



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CAMPUS II – AREIA-PB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSODE AGRONOMIA**

NABOR GALVÃO DE FIGUEIRÊDO NETO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**AREIA - PB
2019**

NABOR GALVÃO DE FIGUEIRÊDO NETO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de graduação apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

**AREIA - PB
2019**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N469a Figueirêdo Neto, Nabor Galvão de.

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO SOB SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO /
Nabor Galvão de Figueirêdo Neto. - Areia, 2019.
43 f. : il.

Orientação: Flávio Pereira de Oliveira.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Qualidade do solo. 2. ILP. 3. Porosidade do solo. I.
Oliveira, Flávio Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

NABOR GALVÃO DE FIGUEIRÊDO NETO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia, do
Centro de Ciências Agrárias, da Universidade
Federal da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Bióloga Dra. Adriana Ferreira Martins
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Eng. Agr. Ms. Diego Almeida Medeiros
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A toda minha família que me apoiou em todos os momentos de minha graduação, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir vencer esse desafio, sempre me dando coragem, sabedoria, saúde e me protegendo contra todo o mal.

A minha mãe Elizacleide Medeiros de Figueirêdo, minha vó Elizabete Medeiros de Figueirêdo e meu avô Nabor Galvão de Figueirêdo por sempre me apoiarem e me ajudarem em todos os momentos da minha vida, sobretudo nesses últimos 5 anos de vida acadêmica, e terem contribuído com ensinamentos que sempre levarei comigo. A eles, devo tudo que que conquistei e ainda irei conquistar.

A minha irmã Hosana por sempre ter me tratado com amor e carinho, onde é um dos motivos para que eu tente ser sempre uma pessoa melhor poder dar-lhe mais oportunidades em seu futuro.

A meu pai por ter me auxiliado em todos os momentos em que precisei de sua ajuda, como também a todos os meus tios paternos por terem me apoiado durante esse percurso.

A meu tio Nabor Júnior e minha tia Elizanneide por terem me motivado em todas as decisões que tomei ou pensei em tomar.

A todos os meus familiares que torceram e continuam torcendo pelo meu sucesso.

A Victória Belarmino por todo o apoio, força, carinho, amor e paciência comigo, na qual sou muito grato por tê-la e poder compartilhar de muitas alegrias com ela, e Batista Belarmino, Cristina Palmeira, Jéssica Palmeira, Camila Belarmino e Gabriela Belarmino por terem sido pessoas bastante especiais em minha vida.

Ao professor Flávio Pereira de Oliveira por ter me orientado durante minha reta final do curso com muita paciência e amizade.

Aos meus amigos Belchior, Nardiele, Tatiana, João Pedro, Iêgo borges, Igor Oliveira, Alison José, José Otávio, Tales, Juscelino, Leandro, Ewerton Barbosa, Edson Silva, Willian Santana e Igor Ricelli por terem feito parte dessa história e também por estarem comigo nos bons e maus momentos, mostrando que amizades nós levamos para toda a vida.

A Pedro Luan, um amigo e irmão que tive o prazer de conviver durante todo esse tempo, na qual me motivou com todos os trabalhos impostos, me ajudou em todas as dificuldades e foi grande conselheiro em todos os momentos difíceis, um verdadeiro irmão de outra mãe a quem sempre serei grato.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram com minha formação

“Não peça a Deus para guiar seus passos se
você não está disposto a mover seus pés”
(Caio Carneiro)

RESUMO

A degradação física do solo tem sido apontada como um dos maiores entraves para o desenvolvimento da agricultura no país, principalmente em função das práticas inadequadas de manejo e conservação de solos e pastagens. O comprometimento ao desenvolvimento das culturas demanda a adoção de sistemas de produção conservacionistas que reduzam o impacto provocado pela degradação física do solo. Os sistemas integrados de produção como o Lavoura-Pecuária (iLP), surge como uma alternativa sustentável através dos inúmeros benefícios que proporciona ao solo. Objetivou-se com esse estudo avaliar os atributos físicos de um Neossolo regolítico sob diferentes sistemas de manejo no semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa, localizada em área experimental da Empresa Paraibana de pesquisa, extensão rural e regularização fundiária (EMPAER), em Lagoa Seca, no agreste da Paraíba. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos e cinco repetições (5 x 5), em duas profundidades (0,00 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m). Os tratamentos avaliados em sistemas de integração lavoura-pecuária foram: 1) Capim Urochloa + Milho (CU + M); 2) *Brachiaria decumbens* + Milho (BRA + M); 3) Floresta (FLO); 4) Área de agricultura com cultivo de feijão (AGRI); 5) Área degradada (DG). As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físicas de Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba para a realização de análises. As variáveis analisadas foram: Densidade do solo (ρ - kg dm⁻³), porosidades (Total (α), macroporosidade (MA) e microporosidade (μ) (em m³ m⁻³), porosidade de aeração (β - m³ m⁻³), condutividade hidráulica saturada (K_{θ} cm h⁻¹), capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e o intervalo de água disponível (θ_{AD}), Areia, Silte, Argila, Argila dispersa em água (ADA) e o grau de flocculação (GF) em g kg⁻¹. Realizou-se análise de variância e as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software. Observa-se maior predominância da fração areia (80%) na maioria dos tratamentos avaliados, classificando o solo como areia franca e areia. A porosidade total, macroporosidade, densidade do solo, e condutividade hidráulica saturada foram superiores no tratamento floresta na profundidade 0,0-0,10. O tratamento (CU + M) apresentou maiores valores para a Capacidade de Campo nas profundidades 0,0-0,10 e 0,10 m-0,20 m. A microporosidade se mostrou maior no tratamento (BRA + M) nas profundidades 0,0 m-0,10 m e 0,10 m-0,20 m. O volume de água disponível com melhor resultado foi na camada 0,0 m-0,10 m foi observada no tratamento (CU + M), já para a profundidade 0,10 m-0,20 m a mesma variável apresentou maiores valores para o tratamento (DG). Logo, o tratamento de integração Lavoura-Pecuária que apresentou melhores atributos físicos foi capim urochloa + Milho.

Palavras-Chave: Qualidade do solo.ILP. Porosidade do solo.

