)	25
4.3.5.Área de Cultivo Agroecológico (AA)	26
4.4.Amostragem das áreas em estudo e o beneficiamento das amostras para realização das análises.....	27
4.5.Análise química do solo	28
4.5.1.Caracterização química do solo	28
4.5.2.Matéria orgânica do solo, Ca^{2+} e Mg^{2+} dos agregados	28
4.6.Análise física do solo.....	29
4.6.1.Distribuição e tamanho das partículas minerais do solo – granulometria	29
4.6.2.Densidade de Partículas.....	29
4.6.3.Densidade do solo.....	30
4.6.4.Macro, micro e porosidade total	30
4.6.5.Curva de retenção de água no solo	30
4.6.6.Estabilidade de agregados	31
4.7.Análise estatística e interpretação dos resultados.....	32

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1.Análise química do solo	34
5.1.1.Caracterização química do solo	34
5.1.2.Matéria orgânica do solo, Ca^{2+} e Mg^{2+} dos agregados	39
5.2.Atributos físicos do solo	41
5.2.1.Distribuição e tamanho das partículas minerais do solo – granulometria e densidade de partículas.....	41
5.2.2.Macro, micro e porosidade total	44
5.2.3.Curva de retenção de água no solo	46
5.2.4.Estabilidade de agregados	51
6.CONCLUSÕES	54
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino é caracterizado pelo bioma da caatinga, por baixas e irregulares precipitações pluviais e elevada taxa de evapotranspiração, elementos ambientais que, entre outros fatores, dificultam a manutenção de uma atividade agrícola sustentável e o desenvolvimento local. Nesse espaço geográfico predominam solos rasos, pouco intemperizados com boas características químicas e limitações físicas ao cultivo agrícola.

Nesta região, a intervenção humana no ambiente agrícola tem ocorrido no sentido de utilizar os recursos naturais para a obtenção de alimentos, buscando aumentar a produtividade e a produção. Para que se obtenha um ambiente agrícola que proporcione esse aumento na produtividade é necessário utilizar práticas de manejo do solo, que possibilitem que o mesmo venha a exercer suas funções naturalmente, tendo em vista que o manejo busca proporcionar um ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas, como também a conservação do solo e da água.

Estudo das modificações que ocorrem resultantes do uso agrícola e de práticas antrópicas inadequadas como à utilização excessiva do solo, da água, e do extrativismo da cobertura vegetal é de grande importância na escolha de sistemas e manejos mais adequados a fim de se obter um ambiente no qual se possa ocorrer exploração das potencialidades das áreas de forma a garantir a sustentabilidade de toda cadeia produtiva. É importante lembrar que os atributos físico-químicos e hídricos do solo sofrem influência das práticas de manejo empregadas durante o seu manuseio e que a qualidade desses atributos proporciona condições satisfatórias para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a preservação da diversidade de organismos do solo (DORAN & PARKIN, 1994).

Existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo que coordenam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Dessa forma alterações no solo podem causar modificações na sua estrutura e na atividade biológica e, em consequência na sua fertilidade (CARNEIRO, 2009), podendo ocasionar prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas. Então alterações desses atributos, ocasionadas pelas práticas adotadas e empregadas no solo, e sua avaliação são importantes para o melhor manejo visando à sustentabilidade do sistema.

Os atributos relacionados à agregação e estabilidade de agregados variam com as características inerentes ao solo e com os sistemas de manejo. Solos que passam por preparo intensivo ficam mais propícios à quebra de agregados, e consequentemente redução na estabilidade dos mesmos. Assim, com o rompimento dos agregados, a matéria orgânica que

estava em seu interior é desprotegida, acelerando dessa forma seu processo de decomposição, diminuindo cada vez mais a resistência destes agregados (LACERDA et al., 2005). O manejo do solo é um dos principais fatores que governam a sua qualidade, tendo em vista que ele influencia diretamente a estrutura do solo, causando modificações no espaço poroso e na habilidade do solo em reter, transmitir e infiltrar água (SILVA, 2011).

Dessa forma o monitoramento da água no solo é essencial para o estabelecimento de boas práticas agrícolas, possibilitando o correto dimensionamento dos sistemas de irrigação e a utilização racional dos recursos hídricos e do solo. Sendo a curva de retenção um dos principais instrumentos utilizados para fazer esse monitoramento, pois através das curvas pode-se determinar modificações na estrutura do solo, podendo assim avaliar a qualidade física dos solos e possibilitar o seu manuseio adequado.

Análises relativa sobre o monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físico-químicos e hídricos são importantes para a avaliação e manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, além de sinalizar o manejo adequado do ambiente visando à sua conservação e produtividade.

Diante do exposto, os objetivos desse estudo foram avaliar: a curva de retenção de água no solo; a influência da matéria orgânica, Ca^{2+} , e Mg^{2+} na agregação do solo; e a influência dos atributos físico-químicos do solo em cinco diferentes usos agrícolas e manejo do solo, visando identificar qual destes mais influenciou na distinção dos ambientes, tendo a mata preservada de caatinga como referência. Nestas áreas já haviam sido realizados alguns trabalhos científicos, porém algumas características não foram estudadas, o que justificou a realização do presente estudo.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo detalhado em um Cambissolo no semiárido nordestino em termos de retenção de água, influencia da matéria orgânica, Ca^{2+} e Mg^{2+} na agregação do solo e atributos físico-químicos do solo submetidos a diferentes usos agrícolas e manejo do solo.

2.2. Objetivos específicos

a) Determinar a curva de retenção de água, a granulometria, a estabilidade de agregados, a densidade do solo, a densidade de partículas, a macro, micro e porosidade total em diferentes usos agrícolas e na mata preservada.

b) Avaliar a contribuição da matéria orgânica do solo, Ca^{2+} e Mg^{2+} na estabilidade de agregados nos diferentes usos agrícolas e na mata preservada.

c) Analisar a fertilidade do solo por meio da obtenção das análises de macronutrientes do solo nos diferentes usos agrícolas e na mata preservada.

2.3. Hipóteses

a) Os diferentes usos agrícolas associados, aos manejos adotados, influenciam a retenção de água, a agregação e a matéria orgânica do solo, de modo diferenciado;

b) Os usos agrícolas que tiveram preparo intensivo do solo, ausência de cobertura contribuíram para uma maior taxa de evaporação da água (ascensão capilar) e favoreceram a perda da matéria orgânica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização geral do semiárido nordestino brasileiro

O semiárido brasileiro ocupa uma área de 980.133,079 Km² estando demarcado por 1.135 municípios correspondendo, portanto, a quase 63,0 % da região Nordeste (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia), incluindo ainda parte do norte do Estado de Minas Gerais (Região Sudeste), com uma população de 22.598.318 milhões de habitantes, totalizando cerca de 46 % da população do Nordeste e 12 % da população do Brasil (INSA, 2010).

O padrão climático do Nordeste brasileiro varia do quente e úmido, ao quente e seco (semiárido), passando por uma faixa de transição semiúmida. O clima da região é classificado como megatérmico, seco, dividido em três tipos conforme a classificação de Köppen: BShw, com chuvas de verão, ocorrendo desde o sul do Piauí ao oeste da Bahia e de Pernambuco; BShw' com chuvas de verão-outono, predominando no norte do Piauí, no Ceará e Rio Grande do Norte e oeste da Paraíba e, BShs' com chuvas de outono-inverno, ocorrendo na região costeira da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia; e apresenta características específicas que podem ser resumidas da seguinte forma: temperaturas altas, variando entre 25 e 31 °C anuais, sendo nos meses de junho e julho onde se observam as menores médias, precipitações pluviais irregulares de curta duração e de alta intensidade, entre 280 a 720 mm anuais concentrando-se entre três a quatro meses do ano, com consequente déficit hídrico durante boa parte do ano, ou seja, um ambiente quente e seco (ARAÚJO FILHO, 2002).

Como consequência do regime pluvial da região as espécies vegetais são predominantemente caducifólias, ou seja, têm folhas decíduas que caem na época de seca em resposta à escassez de água, influenciando desta forma, na denominação do termo “Caatinga” que significa “mata-branca” no tupi-guarani, onde no período seco as plantas apresentam o caule branco na maioria das espécies. A caatinga apresenta formação vegetal com características bem definidas com árvores de baixo porte, 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). Com extensão de 844,543 km², a Caatinga é considerado o maior bioma semiárido do mundo, abrangendo 9,92 % do território do Brasil e 80 % do território nordestino, envolvendo os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do Maranhão e o norte de Minas Gerais (LOIOLA et al., 2012; ROCHA, 2009).

Santana e Souto (2011) realizaram estudo na caatinga do Rio Grande do Norte na Estação Ecológica do Seridó e constataram que, após doze meses foram depositados 2.068,55 kg ha⁻¹ de serrapilheira, 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 no mês de março, e para as demais frações ocorreu apenas em maio, coincidindo com o início da estação seca, reduzindo durante o período de menor precipitação pluvial (julho-dezembro) e voltando a crescer após as chuvas de janeiro, mostrando marcante sazonalidade.

Na região semiárida o padrão climático exerce uma influência fundamental na formação dos solos, pois é responsável por pequena alteração no manto superficial das rochas (material de origem), tornando os processos químicos e físicos mitigados, justificando assim a presença de solos rasos, com grande incidência de afloramentos rochosos. Os solos do semiárido brasileiro não apresentam grandes restrições químicas, porém, apresentam restrições físicas quanto à presença de afloramento rochoso (ARAÚJO FILHO, 2002). Dentre os tipos de solos mais comuns, podem ser citados os Luvisolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Litólicos e os Cambissolos (BASTOS et al., 2012).

3.2. Fatores que influenciam a retenção de água no solo

O solo tem a propriedade de atrair e reter a água no estado líquido e em forma de vapor. A água na forma líquida apresenta uma série de propriedades de fundamental importância em seu comportamento no solo, como por exemplo, bom solvente, adsorção sobre superfície sólida e hidratação de íons e colóides. A polaridade, pontes de hidrogênio e tensão superficial da água fazem com que a água em sistemas porosos atinja estado de menor energia livre e seja retida contra a gravidade, especialmente por capilaridade e também por adsorção (REICHARDT & TIMM, 2004).

O estudo do movimento da água no solo pode ser caracterizado por meio de definições e operações que envolvem o conteúdo e a energia da água no solo. Importantes exemplos disto são obtidos pelas equações de Darcy-Buckingham e de Richards, cujas soluções dependem do conhecimento prévio da curva de retenção, a qual é capaz de fornecer informações a respeito da energia ou potencial da água no solo. A curva de retenção da água no solo ou curva

característica relaciona o potencial mátrico (ψ_m) e a umidade do solo (θ) (COILE, 1953; REGINATO & VAN BAVEL, 1962; DANE et al., 1992; JALBERT & DANE, 2001) é parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas do solo (CICHOTA, 2004). Por meio da curva de retenção pode-se quantificar a quantidade de água que um solo pode reter dentro de determinados limites de potenciais matriciais (RIGHES et al., 1983; CARVALHO JÚNIOR, 1998).

A curva é de grande importância, pois, por meio dela pode-se entender a dinâmica da água no solo, e depende do arranjo poroso do solo, ou seja, da estrutura do meio poroso (REICHARDT & TIMM, 2004). Os fenômenos capilares são fundamentais na determinação do potencial mátrico do solo e a curva de retenção. As forças responsáveis pelo movimento e retenção da água nos solos são: coesão, que é a atração das moléculas de água umas pelas outras e a adesão (ou adsorção), que é a atração das moléculas da água pelas superfícies sólidas (BRADY & WEIL, 2013).

Os métodos utilizados para a obtenção da curva de retenção podem ser divididos em dois grupos: métodos de campo, que empregam sonda de nêutrons, tensiômetros e gravimetria (KLUTE, 1986; LIBARDI, 2012; REICHARDT; TIMM, 2004); e métodos de laboratório, que fazem uso de câmaras de pressão de Richards (RICHARDS, 1941; RICHARDS & FIREMAN, 1943), funis de Haines e de mesas de tensão (JAMISON & KROTH, 1958). Os métodos de laboratório apresentam como vantagem a condução em ambiente controlado, proporcionando maior flexibilidade no controle de condições limitantes e aquisição de dados com maior precisão. No entanto esses métodos estão sujeitos a perturbações introduzidas pelo manuseio das amostras em campo e laboratório, pois estas precisam ter sua estrutura preservada, a fim de representar de forma precisa a geometria do solo (MUNOZ-CARPENA, et al., 2002).

A obtenção da curva em laboratório dá-se de duas formas, por secagem ou molhagem, no entanto estes métodos concedem curvas diferentes em virtude do fenômeno chamado de histerese (REICHARDT; TIMM, 2004), que se refere a não similaridade das curvas de um mesmo solo, quando obtidas pelos dois métodos. Os métodos mais usados são os via secagem da amostra e os aparelhos tradicionalmente utilizados, dependendo do potencial mátrico necessário, são o funil de placa porosa (HAINES, 1930) e a câmara de pressão com placa porosa (RICHARDS, 1949), os quais utilizam como base para o funcionamento a teoria da capilaridade. Nestes casos a água da amostra de solo entra em equilíbrio quando o fluxo de saída de água da amostra cessa ou torna-se mínimo, sendo dependente da natureza do solo ou do tamanho da amostra e da tensão aplicada (KLUTE, 1986).

Diversos fatores químicos e físicos podem interferir na retenção da água pelo solo, fatores estes que vão desde a distribuição do tamanho, forma e arranjo das partículas até a concentração e composição dos solutos no solo e mudanças espaciais na unidade pedológica alterando o formato de suas curvas de retenção (SALTER et al., 1966; MORAES e LIBARDI, 1993). Mueller et al. (2003), a partir do estudo de dados da curva de retenção, estimaram valores ótimos de umidade para os quais o solo pode ser manejado de forma correta no cultivo agrícola. Rawls et al. (2003) estudando o efeito da matéria orgânica do solo nas curvas de retenção verificaram que a adição de carbono orgânico afeta a curva de maneira distinta para diferentes potenciais e texturas. Hodnett & Tomasella (2002), com base em ajustes da curva de retenção, desenvolveram uma nova função de pedotransferência para retenção da água em solos tropicais. Solone et al.(2012) avaliaram os erros na curva de retenção obtida por diferentes metodologias e solos de texturas diferentes relataram que nos solos mais argilosos há modificações nas curvas de acordo com os instrumentos empregados, podendo ocasionar erros na interpretação quando esta é usada em estudos de transporte de solutos no solo, como também na remediação de solos poluídos e no manejo da irrigação.

A curva de retenção de água sofre influência da textura do solo, de forma que quanto maior for o conteúdo de argila, maior será, em geral, o teor de água retida sob um dado potencial matricial e mais suave será a inclinação da curva devido a uma distribuição mais uniforme de tamanho dos poros. Já em solos arenosos, normalmente os poros são maiores, sendo mais rapidamente esvaziados a baixas tensões, restando pequenos teores de águas retidas a potenciais menores, sendo responsável pela inclinação acentuada da curva de retenção de água (HILLEL, 1982).

Segundo KLEIN (2010) e GRIGOLON, (2013), grande parte da distribuição do diâmetro dos poros do solo é definido pela textura do solo, principalmente pela argila, sendo assim responsável pela determinação da área de contato entre as partículas sólidas e a água, e também pela força de retenção de água dos solos, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2003). A textura influencia o comportamento do solo, quando submetido a pressões externas, pois determina o atrito entre as partículas e o tipo de ligação entre elas. Em geral, quanto maiores os diâmetros das partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação de acordo com Macedo et al. (2010).

De acordo com Hillel (1982), a composição do mineral constituinte do solo também pode interferir no formato da curva, de acordo com uma possível variação na característica de umidade do solo ocasionada pela contração e expansão das argilas, por causa do tipo de argila

e da concentração da solução do solo em torno das mesmas. De acordo com Bell & Van Keulen (1995), os teores de argila e silte afetam de forma significativa o teor de água no ponto de murchamento permanente (PMP), enquanto a estrutura do solo possui menor interferência na retenção da água nesse ponto.

A compactação do solo é um fator que também afeta a curva de retenção de água, pois, geralmente provoca redução na porosidade total do solo em virtude da diminuição dos poros maiores integrados, ou seja, o conteúdo de água de saturação e os teores de água retidos a baixos potenciais são reduzidos. Já a proporção de poros médios, é provavelmente maior em solos compactados, pois muitos poros grandes são reduzidos. E os microporos por sua vez são alterados. Assim a curva de retenção de água em solos compactados pode ser quase idêntica à curva de solos não compactados na faixa de altas sucções (VASCONCELLOS, 1993).

A matéria orgânica também influencia a retenção de água no solo, sendo responsável pelo aumento da capacidade de retenção de água, através da melhoria das condições físicas do solo, devido a sua influência na estrutura e agregação do solo. Freire e Scardua (1978) estudando a retenção de água em um Latossolo Roxo distrófico verificaram que a retenção de água do horizonte A1 foi menor quando a matéria orgânica foi oxidada. Observou-se também que a matéria orgânica do solo influencia a retenção de água principalmente nas faixas de baixa sucção. E que a estrutura do solo também influencia na retenção de água, pois afeta o fenômeno de capilaridade e distribuição do tamanho de poros. Assim, o manejo inadequado do solo pode causar compactação do solo com consequente, destruição da estrutura do solo, levando a uma diminuição na taxa de retenção de água à baixa sucção.

No sistema agroecológico onde é possível a manutenção do aporte de matéria orgânica proporciona uma maior agregação das partículas do solo, consequentemente, maior retenção e armazenamento de água em relação a sistemas de manejo convencional, com preparo intensivo (SALTON & MIELNICZUK, 1995; ROJAS & VAN LIER, 1999; COSTA et al., 2003).

Ao elaborar uma curva de retenção deve-se levar em consideração a histerese e temperatura. A histerese de maneira geral interfere no movimento de água em solos que se encontram em condição não saturada, em alguns casos, sendo desconsiderado para manter a descrição matemática do fluxo de água e transporte de solutos simples (ABBASI et al., 2012). A influência que a temperatura exerce sobre a retenção de água no solo vem sendo estudada desde à década de 1960 e esses estudos vem confirmando que o aumento na temperatura ocasiona uma redução no teor de água a um dado potencial em função do aumento da evaporação (PECK, 1960; WILKINSON E KLUTE, 1962, CHAHAL, 1966; KLUTE, 1986).

A determinação de forma correta da curva de retenção é fundamental para a implementação e manejo de cultivos agrícolas. Caso o solo possua uma umidade superior ao valor desejado, ao ser manejado haverá a probabilidade de ocorrer danos na estrutura do solo pela formação de agregados de maiores dimensões, menos estáveis (DEXTER & BIRD, 2001).

3.3. Matéria orgânica, cátions e agregação do solo

O estudo da matéria orgânica do solo é fundamental para que se alcance a manutenção e preservação da agricultura nos sistemas de manejo, apesar da matéria orgânica, quando bem manejada, encontrar-se numa pequena escala de 1 a 6 % em percentagem de peso na maioria dos solos, esta apresenta alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, pois a natureza do carbono exerce papel significativo nestas propriedades (SILVA & MENDONÇA, 2007). Além de atender ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes para as plantas, tendo influencia na infiltração, retenção de água e na susceptibilidade à erosão, atuando também em outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e agregação do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007).

A formação e estabilidade de agregados do solo estão relacionados principalmente com a matéria orgânica, a fração mineral, a fauna, microrganismos, raízes, agentes inorgânicos, cátions e variáveis ambientais de acordo com SALTON et al. (2008). O tamanho dos agregados determina sua suscetibilidade à deslocação pelo vento e pela água, o espaço poroso e o seu arranjo, afetando a movimentação da água, a transferência de calor, a aeração e porosidade (KLEIN, 2008). Solos bem agregados possuem diâmetro maior em seus agregados, contribuindo assim na proteção da matéria orgânica e na melhoria do fluxo e no armazenamento de água no solo. Salton et al. (2008) estudando os efeitos de sistemas de manejo na agregação do solo, encontraram uma relação direta entre a estabilidade dos macroagregados com o teor de carbono orgânico no solo.

A estabilidade dos agregados refere-se, à resistência que o agrupamento das partículas do solo apresenta em relação à ação das forças desagregadoras que atuam sobre elas. Essa resistência pode ser afetada pela redução de material agregador (argila e matéria orgânica), refletindo na diminuição do diâmetro dos agregados e no aumento de perda do solo (SOUZA et al., 2004).

A matéria orgânica do solo e a argila na estabilização dos agregados comumente são mais

importantes que os cátions. De acordo com modelo proposto por Edwards & Bremer (1967), os cátions polivalentes são cruciais na união da fração orgânica com os minerais de argila. Quando esta união não ocorre às frações argila e matéria orgânica dispersam-se, pois ambas têm cargas negativas permanentes. Os cátions trocáveis presentes no solo influenciam no processo de agregação, de acordo com a série liotrópica da química coloidal (ARENA, 1968).

A matéria orgânica atua como agente condicionadora do solo mediante sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agregando partículas minerais. Exerce papel primordial na formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo, sendo resultante da aproximação e da união entre as partículas (devido a forças de coesão e carga elétricas de superfície) e de sua estabilização pela ação de agentes cimentantes, como a matéria orgânica e os óxidos de ferro (MEURER, 2000).

Os agregados do solo são divididos em: microagregados (agregados menores que 0,25 mm), formados pela interação das frações granulométricas entre si e destas com as moléculas orgânicas, cátions polivalentes e argila; e macroagregados (agregados maiores que 0,25 mm), decorrentes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos, principalmente os micorrízicos que entrelaçam os microagregados, propiciando estruturas mais complexas e diversificadas (TISDALL & OADES, 1982).

De acordo com Feller e Beare (1997) e Buyanovsky et al. (1994), a matéria orgânica protegida no interior dos agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção ocorre mais nos microagregados do que nos macroagregados. Dessa forma, o tempo de estância do carbono orgânico do solo e a taxa de decomposição são fatores cruciais na eficácia da agregação (BRONICK e LAL, 2005). Assim uma das consequências da redução da matéria orgânica do solo (MOS) é justamente a desestruturação, o que favorece o processo de escoamento superficial.

A prática de adoção de sistemas de manejo que introduzam resíduos orgânicos ao solo é de essencial para a preservação da estrutura do solo (TAVARES FILHO & TESSIER, 2010), uma vez que, a incorporação de resíduos na superfície do solo influencia positivamente a agregação e os níveis de carbono orgânico do solo, aumentando a percentagem de agregados maiores que 2,00 mm (CASTRO FILHO et al, 1998).

O importante papel das frações orgânicas na agregação do solo tem sido amplamente corroborada por meio de correlações entre as frações orgânicas e os índices de agregação, pelo efeito do pré-tratamento com periodato, do qual resulta a oxidação de polímeros e diminuição da estabilidade de agregados, e por mudanças na estabilidade de agregados em relação à fração extraível de carbono em solos (DEGENS, 1997). Muitos autores relatam a

importância da utilização de sistemas de manejo do solo, como por exemplo, o plantio direto e o pousio, os quais têm como propósito um menor uso de máquinas, menor revolvimento do solo e um incremento no teor de carbono orgânico total (COT), com objetivo de preservar e recuperar as propriedades físicas do solo (CAMPOS et al., 1995; CASTRO FILHO et al., 1998; SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Hickmann et al. (2012) realizaram estudos em um Argissolo localizado no estado de Minas Gerais, submetidos a diferentes manejos durante 23 anos, e verificaram a existência de correlações positivas do carbono orgânico total (COT) com os índices de agregação do solo (diâmetro médio ponderado e estabilidade de agregados), e que o sistema de plantio direto proporcionou uma melhoria nos atributos físicos e recuperou os teores de carbono orgânico do solo na camada superficial de 0,00-0,05 m. Outros estudos também demonstraram que em sistema de semeadura direta também ocorreu maior agregação na superfície do solo, devido ao maior acúmulo de COT no solo (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005; SILVA et al., 2008).

No semiárido nordestino, tem ocorrido a degradação dos recursos naturais provocada pela utilização de manejos inadequados do solo, e pela redução da cobertura vegetal nativa (MENEZES & SAMPAIO, 2002). Quando ocorre a retirada da vegetação nativa, no caso a caatinga, e associa-se isso a longos períodos de estiagem, observa-se uma acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto à ação dos agentes climáticos (temperatura, umidade, entre outros), dessa forma reduzindo, o seu potencial produtivo, consequentemente degradando o solo (TREVISAN et al., 2002).

A utilização de sistemas de manejo do solo que tenham como objetivo a proteção do mesmo, por meio do contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção de uma boa estrutura. O fornecimento contínuo de material orgânico no solo serve de fonte de energia para a atividade microbiana, e os microrganismos atuam como agentes na estabilização dos agregados (CAMPOS et al., 1995). Castro Filho et al. (1998), estudando um Latossolo Roxo de Londrina, no Paraná, concluíram que o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo oriundo da adoção do sistema de plantio direto proporcionou melhorias na agregação devido o incremento do teor de carbono orgânico total, sobretudo na camada superficial de 0,00-0,10 m;. Resultados semelhantes foram obtidos por Sá et al., (2001) ao estudar Latossolo na região sul do Brasil.

Carpeneo e Mielniczuk (1990), analisando a estabilidade estrutural dos agregados em condições de mata e campo nativo, verificaram uma redução na percentagem de agregação quando os solos foram submetidos à aração e à gradagem para o cultivo de trigo e soja.

Segundo Da Ros et al. (1997), após cinco anos de cultivo, o diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) em solos sob plantio direto foi estatisticamente equivalente a área de campo nativo, ocorrendo diminuição do DMG com o aumento da intensidade de preparo do solo, com valores de 2,96 vezes menores no preparo convencional comparado ao campo nativo. Campos et al. (1995) constataram que no sistema de plantio direto o diâmetro médio geométrico dos agregados foi cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional.

3.4. Influência dos usos agrícolas nos atributos físicos e químicos do solo

A degradação das propriedades físicas e química de um solo é uma das principais ações responsáveis pela perda da estrutura do solo, aumento do processo erosivo e consequentemente diminuição da capacidade produtiva do solo, sendo que algumas práticas de manejo do solo e das culturas alteram as referidas propriedades, principalmente a estrutura do solo, podendo tais alterações ser permanentes ou temporárias, (BERTOL et al., 2012). O nível de degradação, o uso intensivo do solo sem observar aptidão agrícola e a ausência de práticas conservacionistas contribuem para o processo de degradação do solo, (TAVARES FILHO et al., 2012).

O preparo convencional do solo causa um intenso revolvimento em superfície, favorecendo a aceleração da decomposição da matéria orgânica, acarretando na modificação da qualidade estrutural do solo. De acordo com Vezzani & Mielniczuk (2011) camadas compactadas em superfície nesses sistemas de manejo reflete uma degradação estrutural, com aumento da densidade, quebra dos agregados, redução da porosidade e dos macro e microporos, redução do tamanho dos agregados, menor infiltração de água e maior resistência do solo a penetração das raízes das plantas.

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo e ao espaço poroso entre elas, inclusive o tamanho, forma e arranjo dos agregados (MARSHAL 1962, FERREIRA, 2010), a mesma permite que os solos tenham suas estruturas modificadas por se tratar de natureza dinâmica, modificando com o manejo adotado. Uma mudança no espaço poroso altera o arranjo das partículas e, consecutivamente a sua estrutura (PRIMAVESI, 2002).

O estudo dos atributos físicos para o monitoramento do manejo empregado ao solo apresenta vantagens relacionadas ao baixo custo, metodologias simples e rápidas e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo (MENDES et al., 2006). Os atributos mais utilizados na análise física do solo são: densidade do solo, porosidade,

distribuição e tamanho dos poros, densidade de partículas, granulometria, diâmetro médio de agregados (SCHOENHOLTZ et al., 2000; SINGER & EWING, 2000).

A granulometria do solo é um dos atributos que menos modifica, o qual se refere às partículas inorgânicas do solo (areia, silte e argila). Sendo a fração argila a mais ativa e a que define a fertilidade do solo. Contudo é uma característica que esta diretamente ligada à retenção de água e solutos, estrutura do solo, além de influenciar nos processos erosivos (BARROS et al., 2009). Oliveira et al (2013) observaram em estudos realizados em Cambissolo na Chapada do Apodi/CE que a distribuição das partículas no solo podem ser influenciada por outros fatores, associação ao microrrelevo, a existência de fraturas no material de origem, favorecendo rotas hídricas preferenciais.

Em um Neossolo Litólico Eutrófico de Jardim do Seridó/RN, observou-se elementos grosseiros na forma de cascalhos, calhaus e matações segundo Medeiros et al. (2013). Apresentando texturas areia franca, franca arenosa, e franca argilo arenosa, com densidade do solo variando de 1,45 a 1,99 g cm⁻³ e porosidade do solo de 21,99 a 42,23 %. Em relação à fertilidade do solo constataram-se elevados teores de P, Ca²⁺ e Mg²⁺ e baixo teores de Al, (H+Al), m, na camada 0,00-0,20 m do solo.

A textura do solo influencia na dinâmica da matéria orgânica, pois em solos de textura arenosa o principal fator de estabilização da matéria orgânica pode ser a macroagregação, enquanto em solos argilosos intemperizados, ocorre formação de microagregados, onde parte da matéria orgânica pode ser protegida fisicamente em locais de difícil acesso aos microorganismos (DICK et al., 2009).

A densidade do solo (Ds) reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez define as características do sistema poroso, de tal maneira que todas as manifestações que influenciarem a disposição das partículas do solo, refletirão diretamente nos seus valores, é um atributo variável em função da mineralogia, estrutura, textura, matéria orgânica, profundidade do solo e o seu uso e manejo agrícola. Libardi (2012) discute que a densidade dos solos minerais varia de 700 a 2000 kg m⁻³. Os solos argilosos embora possuam menor densidade do solo em função da maior área superficial específica, podem ser modificados facilmente devido o rearranjo estrutural das partículas ocasionado pelo manejo inadequado do solo, podendo chegar a valores superiores aos encontrados em solos arenosos (SILVA, 2014).

A densidade de partículas (Dp) é uma característica que está relacionada com a parte sólida do solo (matriz) determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades (MENDES et al., 2006). Para a maioria dos solos, os valores oscilam

entre 2600 a 2750 kg.m⁻³, referentes à densidade do quartzo, feldspato e silicatos coloidais (BRADY, 2013), entretanto, o valor pode chegar a 1250 kg.m⁻³ em horizontes que apresentam alto teor de material orgânico (COSTA, 2004). E de acordo com Ferreira (2010) o manejo do solo poderá modificar o seu valor ao longo do tempo, se, houver alteração significativa da matéria orgânica do solo.

No objetivo de avaliar a qualidade do solo em diferentes coberturas florestais e pastagem, Melloni et al. (2008) perceberam que a densidade de partículas foi menor na área com mata nativa, sendo esta propriedade física maior e igual nos demais ecossistemas (eucalipto, araucária implantada e pastagem). Um estudo na Chapada do Apodi, em um Cambissolo háplico em diferentes camadas do solo associadas ao microrrelevo (raso e profundo), Miotti et al. (2013) verificaram densidades do solo e de partículas maiores nos solos rasos (1,41 e 2,82 g cm⁻³, respectivamente).

As aglomerações das partículas primárias do solo originam os agregados, que se unem para formar um arranjo conhecido como estrutura (FREIRE, 2012). Os principais fatores que estão envolvidos na formação e estabilidade de agregados do solo são: a matéria orgânica, a fração mineral, a fauna, microrganismos, raízes, agentes inorgânicos e variáveis ambientais (SALTON et al., 2008). Solos que proporcionam boa agregação possuem diâmetro maior em seus agregados, facilitando assim a proteção da matéria orgânica e melhor fluxo e armazenamento de água no solo. Salton et al. (2008) em estudo sobre os efeitos de sistemas de manejo na agregação do solo, encontraram relação entre estabilidade dos macroagregados com o teor de C orgânico no solo.

Castro et al. (1998) avaliaram a estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio (convencional e direto), rotações de culturas e métodos de preparo das amostras (peneiras de quatro e oito mm antes do tamisamento úmido), em duas camadas de 0,0-10 e 10-20 cm. E observou os seguintes índices de agregação: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA). Obtendo os seguintes resultados: O sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação com o aumento do teor de carbono orgânico, sobretudo na camada de 0,00-0,10 m, onde os valores de DMP e DMG foram superiores significativamente. O aumento do teor de carbono orgânico resultou em aumento do IEA pela diminuição de agregados das classes com diâmetro < 0,25 mm e aumento das classes de diâmetro maiores.

Bertol et al. (2004) mencionam que em solos com propriedades naturais favoráveis ao cultivo, o preparo convencional degrada as atributos físicos, pois o revolvimento rompe os

agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto.

Comparando a vegetação nativa de Cerrado com o uso do solo no sistema plantio direto e preparo convencional em um Latossolo Vermelho, Mendes et al. (2003) verificaram maior estabilidade de agregados no campo nativo do que no plantio direto, sendo o plantio convencional o sistema que ofereceu menor estabilidade de agregados, como também, averiguaram que o teor de matéria orgânica prontamente mineralizável nos macroagregados foi maior do que nos microagregados nos sistemas Cerrado e plantio direto, enquanto no plantio convencional não houve diferenças.

A curva característica de água no solo é fundamental quando se deseja orientar as práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas de produção agrícola. Assim sendo, a curva característica de água no solo é uma das principais propriedades físicas do solo e expressa a relação entre a energia com que a água está retida e o teor de água no solo (SILVA et al., 2010). A retenção de água no solo ocorre por dois processos: forças capilares e de adsorção, as quais, juntas, são chamadas forças mátricas que originam o potencial mátrico do solo (LIBARDI, 2005). Carvalho Júnior (1998) citam que a curva característica permite quantificar o conteúdo de água que um solo pode armazenar dentro de um determinado limite de potencial matricial.

A armazenagem de água no solo depende principalmente de alguns atributos como da granulometria, da estrutura do solo e do tipo de argila e teor de matéria orgânica. Além disso, do uso do solo e das práticas de manejo, pois ambas influenciam diretamente na retenção e na variação da armazenagem de água no solo (MOTA, 2010), devido modificarem o arranjo das partículas que integram a matriz do solo e reduzem o espaço poroso. O revolvimento do solo modifica e altera a estrutura do solo e conseqüentemente a distribuição do tamanho dos poros, alterando as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade, os quais são fatores determinantes para o desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2005).

Analisando as interrelações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva característica de água de um Latossolo sob sistemas de uso, Machado et al. (2008) verificaram que as mudanças nos teores de matéria orgânica do solo e da densidade do solo ocasionaram mudanças negativas na curva característica de água dos solos sob pousio e cultivo, caracterizando o comprometimento da qualidade física e hídrica do solo.

Os atributos químicos do solo apresentam relevância tanto agrônômica como ambiental. Então temos que, a composição do solo exerce uma influência ímpar nas propriedades e estas são o resultado da interação entre o material ao qual foi originado o solo e os demais fatores de formação. Cabe-nos ainda ressaltar que nem todos os elementos presentes na solução do

solo são essenciais às plantas e de que nem todas as necessidades requeridas para o desenvolvimento da planta são supridas pelo solo (SILVA, 2014). Neste aspecto, incumbiu-se aqui expor alguns elementos químicos de maior importância para o desenvolvimento das culturas nos solos das regiões tropicais (SILVA, 2014).

O potencial hidrogeniônico (pH), pode ser definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio e influencia muitos processos naturais. No solo, segundo Alvarez et al. (1999), o pH é um importante fator na produção agrícola, influenciando na disponibilidade de nutrientes às raízes das plantas, propiciando condições favoráveis ou de toxidez. Além disso, Costa (2004,) ressalta que o pH afeta de forma extraordinária a solubilidade de vários elementos, como por exemplo, o ferro e o alumínio. O pH indica a acidez ou a alcalinidade relativa de um substrato e a escala de pH cobre uma faixa de 0 a 14, em que 7,0 indica pH neutro, valores abaixo de 7,0, acidez, e acima de 7,0, alcalinidade. (MELO, 2013). E os efeitos indiretos do pH sobre as plantas estão relacionados com as propriedades químicas (reações de sorção, dessorção, precipitação) que ocorrem em solos e influenciam de forma direta o crescimento das plantas (MEURER, 2007). Carvalho et al. (2007) avaliaram as alterações dos indicadores químicos de qualidade do solo em quatro sistemas de manejo para a cultura de citros. O pH do solo no sistema de manejo com cobertura vegetal diferiu significativamente dos tratamentos com capinas manuais.

A condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) do solo expressa a concentração total de sais solúveis no solo, pelo fato de estar intimamente relacionada com a concentração total de eletrólitos dissolvidos na solução (RHOADES, 1994). O comportamento da mesma depende de vários fatores (FRITZ et al., 1998; RHOADES, 1993) e tem sido utilizada como uma variável que se correlaciona com os atributos físico-químicos do solo e com a produtividade das culturas, tendo em vista a possibilidade de se separarem zonas homogêneas de manejo, de modo a auxiliar as aplicações de corretivos e fertilizantes (BANTON; SEGUIN; CIMON, 1997; CORWIN et al., 2006; CORWIN; LESCH, 2003, 2005; KUHN et al., 2009; LESCH; CORWIN; ROBINSON, 2005; LI et al., 2008; MORAL; TERRÓN; SILVA, 2010; MORARI; CASTRIGNANÒ; PAGLIARIN, 2009; SAEY et al., 2009; VALENTE et al., 2012).

A CE do solo é influenciada pelo tipo e o teor de argila, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , matéria orgânica do solo (MOS), P, K, capacidade de troca de cátions (CTC) e sais solúveis (MORAL; TERRÓN; SILVA, 2010). Porém, autores têm encontrado resultados variáveis, o que justifica estudos diversificados, em várias condições de solo, para se conhecer melhor o comportamento da CE e sua relação com os atributos do solo, em razão do uso das práticas

mais importantes de manejo do solo.