ABSTRACT

The physical degradation of the soil was pointed as one of the biggest inputs for the development of agriculture in the country, mainly due to the inadequate practices of soil and pasture management and conservation. Impaired crop development requires the adoption of conservationist production systems that reduce the impact of physical soil degradation. Integrated production systems such as Livestock Farming (iLP) increase as a sustainable alternative through the number of benefits it provides to the soil. The objective of this study was to evaluate the physical attributes of a Regolithic Neosol under different management systems in the Brazilian semiarid. The experiment was conducted at Embrapa's Technological Reference Unit, located in the experimental area of the Paraíba Company for Research, Rural Extension and Land Regularization (EMPAER), in Lagoa Seca, in the wild of Paraíba. The experimental design was randomized with 5 treatments and five replications (5 x 5), in two depths (0.00 - 0.10 and 0.10 - 0.20 m). The controls applicable to crop-livestock integration systems were: 1) Urochloa + Corn Grass (CU + M); 2) Brachiaria decumbens + Corn (BRA + M); 3) Forest (FLO); 4) Agriculture Area with bean cultivation (AGRI); 5) Degraded area (DG). The samples were sent to the Soil Physical Analysis Laboratory of the Department of Soils and Rural Engineering of the Federal University of Paraíba for analysis. The variables analyzed were: Soil density (ρ - kg dm⁻³), porosity (Total (α), macroporosity (MA) and microporosity (μ) (in m³ m⁻³), aeration porosity (β - m³ m⁻³), saturated hydraulic conductivity (K_{θ} cm h⁻¹), field capacity (θ_{CC}), permanent wilting point (θ_{PMP}) and available water range (θ_{AD}), Sand, Silt, Clay, Water-dispersed Clay (ADA)) and the degree of flocculation (GF) in g kg⁻¹. Variance analysis was performed and the means were compared using the Tukey test at 5% probability, with the aid of the software. (80%) in most of the evaluated treatments, classifying the soil as open sand and sand. The total porosity, macroporosity, soil density, and saturated hydraulic conductivity were higher in the forest treatment at depth 0.0-0.10. treatment (CU + M) presented higher values for Field Capacity at depths 0.0-0.10 and 0.10 m-0.20 m. The microporosity was higher in the treatment (BRA + M) at the depths 0.0 m-0.10 m and 0.10 m-0.20 m. The best available water volume was in the 0.0 m-0.10 m layer was observed in the treatment (CU + M), while for the 0.10 m-0.20 depth, the same variable presented the highest values for the treatment. treatment (DG). Therefore, the crop-livestock integration treatment that presented the best physical attributes was Urochloa Grass + Corn.

Keywords: Soil quality. ILP. Soil porosity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Caracterização dos tratamentos na área experimental.....	21
Figura 2 -	Representação esquemática dos pontos de coleta na parcela.....	22
Figura 3	Panorama da área experimental destacando-se a área de agricultura (A) e a área degradada (B). Lagoa Seca – PB	23
Figura 4 -	Valores referentes à capacidade de água disponível na camada 0,0-0,10 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	31
Figura 5 -	Valores referentes à capacidade de água disponível na camada 0,10-0,20 m em neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	32
Figura 6 -	Valores referentes à capacidade de campo na camada 0,0-0,10 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	33
Figura 7 -	Valores referentes à capacidade de campo na camada 0,10-0,20 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	34
Figura 8 -	Valores referentes ao ponto de murcha na camada 0,00-0,10 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	34
Figura 9 -	Valores referentes ao ponto de murcha na camada 0,10-0,20 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Textura, argila dispersa em água e grau de flocculação em Neossolo Regolítico sob sistema de integração lavoura-pecuária no agreste da Paraíba	26
Tabela 2 – Atributos físicos de Neossolo Regolítico sob diferentes tratamentos no agreste da Paraíba	28
Tabela 3 - Análise de coeficiente de correlação de Pearson para atributos físicos de solo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
BD	Brachiariadecumbens
CU	Capim urocloa
M	Milho
AGRI	Área de agricultura
DG	Area degradada
SPD	Sistema de plantio direto
iLP	Integração lavoura-pecuária
iLPF	Integração lavoura-pecuária-floresta
PT	Porosidade total
MA	Macroporosidade
MI	Microporosidade
Ds	Densidade do solo
CAS	Capacidade de aeração do solo
K_{θ}	Condutividade hidráulica saturada
CC	Capacidade de campo
PMP	Ponto de murcha permanente
AD	Intervalo de água disponível
FLO	Área de floresta
MO	Matéria orgânica
ADA	Argila dispersa em água
GF	Grau de floculação
CV	Coeficiente de variação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Sistemas conservacionistas de produção: iLPF.....	15
2.2	Indicadores de qualidade física do solo.....	16
2.3	Neossolos: Caracterização e usos	19
2.5	Objetivos.....	20
2.5.1	<i>Geral</i>	20
2.5.2	<i>Específicos</i>	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Caracterização da área experimental	21
3.2	Delineamento experimentos dos tratamentos.....	22
3.3	Variáveis analisadas.....	23
3.4	Análise estatística dos dados.....	25
4.	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	26
5.	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Com o grande crescimento da população mundial, a exigência pela produção de alimentos fez com que medidas intensivas de manejo do solo fossem adotadas para obter o máximo de produtividade. Essas práticas acabam por ocasionar grandes perdas na qualidade dos solos, alterações na sua estrutura física e composição química, comprometendo dessa forma a capacidade dos solos em produzir alimentos. Isso contribui com a busca por meios de produção que associem produtividade e sustentabilidade dos recursos naturais.

A perda de solo agricultável estimada pelo GLASSOD (*Global Assessment of Soil Degradation*) gira em torno de uma taxa de 6 a 7 milhões de hectares por ano com adicional de 1,5 milhões devido a exploração de madeira, salinização e acidificação (GUERRA, 2014). A atividade humana condiciona os sistemas naturais à diferentes capacidades de produção de acordo com o sistema utilizado: produção melhorada, conservada ou diminuída (WADT et al., 2003).

Com isso, surgiu a necessidade de adoção de sistemas de produção conservacionistas como o Sistema de Plantio Direto (SPD), sistema de integração Lavoura-Pecuária (iLP) e sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). Estes dois últimos consistem na diversificação da produção onde há atividade agrícola e pecuária (iLP) ou agrícola, pecuária e florestal (iLPF) numa mesma área, contribuindo com o aumento da eficiência dos recursos naturais e preservação do meio ambiente (EMBRAPA, 2019).

A pecuária brasileira é responsável pela grande alteração das paisagens, tendo em vista a necessidade de utilizar grandes áreas para o desenvolvimento de suas atividades, sobretudo no sistema de criação extensivo, que conta com o cultivo de diversas espécies de plantas para a formação de pastagens. De acordo com a AGE/MAPA (2014) a pecuária é uma das principais atividades econômicas do país contribuindo com aproximadamente 30% do Produto Interno Bruto (PIB).

As áreas de pastagens brasileiras, de acordo com o censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2007), cresceram 4% no período de 1975 a 2006, enquanto que a quantidade de animais que necessitam de pastagens apresentou um crescimento de 100%. Quando o analisado o comportamento das pastagens por região, é observado uma diminuição nas áreas do sul, sudeste e centro-oeste, enquanto a região norte e nordeste apresentaram aumento das áreas destinadas a pastagem.

Embora ocorra aporte constante de material vegetal e de dejetos dos animais, ocasionando o aumento da produção de matéria seca, pode-se, em algumas situações, observar

compactação do solo por parte do pisoteio de animais (LANZANOVA et al., 2007), em diferentes camadas do solo o que impede a penetração das raízes no solo, redução na porosidade e infiltração de água no solo.

OS atributos físicos do solo podem ser alterados de acordo com o sistema intensivo de uso e também do manejo adotado, provocando degradação e redução na qualidade do solo, comprometendo assim sua sustentabilidade (SOUZA et al., 2005). Um dos melhores indicadores para se determinar a qualidade de um solo são os atributos físicos, na quais permitem monitorar as áreas que podem ter sofrido alguma interferência e possibilita, assim, escolher a melhor forma de utilização do solo para que se provoque menor degradação (ARSHAD et al., 1996; SOUZA et al., 2005).