O nitrogênio é o elemento mais exigido em maiores quantidades pelas plantas e participa da formação de aminoácidos, proteínas e da composição da molécula de clorofila. Sua deficiência causa clorose nas folhas e a redução do crescimento vegetativo, diminuindo assim, a biomassa da planta (RAIJ, 1991). Franco et al. (2011) estudando o Nitrogênio em diferentes usos e manejos observou que não houve interação dupla significativa e os valores variaram de $1,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ no Cerrado nativo denso e $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ na área cultivada com cana de açúcar.

Em solos com baixa capacidade de fornecer nutriente aos cultivos, como por exemplo, os arenosos, pode-se observar que as gramíneas são as que mais evidenciam a sua baixa produtividade quando ocorre uma indisponibilidade de N nos estágio inicial de desenvolvimento. O nitrogênio é um elemento chave para a produtividade dos Agrossistemas. Onde a disponibilização do N orgânico no solo passa pelo processo de mineralização, definido como a transformação do N da forma orgânica para inorgânica NNH_4^+ ou NH_3 , (CANTARELLA, 2007).

O potássio é um elemento muito abundante em rochas e no solo, e é o segundo macronutriente mais requerido pelas plantas, porém Furtini Neto, et al., (2004) verificaram que as respostas das espécies arbóreas florestais ao uso do potássio são menores do que o fósforo e nitrogênio. Os teores totais desse elemento em solos bem supridos podem superar 10 g.kg^{-1} ou 1 % e grande parte disso encontra-se em minerais que contêm o elemento em suas estruturas. O potássio como nutriente participa de inúmeras funções, sendo de extrema importância no processo de fotossíntese e ativação de vários sistemas enzimáticos (ERNANI, et al., 2007).

O fósforo é um elemento que possui um elevado grau de interação com o solo. Essa característica, associada à sua deficiência em grandes áreas da agricultura brasileira, fez nutriente se tornar o mais crítico nas adubações das últimas décadas (SOUZA, 2014). Raij (2011) analisando os valores totais de fósforo em solos verificaram que variou um pouco mais de zero (em solos muito arenosos) até 2.000 a 3.000 mg.kg^{-1} ou (0,2 a 0,3 %, respectivamente), considerando que na solução do solo os teores deste elemento são muito baixos, podendo justificar essa carência em fósforo ao material de origem e a sua forte interação com o solo. (RAIJ, 1991). A carência de fósforo é o que mais restringe a produção agrícola no Brasil, todavia nos ambientes aluvionais na região do vale do Assu-RN, eles apresentam níveis satisfatórios, apesar do problema nesta região está relacionado à sua disponibilidade (OLIVEIRA, 1988). O fósforo fica disponível para as plantas entre os pH de 6,0 a 7,0 e depois do nitrogênio e do potássio é o fósforo é o nutriente mais exigido pelas

plantas (CORREIA, 2005).

O estudo da matéria orgânica do solo é fundamental para que se alcance a manutenção e preservação da agricultura nos diversos manejos e usos agrícolas, embora a matéria orgânica, 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 as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007). A matéria orgânica também serve de 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).

Hickmann et al. (2012) realizaram um estudo em Argissolo em uma região de Minas Gerais, onde após 23 anos submetidos a diferentes manejos, observaram existir correlações positivas do COT com índices de agregação (diâmetro médio ponderado, geométrico, e estabilidade de agregados), e o sistema plantio direto melhorou os atributos físicos e recuperou os teores na camada superficial de 0,00-0,05 m. Outros estudos também demonstraram que a maior agregação ($p < 0,05$) na superfície do solo em sistema de semeadura direta correspondeu ao maior acúmulo de matéria orgânica (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005; SILVA et al., 2008).

O cálcio é um nutriente utilizado em quantidades distintas por diferentes culturas, variando de 10 kg.ha^{-1} até 200 kg.ha^{-1} . A forma de absorção pelas plantas é Ca^{2+} ocorre pelo xilema e em parte pelo floema. O cálcio em abundância poderá inibir a absorção de magnésio, como também, pode melhorar a absorção de micronutrientes. São vários os papéis desenvolvidos pelo cálcio nas plantas, sendo essencial para o crescimento de tecidos meristemáticos, dos ápices radiculares e exerce função estrutural evitando lesões ou danos a parede celular (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A aplicação de cálcio pelo uso de calcário, geralmente adiciona quantidades suficientes do nutriente ao solo, apesar de que nas áreas de semiárido os solos sejam ricos em compostos de cálcio devido ser originado Calcário Jandaíra (RAIJ, 2011).

O magnésio encontra-se no solo nas formas: não trocável, e na solução do solo e o seu teor médio na crosta terrestre é de $19,3 \text{ g Kg}^{-1}$, variando de acordo com a origem geológica do solo. O Mg^{2+} na forma não trocável é encontrado nos minerais primários e secundários, estando então em maior concentração em solos jovens ou ainda em minerais de argila secundários. É de extrema importância para o metabolismo de plantas e animais, que tem papel estrutural como componente da molécula de clorofila (DECHEN; NACHTIGALL,

2007).

O sódio constitui 2,8 % da crosta terrestre e encontra-se na natureza como sal marinho, cloreto de sódio (NaCl), como o mineral ilita e na água do mar, no qual o Na^+ forma 31 % dos constituintes dissolvidos e adsorvido as argilas, estando esse elemento presente no solo em elevadas concentrações, ocorre mudanças na estrutura, favorecendo a dispersão das partículas do solo (agregados) (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Tentando entender os efeitos dos sistemas de cultivo convencional (milho/feijão com revolvimento) e manejo agroecológico da caatinga (raleamento e manutenção de árvores grandes, introdução de leguminosas e uso como pastagem para manejo de caprinos) na produção agrícola em Apodi (RN), Lira et al. (2012) analisaram que houve perda de fertilidade no solo na área de cultivo agrícola convencional. Os solo das áreas de manejo da caatinga, com cinco anos, apresenta maiores valores para pH (7,1), capacidade de troca de cátions efetiva ($20,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), soma e saturação de bases ($18,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 92 %, respectivamente), e teor de cálcio ($16,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (dados médios da camada de 0-10 cm).

Fialho et al. (2006), estudando áreas sob vegetação natural (caatinga) e cultivo de bananeira na Chapada do Apodi (CE), observaram que o cultivo não ocasionou alterações na maioria dos indicadores químicos do solo, apenas um decréscimo nos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) na área sob cultivo.

O estudo dos elementos químicos do solo é considerado de fundamental importância para uso agrícola, florestal e urbano. Estudo esse voltado para disponibilidade dos nutrientes para as plantas, contaminação do solo, definição de valores orientadores de qualidade do solo, de alerta de intervenção do ambiente e de limites permissíveis de elementos potencialmente tóxicos nos solos agrícolas, (MELO; ALLEONI, 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do Município de Governador Dix-Sept Rosado

O município de Governador Dix-Sept Rosado possui coordenadas: 05° 27' 32,4" de latitude Sul e 37°31'15,6" de longitude Oeste, localiza-se na microrregião da Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte. Limita-se com os municípios de Baraúna, Mossoró, Upanema, Caraúbas, Felipe Guerra, Apodi e o Estado do Ceará, abrangendo uma área de 1.263 km² (Figura 1). Apresenta classificação climática segundo Köpper, semiárido quente com precipitação pluvial média anual de 712 mm durante os meses de fevereiro a maio, (BELTRÃO et al., 2005). A temperatura média é de 27 °C e umidade relativa do ar média de 68,9 % e a vegetação natural é a Caatinga hiperxerófila. O solo da área foi classificado como um Cambissolo háplico eutrófico, conforme Souza (2014).

O presente trabalho foi desenvolvido no período de novembro de 2014 a outubro de 2015 no Projeto de Assentamento Terra de Esperança, situado no município de Governador Dix-Sept Rosado no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 2), no âmbito do projeto (Quantificação da Qualidade Física e Química do Solo no Semiárido e na Mata Atlântica no Rio Grande do Norte), em parceria com Programa de Extensão Universitária PROEXT articulado pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e Ministério da Educação (MEC).



Figura 1. Localização da Microrregião da Chapada do Apodi. Fonte: Google maps



Figura 2. Município de Gov. Dix-sept Rosado – RN. Fonte: wikimedia

4.2. Características do Projeto de Assentamento Terra da Esperança, RN.

O Projeto de Assentamento Terra da Esperança (P.A.T.E.) está localizado na porção sudeste da sede do município de Governador Dix-sept Rosado (Figura 3), distando doze quilômetros do centro da cidade. O assentamento é constituído de 113 famílias, onde as mesmas se instalaram no local no ano de 1998 com a posse das terras, concedida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. Foram distribuídos em 30 lotes e cada família ocupou um lote de 30 hectares. Possui uma área total de 6.297 hectares distribuídos em diferentes sistemas de cultivos conforme sequência a seguir: duas (02) áreas coletivas de cultivos, duas (02) áreas de pomar de cajaraneiras, uma (01) área de manejo agroecológico e uma (01) área (de reserva legal), correspondendo a 20 % do total de terras do assentamento. E uma parte da área de mata nativa é manejada em faixas raleadas com integração das atividades agropecuárias e preservação da Caatinga.

A pesquisa foi realizada em cinco áreas com características peculiares quanto aos usos agrícolas e manejo do solo. As áreas de estudo foram: 01 – Área de Mata Preservada (AMP) considerada como referencia; 02 – Área de Pomar de Canjarana (AP), 03 – Área de Consórcio de Milho/Feijão (ACMF) e 04 – Área de Consórcio de Melancia/Jerimum (ACMJ), ambas representando os usos agrícolas do P.A.T.E; e 05 – Área de Cultivo Agroecológico (AA), representando as técnicas de manejo do solo empregadas no assentamento.

Foram coletadas amostras de solos com estrutura deformada e indeformada nas respectivas áreas de estudo na época da estiagem, tendo como base um (01) ha para cada área.



Figura 3. Localização de Gov. Dix-sept. Rosado e do P.A.T.E. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA

4.3. Caracterização das áreas do estudo

Souza (2014) e Marinho (2015) integrantes do Grupo de Pesquisa de Física do Solo da UFERSA, do qual também sou integrante, já desenvolveram outras pesquisas nestas referidas áreas, da qual escreveram dois trabalhos de dissertação de mestrado, trabalhos esses que serviram como base para a descrição das áreas.

4.3.1. Área de Mata Preservada (AMP)

A área de mata preservada (AMP) encontra-se nas coordenadas 5° 31' 10" latitude Sul e 37° 27' 12 " de longitude Oeste, pertence ao senhor José Laurindo da Silva, conhecido popularmente por “Seu Deinha”. O local apresenta uma área de 30 hectares, com predominância de espécies vegetais da Caatinga hiperxerófila, com exemplares de mofumbo (*Combretum leprosum* L.), aroreira (*Schinusterebinthifolius*), marmeleiro (*Cydonia oblonga* Mill) e jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth). Nos períodos de estiagem, a vegetação apresentava bom estado de conservação, com presença abundante de liteira, proporcionado pela manutenção da umidade do solo mesmo em contraste com a seca prolongada. Já no período chuvoso, a caatinga mostra toda a sua exuberância adquirida através da aplicação de técnicas de adaptação aos quais caracterizam a vegetação da caatinga que é a perda das folhas para regulação e ajuste na transpiração, favorecendo assim, o restabelecimento das copas das árvores, por conseguinte, um bom aporte de resíduos vegetais (OLIVEIRA, 2007), (Figura 9).



(A1)



(A2)

Figura 4. (A1) Área de Mata Preservada (AMP) no período chuvoso; (A2) Área de Mata Preservada (AMP) no período seco. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFRSA

4.3.2. Área de Pomar de Cajarana (AP)

A Área de Pomar de Cajaranas (AP), encontra-se nas coordenadas 5° 29' 51,1" de latitude Sul e 37° 27' 14,4" de longitude Oeste. Esta área de produção de cajaranas corresponde a 2,0 hectares, com espaçamento de 10 x 10 m e foram implantadas pelo antigo proprietário, Dix-Huit Rosado na década de 70, a qual possui muitos exemplares de cajaraneiras do gênero *Spondia* sp. A colheita das cajaranas acontece em meados de fevereiro a abril e os assentados conseguem colher cerca de 70 a 80 caixas de 40 quilogramas por semana no auge da safra. Na ocasião da coleta, as plantas apresentaram estado de latência devido ao extenso período seco (cerca de três anos seguidos de estiagem), como características naturais, as plantas são decíduas no período seco com pouca ou nenhuma folhagem e inflorescência, havia também no local uma grande quantidade de folhas secas e caroços dos frutos em baixo das copas das árvores, denotando grande aporte de matéria orgânica no solo. Essa característica, porém é alterada com o início do período chuvoso, quando as plantas começam a rebrotar e o extrato herbáceo torna-se abundante (Figura 7). No local onde se encontravam as cajaraneiras, os assentados criavam caprinos, bovinos, equinos, muares e suínos, onde os animais pastavam o dia todo na área, no sistema extensivo de criação. Atualmente este local foi cercado, impedindo assim a entrada desses animais no pomar, e valorizando ainda mais a qualidade dos frutos oriundos do pomar.



(A1)



(A2)

Figura 5. (A1) Área de Pomar de Cajari *Spondia* sp. (AP) período chuvoso; (A2) Área de Pomar de Cajari *Spondia* sp. (AP) período seco. Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA

4.3.3. Área de Consórcio de Milho/Feijão (ACMF)

A Área de Consórcio de Milho/Feijão (ACMF) encontra-se nas coordenadas 5°39'11,6" latitude Sul e 37°27'29,0" longitude Oeste (Figura 5), e compreende uma área de aproximadamente 80 hectares sendo que desse total, um (01) ha da área foi usada como referência para coleta de amostras de solo, conforme acima citado, cultivados de forma consorciada com milho (*Zea mays*) e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.).

A vegetação existente na área é a Caatinga hiperxerófila decídua, com exemplares predominantes das espécies: mofumbo (*Combretum leprosum* L.), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) e jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth.).

Esta área apresenta um preparo intensivo do solo, a qual passou por um preparo do solo de forma convencional, ou seja, uma aração (01) e duas gradagens (02), manejo esse, realizado anualmente desde janeiro de 2005. Embora seja uma área de preparo do solo de forma intensivo, a mesma não é fertilizada com adubos industriais (somente o uso de adubos orgânicos). A queimada dos restos culturais era uma prática corriqueira realizada para limpar o terreno por ocasião da colheita nos anos de invernos regulares e com o passar dos anos vem sendo abolidas, por entender que essa prática causa mais prejuízos que benefícios, conforme relatos dos agricultores. A semeadura é realizada a lanço, os cultivos são desenvolvidos apenas no período chuvoso, uma vez que os assentados não dispõem de água e um sistema de irrigação para uso nos períodos de entressafra ou para realizar a irrigação de salvação, como é chamado pelos mesmos.



(A1)



(A2)

Figura 6. (A1) Área de Consórcio Milho/Feijão no período seco (ACMF); (A2) Área de Consórcio Milho/Feijão no período chuvoso (ACMF). Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA

4.3.4. Área de Consórcio de Melancia/Jerimum (ACMJ)

A Área de Consórcio de Melancia/Jerimum (ACMJ) encontra-se nas coordenadas: 5° 30'39,1'' de latitude Sul e 37° 27' 48,6'' de longitude Oeste. Durante a época chuvosa, esta área fica saturada inviabilizando o cultivo nesse período do ano. Ao final da estação chuvosa essa saturação é diminuída possibilitando aos agricultores plantação de algumas culturas como: melancia e jerimum.

O preparo de solo realizado na área segue os mesmos manejos de preparo do solo realizado na área de consórcio de milho/feijão (ACMF). No período em que ocorreu a coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo (janeiro e fevereiro de 2015), o local estava em pousio há quase três anos, devido ao longo período de estiagem, aos quais são comumente caracterizados como anos de seca. Assim nos períodos de seca prolongada, devido à exposição do solo à radiação solar, praticamente não há nessa área a presença de plantas espontâneas, aparecendo apenas alguns exemplares de (*Sida rhombifolia* L.). Já na estação chuvosa a área permanece totalmente vegetada por plantas espontâneas, mas inapto para o preparo do solo para o cultivo devido ao excesso de umidade (Figura 6).



(A1)



(A2)

Figura 7. (A1) Área de Consórcio Melancia/Jerimum no período seco (ACMJ); (A2) Área de Consórcio Melancia/Jerimum no período chuvoso (ACMJ). Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA

4.3.5. Área de Cultivo Agroecológico (AA)

A área de cultivo agroecológico (AA) encontra-se nas coordenadas 5°30'23,302" latitude Sul e 37°27'5,877" longitude Oeste (Figura 4). Foi implantada no ano de 2005 e surgiu a partir da iniciativa dos associados do Projeto de Assentamento, do qual famílias passaram por um processo de formação em Agroecologia e convivência com o semiárido. Essas famílias determinaram que o objetivo principal do sistema agroecológico seria a produção de alimentos (frutíferas) e (forrageiras) para atender as necessidades das famílias e dos animais. E também como metas essenciais estabeleceram a conservação dos recursos naturais, como por exemplo: a extinção do uso de queimadas, de venenos e a preservação da sucessão natural das plantas. Essa unidade está inserida em uma área coletiva de 1,0 ha, onde as atividades realizadas para implantação foram: raleamento das espécies predominantes com critérios estabelecidos pela vivência das famílias, proporcionando assim, suporte forrageiro para criação de animais e aumento da diversidade de espécies vegetais, para tanto, a área foi cercada com arame, de modo a impedir a invasão e passagem de animais; os resíduos das plantas raleadas foram picotados às partes finas, com auxílio de facão e espalhadas na superfície do solo, tendo como finalidade o controle do processo erosivo; construção dos camalhões com resíduos vegetais mais grosseiros e lenhosos, como contenção do escoamento superficial e favorecimento da infiltração de água no solo, e foi realizado o plantio de mudas frutíferas e exóticas adaptadas ao semiárido.

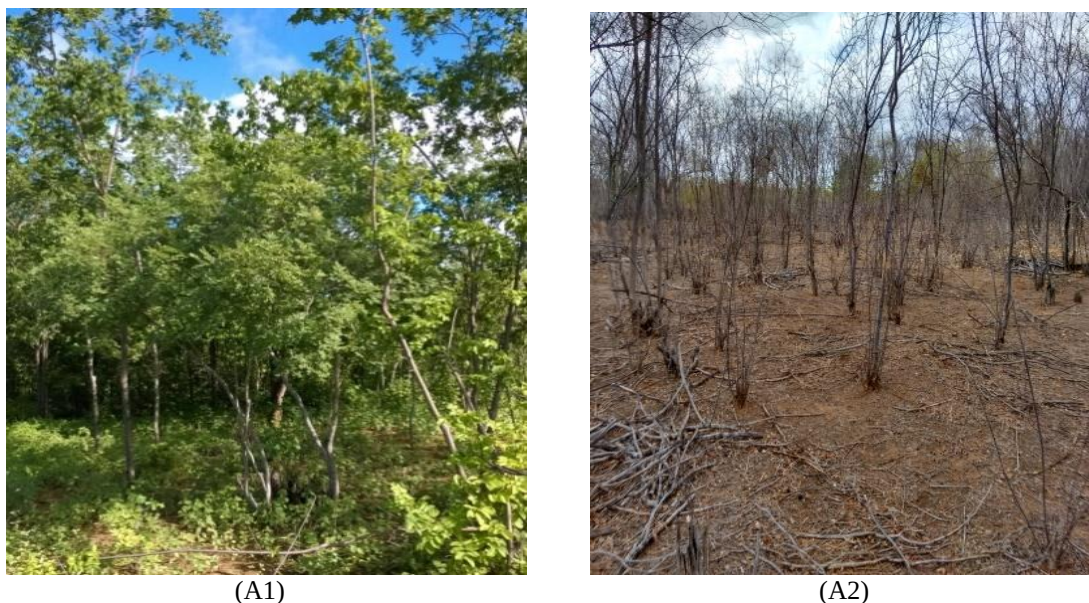


Figura 8. (A1) Área Agroecológica (AA) no período chuvoso, (A2) Área Agroecológica (AA) no período seco.
Fonte: Grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo - UFERSA

4.4. Amostragem das áreas em estudo e o beneficiamento das amostras para realização das análises

Para a coleta de amostras de solos foram escolhidas cinco áreas de diferentes usos agrícolas: 01 – Área de Mata Preservada (AMP), 02 – Área de Pomar de CANJARANA (AP), 03 – Área de Consórcio de Milho/Feijão (ACMF), 04 – Área de Consórcio de Melancia/Jerimum (ACMJ) e 05 Área de Cultivo Agroecológico (AA), considerando a AMP como referência. Para a realização das análises laboratoriais, foram coletadas cinco amostras compostas, oriundas de 15 subamostras, em quatro pontos, nas camadas (0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m), em todas as áreas supracitadas coletou-se amostras com estrutura deformada e indeformada.

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 de densidade do solo. Coletou-se 10 (dez) amostras indeformadas por uso agrícola, nas respectivas camadas. E também coletou-se blocos (indeformados) com o auxílio de uma pá reta, amostras essas que foram passadas em peneira de 4,00 mm conjugada com peneira de 2,00 mm, e utilizou-se os agregados retidos na peneira de malha de 2,00 mm para as análises de agregados e análises químicas de cálcio, magnésio e matéria orgânica do solo dentro de cada classe de agregado. Para análise do carbono, subamostras de TFSA das classes de agregados do solo foram trituradas, passadas em peneira de 0,210 mm (60 mesh).

As amostras deformadas foram coletadas com um trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos e, depois levadas ao Laboratório de Pesquisa da UFERSA. Posteriormente,

elas secaram ao ar, depois destorroadas e passadas em peneiras de 2,00 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As quais foram submetidas às análises físicas de granulometria e densidade de partículas, e químicas de macronutrientes.

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 Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP/DCAT/UFERSA).

4.5. Análise química do solo

4.5.1. Caracterização química do solo

As propriedades químicas avaliadas foram: potencial hidrogeniônico (pH) em água por potenciometria. Condutividade elétrica (CE) em água no condutivímetro. Carbono orgânico total (COT) por digestão da matéria orgânica (Amostra foi triturada e passada em peneira de 80 mesh, depois adicionado dicromato de potássio e levada em chapa aquecedora, na sequencia adicionado ácido ortofosfórico e água destilada, sendo titulada com sulfato ferroso amoniacal 0,05 M).

Teor de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) por titulometria, onde a obtenção se deu pela determinação de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ utilizando coquetel (Solução tampão e trietanolamina), ácido ascórbico e indicador negro de eriocromo e a titulação foi com EDTA 0,0125 M. O teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) com extrator cloreto de potássio, utilizando ácido ascórbico e indicador ácido calcon, e também titulado com EDTA 0,0125 M. E o magnésio trocável (Mg^{2+}) foi obtido pela diferença entre Ca^{2+} e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

O fósforo (P) por colorimetria, utilizando como meio extrator a solução extratora duplo-ácida (HCL 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M), e para determinação adicionou-se mobilizado de amônio e ácido ascórbico. O sódio (Na^+) e potássio (K^+) foi extraído pela mesma solução que o fósforo e a determinação foi obtida no espectrofotometro de chama, consequentemente foi calculada a percentagem de sódio trocável (PST), sendo todas as análises determinadas conforme metodologia descrita por Donagema et al. (2011). Os resultados dos atributos químicos foram interpretados conforme tabelas de recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, (RIBEIRO et al., 1999).

4.5.2. Matéria orgânica do solo, Ca^{2+} e Mg^{2+} dos agregados

Realizou-se a análise de MOS, Ca^{2+} e Mg^{2+} dentro de cada classe de agregado, onde as amostras de agregados do solo dentro das classes (2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm e 0,25 mm)

foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,00 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), sequencialmente obteve-se os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ utilizando coquetel (Solução tampão e trietanolamina), ácido ascórbico e indicador negro de eriocromo e a titulação foi com EDTA 0,0125 M. O teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) com extrator cloreto de potássio, utilizando ácido ascórbico e indicador ácido calcon, e também titulado com EDTA 0,0125 M. E o magnésio trocável (Mg^{2+}) foi obtido pela diferença entre Ca^{2+} e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Para determinar a matéria orgânica do solo (MOS), a amostra foi triturada e passada em peneira de 80 mesh, depois adicionado dicromato de potássio e levada em chapa aquecedora, na sequencia adicionado ácido ortofosfórico e água destilada, sendo titulada com sulfato ferroso amoniacal 0,05 M, ambas as análises foram determinadas conforme metodologia descrita (DONAGEMA et al., 2011).

4.6. Análise física do solo

4.6.1. Distribuição e tamanho das partículas minerais do solo – granulometria

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 (2,00 – 0,05 mm) foi obtida por tamisagem, argila (< 0,002 mm) por sedimentação e o silte (0,05 – 0,002) por diferenciação, seguindo a metodologia descrita no manual de métodos de análises físicas (DONAGEMA et al., 2011). E em algumas amostras foi empregado o pré-tratamento utilizando ácido clorídrico (HCL), com o objetivo de remover os agentes cimentantes inorgânicos (carbonatos, principalmente). Utilizou-se amostras com estrutura deformada, após secas ao ar, desagregadas e passadas em peneira com 2,00 mm de abertura de malha.

4.6.2. Densidade de Partículas

A análise de densidade de partículas foi realizada pelo método do balão volumétrico, utilizando-se terra fina seca em estufa (TFSE) a 105°C e álcool etílico, (DONAGEMA et al., 2011).

$$D_p = \frac{ms}{vs}$$

Em que:

Ds = Densidade de partículas ou densidade dos sólidos (kg. m³)

ms = Massa de solo seco a 105° (kg)

vs = volume de sólidos (m³)

4.6.3. Densidade do solo

A Densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme descrito por Forsythe (1975) e expressa em kg.dm^{-3} . Foram coletadas dez (10) amostras indeformadas de solo, dentro de cada área de estudo, nas camadas de solo 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m, utilizando-se anéis volumétricos com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, e tomando-se a média dos valores obtidos, sendo representada pelo quociente da massa das partículas sólidas do solo pelo volume total do solo. Obtido pela expressão:

$$D_s = \frac{m_s}{v_t}$$

Em que:

D_s = Densidade do solo (kg.dm^{-3})

m_s = Massa de solo seco a 105° (kg)

v_t = volume total de solo (dm^{-3})

4.6.4. Macro, micro e porosidade total

Para determinação da porosidade total, macro e microporosidade, foram coletadas dez (10) amostras indeformadas de solo, dentro de cada área de estudo, nas camadas de solo 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m, utilizando-se anéis volumétricos com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, utilizou-se mesa de tensão saturada com água, sem bolhas de ar na coluna, na tensão de 6 kPa. Após a aplicação da tensão, aguardou-se 12 a 24 horas até que a amostra entrasse em equilíbrio, ou seja, até quando a água deixou de ser drenada.

4.6.5. Curva de retenção de água no solo

Para determinação das curvas de retenção de água foram utilizadas amostras com estrutura indeformada, coletadas nas seguintes camadas do solo 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m. Coletou-se dez amostras por camada para elaboração da curva de retenção, utilizando aparelho tipo Uhland. Cada anel, com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Após a coleta, os anéis foram revestidos com papel laminado e, posteriormente, levados ao laboratório com o cuidado de manter a estrutura e a umidade do solo original. Para elaboração da curva de retenção, aplicou-se as tensões 2; 6; 10; 33; 100; 500 e 1500 kPa. A mesa de tensão foi utilizada para aplicação das tensões 2; 6 e 10 kPa, câmaras de baixa tensão para os pontos 33 e 100 kPa e de alta tensão para os pontos 500 e 1500 kPa. As amostras ficaram mantidas, tanto nas mesas de tensão como nas câmaras de pressão, pelo tempo necessário para atingir o equilíbrio, ou seja, até o momento em que não houve mais drenagem de água. 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 considera o potencial mátrico (ϕ_m), como variável independente e a umidade volumétrica (θ), como variável dependente:

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

Em que: θ_r = umidade volumétrica residual ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), θ_s = umidade volumétrica saturada ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), $|\phi_m|$ = potencial mátrico (kPa) e α , 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) definiu-se na tensão de 33 kPa que representa a condição de solos argilosos. O ponto de murcha permanente (PMP), na tensão de 1500 kPa. E a água disponível foi determinada pela diferença entre CC e PMP.

4.6.6. Estabilidade de agregados

Para o estudo dos agregados a amostragem do solo foi realizada utilizando uma pá reta em camadas de 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m. Os blocos extraídos nessas camadas foram então passados em peneiras com abertura de malha de 4,00 e 2,00 mm (conjuntamente). Os agregados que ficaram retidos na peneira de 2,00 mm foram acondicionados em latas bem fechadas para evitar a perda de umidade. Utilizou-se o método de peneiramento via úmido segundo orientações: Duas amostras de 25 g cada, após serem pré-umedecidas, foram transferidas para um conjunto de 4 peneiras com diâmetros de malha: 4,76 a 2,00 mm; 2,00 a 1,00 mm; 1 a 0,5 mm e 0,5 a 0,25 mm. Após a separação dos agregados obtida por agitação em água através do aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto), as amostras foram levadas a estufa para secagem a 105°C. Após a obtenção da massa seca e descontada o teor de areia, obteve-se a distribuição do tamanho dos agregados, a percentagem de agregação e de agregados estáveis em água e o diâmetro médio ponderado para cada uma das classes. O procedimento foi feito também, utilizando 100 g de agregados, os quais após serem pré-umedecidos, foram transferidos para o conjunto das 4 peneiras, já mencionadas anteriormente, e após a separação dos agregados, esses foram submetidos as análises químicas de cálcio, magnésio e carbono orgânico total.

4.7. Análise estatística e interpretação dos resultados

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) e o método estatístico para analisar distinção entre as variáveis foi à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram submetidos ao teste de Tukey a 5 % de probabilidade, com utilização do programa estatístico SAE 9.0, para distinção das áreas pesquisadas em função das potencialidades ou restrições do ambiente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quadro 1. Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN

Variáveis	Média			Mediana			Desvio padrão			Coeficiente de variação		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
pH (água)	7,40	7,12	7,30	7,25	6,85	7,05	0,10	0,17	0,16	1,35	2,36	2,15
CE (ds m ⁻¹)	0,23	0,11	0,02	0,15	0,04	0,04	0,17	0,14	0,03	73,63	128,39	155,00
MOS (g.kg ⁻¹)	30,87	17,47	15,71	19,61	17,37	16,20	3,78	0,54	1,03	12,25	3,08	6,57
P(mg.dm ⁻³)	2,56	2,11	0,96	2,81	2,69	1,06	0,70	0,94	0,79	27,41	44,50	82,51
k ⁺ (mg.dm ⁻³)	0,54	0,33	0,27	0,34	0,24	0,23	0,05	0,03	0,04	8,38	10,11	15,46
Na ⁺ (mg.dm ⁻³)	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	18,43	17,51	10,10
Ca ²⁺ (cmolc.dm ⁻³)	15,01	11,62	12,09	14,68	11,10	13,43	2,03	1,48	1,31	13,50	12,71	10,87
Mg ²⁺ (cmolc.dm ⁻³)	2,74	3,08	2,26	2,40	2,60	2,37	0,91	0,93	0,45	33,06	30,29	20,06
PSt (%)	0,38	0,36	0,42	0,37	0,32	0,30	0,15	0,16	0,11	38,23	45,31	25,74
Areia (g.kg ⁻¹)	0,43	0,38	0,37	0,44	0,37	0,37	0,05	0,06	0,11	11,58	16,71	29,70
Silte (g.kg ⁻¹)	0,16	0,15	0,15	0,17	0,17	0,18	0,04	0,04	0,04	24,08	28,14	24,78
Argila (g.kg ⁻¹)	0,41	0,47	0,48	0,38	0,46	0,46	0,03	0,05	0,12	6,53	11,35	24,91
Dp (Kg dm ⁻³)	2,50	2,50	2,51	2,51	2,52	2,50	0,07	0,09	0,05	2,87	3,74	1,97
Ds (Kg dm ⁻³)	1,28	1,32	1,32	1,33	1,32	1,34	0,22	0,18	0,11	17,31	13,65	8,48
PT (cm ³ cm ⁻³)	0,51	0,57	0,53	0,53	0,59	0,51	0,09	0,17	0,23	17,16	29,31	43,77
Macro (cm ³ cm ⁻³)	0,17	0,18	0,18	0,15	0,16	0,18	0,05	0,07	0,09	30,70	36,76	52,65
Micro (cm ³ cm ⁻³)	0,38	0,39	0,36	0,38	0,39	0,36	0,16	0,05	0,09	41,09	13,57	25,59
CC (cm ³ cm ⁻³)	0,17	0,18	0,17	0,17	0,19	0,16	0,03	0,05	0,06	15,95	26,09	36,16
PMP (cm ³ cm ⁻³)	0,11	0,11	0,09	0,10	0,12	0,10	0,02	0,05	0,03	20,95	45,18	31,78
AD (cm ³ cm ⁻³)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,02	0,02	0,03	25,97	29,44	46,53
Agregação (%)	33,76	29,01	25,89	34,68	29,58	26,91	5,11	7,11	4,48	15,13	24,52	17,31
Est. De Agreg. (%)	38,97	34,99	33,29	40,65	35,91	32,39	5,87	15,29	8,46	15,07	43,69	25,41
DMP (mm)	0,61	0,62	0,54	0,66	0,68	0,58	0,06	0,17	0,18	9,85	28,10	33,10

COT – Carbono orgânico total; PST – Percentagem de sódio trocável; Dp – Densidade de partículas; Ds – Densidade do solo; PT – Porosidade total; CC – Capacidade de campo; PMP – Ponto de murcha permanente; AD – Água disponível; Est. De Agreg – Estabilidade de agregados; DMP – Diâmetro médio ponderado.

O quadro 1 apresenta o resumo da análise estatística descritiva dos atributos físicos e químicos em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN. Em relação aos dados de Coeficiente de variação (CV) obtidos na pesquisa, os que mais se destacaram, apresentando valores altíssimos de acordo com Gomes (2000) foram a condutividade elétrica (CE) em ambas as camadas, com acréscimo nas subjacentes, seguida pelo fósforo (P), macroporosidade e água disponível (AD). A variabilidade encontrada para essas variáveis pode ser justificada pela influência dos diferentes sistemas de cultivos e manejo do solo adotados nas áreas do estudo.

5.1. Análise química do solo

5.1.1. Caracterização química do solo

No Quadro 2 são apresentados os valores médios dos atributos químicos de um Cambissolo Háplico, em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN, na Chapada do Apodi-RN. Analisando o pH em água, constatou-se que independente da camada, tanto na área agroecológica, quanto nos diferentes manejos do solo e na mata nativa, caracterizaram-se, segundo a classificação química, por apresentarem uma acidez fraca a alcalinidade moderada, com pH variando entre a 6,6 a 8,0, isto tendo como referência as Recomendações para usos de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999) (Quadro 2). Os maiores valores de pH foram encontrados no solo sob pomar de cajarana (AP) 7,9 seguido, de áreas consorciadas com melancia e jerimum (ACMJ) (7,7) e, milho e feijão (ACMF) (7,4) na camada de 0,00-0,10 m.

Nas camadas mais profundas, tanto de 0,10-0,20, quanto de 0,20-0,30 m, os maiores valores de pH foram em ACMJ com pH em torno de 8,0. Esses altos valores de pH, provavelmente, atribui-se ao material de origem que são as rochas carbonáticas pertencente à Formação Jandaíra, sobreposta aos arenitos da Formação Açú (CPRM, 2010). Essas rochas calcárias foram constituídas através da sedimentação e

posteriormente diagênese, onde os sais da água marinha se precipitaram formando carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, essas rochas sedimentares são compostas, basicamente, por calcita (CaCO_3), que ao intemperizar auxiliam no aumento de pH.

Esses valores alto de pH servem de alerta pois, para a maioria das plantas a faixa favorável para o crescimento é 5,5 a 6,5. Essa preocupação advém do pH afetar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, assim, a medida que o pH do solo aumenta, diminui a disponibilidade especialmente de micronutrientes como ferro, cobre, manganês e zinco, e acima de 7,5 reduz também o boro. Além da precipitação do fósforo com cálcio (NOVAIS et al., 2007). Assim, caso seja feita algum tipo de irrigação, deve-se preocupar-se com a qualidade da água, uma vez que, essa água com maior quantidade de sais pode causar maiores transtornos a médio prazo. Dados que corroboram com esses valores foram encontrados por, Artur et al. (2014) na Chapada do Apodi-Ceará, que verificando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo associada ao microrelevo, encontraram valores de pH em torno de 7,3 a 7,9 (0,00-0,20 m) e Fialho et al. (2006) encontraram valores próximos de pH em solos cultivados com bananeira em torno de 7,8 e 7,4 e menor em áreas sob caatinga 6,7 e 6,5 nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,15 m, respectivamente.