Atualmente, há conhecimento de poucos resultados de pesquisas no que concerne ao desenvolvimento de novos índices para a avaliação da qualidade física do solo em lavouras manejadas em ILP, sobretudo em experimentos com médio e longo histórico de avaliação, principalmente no caso dos solos sob semiárido, ainda pouco explorados, notadamente no tocante aos estudos associados ao uso de atributos físico-hídricos como forma de aferição de sua produtividade e sustentabilidade do sistema produtivo e do ambiente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE PRODUÇÃO: iLPF

Dentre os sistemas de produção, os mistos são os que apresentam maior sustentabilidade (WILKINS, 2008; VILELA et al., 2011). Os sistemas conservacionistas apresentam vantagens relacionadas ao controle da erosão e melhoria na qualidade do solo e da água (SANTOS et al., 2012). Estes se apresentam como uma alternativa que concilia produtividade e medidas sustentáveis para com a utilização dos recursos naturais. A produção sustentável no Brasil é sustentada no uso de tecnologias como o Sistema de Plantio Direto (SPD) que pratica o cultivo mínimo do solo e também aborda também a rotação de culturas, e os Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (SILP_S) (MACEDO, 2009).

São muitas as vantagens dos sistemas conservacionistas, dentre as quais podemos citar a manutenção dos restos culturais na superfície do solo, a redução na emissão de gás carbônico (CO₂) e maior estocagem de carbono (C) e nitrogênio (N) (LOSS et al., 2011; GUARESCHI et al., 2012; KUNDE., 2018).

O sistema de integração lavoura-pecuária consiste na consorciação, numa mesma área, da produção de grãos, fibras, carne, leite, agroenergia, entre outros (MACEDO, 2009; VILELA et al., 2011). Assim é possível que o produtor diversifique suas atividades dentro da propriedade, permitindo assim que seja possível a obtenção de renda durante o período entressafra, favorecendo uma agricultura eficiente, produtiva e estável (MORAES et al., 2002; CASSOL, 2003; FLORES et al., 2007). A união destes sistemas possibilita que o solo seja explorado economicamente por um maior período de tempo, sendo possível utilizá-lo em um ano todo ou em boa parte dele, favorecendo uma maior produtividade devido a relação de sinergismo entre as duas vias produtivas (EMBRAPA, 2005).

A adoção do sistema ILP, além de viabilizar o SPD, proporciona, através da pastagem, um solo com melhor estruturação à lavoura devido ao sistema radicular bem distribuído e o material orgânico deixado na superfície e subsuperfície do solo (LOSS et al., 2011; SILVA et al., 2011; BALBINO et al., 2011). De acordo com a EMBRAPA (2007) são muitos os objetivos do sistema ILP, dentre os quais estão a recuperação ou reforma das pastagens degradadas, a utilização de pastagens em áreas degradadas pelas lavouras para a melhorias das características físicas e biológicas do solo, e a produção de alimento para os animais através da produção de pasto, forrageiras e grãos.

O sistema de integração lavoura-pecuária possibilita a menor utilização de defensivos químicos que seriam utilizados no controle de pragas, doenças e plantas daninhas devido à quebra do ciclo de vida destas (VILELA et al., 2008; BALBINO et al., 2011).

2.2. INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

A qualidade do solo pode ser entendida como a capacidade do mesmo em sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais dentro de um mesmo ecossistema (DORAN; PARKIN, 1994; ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Assim, a qualidade do solo está relacionada com o exercício pleno atual de suas funções e a garantia de manutenção destas (USDA-NRCS, 2008; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

O solo não apresenta um padrão único de qualidade, na qual está depende da análise características naturais do próprio solo e os sistemas conservacionistas as quais está submetido (ARAÚJO, 2012). Para isso, são utilizados indicadores físicos, químicos e biológicos que irão medir ou refletir o status do ambiente ou a sustentabilidade de todo o ecossistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Estes indicadores permitem mensurar quantitativamente e qualitativamente as propriedades inerentes ao solo ou a plantas presentes num determinado ecossistema, sendo possível monitorar possíveis mudanças no ambiente que possam influenciar na qualidade do solo (ARAÚJO, 2012).

A densidade do solo pode ser definida como uma relação entre a massa do solo quando seco e o seu volume, sendo dessa forma afetada diretamente por alterações na estrutura, no arranjo e volume dos poros (KLEIN, 2008; MARCOLIN; KLEIN, 2011). Este atributo é utilizado como medida de avaliação da qualidade do solo por manter relações bem próximas com os demais atributos como porosidade, condutividade hidráulica, umidade do solo, dentre outros (THIMÓTEO et al., 2001; COSTA et al., 2007; MARTINS et al., 2009; PIRES et al., 2011). Devido a essa relação intrínseca com os outros atributos físicos, é comum que em pesquisas encontrem-se dados que mostrem que o aumento da densidade do solo ocasiona redução na porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica e absorção iônica, com aumento da microporosidade e da resistência mecânica do solo à penetração (GRECO; VIEIRA, 2005; MELO FILHO et al., 2006; MARTINS et al., 2009).

Os solos passíveis de atividade agrícola apresentam uma grande amplitude de densidade devido suas variadas características mineralógicas, sua textura e também aos seus teores de matéria orgânica (MARCOLINE; KLEIN, 2011).

A porosidade do solo está diretamente ligada a qualidade física do solo, uma vez que é através destes que ocorrerá a infiltração de água e ar (MACHADO et al., 2010; ALBERT et al., 2018), fatores limitantes para a produtividade agrícola (GOLÇALVES et al., 2012).

De acordo com Martins et al., (2009) a porosidade de um solo é intimamente relacionada com a densidade do solo, onde os indicativos de um atributo irão indicar o resultado contrário do outro, ou seja, possuem valores inversamente proporcionais. A porosidade pode ser utilizada como indicativo da qualidade do solo através da avaliação do grau de compactação, onde baixos valores podem indicar a ocorrência de má drenagem, aeração e maiores esforços de resistência à penetração mecânica, sobretudo das raízes (STOLF et al., 2011).

A condutividade hidráulica saturada refere-se ao comportamento hidrológico da água quando esta infiltra no solo, através da chuva ou irrigação, até atingir um valor constante depois de um certo tempo (JÚLIA et al., 2004; ALVARENGA et al., 2011). Este atributo irá demonstrar a utilidade de seus sistemas de poros no que diz respeito a quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros (GONÇALVES; LIBARDI, 2013) na qual torna-se uma informação bastante importante para a tomada de medidas relacionadas com produção agrícola no que diz respeito a sistemas de irrigação. Ainda de acordo com Gonçalves e Libardi (2013) é possível se deparar com uma grande variabilidade espacial dos poros de um local para outro, como também nas suas diferentes orientações.

A capacidade de campo pode ser entendida como o limite superior de água que cada solo suporta para armazená-la e distribuí-la para as plantas (ANDRADE; STONE, 2010). Quando o solo se encontra numa situação de saturação com lençol freático profundo e a água, em movimento vertical para baixo, diminuir seu fluxo à medida que o teor de água aumentar até que a condutividade hidráulica se torne muito baixa, diz-se que este solo atingiu sua capacidade de campo, ou seja, a infiltração de água já se encontra no seu limite máximo (BERNARDO et al, 2008; SOUZA et al., 2013).

A quantidade de água presente no solo depende de vários fatores como tempo, vegetação, topografia e da sua textura, o que possibilita que o teor de água suportado pelo solo apresente grande variabilidade espacial e temporal (SANTOS et al., 2011). Ainda segundo o autor, a água presente no solo depende da atuação de fatores climáticos como os eventos decorrentes das chuvas, ou eventos pluviométricos.

O ponto de murcha permanente (PMP) junto com a capacidade de campo compõem os dois extremos do chamado intervalo hídrico ótimo (IHO), onde o PMP indica o teor de água em que as plantas irão apresentar-se murchas e sem a capacidade de se recuperarem quando submetidas novamente a condições ótimas (MENEZES et al., 2013). A redução do PMP no solo, ou seja, o solo passando a armazenar ainda menos água, pode comprometer o desenvolvimento das culturas agrícolas uma vez que serão submetidas à estresse físico do solo (LIMA et al., 2015). O ponto de murcha permanente está diretamente ligado com a disposição de poros no sistema, o que pode-se deduzir que a densidade do solo é fator determinante na obtenção do PMP, sendo necessário a obtenção de um novo resultado sempre que a densidade do solo apresentar-se variada (LEÃO et al., 2005; LIMA., 2015).

A água disponível no solo é o teor de água compreendido entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (EMBRAPA, 2006), sendo bastante suscetível a variação em virtude do comportamento específico da CC e do PMP em cada solo (SOUZA et al., 2000). É avaliada através da relação entre o seu volume no solo e seu potencial em ser disponibilizada às plantas (COSTA et al., 2009). As partículas sólidas presentes no solo exercem altas tensões para reterem a água presente no meio, onde após ocorrer um espessamento da película de água e a consequente diminuição nas forças das tensões de ligação entre a água e as partículas, a água é removida e utilizada pelas plantas (CORREIA et al., 2008).

A aeração do solo refere-se a capacidade que o solo possui em atender uma demanda de trocas gasosas entre o solo e a atmosfera para sustentar a vida biológica presente no sistema (REINERT; REICHERT, 2006), onde através de seus poros interconectados esses gases são armazenados e transmitidos, atuando também como mecanismos reguladores da temperatura do solo (JUNIOR, 2012). A densidade e a quantidade de água presentes nos poros exercem forte influência sobre a capacidade de aeração de um solo (STEFANOSKI et al., 2013). Silva et al. (2018) observou que a capacidade de aeração do solo em área de iLPF estava bastante relacionada com a densidade do solo, microporosidade e elevação nos teores de argila quando analisada em profundidade.

A textura do solo é definida como sendo a forma com que as partículas do solo se distribuem com relação aos seus tamanhos, ou seja, é a relação da proporção das dimensões em que essas partículas se encontram (REINERT; REICHERT, 2006). É uma variável de grande importância devido está diretamente ligada ao potencial produtivo e a processos de degradação do solo (FRANCESCHINI et al., 2013), determinando o grau de coesão e adesão das partículas do solo, nas quais influenciam na taxa de infiltração de água, na retenção da

água, na aeração do solo e também na disponibilidade de nutrientes (FORSYTHE, 1975; FERRARESI et al., 2012).

Santos (2013) estabelece diferentes classes à textura do solo de acordo com a composição de suas partículas, são elas: arenosa (teor de areia menos teor de argila $>700\text{g kg}^{-1}$), média (menos de 350g kg^{-1} de argila e mais de 150g kg^{-1} de areia), argilosa (argila entre 350 e 600g kg^{-1}), muito argilosa (argila superior a 600g kg^{-1}), siltosa (menos de 350g kg^{-1} de argila e menos de 150g kg^{-1} de areia).

A argila dispersa em água é a porção de argila total dispersa naturalmente sob ação da água, sendo utilizada como indicadora da estabilidade dos agregados (VAN LIER, 2010; MOTA et al., 2013; PORTELA, 2018). Além de influência sobre a estabilidade dos agregados, a argila dispersa pode descer no perfil do solo e chegar a obstruir os poros, comprometendo a dinâmica da água e do ar no solo (FREITAS, 2011).

A dispersão de partículas do solo como a argila possui relação com a interação das cargas elétricas na superfície e pode ser gerada por substituição isomórfica ou por dissociação dos radicais (SPERA, 2008). A dispersão da argila pode ser provocada pela qualidade da água que é aplicado sobre o solo, seja pela chuva, irrigação ou fertirrigação, onde suas características químicas, físicas e mineralógicas irão determinar sua resistência a essa dispersão (NETO, 2009).

A flocculação refere-se à percentagem de argila flocculada no solo devido ao balanceamento entre as cargas negativas e positivas presentes, na qual ocorre uma aproximação entre os colóides de argila (PORTELA, 2018) constituindo assim fator importante na agregação do solo (BORDAM, 2010). O grau de flocculação atua como um condicional para a agregação do solo, onde a união das partículas dará origem a formação de agregados estáveis (TISDALL; OADES, 1982; CZYS; DEXTER, 2015; BATISTA, 2018). O grau de flocculação ocorre de maneira inversa ao comportamento do da argila dispersa em água, onde BEUTLER et al., (2001) observou um aumento do teor de argila dispersa e uma redução no grau de flocculação em Latossolo vermelho distrófico.

2.3. NEOSSOLOS: CARACTERIZAÇÃO E USOS

Os Neossolos são solos que apresentam pouca evolução, sendo constituídos por material mineral ou orgânico com espessura máxima de 20 cm, sem contar com horizonte B

diagnóstico (EMBRAPA, 2018). São solos que apresentam baixa expressão dos processos pedogenéticos, sendo estes incapazes de provocar grandes modificações ao material primário devido sua resistência ao intemperismo (SANTOS et al., 2011), caracterizando assim baixo potencial para uso agrícola e não agrícola devido às suas características morfológicas (PEDRON, 2011).

Os Neossolos podem ser classificados, no segundo nível categórico, em Neossoloslíticos, NeossolosRegolíticos, Neossolosflúvicos e NeossolosQuartzarênicos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006; STÜRMER, 2008). Os neossolosregolíticos não são muito bem representados espacialmente no Brasil, sendo identificados de forma bastante dispersa em locais específicos como a região semiárida do Nordeste, Mato Grosso e também em alguns locais da região serrana do Sudeste(EMBRAPA, 2006; ALMEIDA, 2015). No estado da Paraíba, os Neossolos ocupam uma área de 47,91% de todo o território (MEDEIROS, 2018).

Neossolosregolíticos possuem textura variável de arenosa a média, com horizonte sequenciado em A-C-R, com teores de minerais primários alteráveis superiores a 4% nas frações areia e cascalho (SANTOS et al., 2012). Apresentam contato lítico ou lítico fragmentário na faixa de 50 cm a partir da superfície, com horizonte A ou hístico sobrejacente ao horizonte C ou CR, ainda admitindo um horizonte B em início de formação, sem espessura satisfatória para nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018).

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 Geral

Avaliar os atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária no agreste paraibano.