Quadro 2. Médias dos atributos químicos em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	pH (água)	CE	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	PST
		dS m ⁻¹	g.kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		%
0,00-0,10 m									
AMP	7,0 d	0,08 b	22,39 b	0,34 b	0,26 b	0,03 b	10,93 c	2,66 b	0,22 b
AP	7,9 a	0,26 b	73,63 a	5,07 b	0,34 b	0,07 b	16,91 a	1,93 b	0,36 b
ACMF	7,4 c	0,13 b	19,14 b	1,77 b	0,33 b	0,06 b	13,76 b	2,12 b	0,37 b
ACMJ	7,7 b	0,15 b	19,59 b	3,55 b	0,16 c	0,06 b	17,87 a	2,13 b	0,30 b
AA	7,0 d	0,54 a	19,62 b	2,07 b	1,61 a	0,12 a	15,59 a	4,84 a	0,66 a
C.V	1,35	6,72	12,25	27,41	8,38	18,43	13,5	33,06	38,23
Média Geral	7,40	0,23	30,87	2,56	0,54	0,07	15,01	2,74	0,38
0,10-0,20 m									
AMP	6,6 c	0,01 b	17,37 a	0,03 b	0,19 b	0,02 b	7,99 b	2,37 c	0,19 d
AP	6,6 c	0,03 b	17,36 a	0,19 b	0,20 b	0,02 b	7,94 b	2,45 c	0,19 d
ACMF	7,6 b	0,03 b	17,84 a	2,07 b	0,27 b	0,07 b	13,79 a	2,75 c	0,41 c
ACMJ	8,0 a	0,05 b	17,90 a	3,30 b	0,10c	0,04 b	15,17 a	2,38 c	0,23 d
AA	6,8 c	0,43 a	16,87 a	4,96 b	0,90 a	0,13 a	13,2 a	5,46 b	0,78 b

C.V	2,36	4,39	3,08	44,5	10,11	17,51	12,71	30,29	45,31
Média Geral	7,12	0,11	17,47	2,11	0,33	0,06	11,62	3,08	0,36
0,20-0,30 m									
AMP	6,6 c	0,002 b	16,71 a	0,01 b	0,17c	0,02 b	7,92 b	2,38 b	0,19 b
AP	7,8 b	0,04 b	15,90 a	0,26 b	0,27 c	0,03 b	14,28 a	1,90 b	0,18 b
ACMF	7,5 b	0,025 b	16,31 a	1,83 b	0,19 c	0,07 b	14,63 a	2,39 b	0,41 b
ACMJ	8,0 a	0,04 b	16,20 a	0,28 b	0,10 d	0,03 b	15,09 a	2,36 b	0,17 b
AA	6,6 c	0,08 b	13,45 a	2,41 b	0,62 b	0,16 a	12,58 a	2,26 b	1,17 b
C.V	2,15	2,68	6,57	10,51	15,46	10,10	10,87	20,06	25,74
Média Geral	7,3	0,02	15,71	0,96	0,27	0,06	12,09	2,26	0,42

AMP - área de Mata Preservada, AP - área de Pomar de Cajarana, ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, ACMJ - área de Consórcio Melancia/Jerimum (colúvio), AA - área de Cultivo Agroecológico COT – Carbono orgânico total; PST – Percentagem de sódio trocável. Médias seguidas de mesma letra na não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$).

A condutividade elétrica (CE) corresponde à medida da capacidade dos íons presentes na água conduzir eletricidade e cresce proporcionalmente ao aumento da concentração de sais (RIBEIRO et al., 2005). Com relação à CE, verificou-se aumento em todos os tratamentos quando comparado com a mata preservada, apesar desse aumento da condutividade elétrica (CE) nos solos onde foram manejados, não foi comprovado estatisticamente, com exceção do solo sob sistema agroecológico (AA) (0,54 e 0,43 dS.m^{-1} de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m), esses valores são menores que o encontrado por Fialho et al. (2006), cuja a condutividade elétrica foi em média de 0,32 dS.m^{-1} e também não diferiu entre as áreas cultivadas e naturais.

Na análise do carbono orgânico total (COT) observou-se uma superioridade do solo sob pomar de cajarana (AP) (73,64 g kg^{-1}), sendo essa restrita à camada superficial (0,00-0,10 m). Nos demais sistemas de manejo os teores foram semelhantes à mata nativa. Em camadas maiores, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, não detectaram-se diferenças significativas entre os tratamentos (Quadro 3). A maior quantidade de COT encontrados nas áreas de pomar de cajarana (AP), provavelmente, deve-se ao aporte de serapilheira encontrada no local, associada ao excremento de animais (caprinos, bovinos, equinos e muare) no pastejo na área. Segundo Silva & Mendonça, (2007) a entrada de carbono no solo está relacionada, principalmente com o aporte de resíduos vegetais, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonados pelos macro e microrganismos do solo, associado ao incremento de adubo orgânico.

Na serapilheira além das folhas são encontrados, galhos finos e grossos, e carapaças de animais, os quais possuem elevada relação C/N (> 25) e altos teores de lignina e

polifenóis que sofrem decomposição mais lenta (MYERS et al., 1994). Estudos mostram que, quando os componentes de planta são mais lignificados e aromáticos, se decompõem mais lentamente, favorecendo a manutenção de substâncias orgânicas no solo (KUZUYAKOV & DOMANSKI, 2000), fato este, que contribuem para os incrementos nos teores de COT, principalmente nas camadas mais superficiais. Analisando áreas com e sem aplicação de esterco em propriedades de agricultura familiar, no Agreste da Paraíba, Galvão et al. (2008) observaram que o teor médio de C das áreas adubadas foi quase o dobro das não adubadas, na camada de 0,00–0,20 m, e apesar de aumentar entre 20 e 30% de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, nestas camadas não atingiram significância estatística. Os autores atribuíram o aumento de carbono ao teor médio de lignina (14 %), substância de lenta decomposição e precursora de substâncias húmicas (VANLAUWE et al., 2005).

O fósforo é um nutriente que tem como particularidade o alto grau de interação com o solo. Essa característica, associada à sua deficiência em vastas áreas da agricultura brasileira, fez desse elemento o mais crítico nas adubações nas últimas décadas. Analisando os teores de fósforo disponíveis nos solos, estes se encontram em todos os sistemas de manejo de muito baixo ($\leq 4,0 \text{ mg dm}^{-3}$) à baixo ($\leq 4,1-8,0 \text{ mg dm}^{-3}$) segundo critérios de Ribeiro et al. (1999), não detectando diferença estatística entre os tratamentos (Quadro 3). Em solos sob Caatinga, Menezes et al. (2012) relataram que, em geral, os solos são deficientes em nutrientes, principalmente N e P, sendo a concentração média na camada superficial (0,00-0,20 m) de P total é de $19,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Raij (2011), estudando os teores totais de fósforo em solos observou que variam um pouco mais de zero (em solos muito arenosos) até 2.000 a 3.000 mg.kg^{-1} ou (0,2 a 0,3 %, respectivamente), levando em consideração que na solução do solo os teores deste elemento são muito baixos.

Analisando sódio no solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m (Quadro 2), verificou-se que apenas a área agroecológica (AA) diferiu dos outros usos agrícolas e da mata preservada. Podendo ser justificado pela área apresentar condições favoráveis de fornecimento de nutrientes. Segundo Khiel (1979), solos em áreas de cultivo agroecológico oferecerem bom suprimento de nutrientes.

Com relação aos teores de potássio, cálcio e magnésio no solo, observou-se, independente das camadas, que de modo geral, a área agroecológica apresentou os maiores teores de K^+ e Ca^{+2} , devido provavelmente a dissociação do carbonato de cálcio do material de origem e mineralização da matéria orgânica (Quadro 2). As áreas estudadas estão sobre calcário da Formação Jandaíra, que, em determinados locais, é recoberto por sedimentos arenosos mais recentes do Grupo Barreiras (ANGELIM, 2007).

Aliado a isso, o fato de encontrar-se numa região semiárida de baixo intemperismo, regime pluvial irregular e temperaturas elevadas, há favorecimento para a manutenção das bases trocáveis e praticamente toda a CTC do solo está ocupada por cátions essenciais (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) proveniente principalmente do material de origem conferindo boa fertilidade natural desses solos (MARINHO, 2015). Segundo Ribeiro et al. (1999) valores de K^+ , Ca^{+2} e $\text{Mg}^{+2} \geq$ a 0,19-0,30, 2,41-4,00 e 0,91-1,50, respectivamente, são considerados bons, sendo que a maioria dos cultivos estudados estão dentro dessas faixas, com exceção do solo sob consórcio de melancia e Jerimum (ACMJ) com valores considerados de médio a baixo. Deve-se atentar que a interpretação e recomendação de qualquer nutriente deve ser realizada de acordo com a exigência da cultura e expectativa de produtividade esperada.

Em relação K^+ disponível no solo, na área com sistema de manejo agroecológico (AA) houve um aumento de 519, 373 e 264 % no teor de K^+ em relação à mata nativa e, quanto ao manejo convencional em solos consorciado com milho e feijão (ACMF), esse aumento foi de 314, 350 e 129 % (Quadro 2) nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente sendo esse níveis considerados muito bom segundo Ribeiro et al. (1999) demonstrado a melhoria no solo com esse tipo de cultivo. A mesma tendência de superioridade em relação aos demais sistemas de manejo em AA foi observado para os teores disponíveis de Ca^{+2} (15,59, 13,2 e 12,58 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Mg^{+2} (4,84, 5,46 e 2,26 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas três camadas estudadas, respectivamente.

Avaliando alguns atributos químicos do solo sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco, Corrêa et al. (2009) observaram que as práticas agrícolas (culturas de ciclo curto, fruticultura e pastagem) modificaram os atributos químicos do solo, apresentando maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P e maiores valores de pH e CE nestes solos, quando comparados ao uso do solo com vegetação natural (caatinga). Buscando um diagnóstico de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em 21 unidades de produção agroecológica (UPAs) na Mesorregião do Agreste Paraibano, Jesus (2005) concluiu que o aporte contínuo de resíduos orgânicos têm promovido elevações consideráveis nos valores de pH e nos teores de MO, P, K, Ca, Mg, SB e V na maioria das UPAs. Souza et al. (2003) cita que através do monitoramento das características químicas e de fertilidade dos solos sob sistema orgânico, durante 10 anos (1990 a 1999), verificou elevação nos teores de P em 390 % (de 46,0 para 225,6 mg dm^{-3}) e de 92 % nos teores de K^+ (de 144 a 276 mg dm^{-3}).

5.1.2. Matéria orgânica do solo, Ca^{2+} e Mg^{2+} dos agregados

Analisando o teor de matéria orgânica do solo (MOS) dentro dos agregados, somente na camada de 0,00-0,10 m, observaram-se comportamentos distintos entre os sistemas agrícolas estudados. Sistemas de uso e manejo onde os teores de carbono orgânico total (COT) são maiores (Quadro 2), como é o caso da mata preservada (AMP), área agroecológica (AA) e área de pomar de cajaranas (AP), apresentaram maiores teores de MOS nas menores classes de agregados (0,5 e 0,25 mm) (Quadro 3), indicando que a matéria orgânica é essencial no processo inicial da agregação em zonas semiáridas. Todavia, em sistema de plantio convencional, independente da cultura (ACMF e ACMJ), não houve diferença da MOS nas classes de agregados (Quadro 3). Braida et al. (2011) numa ampla revisão de literatura relata a importância da matéria orgânica dos estágios iniciais da agregação. Tisdall & Oades (1982) mostraram que a matéria orgânica exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados do solo, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes, o que está de acordo com o mecanismo proposto por Edwards & Bremner (1967).

No processo de formação dos agregados, os microagregados ($< 0,25$ mm) são formados por moléculas orgânicas ligadas à argila, por meio de cátions polivalentes, formando partículas (argila – cátions polivalentes - moléculas orgânicas). Estas partículas juntam-se para formar os macroagregados ($> 0,25$ mm), com compostos orgânicos de diferentes origens, funcionando com agentes de ligações entre os microagregados (BRONICK & LAL, 2005; TISDALL & OADES, 1982). MEURER, (2000) relata que a matéria orgânica do solo (MOS) tem um papel fundamental na formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo, são resultantes da aproximação e da união entre as partículas (devido a forças de pressão e carga elétricas de superfície) e de sua estabilização pela ação de agentes cimentantes ou aglutinadores, como a matéria orgânica e os óxidos de ferro.

Quadro 3. Distribuição dos teores de MOS, Ca^{+2} e Mg^{+2} disponível nas classes de agregados em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, na camada de 0,00-0,10 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	Classe de agregados (mm)			
	2,00	1,00	0,50	0,25
MOS				
AMP	28,07 bB	28,19 bB	35,37 aA	34,14 aA
AP	28,31 bA	31,02 bA	35,45 aA	37,38 aA
ACMF	17,91a C	20,36aB	16,66 aC	17,83 aB

ACMJ	13,06 aC	16,21 aB	17,32 aC	16,82 aB
AA	30,64 bA	32,49 bA	36,66 aA	36,52 aA
C.V	25,80	23,48	23,13	29,62
Média Geral	23,59	25,65	28,29	28,54
Ca²⁺				
AMP	8,15 bA	10,24 aA	10,20aA	10,87 aA
AP	11,62 aA	14,34 aA	14,04 aA	14,95 aA
ACMF	12,66 aA	13,77 aA	15,11 aA	14,15 aA
ACMJ	13,53 aA	14,19 aA	15,02 aA	15,35 aA
AA	10,11 aA	10,85 aA	13,16 bA	13,38 bA
C.V	21,78	24,67	34,17	31,07
Média Geral	11,21	12,68	13,51	13,74
Mg²⁺				
AMP	6,75 aA	4,34 aA	3,70 bA	3,87 bA
AP	5,62 aA	4,37 aA	4,24 aA	3,05 bA
ACMF	2,26 bB	2,17 bA	2,21 bA	4,95 aA
ACMJ	1,03 bB	5,79 aA	5,62 aA	5,65 aA
AA	5,01 aA	1,95 bB	2,16 bA	3,48 bA
C.V	69,35	50,25	34,04	44,49
Média Geral	4,13	3,72	3,59	4,20

AMP - área de Mata Preservada, AP - área de Pomar de Cajarana, ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, ACMJ - área de Consórcio Melancia/Jerimum, AA - área de Cultivo Agroecológico. Letra minúscula refere-se à linha classe de agregados e letra maiúscula refere-se à coluna ao sistema de uso agrícola e manejo do solo. Médias seguidas de mesma letra na não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$).

Com relação aos cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} disponíveis dentro dos agregados, observou-se que com o Ca^{+2} ocorreu de forma similar a MOS, ou seja, houve aumento de Ca^{+2} , e diminuição do Mg^{+2} nos solos sob mata nativa, sistemas agroecológicos e o pomar, demonstrando estreita relação do Ca^{+2} e MOS, principalmente nos estágios iniciais da agregação (Quadro 3). Assim, no semiárido constata-se que mesmo em solos onde há fragilidade na decomposição da MOS, a mesma está associada ao Ca^{+2} , sendo fundamentais nos estágios iniciais da agregação. Em solos sob plantio convencional observou-se um aumento no teor de Mg^{+2} , de acordo com a diminuição das classes de agregados, constatando que este cátion não é tão eficiente quanto o Ca^{+2} na agregação do solo (Quadro 7).

A agregação do solo depende além da matéria orgânica, dos cátions adsorvidos sobre a superfície e de sua concentração eletrolítica na solução do solo (DEXTER, 1991). Onde os íons de Ca^{2+} adsorvidos são altamente desejáveis, uma vez que ligam às partículas de argila, de matéria orgânica e de óxidos de ferro, para dar início a formação de agregados (CARPENEDO, 1985). A interação de compostos orgânicos com cátions divalentes, como o cálcio, pode melhorar a agregação do solo e polimerizar as moléculas orgânicas,

formando complexos organo-metálicos mais estáveis, (VASCONCELOS, 2010) tendo em vista que o cálcio apresenta ação floculante, contribuindo com a agregação do solo.

O cálcio é um elemento importante para a estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) e a agregação do solo, através do seu papel na formação de complexos com a argila e a matéria orgânica através de ponte catiônica (SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005). Essa ligação é uma forma de estabilizar e aumentar o tempo de permanência do carbono no solo, devida à proteção física derivada da formação de microagregado (EDWARDS & BREMNER, 1967; SIX et al., 2004). Ainda de acordo com Bronick & Lal (2005), solos pobres em COT ou teores de argila, a agregação tem grande participação de cátions como o cálcio, magnésio, ferro, alumínio, fósforo e o sódio em altas concentrações, já a participação destes cátions trocáveis, em solos com altos teores de argila, ou altos teores de COT é mínima. Rengasamy (1983) observou uma menor dispersão da argila em solos com maiores teores de cálcio e magnésio, enfatizando que os cátions polivalentes formam pontes de cátions com partículas carregadas negativamente, aumentando a agregação do solo.

5.2. Atributos físicos do solo

5.2.1. Distribuição e tamanho das partículas minerais do solo – granulometria e densidade de partículas

No Quadro 4 são apresentados os valores médios das análises granulométricas de um Cambissolo háplico em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN. A análise granulométrica reflete as proporções das frações areia, silte e argila.

Com relação à classificação textural, os solos sob Mata Nativa (AMP), foram classificados como argilo-arenosa, nas três camadas estudadas. Já no solo sob pomar (AP) percebe-se aumento de argila em profundidade, sendo classificado na camada superficial (0,00-0,10m) como franco-argilosa ($0,38 \text{ kg kg}^{-1}$) e logo abaixo como argilosa ($0,47 \text{ kg kg}^{-1}$) até 0,30 m. As áreas cujos solos estão sob consorcio, seja milho/feijão (ACMF) ou melancia jerimum (ACMJ), até a camada de 0,20 m são classificados como argilosos, todavia, na camada 0,30 m a ACMJ aumenta a quantidade de argila sendo classificado como muito argilosa ($0,63 \text{ kg kg}^{-1}$ de argila), enquanto que, a ACMF permanece como argilosa ($0,49 \text{ kg kg}^{-1}$ de argila). Semelhante ao AP observou-se que em

solos da área de manejo agroecológico (AA) houve mudança na textura de acordo com a camada, sendo que 0,10 m foram classificados como Franco-argilo-arenosa (0,27 kg kg⁻¹ de argila) e logo abaixo como argilo-arenosa (0,37 kg kg⁻¹) até 0,30 m (Quadro 4).

Quanto aos resultados da fração argila, as áreas pesquisadas apresentaram altos teores de argila, sendo a maioria das áreas com valores superiores a 36 %, classificando texturalmente como solos argilosos (Quadro 4). A fração argila representa a maior parte da fase sólida do solo e, é constituída de uma gama variada de minerais que apresentam cargas elétricas negativas responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC). Esta fração apresenta propriedades coloidais (partícula com tamanho inferior a 0,002 mm), e devido a isto, é considerada a fração ativa do solo. Suas propriedades físico-químicas são a elevada superfície específica, o desenvolvimento de cargas elétricas de superfície, onde ocorre às trocas catiônicas, assim como maior retenção de água no perfil do solo, contudo mais favorável à compactação devido ao tráfego de máquinas e animais nas áreas, sem observar critérios essenciais quanto às frações inorgânicas e teor de água no solo, (SANTOS et al., 2009).