2.5.2 Específico

Caracterizar atributos físicos do solo tais como densidade, porosidade, retenção de água, estabilidade dos agregados, condutividade hidráulica saturada e compactação o solo;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

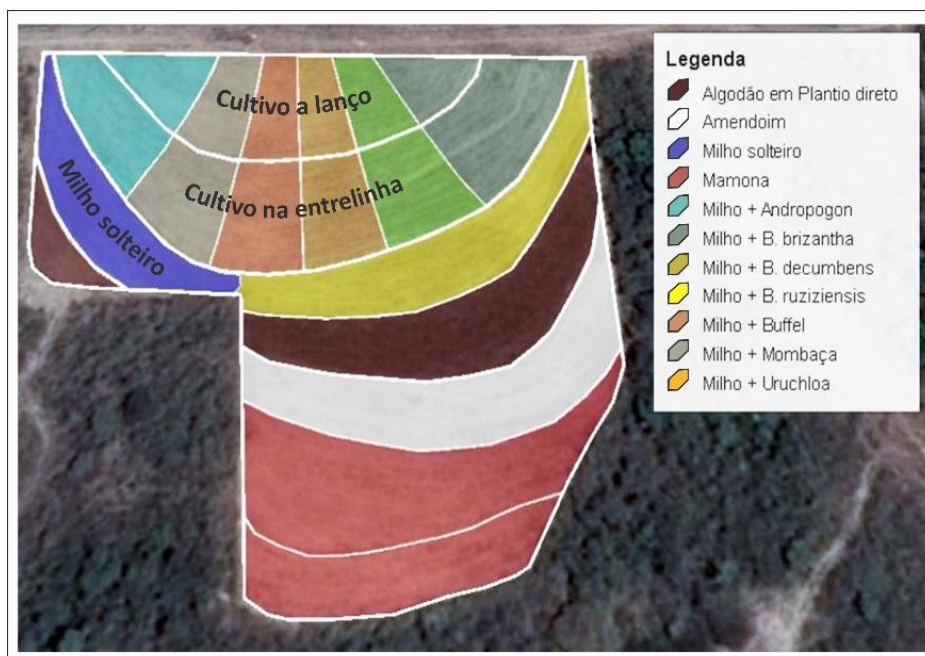
O experimento foi implantado no ano de 2015 na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa, localizada em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), em Lagoa Seca, no Agreste da Paraíba (latitude 7° 10' 15'' S e longitude 35° 51' 13 W). O clima que predomina no município de acordo com a classificação Köppen-Geiger é do tipo As', quente e úmido, com ocorrência das maiores precipitações entre os meses de abril a junho (SILVA et al., 2015).

A temperatura média anual varia entre 22 e 26 °C, com umidade relativa do ar em torno de 79% e precipitação pluviométrica média anual de 990 mm (OLIVEIRA et al., 2009). O relevo do município é caracterizado como fortemente ondulado, recoberto por remanescentes florestais do tipo subcaducifólia. De acordo com a Embrapa (2013), o solo que predomina na área experimental é caracterizado como NeossoloRegolítico, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2018)

Figura1. Caracterização dos tratamentos na área experimental. Lagoa Seca, Paraíba.

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2016).

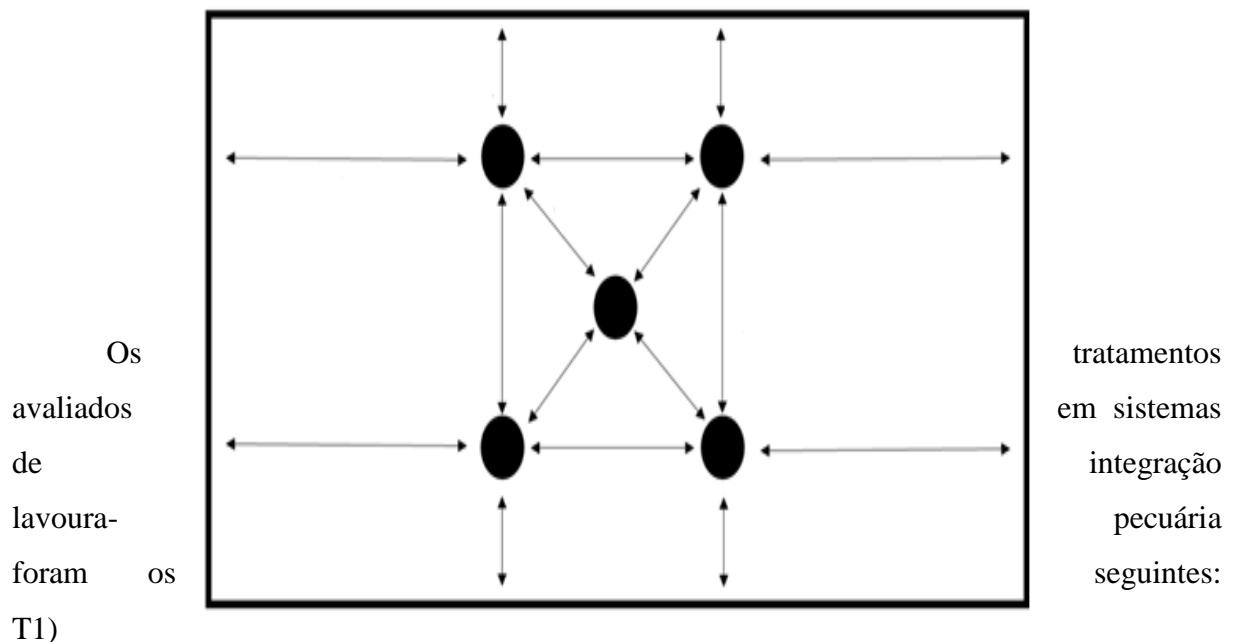
3.2 Delineamento experimental e Tratamentos



O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos e cinco repetições (5 x 5). As repetições corresponderam a cada ponto de coleta da parcela, sendo cinco pontos de coleta com dois níveis de profundidade (0,00 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m), totalizando dez amostras por tratamento. As amostras de solo foram coletadas em

malha regular com 10 metros de distância entre os pontos de coleta (10 x 10 m), como forma de reduzir o erro experimental e a heterogeneidade da parcela amostrada (Figura 2).

Figura2. Representação esquemática dos pontos de coleta na parcela.



Brachiariadecumbens + Milho (BD + M); T2) Capim Urochloa + Milho (CU + M); T3) Floresta (FLO); T4) Área de agricultura (AGRI); T5) Área degradada (DG), Figura 3.

Uma área de vegetação nativa em estágio secundário de regeneração foi utilizada como tratamento controle, de forma a comparar a evolução de mudanças nos atributos físicos de solo das áreas manejadas, em relação a área com acentuado grau de conservação. Ressalta-se que a vegetação nativa utilizada como controle encontrava-se cercada e, aparentemente não havia perturbação de ordem antrópica da instalação do experimento até os dias de coleta das amostras de solo. Quanto ao tratamento área degradada (DG), verifica-se que houve retirada da camada arável do solo $\pm 0,40$ m, para a construção de uma barragem nas dependências da estação experimental de Lagoa Seca. Então, essa área foi escolhida em função da proximidade com a área experimental onde estavam implantados os sistemas de integração.

Figura3. Panorama da área experimental destacando-se a área de agricultura (A) e a área degradada (B). Lagoa Seca – PB.



3.3 Variáveis analisadas

Em todas as áreas foram coletadas amostras com estrutura preservada e não preservada até a profundidade de 0,20 m, nas camadas de 0,00-0,10e 0,10-0,20 m, em uma única vez, quando as culturas estavam em estágio de pleno desenvolvimento. As amostras com estrutura preservada foram coletadas utilizando-se um amostrador do tipo Uhland.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físicas de Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para a realização de análises. Um total de (50) amostras com estrutura preservada foram utilizadas para a avaliação das variáveis: Densidade do solo (D_s), porosidade Total (PT), macroporosidade (MA) e microporosidade (MI), capacidade de aeração do solo (CAS), condutividade hidráulica saturada (K_θ), capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e água disponível (θ_{AD}).

As amostras com estrutura não preservada (50 amostras), foram utilizadas na caracterização física do solo, de forma a obter as variáveis: granulometria (areia, silte e argila), Argila dispersa em água (ADA) e o grau de floculação (GF) em $g\ kg^{-1}$.

A densidade do solo (D_s), foi determinada através da relação entre a massa do solo seco/ volume da amostra de solo no cilindro calculado através da seguinte expressão ($\pi * r^2 * h$)

h). Para a obtenção da massa do solo seco, a amostra de solo foi colocada em estufa com temperatura a ± 105 °C por um intervalo mínimo de 48 horas ou até atingir o peso constante (TEIXEIRA et al., 2017).

A porosidade total (PT) foi determinada pelo volume de saturação do solo de acordo com metodologia proposta no manual de métodos de análise de solos (TEIXEIRA et al., 2017), conforme equação 1:

$$VS = A - B/C \quad (1)$$

Onde: VS - é o volume de saturação ($m^3 m^{-3}$), A - massa do bloco de solo saturado (kg), B - massa do bloco de solo seco a 105 °C (kg) e C - volume do cilindro (cm^3). A microporosidade (MI), foi obtida utilizando-se a mesa de tensão com o volume de água no potencial matricial de $\Psi_m - 6$ kPa. A macroporosidade (MA) foi obtida através da relação entre a porosidade total e a microporosidade do solo (TEIXEIRA et al., 2017), equações 2 e 3:

$$MI = M_{s\ 6\ kPa} - M_{ss}/V \quad (2)$$

$$MA = PT - Mi \quad (3)$$

Onde: MI - é a microporosidade ($m^3 m^{-3}$), M_{ss} (massa do solo seco a 105° C), PT (porosidade total), $M_{s\ 6\ kPa}$ macroporosidade ($m^3 m^{-3}$), $M_{s\ 6\ kPa}$ - massa do solo submetido ao potencial matricial de $\Psi_m - 6$ kPa na mesa de tensão ($m^3 m^{-3}$) e V - volume do cilindro (cm^3).

A condutividade hidráulica saturada (K_θ), foi determinada com o auxílio do permeâmetro de carga constante, conforme descrito por Teixeira et al. (2017), no manual de métodos e análise de solos da Embrapa, equação 4:

$$K_\theta = Q \times L / A \times H \times T \quad (4)$$

Onde: K_θ - é a condutividade hidráulica saturada ($cm\ h^{-1}$), Q - volume do percolado na proveta de coleta em (mL^{-1}), L - altura do bloco de solo em (cm), A - área do cilindro em (cm^2), H - (altura do bloco de solo + coluna de água, em (cm) e T - (tempo em horas da coleta do volume percolado). A variável porosidade de aeração do solo (β) foi obtida conforme descrito por Reynolds et al. (2007), utilizando a equação 5:

$$CAS = \theta_s - \theta_{CC} \quad (5)$$

Onde: θ_s - corresponde a umidade volumétrica da amostra de solo saturada ($m^3 m^{-3}$); θ_{CC} - é o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$) determinada pelo extrator de Richards a uma tensão de -10kPa.

Para a obtenção das variáveis capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), as amostras de solo foram saturadas e submetidas aos potenciais matriciais de (ψ_{m-10} e -1500kPa), na câmara de Richards, utilizando os potenciais matriciais - 10 kPa como capacidade de campo e - 1500 kPa como o ponto de murcha permanente (TEIXEIRA et al., 2017).

O intervalo de água disponível (θ_{AD}) em $m^3 m^{-3}$, foi obtido através da relação entre $[(\theta_{CC}) - (\theta_{PMP})]$. A granulometria foi determinada através do método do densímetro, utilizando o Hidróxido de Sódio (NaOH - 1 mol L⁻¹), como dispersante químico.

A análise granulométrica do solo foi realizada através do método do densímetro de Bouyoucos (GEE; BAUDER, 1986), utilizando o hidróxido de sódio (NaOH 1 mol L⁻¹) como dispersante químico, mais agitação mecânica por um intervalo de cinco minutos como dispersante físico. Para a argila dispersa em água (ADA), utilizou-se o mesmo procedimento da análise granulométrica, porém sem a utilização do dispersante químico NaOH, (TEIXEIRA et al., 2017).

A partir dos dados da argila total e dispersa, foi possível calcular o grau de floculação do solo utilizando a equação 6:

$$GF (g kg^{-1}) = [(ArgT - ArgH_2O) / (ArgT)] * 1000 \quad (6)$$

Em que: GF é o grau de floculação do solo; ArgT é a fração de argila dispersa em água com hidróxido de sódio - NaOH e ArgH₂O é a fração de argila dispersa em água sem a utilização do NaOH, também conhecida como argila natural.

3.4 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos na determinação dos atributos físicos foram avaliados por meio de análise de variância e Correlação linear de Pearson (r). Comparações de médias foram efetuadas com aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o

procedimento MIXED com pseudorepetições. As análises foram feitas com o *software* R (R DEVELOPMENTS CORE TEAM, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que não houve variação significativa para os atributos Areia, silte, argila, ADA e GF na camada de 0,00-0,10 m. Contudo, verifica-se que houve variação significativa para os atributos Areia e Argila na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 1).

Tratamento	Areia	Silte	Argila	ADA	GF
	----- g kg ⁻¹ -----				
	0,00-0,10 m				
CU + M	816 a	87,7 a	111,7 a	17,00 a	857 a

Tabela 1. Textura, argila dispersa e grau de flocculação em NeossoloRegolítico sob sistema de integração lavoura-pecuária no Agreste da Paraíba.

BD + M	849 a	88,7 a	62,0 a	11,33 a	937 a
FLO	817 a	88,7 a	94,3 a	20,33 a	807 a
AGRI	770 a	117,7 a	112,3 a	25,41 a	847 a
DG	671 a	188,3 a	171,0 a	33,60 a	810 a
Média	785 a	108,0 a	110 a	20,1 b	851 a
CV (%)	8,4	35,1	47,1	51,9	15,0
0,10-0,20 m					
CU + M	773 ab	96,7 a	133,3 ab	57,00 a	740 a
BD + M	837 a	66,7 a	66,7 b	43,33 a	900 a
FLO	775 ab	103,7 a	121,0 ab	38,00 a	770 a
AGRI	853 a	93,7 a	88,7 ab	16,72 a	783 a
DG	623 b	127,3 a	249,3 a	33,89 a	853 a
Média	772 a	96,0 a	132	37,8 a	809,2 a
CV	8,4	35,1	47,1 a	51,9	15,0

CU= Capim urochloa + milho; BD+ M= *Brachiariadecumbens* + milho; FLO= Floresta; AGRI= Agricultura, DG = Área degradada; ADA= Argila dispersa em água; GF= Grau de floculação. CV= Coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Verifica-se redução nos teores de argila com o aumento de profundidade do solo, destacando-se os tratamentos BD+M e AGRI com 853 e 837 g kg⁻¹. Para a Argila, verifica-se maior valor médio para o tratamento DG, com 249,3 g kg⁻¹. A elevação na concentração de argila em subsuperfície pode estar relacionada ao processo de desargilização, provocando maior concentração de areia na camada superficial (SOUZA et al., 2013). Determinar o percentual das frações granulométricas com posterior classificação textural são fundamentais para as ações de manejo do solo, principalmente por serem utilizados como indicadores de qualidade do solo e através deles é possível inferir sobre outros parâmetros de qualidade do solo (CENTENO et al., 2017) como condutividade hidráulica saturada, difusão de gases, retenção e disponibilidade de água, além da dinâmica de nutrientes no solo.