Quadro 4. Médias da granulometria e densidade de partículas em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	Areia	Silte	Argila	Dp	Classificação Textural		
						g kg ⁻¹	Kg dm ⁻³
0,00-0,10 m							
AMP	0,51 b	0,12 de	0,37 c	2,59 a	Argilo-arenosa		
AP	0,43 cd	0,19 bc	0,38 c	2,41 b	Franco-argilosa		
ACMF	0,38 d	0,15 cd	0,47b	2,49 a	Argila		
ACMJ	0,20e	0,25 a	0,55 a	2,53 a	Argila		
AA	0,64 a	0,09 e	0,27 e	2,47 a	Franco-argilo-arenosa		
C.V	11,58	24,08	6,53	2,87	-		
Média Geral	0,43	0,16	0,41	2,50	-		
0,10-0,20 m							
AMP	0,45 b	0,11 de	0,44 bc	2,57 a	Argilo-arenosa		
AP	0,35 c	0,18 bc	0,47 b	2,44 a	Argila		
ACMF	0,36 c	0,15 cd	0,49 b	2,50 a	Argila		
ACMJ	0,20 d	0,22 ab	0,58 a	2,54 a	Argila		
AA	0,54 a	0,09 e	0,37 d	2,46 a	Argilo-arenosa		
C.V	16,71	28,14	11,35	3,74	-		
Média Geral	0,38	0,15	0,47	2,50	-		
0,20-0,30 m							
AMP	0,45 ab	0,11 d	0,44 bc	2,57 a	Argilo-arenosa		
AP	0,33 c	0,20 b	0,47 bc	2,45 a	Argila		
ACMF	0,35 bc	0,16 bc	0,49 b	2,49 a	Argila		

ACMJ	0,18 d	0,19 b	0,63 a	2,56 a	Muito-argilosa
AA	0,52 a	0,11 cd	0,37 c	2,46 a	Argilo-arenosa
C.V	29,7	24,78	24,91	1,97	-
Média Geral	0,37	0,15	0,48	2,51	-

AMP - área de Mata Preservada, AP - área de Pomar de Cajarana, ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, ACMJ - área de Consórcio Melância/Jerimum, AA - área de Cultivo Agroecológico. Dp – Densidade de partículas. Médias seguidas de mesma letra na não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$).

Texturalmente, os solos na área de consórcio de melancia/jerimum (ACMJ) tiveram maior teor de argila (0,55; 0,58 e 0,63 kg kg⁻¹) nas três camadas estudadas (0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) e o silte (0,25 e 0,22 kg kg⁻¹), nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente (Quadro 4). Isto é justificado por ser uma área de colúvio, denominada assim, por ser oriunda de depósitos de materiais soltos, não estratificados, geralmente encontrados no sopé de encostas e, que foram transportados, principalmente, pela ação da gravidade (LEOPOLD & VÖLKEL, 2007). O maior teor de argila e silte neste local pode estar relacionada com a sua gênese, uma vez que, segundo Suguio (2003) o fluxo de detritos, caracterizado como um fluxo rápido de massa de detritos deslizando encosta abaixo; e a corrida da lama, apresenta uma variedade de detritos, composta primordialmente por partículas finas (silte e argila) com até 30 % de água.

A densidade de partículas refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de solo, sem considerar a porosidade, e neste experimento apresentou valores que variaram de 2,60 a 2,44 kg dm⁻³, com média geral de 2,51 kg dm⁻³. A diferença entre os tratamentos ficou restrita a camada superficial (0,00-0,10 m) e o menor valor foi encontrado na área de pomar (2,41 kg dm⁻³) (Quadro 4).

Na maior parte dos solos minerais a Dp varia 2,6 a 2,7 kg dm⁻³, refletindo a predominância do quartzo 2,65 kg dm⁻³. Óxidos de ferro e metais pesados tendem a aumentar esse valor, todavia, em solos enriquecidos com matéria orgânica, a Dp diminui, pois seu valor é em torno de 1,0 kg dm⁻³ (Ferreira, 2010). A redução nos valores de Dp nos solos sob AP deve-se ao maior teor de carbono orgânico total (73,63 g kg⁻¹), em relação aos demais tratamentos. Laurindo et al. 2009 analisando atributos físicos e matéria orgânica do solo observaram que os maiores valores de densidade de partículas foram na camada de 0,15 a 0,20 m (2,68 kg dm⁻³), aumentando em profundidade pela redução da matéria orgânica do solo, sendo que a média de densidade de partículas foi igual a encontrada neste experimento 2,51 kg dm⁻³.

5.2.2. Macro, micro e porosidade total

Analizando a densidade do solo (DS) da área de mata preservada (AMP), com exceção do manejo agroecológico que foi semelhante, houve uma tendência de mudança neste atributo em todas as camadas estudadas. Isso demonstra que o uso do solo para fins agrícolas, independentemente do sistema de manejo utilizado, promove alterações nesta característica física do solo. Observou-se que os solos sob preparo convencional, independente do cultivo das plantas, reduziu a DS em todas as camadas estudadas (Quadro 5). O preparo convencional feito pelos agricultores consiste basicamente, em aração e gradagens, cujo arado efetua o corte, elevação e a inversão do solo, com isso ocorre um efeito de esboroamento de fatias de solo, sendo que a grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno. Possivelmente essa prática tenha promovido uma maior aeração do solo e uma menor DS, fato evidenciado pelo aumento de macroporos, especialmente na camada superficial 0,189 a 0,211 m³ m⁻³, para ACMF e ACMJ (0,00-0,10 m). Todavia, isto é preocupante, uma vez que, o preparo convencional altera a agregação do solo, deixando a superfície descoberta e desprotegida do impacto das gotas da chuva que atingem o solo, desagregando-o, facilitando o arraste de partículas de argilas pela água, aumentando a curto e médio prazo o processo erosivo.

Quadro 5. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macro e micro porosidade do solo, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	Ds	PT	Macro	Micro	CC	PMP	AD
	Kg dm ⁻³			cm ³ cm ⁻³			
				0,00-0,10 m			
AMP	1,564 a	0,507 a	0,148 b	0,359 a	0,206 a	0,133 a	0,073 a
AP	1,313 b	0,535 a	0,144 b	0,391 a	0,196 a	0,120 a	0,076 a
ACMF	1,044 c	0,523 a	0,189 a	0,334 a	0,135 b	0,087 b	0,048 b
ACMJ	0,936 c	0,567 a	0,211 a	0,356 a	0,130 b	0,075 b	0,055 b
AA	1,542 a	0,616 a	0,160 b	0,456 a	0,207 a	0,121 a	0,086 a
C.V	17,31	17,16	30,70	41,09	15,95	20,95	25,97
Média Geral	1,28	0,51	0,17	0,38	0,17	0,11	0,07
				0,10-0,20 m			
AMP	1,320 b	0,558 a	0,136 a	0,422 b	0,149 a	0,088 a	0,061 a
AP	1,323 b	0,512 a	0,160 a	0,352 b	0,198 a	0,116 a	0,082 a
ACMF	1,287 bc	0,587 a	0,216 a	0,371 b	0,177 a	0,114 a	0,063 a
ACMJ	1,149 c	0,583 a	0,153 a	0,390 b	0,219 a	0,129 a	0,09 a

AA	1,525 a	0,630 a	0,242 a	0,388 b	0,131 a	0,090 a	0,041 b
C.V	13,65	29,31	36,76	13,57	26,09	45,18	29,44
Média Geral	1,32	0,574	0,181	0,385	0,175	0,107	0,067
0,20-0,30 m							
AMP	1,380 a	0,601 a	0,209 a	0,392 a	0,156 a	0,091 a	0,065 a
AP	1,300 b	0,553 a	0,188 a	0,365 a	0,149 a	0,081 a	0,068 a
ACMF	1,258 bc	0,507 a	0,174 a	0,333 a	0,155 a	0,099 a	0,056 a
ACMJ	1,176 c	0,522 a	0,185 a	0,337 a	0,201 a	0,111 a	0,090 a
AA	1,492 a	0,477 a	0,126 a	0,351 a	0,166 a	0,087 a	0,079 a
C.V	8,48	43,77	52,65	25,59	36,16	31,78	46,53
Média Geral	1,32	0,532	0,176	0,356	0,165	0,094	0,071

AMP - área de Mata Preservada, AP - área de Pomar de Cajarana, ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, ACMJ - área de Consórcio Melância/Jerimum, AA - área de Cultivo Agroecológico. DS – Densidade do solo, PT – Porosidade total, Macro – Macroporosidade, Micro – Microporosidade, CC – Capacidade de campo, PMP – Ponto de murcha permanente. Médias seguidas de mesma letra na não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$).

Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 mg m^{-3} para solos argilosos, 1,40 a 1,50 mg m^{-3} para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 mg.m^{-3} para os franco-arenosos. Reinert et al. (2008) analisando limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo vermelho observaram que o crescimento normal das plantas de cobertura ocorre até o limite de densidade de 1,75 mg.m^{-3} . Entre a faixa de 1,75 e 1,85 mg.m^{-3} , ocorre restrição com deformações na morfologia das raízes em grau médio e, acima de 1,85 mg.m^{-3} , essas deformações são significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial, valores esses não encontrados nas áreas estudadas, indicando que não existe restrição em relação a DS do solo. No nordeste, em Limoeiro do Norte-CE na Chapada do Apodi, em um Cambissolo háplico em diferentes camadas do solo associadas ao microrrelevo (raso e profundo), Miotti et al. (2013) verificaram densidades do solo e de partículas maiores nos solos rasos (1,41 e 2,82 g cm^{-3} , respectivamente). Em um Neossolo Litólico, sob vegetação de caatinga, em Pernambuco, Melo et al. (2008) também observaram que a resistência a penetração (RP) aumentou significativamente com a camada até 0,15 m, variando de 2,47 a 5,81 kgf cm^{-2} , e a densidade do solo variou 1,57 a 1,77 g cm^{-3} .

A porosidade total (PT) do solo variou de 0,474 a 0,63 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, com a mata nativa e os sistemas de manejo do solo apresentando valores semelhantes em todas as camadas (Quadro 6). Com relação ao volume dos poros, devido à redução da densidade em ACMF e ACMJ houve um aumento na macroporosidade (0,189 e 0,211 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente), em relação aos demais tratamentos, ficando esse efeito restrito a

camada de 0,00-0,10 m, possivelmente pela maior aeração causada pelo revolvimento do solo.

Analisando a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) observou-se que, nos tratamentos onde aumentaram a DS como foi o caso da mata preservada (AMP) e da área agroecológica (AA), houve um aumento da CC, PMP e água disponível (AD) no solo em relação aos demais tratamentos, sendo esse efeito restrito a camada 0,00-0,10 m. Provavelmente, com os valores mais elevados de densidade ocorreu redistribuição dos tamanhos de poros, com redução da macroporosidade e aumento da microporosidade do solo, consequentemente maior retenção de água. Collares et al. (2006) analisando a física de um Argissolo Vermelho distrófico também observaram que aumentando a DS, aumentou a CC e PMP.

Também se observou que os solos sob o pomar (AP) tiveram valores semelhantes à AMP e AA de CC (0,196) e PMP (0,120), porém esse efeito não foi atribuído a DS, e sim ao maior teor de COT nestes solos. Resultados semelhantes foram encontrados em Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes usos no município de Maringá (PR), no qual as maiores retenções ocorreram na ordem mata-pousio-cultivo (MACHADO et al., 2008) e atribuiu isso ao maior teor de matéria orgânica do solo (MOS). Campinas et al. (2015) analisando atributos físicos e matéria orgânica dos solo observaram que área de vegetação secundária, apesar de apresentar textura franco-arenosa, obteve maior retenção de água tanto na capacidade de campo (-0,01 MPa) como no ponto de murcha permanente (-1,5MPa) e atribuiu esses fatos ao menor valor de densidade do solo e maiores conteúdos de matéria orgânica.

5.2.3. Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo é definida pela relação existente entre o teor de água e a energia em que a água é retida; relação essa fundamental para descrever o processo dinâmico da água e de solutos no solo (WANG et al., 1998), além de ser essencial em estudos de qualidade do solo com vistas a nortear as práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas de produção agrícola (MACHADO et al., 2008). Assim, as curvas de retenção de água no solo para as camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, submetidas nas tensões 0; 2; 6; 10; 33; 100; 500 e 1500 kPa, estão apresentadas na Figura 10, e os parâmetros de ajuste dos dados experimentais segundo o modelo

matemático proposto por Van Genuchten (1980) para todas as curvas, podem ser visualizados no Quadro 6.

Quadro 6. Parâmetros da equação de Van Genuchten ajustados com os dados da análise da curva de retenção de água em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	Camada m	q_r — $m^3 m^{-3}$ —	q_s	A	M	N
AMP	0,00-0,10	0,000	0,475	0,227	0,551	0,274
	0,10-0,20	0,000	0,369	0,388	0,018	6,208
	0,20-0,30	0,167	0,311	2,636	0,087	3,569
AP	0,00-0,10	0,000	0,430	0,953	0,020	6,416
	0,10-0,20	0,041	0,489	3,011	0,042	3,895
	0,20-0,30	0,078	0,711	3,107	0,067	3,773
ACMF	0,00-0,10	0,046	0,441	1,153	0,114	1,293
	0,10-0,20	0,000	0,341	0,400	0,021	4,731
	0,20-0,30	0,112	0,537	3,037	0,065	3,782
ACMJ	0,00-0,10	0,000	0,397	0,526	0,187	0,828
	0,10-0,20	0,000	0,449	0,284	0,064	1,498
	0,20-0,30	0,020	0,514	1,812	0,047	3,165
AA	0,00-0,10	0,077	0,406	0,946	0,063	2,680
	0,10-0,20	0,087	0,533	2,123	0,083	3,475
	0,20-0,30	0,126	0,681	0,007	4,090	0,241

AMP - área de Mata Preservada, AP - área de Pomar de Cajarana, ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, ACMJ - área de Consórcio Melancia/Jerimum, AA - área de Cultivo Agroecológico.

Analisando a área de mata preservada (AMP), observou-se similiaridade nas curvas de retenção de água até a camada de 0,20 m, com uma menor retenção de água de 0,20-0,30 m (Figura 10(A)). Os solos sob a mata nativa possui formação vegetal com árvores baixas, arbustos, cactáceas e bromeliáceas, entre outras espécies (Alves et al., 2009). Em estudo no RN, Santana & Souto (2011) observaram que, após doze meses foram depositados 2068,55 kg ha⁻¹ de serrapilheira, com as folhas constituindo a fração predominante responsável por 79,90 % do material decíduo, sendo que galhos e cascas atingiram 9,27 % do total depositado, além de fragmentos de folhas, galhos, ramos, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais de difícil identificação (10,83 %). Todo esse material sobre o solo proporcionou à manutenção da umidade do solo na parte superficial, mesmo em contraste com a seca prolongada. Rojas e Van Lier (1999), observaram maior retenção de água na camada de 0,00-0,20 m relacionada ao aumento da microporosidade do solo e pela presença de matéria orgânica.

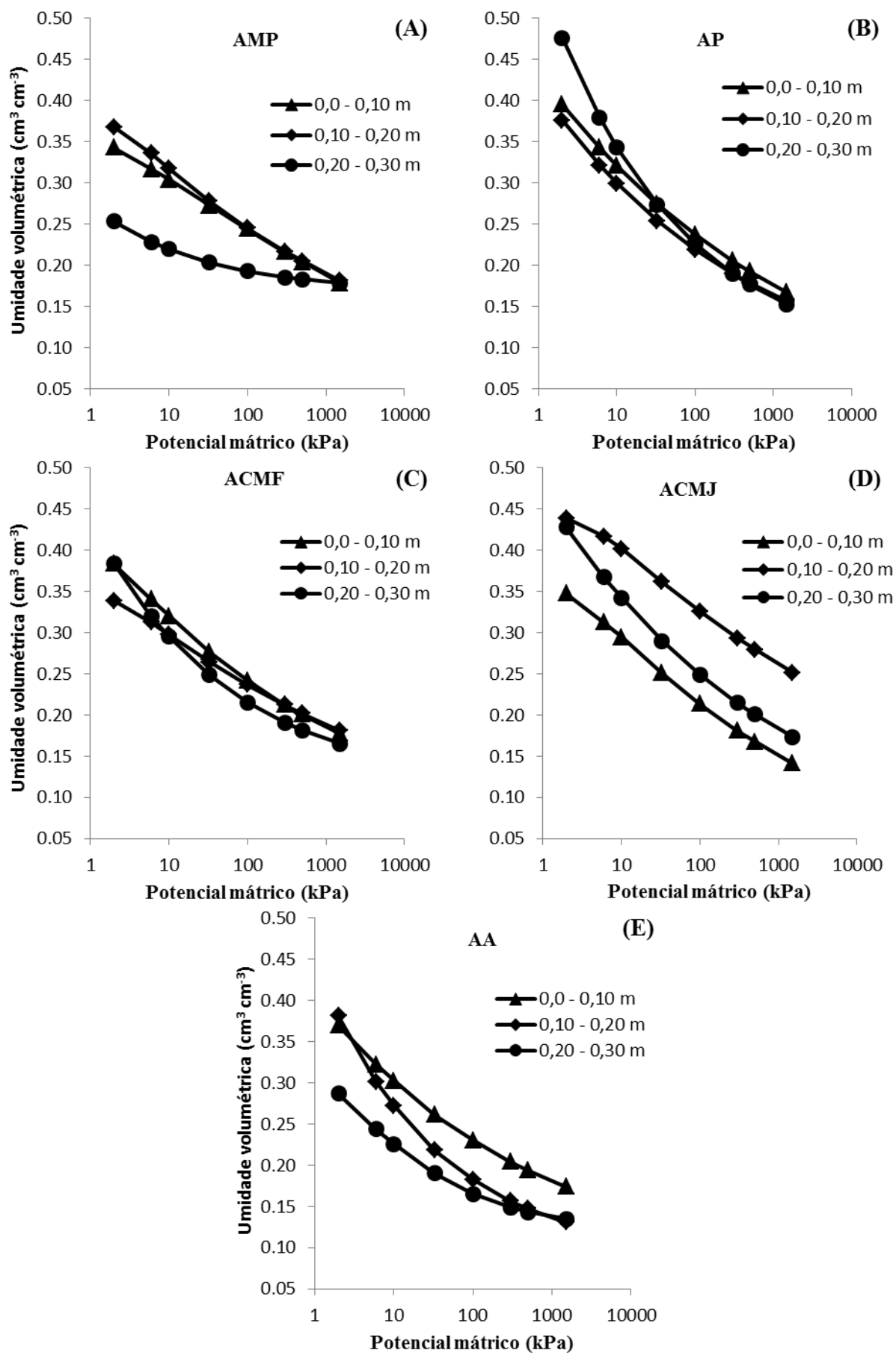


Figura 9. Curva de retenção de um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de

Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN. (A) AMP - área de Mata Preservada, (B) AP - área de Pomar de Cajarana, (C) ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, (D) ACMJ - área de Consórcio Melancia/Jerimum (colúvio), (E) AA - área de Cultivo Agroecológico.

Na área do pomar de cajarana (AP), verificou-se um aumento na retenção de água na camada de 0,20-0,30 m, apenas nos primeiros pontos da curva até 33 kPa, sendo a partir deste ponto semelhante às camadas superficiais (Figura 9(B)), isso ocorreu, possivelmente, pelo aumento do teor de argila ($0,44 \text{ g kg}^{-1}$) em profundidade (Quadro 4), sendo que o mesmo pode ser observado na ACMJ. Segundo Brady (2013) solos de textura argilosa retêm maior porcentagem de água e isso deve-se ao fato de que estes solos possuem maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e superfície de adsorção muito maior que os solos de textura mais grossa. A AP proporcionou as melhores condições de retenção de água quando comparadas com os demais tratamentos, devido à manutenção da cobertura do solo e incremento do carbono orgânico do solo. Segundo Reichardt (1990), existe uma estreita relação entre a porosidade do solo e a concentração de carbono orgânico, e uma das maneiras de melhorar a retenção de água no solo é a incorporação de resíduos orgânicos e o uso de cobertura morta como forma de reduzir as perdas de água para a atmosfera, melhorando assim a retenção de água no solo. A retenção de água é influenciada diretamente pela matéria orgânica no solo, a qual afeta também a infiltração, e esta relacionada com a estruturação do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005, RIBEIRO et al., 2011). A matéria orgânica é um constituinte do solo que favorece a agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior retenção de água (SPERA et al., 2010; SANTOS & PEREIRA, 2013).