Houve aumento no conteúdo de argila dispersa em água com o aumento de profundidade do solo, com variação de 11,33 a 33,60 na camada de 0,00-0,10 e 16,72 a 57,00 g kg⁻¹, na camada e 0,10-0,20 m. Segundo Souza et al. (2006) o aumento no conteúdo de argila dispersa em água na subsuperfície em relação a superfície pode estar relacionada a maior deposição de matéria orgânica do solo e a presença de elementos floculantes H e Al na camada de 0,00-0,10. A presença desses elementos favorece a cimentação de partícula e elevam a estabilidade do solo.

Menores valores de ADA em superfície torna-se um ponto positivo para o solo, pois, torna-se mais resistente ao processo de erosão em função da redução da obstrução de poros provocados pela argila, quando dispersa através da ação das chuvas. O mesmo foi verificado por Silva et al. (2019) avaliando atributos físicos de solo em sistemas integrado de produção agropecuária. Eles verificaram menores valores de argila dispersa em água e maiores de GF nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20 m.

Esses dados demonstram que a deposição de matéria orgânica em superfície e a cobertura vegetal permanente estão favorecendo o aumento do GF através do processo de agregação do solo promovido pela deposição de matéria orgânica do solo. A ação conjunta entre matéria orgânica do solo, atividade dos microrganismos, sistema radicular das plantas, presença de cátions trocáveis e a ação dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (ALBUQUERQUE et al., 2000), influenciam diretamente nos valores de argila dispersa em água e grau de floculação do solo.

No caso da área degradada (DG) os valores médios elevados do GF podem estar relacionados a presença de elementos relacionados a microagregação do solo, como o cálcio e magnésio. Lunardi Neto et al. (2002) trabalhando com avaliação de atributos físicos de solo em área de mineração de carvão influenciadas pela correção de acidez do solo, adubação orgânica e revegetação, observaram maior conteúdo de ADA na área degradada em relação aos demais tratamentos, para ele a ausência de cobertura vegetal sobre o solo favoreceu esse processo.

Em sistemas de produção, onde o manejo favorece melhorias nos atributos físicos de solo, a deposição constante de MO e a redução no impacto ocasionado pelo impacto de máquinas e implementos agrícolas pode ocasionar melhorias nos atributos físicos de solo, inclusive ADA e GF em valores comparáveis aos do ambiente de mata, considerados referência (MOTA et al., 2013). A adoção de sistemas integrados de produção, a longo prazo podem favorecerem o acúmulo de MO e reduzem os teores de ADA e elevam o GF.

Para Prado e Centurion (2001) as alterações provocadas pelo manejo do solo na macroestrutura do solo ocasiona inúmeras consequências, dentre elas a elevação no teor de argila dispersa em água e o grau de floculação do solo. No presente estudo, verifica-se que, mesmo não havendo variação estatística significativa, o tratamento BD+M foi mais eficiente que os demais tratamentos na camada de 0,00-0,10 m, 937 g kg⁻¹ e 900 g kg⁻¹ na camada de 0,10-0,20 m, uma redução de 37 g kg⁻¹. Na tabela 2. pode-se observar que houve variação significativa entre os tratamentos ao nível de (p<0,05) nas duas camadas de solo avaliadas,

com exceção da densidade do solo (DS) na camada 0,10-0,20 m, que não apresentou variação estatística significativa em relação aos demais tratamentos.

Tabela 2. Atributos físicos de Neossolorególíticos sob diferentes tratamentos no agreste paraibano.

Tratamento	PT	Ma	Mi	CAS	Ds	K _θ
	m ³ m ⁻³				g cm ⁻³	cm h ⁻¹
0,00-0,10 m						
CU+M	0,44 b	0,08 b	0,35 ab	0,42 a	1,49 a	11,86 bc
BD+M	0,48 ab	0,08 b	0,40 a	0,36 ab	1,46 a	23,71 b
FLO	0,51 a	0,17 a	0,34 ab	0,35 ab	1,29 b	40,64 a
AGRI	0,43 b	0,14 ab	0,29 bc	0,24 bc	1,38 ab	10,28 bc
DG	0,32 c	0,08 b	0,24 c	0,16 c	1,51 a	1,06 c
Média	0,44 a	0,11 a	0,32 a	0,31 a	1,43 b	17,5 a
CV (%)	6,8	28,1	10,9	22,0	4,6	53,8
0,10-0,20 m						
CU+M	0,41 a	0,09 b	0,31 ab	0,31 a	1,55 a	12,73 ab
BD+M	0,43 a	0,08 b	0,35 a	0,30 ab	1,57 a	16,26 a
FLO	0,44 a	0,11 b	0,33 a	0,29 ab	1,50 a	10,85 ab
AGRI	0,39 ab	0,10 b	0,28 ab	0,21 ab	1,49 a	6,91 ab
DG	0,34 b	0,14 a	0,25 b	0,17 b	1,50 a	1,26 b
Média	0,40 b	0,11 a	0,30 a	0,26 b	1,52 a	9,6 b
CV (%)	6,8	28,1	10,9	22,0	4,6	53,8

CU= Capim urochloa + milho; BD+ M= *Brachiariadecumbens* + milho; FLO= Floresta; AGRI= Agricultura, DG = Área degradada; ADA= Argila dispersa em água; GF= Grau de flocculação. CV= Coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p< 0.05).

Os maiores valores referentes à porosidade total (PT) foram identificados no tratamento Floresta (FLO), onde ocorreu variação de 0,32 a 0,51 m³ m⁻³ na camada de 0,0-0,10 e 0,34 a 0,44 m³ m⁻³. Isso se deve ao fato que em áreas de vegetação nativa ocorre um maior aporte de matéria orgânica ao solo, o qual lhe proporciona melhores condições físicas através da ação dos microrganismos.

O mesmo foi observado por Matias et al. (2012) que em experimento realizado em solo sob diferentes sistemas de manejo constatou maior porosidade total do solo em todas as camadas analisadas, onde o principal motivo foi o aporte de material vegetal e a baixa mobilização do solo. Thomazine et al. (2013) relacionou a maior porosidade total com a

menor densidade do solo em trabalho realizado em Neossolo em área de floresta de mata atlântica, onde sua constante deposição de matéria orgânica contribuiu para a melhor do solo.

Na camada de 0,0-0,10 a área do tratamento floresta apresentou maiores valores para macroporosidade em relação aos demais tratamentos, possivelmente devido ao não revolvimento, uma vez que o solo da mata não é sujeito. Esses dados corroboram com Sales et al. (2018), trabalhando com carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia, que obtiveram valores de porosidade total de $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para a camada superficial de 0,00 - 0,10 m. Para eles, o baixo revolvimento do solo e a maior deposição de matéria orgânica em superfície foram os responsáveis pela elevação na porosidade total do solo.

Belin et al. (2017) observou em seu trabalho que o tratamento em área florestal apresentou comportamento semelhante, diferindo significativamente dos demais tratamentos devido à ausência de ação antrópica. Em área nativa de vegetação serrado, Carvalho et al., (2015) observou maiores valores de macroporosidade em comparação com outros sistemas de produção, variando de $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em sistema de integração lavoura-pecuária até $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na área de mata nativa, uma vez que a área não possuía nenhuma interferência humana e ocorre grande acúmulo de biomassa na superfície do solo.