Na área de consórcio de milho/feijão (ACMF), observou-se que em relação às camadas estudadas as curvas de retenção de água no solo praticamente não diferiram entre si. Provavelmente, o preparo intensivo do solo com a utilização de aração e gradagem revolvendo a camada arável (0,00-0,30 m) expõe o solo a energia solar, aumentando a evaporação de água do solo para atmosfera (Figura 9(C)). A retenção de água no solo pode ser alterada com a modificação do espaço poroso que pode ser decorrente de pressões sobre o solo, fenômeno que interfere diretamente na disponibilidade de água e na eficiência do uso da água pelas culturas (CANALI & ROLOFF, 1997; DIAS JUNIOR, 2000). O preparo convencional, por exemplo, altera mais acentuadamente as condições físico-hídricas do solo, pela desagregação superficial, diminuindo a infiltração de água e facilitando o processo erosivo (PANACHUKI et al., 2006) e consequente a perda de água. Dalmago et al. (2009) avaliando as alterações na

retenção de água no solo e na sua disponibilidade às plantas, ao longo do perfil, em sistema plantio direto, em comparação com o preparo convencional, em Eldorado do Sul/RS, observaram que a retenção de água em solo (Argissolo Vermelho) sob sistema de plantio direto é maior do que no preparo convencional, especialmente nas camadas superficiais, bem como a disponibilidade de água as plantas. Cássaro et al. (2011) avaliaram as modificações do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho submetido ao sistema de plantio direto e plantio convencional por longo prazo, e evidenciaram que o não revolvimento do solo (Plantio direto) promoveu um aumento na microporosidade e na retenção de água no solo em relação ao outro tratamento.

Na área de consórcio de melancia/jerimum (ACMJ), verificou-se maior retenção de água na camada de 0,10-0,20 m, seguida da camada 0,20-0,30 m (Figura 9(D)). Isto é atribuído ao aumento do teor da fração argila em profundidade (0,55, 0,58 e 0,63 g kg⁻¹ de argila, em 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente) (Quadro 4). Além disso, observou-se mais suavidade na inclinação da curva, provavelmente devido a uma distribuição mais uniforme de tamanho dos poros. Dados na literatura corroboram com esses resultados, justificando assim a maior retenção de água em camada subsuperficial (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) em relação à superfície (0,00-0,10 m). Beutler et al. (2002), estudando a retenção de água em dois Latossolos com diferentes texturas, em diferentes usos agrícolas e manejos do solo, constataram que, em altas tensões, o teor de argila foi responsável pela maior retenção de água no solo. Reichardt (1987) relatam que em solos de textura mais fina, a distribuição dos poros por tamanho é maior e mais uniforme, proporcionando a adsorção de maior conteúdo de água e decréscimo mais gradual da umidade do solo com o aumento da tensão. Analisando solos em topossequência de tabuleiros costeiros em Sergipe, Luz & Lima (2008) também verificaram que o aumento da retenção de água foi em conformidade com o aumento dos teores de argila no solo.

Com relação à área manejo agroecológico (AA) observou-se maior retenção de água na camada superficial (0,00-0,10 m), que está relacionado à manutenção da cobertura vegetal no solo e ao não revolvimento do mesmo. Enquanto nas camadas seguintes (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), a quantidade de água retida nos poros diminuiu, respectivamente (Figura 9(E)), esta redução pode esta relacionada com o decréscimo do carbono orgânico total (COT) do solo em profundidade. Esse aumento na camada superficial deve-se também ao maior teor de carbono orgânico do solo (COT) (19,62 g kg⁻¹, (Quadro 2)), pois o COT é fortemente higrófilo em função de suas cargas negativas e da alta superfície específica. Consequentemente, o seu poder de retenção de água é alto, podendo reter de 4

a 6 vezes o seu peso (BRADY, 2013). Para Emerson & McGarry (2003) a capacidade de retenção de água dos solos aumenta com aplicação de matéria orgânica, principalmente nos solos arenosos. Estudos realizados por Campos et al (1994) corroboram com a ideia de que o aumento da capacidade de retenção e a redução na evaporação da água no solo deve-se a cobertura vegetal do solo.

5.2.4. Estabilidade de agregados

No Quadro 7 pode-se observar as médias referente a agregação nos diferentes sistemas de uso e manejos do solo em três camadas (0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m).

Quadro 7. Agregação, Estabilidade de agregados e Diâmetro médio ponderado (DMP) em um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança em Governador Dix-Sept Rosado, RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	AGREGAÇÃO	ESTABILIDADE DE AGREGADOS		DMP (mm)
		%		
0,00-0,10 m				
AMP	35,38 b		39,29 ab	0,64 b
AP	33,97 b		42,01 ab	0,65 b
ACMF	32,83 b		34,40 b	0,67 b
ACMJ	24,70 c		34,50 b	0,25 c
AA	41,92 a		44,66 a	0,85 a
C.V	15,13		15,07	9.85
Média Geral	33,76		38,97	0,61
0,10-0,20 m				
AMP	30,79 ab		35,31 a	0.72 ab
AP	27,67 b		42,16 a	0,63 b
ACMF	28,37 b		29,63 a	0,63 b
ACMJ	18,17 c		31,34 a	0,16 c
AA	40,08 a		36,51 a	0,96 a
C.V	24,52		43,69	28,1
Média Geral	29,01		34,99	0,62
0,20-0,30 m				
AMP	26,50 b		29,73 a	0,47 bc
AP	25,38 b		41,29 a	0,41 bc
ACMF	27,31 b		30,67 a	0,68 b
ACMJ	15,76 c		31,91 a	0,11 c
AA	34,38 a		32,86 a	1,02 a
C.V	17,31		25,41	33,1
Média Geral	25,89		33,29	0,54

AMP - área de Mata Preservada, AP - área de Pomar de Cajarana, ACMF - área de Consórcio de Milho/Feijão, ACMJ - área de Consórcio Melancia/Jerimum, AA - área de Cultivo Agroecológico. DMP – Diâmetro médio ponderado. Médias seguidas de mesma letra na não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0.05$).

A área agroecológica (AA) em relação aos demais tratamentos teve aumento de 18,48, 30,17 e 29,73 % na agregação do solo, e 32,81, 33,3 e 117 % no DMP dos agregados nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente, em relação à mata nativa, todavia na estabilidade de agregados não houve diferença significativa (Quadro 7). Ao utilizar o sistema convencional com aração e gradagens verificou-se uma redução na agregação e estabilidade de agregados e no DMP, sendo esse efeito mais pronunciado no cultivo consorciado com melancia e jerimum (ACMJ) nas três camadas estudadas. Esse decréscimo pode ser atribuído ao manejo adotado pelo agricultor, baseado em áreas coletivas com preparo do solo convencional em cultivos consorciados, envolvendo aração e gradagem, que maximizam a oxidação do carbono (C), também nas frações recalcitrantes devido à quebra dos agregados do solo, e aos sistemas de culturas, com reduzido aporte de resíduos, que diminuem o aporte de C no solo, funcionando como fonte de CO₂.

Mendes et al. (2003) comparando a vegetação nativa do Cerrado com o uso do solo no sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) em um Latossolo Vermelho, observaram maior estabilidade de agregados no Cerrado do que no PD, sendo que o PC apresentou menor estabilidade de agregados. Kumaria et al. (2011) e Franchini et al. (2012), também encontraram maiores índices de agregação sob plantio direto em relação ao sistema de plantio convencional, e justificaram esse efeito pelos altos teores de COT e atividade microbiana no solo. Carvalho (2007) menciona algumas ações como o trânsito dos animais e a mobilização do solo com aração e gradagem como responsáveis pelo aumento da compactação e redução do tamanho e da estabilidade dos agregados.

Nos solos sob AA, para sua implantação, houve somente um raleamento das espécies para suporte forrageiro à criação de animais e manteve a diversidade de espécies vegetais. Além disso, resíduos das plantas raleadas foram picotados e espalhadas na superfície do solo e, isto deve ter contribuído para o aumento do carbono orgânico total (COT) e da agregação pelo fato do COT apresentar grande superfície específica e capacidade de troca de cátions, possibilitando maior número de ligações eletrostáticas entre esta e as partículas de solo. Além disso, a sua decomposição por microrganismos resulta na formação de inúmeros compostos importantes na cimentação e estabilização dos agregados (SOUZA, 2005). Silva (2008) avaliando os efeitos do sistema convencional de preparo do solo e do sistema plantio direto, associado ao uso de diferentes plantas de cobertura, nas propriedades físicas e no teor de matéria orgânica de um solo cultivado com mandioca no município de Glória de Dourados/MS, num Argissolo Vermelho de

textura arenosa, notou que a maior agregação ocorreu nos sistemas que utilizaram plantas de cobertura, confirmando os dados obtidos por Wendling et al. (2005) e Beutler et al. (2001), os quais encontraram maiores valores de agregação com o incremento no teor de COT em Latossolos distróficos. Albuquerque et al. (2005) avaliando a estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho distroférico, verificou correlações entre o COT com o DMP dos agregados ($r = 0,43$; $p < 0,01$), pelo fato da matéria orgânica atuar como um agente de agregação temporário, principalmente de macroagregados (Tisdall & Oades, 1982). Carpenedo & Mielniczuk (1990) também encontraram correlação positiva entre DMP e matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso ($r = 0,80$) e num Latossolo Vermelho aluminoférico argiloso ($r = 0,69$) e Campos et al. (1995) num Latossolo Vermelho distrófico ($r = 0,85$), após sete anos, comparando sistemas de preparo do solo.

Nestes solos também se observou elevados teores de Ca^{+2} , que possivelmente auxiliaram o processo de agregação. Ahmed et al. (1969) ressaltam que os cátions cálcio e magnésio, por serem divalentes, promovem redução da dupla camada difusa, aumentando a atração entre as partículas no solo, o que promove a agregação no solo. Dados de Rengasamy (1983) também corroboram com os encontrados nesta pesquisa, pois verificou uma menor dispersão de argila em solos com maiores teores de cálcio e magnésio, enfatizando que cátions polivalentes reduzem a dupla camada difusa e formam pontes de cátions com partículas carregadas negativamente, aumentando a agregação do solo.

Assim, percebe-se que os sistemas que tem como base, o revolvimento excessivo do solo e/ou ausência de qualquer tipo de cobertura vegetal favorece a degradação química e das frações da matéria orgânica do solo criando um ambiente totalmente desequilibrado.

6. CONCLUSÃO

A retenção de água no solo diferiu entre as áreas estudadas e mais especificamente dentro de cada área nas camadas do solo. Em comparação com a área de mata preservada (AMP) a área de pomar (AP) apresentou melhores condições de retenção de água no solo. A diferença de retenção de água entre camadas, nas áreas de consórcio de melancia/jerimum (ACMJ) e área agroecológica (AA) ficou evidente, enquanto para as áreas de mata preservada (AMP), área de pomar de cajaranas (AP) e área de consórcio de milho/feijão (ACMF) foram muito próximas.

A percentagem de agregação, estabilidade de agregados e diâmetro médio ponderado foram reduzidos nas áreas de manejo convencional ACMF (área de consórcio de milho/feijão) e ACMJ (área de consórcio de melancia/jerimum) quando comparadas com a área de mata preservada (AMP) em todas as camadas.

A matéria orgânica do solo e o Ca^{2+} foram o que mais se expressaram na agregação do solo nas classes de 0,50 e 0,25 mm em comparação com as classes de 2,00 e 1,00 mm na área de mata preservada (AMP), área de pomar de cajaranas (AP) e área agroecológica (AA).

Os usos agrícolas ACMF (área de consórcio de milho/feijão) e ACMJ (área de consórcio de melancia/jerimum) alteraram na degradação dos atributos físicos (densidade do solo e agregação) e químicos (carbono orgânico total e Mg^{2+}) do solo em comparação a área de mata preservada (APM).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, T.; TAUSEEF, S. M.; ABBASI, S. A. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation – Na overview. *Renew able & Sustainable Energy Reviews*, Oxford, v. 16, n. 5, p. 3228-3242, 2012.
- ALBUQUEQUE, M. A. Estabilidade em análise de agrupamento. 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistema de preparo de plantas de verão para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Viçosa, v. 29, p. 415-424, 2005.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F. DE; BARROS, N.F. DE; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359p.: il cap. 5, p. 25-32, 1999.
- 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. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007. 119 p
- ANJOS, A.R.M. Lixiviação de espécies químicas em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999. 191p. (Tese de Doutorado)
- ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F. E ANDRIOLI, I. (2009) - Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.33, n.3, p. 677-687.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: agroecologia versus desertificação. *Ciência Hoje*, 2002.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Histórico de uso dos solos na caatinga. In. ARAUJO, Q. R. 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus: Editus, p. 329-338, 2002.
- ARAÚJO, A. E.; SILVA, C. A. D.; AZEVEDO, D. M. P. de; FREIRE, E. C.; RAMALHO, F. S.; ANDRADE, F. P.; FERREIRA, G. B., SANTANA, J. C. F.; AMARAL, J. A. B./ MEDEIROS, J. C.; BEZERRA, J. R. C.; PEREIRA, J. R.; SILVA, K. L.; SILVA, L. C.; BARROS, M. A. L.; CARVALHO, M. C. S.; LUZ, M. J. S; BELTRÃO, N. E. de M.; SUASSUNA, N. D.; FERREIRA, P. F; SANTOS, R.

- F, FONSÊCA, R. G. Cultivo do algodão irrigado. Série Documentos, Sistemas de Produção, 3, Versão eletrônica, jan. 2003. ISSN 1678-8710.
- ARAÚJO, A. J. R. P. et al. Desertificação e seca: contribuição da ciência e tecnologia para a sustentabilidade do semi-árido do Nordeste do Brasil. Recife: Nordeste, 2002.
- ARAUJO, 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, 28: 337-345, 2004.
- ARENA, A. Curso de suelos - Física de suelos. Rio de Janeiro: Centro Pan-Americano de Aperfeiçoamento para Pesquisas de Recursos Naturais (CEPERN), Instituto Pan-Americano de Geografia e História, OEA e Ministério da Agricultura do Brasil. 72p., 1968.
- ARRAES, F.D.; ANDRADE, E.M.; PALÁCIO, H.A.Q., FROTA JUNIOR, J.I.; SANTOS, J.C.N. Identificação dos íons determinantes da condutividade elétrica nas águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 346-355, jul-set, 2009.
- ARTUR, A. G.; 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 Campina Grande, v.18, n.2, p.141–149, 2014.
- AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.2, p. 609-617, 2004.
- BANTON, O.; SEGUIN, M. K.; CIMON, M. A. Mapping field-Scale physical properties of soil with electrical resistivity. Soil Science Society American Journal, Madison, v. 61, p. 1010-1017, 1997.
- BARROS, L.S.; VALE JÚNIOR, J.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. & MOURÃO, M. Perdas de solo e água em plantio de Acácia mangium Wild em Savana de Roraima, Norte da Amazônia. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa. 33: 235-475, 2009.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A.M.N. Fatores naturais na evolução das paisagens no Semiárido brasileiro: uma abordagem geral. Revista Geonorte, ed. Especial, v.2, n.4, p.464 – 476, 2012.
- BELL, M. A.; Van Keulen, A. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. Soil Science Society os American Journal, Madison, v. 59, p. 865-871, 1995.
- BELTRÃO, B.A.; ROCHA, D. E. G. A.; MASCARENHAS, J.C.; SOUZA JÚNIOR, L.C.; PIRES, S. T. M.; CARVALHO, V. G. D. V. L. G. D. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 10 p., 2005.

- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 1, jan./fev. 2004.
- BERTOL, O.J.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. A transferência de tecnologia em manejo e conservação do solo e da água. *Bol. Inf. SBCS*, 37: 26-31, 2012.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, L. A. ; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 129-136, 2001.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n.1, p.167-177, 2001.
- BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMESON, A.C. SORIANO-SOTO, M.D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena*, 44:47-67, 2001.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman,. 704 p., 2013.
- BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 221-278.
- BRONICK, C.J., Lal, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v. 124, p.3-22, 2005.
- BUYANOVSKY, G.A., ASLAM, M., WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.1167-1173, 1994.
- CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre-RS: Metrópole, p. 359-417, 2008.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S. & TEÓFILO SOBRINHO, J. Características físicas de solo que recebeu vinhaça. *B. Ci. Inst. Agron.*, 14:1-12, 1988.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

- CAMPOS, B.C.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J.A. & NICOLodi, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. *Ci. Rural*, 24:459-463, 1994.
- CANALI, L.B. & ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:99-104, 1997.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. 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, Cap. 6, p. 275-374, 2007.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxo, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.
- CARPENEDO, V. Qualidade e estabilidade de agregados de Latossolo roxo submetido a diferentes manejos. Porto Alegre, UFRGS, 1985. 129p. (Dissertação de Mestrado).
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:147-157, 2009.
- CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na região do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 505-514, 1998.
- CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.
- CARVALHO, J. M.; LIMA, L. A. Influência da adição de hidróxido de sódio na retenção de água de um Latossolo Vermelho-Escuro. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 24, n. 2, p. 450-457, abr./jun. 2000.
- CARVALHO, R. Níveis de cobertura vegetal e qualidade do solo sob pastagem em áreas de cerrado. Brasília: UNB, 2007. Dissertação de Mestrado.
- CÁSSARO, F. A. M., BORKOWSKI, A. K.; PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; SAAB, S. C. Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 111, n.2, p. 175-179, jan, 2011.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCH, I. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em

- função de sistemas de plantio, rotações de cultura e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CHARAL, R. S. Effect of entrapped air and suction on matric suction. *Soil Science*, Baltimore, v. 102, p. 131-134, 1966.
- CLARK, R. B. et al. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization byproducts and magnesium. *Communi. Soil Sci. Plant Anal*, v. 28, p. 1441-1459, 1997.
- COILE, T.S. Moisture Content of Small Stone in Soil. *Soil Science*, 75:203-207, 1953.
- 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, R. S. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado. Manual para revegetação. Brasília. Universal, 186p. 2005.
- CORWIN, D. L. et al. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *Geoderma*, Amsterdam, v. 131, p. 369-387, 2006.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. *Agronomy Journal*, Madison, v. 95, p. 455-471, 2003.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Characterizing soil spatial variability with apparent electrical conductivity: I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, New York, v. 46, p. 103-133, 2005.
- COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.527-535, 2003.
- COSTA, F.S. Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo em experimento de longa duração. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado).
- COSTA, J. B. da. Caracterização e constituição do solo. 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

- COSTA, M. C. L. Planejamento e expansão urbana. In DANTAS, E. W. C.; SILVA, J. B. da; COSTA, M. C. L.; SOUZA, M. Salete de. De cidade à metrópole: (trans)formações urbanas em Fortaleza. Fortaleza: Edições UFC, 2009. p.143-187.
- CPRM. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte 2010. Rio de Janeiro: Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_RN.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2015.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & GUILERME, L. R. G. Estoque de carbono e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.21, p.241-247, 1997.
- DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGER, C. A. M.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13 (suplemento), p. 855–864, 2009.
- DANE, J. H.; OOSTROM, M.; MISSILDINE, B. C. An Improved Method for the Determination of Capillary Pressure-Saturation Curves Involving TCE, Water and Air. Journal of Contaminant Hydrology, 11:69-81, 1992.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. M. Elementos requeridos a nutrição de plantas. 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, Cap. 2, p. 91-133, 2007.
- DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. Australian Journal of Soil Research ,v. 35, p. 431-459, 1997.
- DEMATTE, J.L.I. Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos região amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 215p., 1988.
- DEXTER A. R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma, Amsterdam, v. 120, p. 227-239, 2004c.
- 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 & Tillage Research, v.57, p.203- 212, 2001.
- DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural process. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 20, p. 87-100, 1991.

- DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p.55-94, 2000.
- DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e mineralogia do solo. 1. ed. Viçosa: SBCS, p. 1-67, 2009.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G. & VIANA, J. H. M. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p, 2011.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.321.
- EDWARDS, A P. & BREMER, J.M. Microaggregates in soil. *Journal of Soil Science*, v. 18, p. 64-73, 1967.
- EMERSON, W.W. & McGARRY, D. Organic carbon and soil porosity. *Aust. J. Soil Res.*, 41:107-118, 2003.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. São Paulo: EDUSP, 1975.
- ERNANI, P R. E.; ALMEIDA J ANTONIO de.; SANTOS, F C dos. Potássio. Elementos requeridos a nutrição de plantas. 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, Cap. 2, p. 551-594, 2007.
- FELLER, C., BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D.; MANNERING, J. V. Condutividade hidráulica do solo saturado, em três sistemas de manejo. *Revista Ceres*, v.30, p. 232-241, 1983.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: Lier, Q. J. van (ed.). Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-27, 2010.
- FIALHO, J.S; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; JÚNIOR, J. M. T. S. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi- CE. *Revista Ciência Agrônômica*, v.37, n.3, p.250-257, 2006.
- FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. B.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field*

- Crops Research, Amsterdam, v. 137, n. 20, p. 178-185, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.003.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; ALMEIDA DE OLIVEIRA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. Field Crops Research, v. 121, n. 1, p. 29-41, 2011.
- FREIRE M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. 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, 2007.929-954p.
- FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; ROCHA, A. T. da, OLIVEIRA, A. C. de. Gesso mineral do Araripe e suas implicações na produtividade agrícola na cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, vol. 4, p.199-213, 2007.
- FREIRE, J. C.; SCARDUA, R. Curva característica de retenção de água de um Latossolo Roxo distrófico do município de Lavras, Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 95-98, 1978.
- FREIRE, O. Solos das regiões tropicais. Fundação de estudos e pesquisas agrícolas e florestais. Botucatu, FEPAF, 288p, 2006.
- FRITZ, R. M. et al. Field comparison of two soil electrical conductivity measurement systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., St. Paul, 1998. Proceedings... St. Paul: ASA/CSSA/SSSA, p. 1211-1217, 1998.
- FURTINI NETO, A. E. .; SIQUERA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Fertilization in native species reforestation. In Gonçalves, J. L. M e Benedetti, V.(Organizadores). Piracicaba. Forest nutrition and fertilization. Instituto de Pesquisas Florestais e Estudos Florestais, Il. São Paulo, 2004.
- GALVÃO, S. R. S; SALCEDO, I. H. & OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.43, n.1, p.99-105, jan. 2008.
- GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. 383 p.
- Gomes, F. P. Curso de estatística experimental. 14ª ed. Piracicaba, São Paulo. Degaspari. 477p, (2000).
- GRIGOLON, G. B. Curvas de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidades e tensão na câmara de Richards. 82f. 2013.

- Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Piracicaba, SP. 2013.
- HAINES, W.B. Studies of Physical properties of Soils: The hysteresis effects in capillarity properties and modes of moisture distribution associated. *Journal Agricultural Science*. 20: 97-116, 1930.
- HICKMANN, C.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. FERNANDES, R.B.A.; ANDRADE, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 128-136, 2012.
- HILLEL, D. *Introduction to Soil Physics*. San Diego: Academic Press, 1982, 264p.
- HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. Marked Differences Between Van Genuchten Soil Water-Retention Parameters for Temperate and Tropical Soils: a New Water-Retention Pedo-Transfer Functions Developed for Tropical Soils. *Geoderma*, 108:155-180, 2002.
- JALBERT, M.; DANE, J. H. Correcting Laboratory Retention Curves for Hydrostatic Fluid Distributions. *Soil Science Society of America Journal*, 65:648- 654, 2001.
- JAMISON, V. C.; KROTH, E. M. Available Moisture Storage Capacity in Relation to Texture Composition and Organic Matter Content of Several Missouri Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 22:189-192, 1958.
- JESUS, C.A.C. Diagnóstico da agricultura agroecológica na mesorregião do agreste paraibano. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia, PB:, 2005. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- KLAR, A.E. *A água no sistema solo–planta–atmosfera*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.
- KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.7, p.1550-1556, 2010.
- KLEIN, V.A. *Física do solo*. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 240p., 2008.
- KLUTE, A. Water Retention: Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis*. 2^a ed Madison: American Society of Agronomy, 26:687-734, 1986.
- KUHN, J. et al. Interpretation of electrical conductivity patterns by soil properties and geological maps for precision agriculture. *Precision Agriculture*, Dordrecht, v. 10, p. 490-507, 2009.
- KUMARIA, M.; CHAKRABORTYA, D.; GATHALAB, M. K.; PATHAKC, H.; DWIVEDID, B. S.; GARGA, T. R. R. N.; SINGHA, R.; LADHA, J. K. Soil aggregation and associated organic carbon fractions as affected by tillage in a rice–

- wheat rotation in North India. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 75, n. 2, p. 560–567. 2011. DOI: 10.2136/sssaj2010.0185.
- KUZYAKOV, Y. & DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163:421-431, 2000.
- LACERDA, N. B.; ZERO, V. M.; BARILLI, J.; MORAES, M. H.; BICUDO, S. J. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Jaboticabal. v.25, n.3. p.686-695, 2005.
- LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A. & FERREIRA, F. L. FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO SALINO SÓDICO POR *Atriplex nummularia* E GESSO DE JAZIDA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1065-1072, 2008.
- LEOPOLD, M. & VÖLKEL, J. Colluvium: Definition, differentiation, and possible suitability for reconstructing climate date. *Elsevier. Quaternary International*, 162-163 p., 2007
- LESCH, S. M.; CORWIN, D. L.; ROBINSON, D. A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computer and Electronics in Agriculture*, New York, v. 46, p. 351-378, 2005.
- LI, Y. et al. Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. *Journal of Zhejiang University Science B*, Zhejiang, v. 9, p. 68-76, 2008.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 346p., 2012.
- LIMA, A. M. N. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 1053-1063, jan./fev. 2008.
- LIMA, C.L.F.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:199-205, 2003.
- LOIOLA, M.I.B.; ROQUE, A.A.; OLIVEIRA, A. C. P. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. *Lisboa. Ecologia*. 4: 14-19, 2012.
- LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, S. L. Atributos físicos e hídricos de solos em topossequência de tabuleiros costeiros. *Revista de Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 23, n. 1, p. 44-59, 2008.

- MACEDO V.R.M; SILVA A.J.N ; CABEDA M.S.V. Influência de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.8, p.856-862, 2010.
- 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, Viçosa, v. 32, p. 495-502, 2008.
- MARINHO, A. C. S. Matéria orgânica e atributos físicos e químicos de um Cambissolo submetido a diferentes usos agrícolas na região do Semiárido-RN. Universidade Federal Rural do Semi – Árido – UFERSA, Mossoró, RN, UFERSA, 2015. 69p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Água e Solo).
- MARSALL, T. J. The nature, develoment, and significance of soil structure. In: NEALE, G. J. (Ed). Transaction of joint meeting of comissions IV e V (ISSS). Palmerston North, New Zealand, P. 243-257, 1962.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press, 1995. 674p
- MEDEIROS, J. F. GHEYI, H. R. NASCIMENTO, I .B. Salinidade do solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: Recursos hídricos em regiões semiáridas: Efeitos e aplicações. Instituto Nacional do Semiárido INSA, Cruz das Almas/ BA, 2012.
- MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B.M. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2461-2470, 2008.
- MELO, G. W. Adubação e manejo do solo para a cultura da videira. Disponível em:< <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/viticultura/adubvid.html>> Acesso em: 21 junho de 2015.
- MELO, V.F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo. In. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 531p., 2009.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. Cerne, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.
- MENDES, L.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES A.C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantios convencional e direto no Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 16, p. 31-37, 2003.
- 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.
- MENEZES, RSC.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology*, v. 12, n.3, p. 643-653, 2012.
- MENTGES, M.I. Implicações do Uso do Solo nas propriedades físico-hídricase mecânicas de um argissolo vermelho-amarelo de um gleissolo háplico. Santa Maria, 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, UFMA.
- MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento da plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 991 p., 2007.
- MEURER, J. E. Introdução à ciência do solo, In: Meurer, E.J. *Fundamentos de química do solo, gênese*, Porto Alegre, p.11-21, 2000.
- MIOTTI, A.A.; COSTA, M. C. G. FERREIRA, T.O.; ROMERO, R. E. Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 536-545, 2013.
- MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Variabilidade da água disponível de uma terra roxa estruturada latossólica. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 50, n. 03, 9p., 1993.
- MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 106, p. 335-343, 2010.
- MORARI, F.; CASTRIGNANÒ, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, New York, v. 68, p. 97-107, 2009.
- MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J. Armazenagem de água e produtividade de meloeiro irrigado por gotejamento, com a superfície do solo coberta e desnuda. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 34: 1721-1731, 2010.
- MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; FAUSEY, N. R.; LAL, R. Comparison of Methods for Estimating Maximum Soil Water Content for Optimum Workability. *Soil & Tillage Research*, 72:9-20, 2003.
- MUÑOZ HERNÁNDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca: Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). *Scientia Agrícola*, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

- MUNOZ-CARPENA, R. M.; RITTER, A.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 52, n. 2, p. 93-117, 2002.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N. & BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOLMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. *The biological management of tropical soil fertility*. New York, Wiley-Sayce Publications, 1994. p.81-112.
- NOGUEIRA JR., L. R. Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica. 2000. 50 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 2000.
- 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, Minas Gerais; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007. 1017p.
- OLIVEIRA, A. M. S. Alteração química e física em áreas cultivadas com meloeiro irrigado no Rio Grande do Norte. 2009. 74f. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem), Mossoró. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
- 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.
- OLIVEIRA, M. Os solos e o ambiente agrícola no sistema Piranhas-Assu, RN. Viçosa: UFV. 1988, 312 p. Tese de Doutorado.
- OMUTO, C.T. Assessment of soil physical degradation in Eastern Kenya by use of a sequential soil testing protocol. *Geoderma*. v.128, p.199-211, 2008.
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; Universidade Federal de Santa Maria e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.
- PECK, A. J. Change os moisture tension whit temperature anda ir pressure: thoretical. *Soil Science*, Baltimore, v. 89, p. 303-310, 1960.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo, Nobel, 547p. R.F., 2002.
- QADIR, M.; QURESHI, R.H. & AHMAD, N. Horizontal flushing: A promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. *Soil Till. Res.*, 45:119-131, 1998.
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. In: *International Plant Nutrition Institute*. Piracicaba, 2011.
- RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.

- RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 420 p., 2011.
- RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORTH, H. Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention. *Geoderma*, 116:61-76, 2003.
- REGINATO, R. J.; VAN BAVEL, C. H. M. Pressure Cell for Soil Cores. *Soil Science Society of America Journal*, 26:1-3, 1962.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Ed. Manole Ltda. São Paulo, 188p, 1990.
- REICHARDT, K. E TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo, Manole, 478 p., 2004.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & KANSSON, I.H. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop, production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Res.*, 102:242-254, 2009.
- RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. *Journal of Soil Science, Oxford*, v. 34, p. 723-732, 1983.
- RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y.L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.;
- RHOADES, J. D. 1994. Soil salinity assessment: Recent advances and findings. ISSS Sub-Commission A Meeting, Acapulco, Mexico, July 10-16, 1994.
- RHOADES, J. D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 49, p. 232-242, 1993.
- 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, 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, 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. A Pressure-Membrane Extraction Apparatus for Soil Solution. *Soil Science*, 51:377-386, 1941.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 160p, 1954.
- RICHARDS, L. A. Methods of mensuring soil moisture tension. *Soil Science*, Baltimore, v. 68, p. 95-12, 1949.
- RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M. Pressure Plate Apparatus for Measuring Moisture Sorption and Transmission by Soils. *Soil Science*, 56:395-404, 1943.
- RIGHES, A.; LOVATO, T. & SOARES, E. Caracterização física, química e microbiológica de um planossolo da unidade de mapeamento Vacacaí, RS. *Ciência Rural*, v. 13, n. 1, p. 25-45, 1983.
- ROCHA, W. F. Situação da cobertura vegetal do Bioma Caatinga. In: Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. Ed. F. Angelotti, Sá, I.B.; Menezes, E.A.; Peregrino, G.Q. Petrolina - PE. EMBRAPA Semiárido; Campinas – SP: EMBRAPA Informática Agropecuária, 2009.
- ROJAS, C.A.L.; VAN LIER, Q.J. Alterações físicas e hídrica de um Podzólico em função de sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, V.5, n.1, p.105- 115, 1999.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.19, n.12, p.1443-1448, dez. 1984.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 65, p. 1486-1499, 2001.
- SAEY, T. et al. Pedotransfer function to evaluate the soil profile textural heterogeneity using proximally sensed apparent electrical conductivity. *Geoderma*, Amsterdam, v. 150, p. 389-395, 2009.
- SALTER, P. J.; BERRY, G.; WILLIAMS, J. B. Influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle size, composition, and available-water capacity. *Journal os Soil Science*, Oxford, v. 17, n. 1, p. 93-98, 1966.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 313-319, 1995.

- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, MG, v.32, n. 1, p. 11-21, 2008.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 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.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.
- SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. *Cadernos de Pesquisa*, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.
- SANTOS, R. A. Propriedades de retenção de água por espaços porosos não homogêneos: Experimentos de laboratório e simulação computacional. 2005. 117p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, C.G.; SANTOS, M.A.L.; CUNHA, J. L. X. L. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na ctc dos solos do Estado de Alagoas. *Revista Caatinga*. Mossoró – RN. v. 22, n.1, p.27-36, janeiro/março de 2009.
- SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, v. 138, p. 335-356, 2000.
- SILVA, A. M. Banco de Dados de Curvas de Retenção de Água de Solos Brasileiros. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- SILVA, I. V.; MENDONÇA, E. D. Matéria orgânica do solo. 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, Cap. 6, p. 275-374, 2007.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p.113-117, 1997.

- SILVA, J. F. Etnopedologia na caracterização de neossolos sob diferentes usos agrícolas no Assentamento Santa Agostinha, Caraúbas – RN. 2014. 91p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2014.
- SILVA, L.S.; CAMARGO, A.O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). Fundamentos de química do solo, Porto Alegre: Evangraf, p.264, 2010.
- SILVA, R. F.; BORGES, C.D.; GARIB, D.M.; MERCANTE, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 435-2441, 2008.
- SILVA, S. G. C. Variação temporal da densidade do solo e do grau de compactação de um latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. 2001. 65p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.
- SINGER, M.; EWING, S. Soil Quality. In: SUMNER, M. E. (ed.). Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, p.271-298, 2000.
- Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro. Disponível em <<http://www.insa.gov.br/censosab/publicação/palestra>> acessado em: 20 de junho de 2015.
- SIX J, BOSSUYT H, DE GRYZE S, DENEK K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil Till Res. 2004;79:7-31.
- SOLONE, R.; BITTELLI, M.; TOMEI, F. & MORARI, F. Erros in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. J. Hydrol., 470/471:65-74, 2012.
- SOUSA, V.F.; FOLEGATTI, M.V.; FRIZZONE, J.A.; CORRÊA, R.A.L.; ELOI, W.M. Produtividade do maracujazeiro-amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, n.4, p.497-504,2003.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, p. 1135-1139, 2005.
- SOUZA, H. A. DE; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Revista Ciência Agronômica, v. 43, p.658-663, 2012.
- SOUZA, R.O. Caracterização etnopedológica em um Cambissolo eutrófico em diferentes usos agropecuários na chapada do apodi. Universidade Federal Rural do Semi –

- Árido – UFERSA, Mossoró, RN, UFERSA, 2014. 81p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Água e Solo).
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V.28, p. 937- 944, 2004.
- SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. New York: Academic, 1995. 267 p.
- SPERA, S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura- produção integração lavoura---pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.
- STATSOFT, Inc. *STATISTICA* (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com, 2004.
- SUGUIO, KENITIRO. *Geologia Sedimentar*. Editora Edgar Blücher LTDA. São Paulo, 2003.
- TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of Oxisols in Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 899-906, 2010.
- TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C.T.M.; OLIVEIRA, J.F.; ALMEIDA, E.; GUIMARÃES, M.F. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.3, p.436-441, mar. 2012.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. 4.ed. New York: MacMilan Publ., 1985. 754p.
- TISDALL, J.M., OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils, *Journal of Soil Science*, v. 33, p. 141-163, 1982.
- TORRES, R. Regime hídrico do solo. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAWZsAF/regime-hidrico-solo>>. Acesso em: 02 de julho de 2015.
- 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.
- VALENTE, D. S. M. et al. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 69, p. 173-179, 2012.

- VAN GENUCHTEN, M. Th. A Closed – Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society of America Journal, 44:892 - 898, 1980.
- VANLAUWE, B.; GACHENGO, C.; SHEPHERD, K.; BARRIOS, E.; CADISCH, G.; PALM, C.A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. Soil Science Society of America Journal, v.69, p.1135-1145, 2005.
- VASCONCELLOS, E. B. Levantamento dos atributos físicos e hídricos de três solos de várzea do Rio Grande do Sul. 1993. 73 p. dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1993.
- VASCONCELOS, A. A. A interação de compostos orgânicos com cátions divalentes, como o cálcio, pode melhorar a agregação do solo e polimerizar as moléculas orgânicas, formando complexos organo-metálicos mais estáveis. 2010. 56 p. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 35:213-223, 2011.
- WANG, D.; YATES, S.R. & ERNST, F.F. Determining soil hydraulic properties using tension infiltrometers, time domain reflectometry, and tensiometers. Soil Science Society of American Journal, Madison, V.62, n.2, p.318-325, 1998.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.
- WILKINSON, G. E.; KLUTE, A. The temperature effect on the equilibrium energy status of water held by porous media. Soil Science Society Proceedings, Madison, v. 26, p. 326-329. 1962.
- YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fósforo, 2005.