Borba (2019) em experimento realizado com gramíneas em Latossolo observou que o tratamento mata manteve os maiores volumes de macroporosidade em relação aos demais tratamentos. Os valores obtidos de macroporosidade ficaram abaixo do limite crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (REICHERT et al., 2007), com exceção dos tratamentos FLO e AGRI, o que dificulta o bom desenvolvimento das plantas.

Para o atributo microporosidade, observa-se que houve variação entre os tratamentos, destacando-se o tratamento BD+M com $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na camada de 0,00 - 0,10 m. A elevação na microporosidade pode estar relacionada ao aumento na densidade do solo e na compactação. Spera et al., (2009) constatou em experimento realizado com sistemas de produção com a integração de culturas produtoras de grãos, pastagens de inverno e forrageiras perenes, o aumento da densidade e microporosidade do solo decorrente do pisoteio de animais.

Contudo para solos arenosos, observa-se que a aumento na microporosidade traz como benefícios o aumento na retenção e disponibilidade de água no solo (ROSA et al., 2018). Apesar da relação entre a microporosidade e a densidade do solo, observa-se que houve redução da microporosidade com o aumento da camada de solo avaliada, mesmo havendo aumento nos valores de Ds na camada de 0,10 - 0,20 m.

Para a Capacidade de Aeração do Solo (CAS) houve diferença significativa entre os tratamentos nas camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20, variando de 0,16 a 0,42 na primeira camada e 0,17 a 0,31 na segunda camada, com destaque para o tratamento CU+M que apresentou os melhores valores. O manejo adotado exerce influência direta sobre a porosidade do solo, alterando o volume de microporos e conseqüentemente a aeração do solo (COSTA et al., 2009). A capacidade aeração possui limites críticos entre 10-15%, onde menos que isso torna-se restritiva para o desenvolvimento de grande parte das culturas.

Borba (2019) observou que houve redução na CAS em profundidade em seu experimento de longa duração com gramíneas. O sistema radicular das espécies do tratamento CU + M podem ter influenciado na maior CAS através da ação de suas raízes. Costa et al., (2005) diz que o sistema radicular das plantas pode favorecer o aumento do CAS devido a ação descompactadora e a formação de agregados em superfície. Diferente de Assis et al., (2012) foi observado maiores valores de CAS em área com pisoteio de animais.

A densidade do solo apresentou variação significativa apenas na camada de 0,0-0,10 m, indo de 1,29 g cm⁻³ até 1,51 g cm⁻³ no tratamento área degradada. Na camada de 0,10-0,20 m, não foi observado variação significativa entre os tratamentos, onde o maior resultado obtido foi no tratamento BRA + M, com 1,57 g cm⁻³. O manejo adotado atualmente e antes da implantação do sistema ILP podem ter influenciado na maior densidade nas áreas cultivadas em sistemas de integração.

Santos et al. (2011) observou em seu trabalho realizado com a consorciação de grãos com gramíneas do gênero *Urochloa* observou que em áreas destinadas ao tratamento com essas espécies apresentaram maiores valores de densidade do solo motivado pelo uso intensivo do solo com mais de um cultivo, compactando o solo. Reinert et al. (2008) estabelece que o aumento da densidade do solo com o aumento da profundidade é devido às práticas agrícolas inadequadas adotadas, que vem a ocasionar a compactação em camadas mais profundas.

Para a água disponível no solo na camada de 0,0-0,10 m o tratamento CU +M apresentou maiores valores referentes a água disponível do que os demais, fato que não ocorreu na camada 0,10-0,20, onde o tratamento que apresentou maior valor foi AD. Isso se deve ao fato de, na primeira camada, ocorrer o acréscimo de mais matéria orgânica em sua superfície e conseqüentemente de macroporos. Já na segunda camada, a área possui maiores valores de macroporosidade.

Damalgo et al. (2009) observou que a mesoporosidade, responsável pela retenção de água, foi maior em área plantio direto do que em área de plantio convencional devido as maiores quantidades de matéria orgânica que irão promover a agregação do solo.

Figura 4. Valores referentes à capacidade de água disponível na camada 0,00-0,10 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.

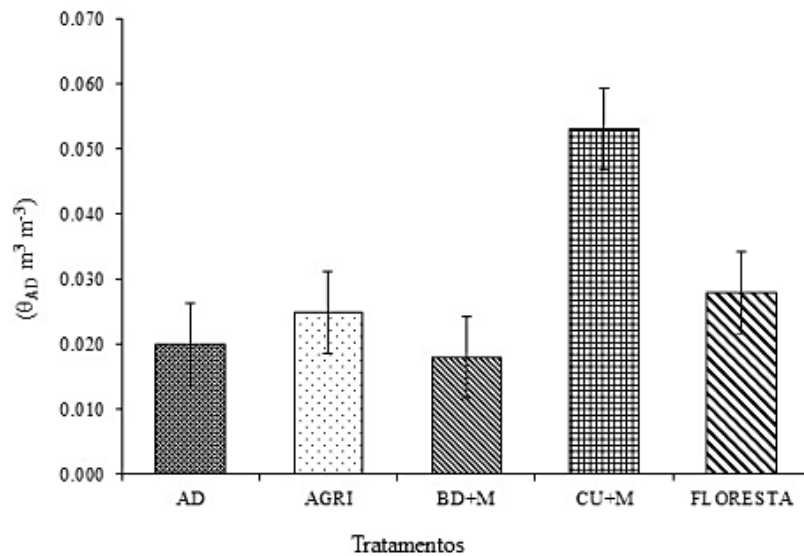
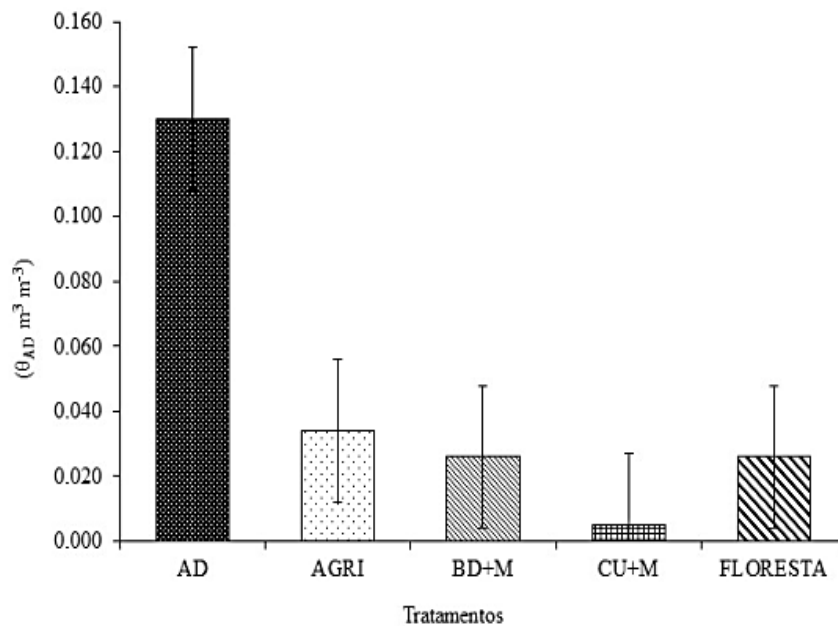


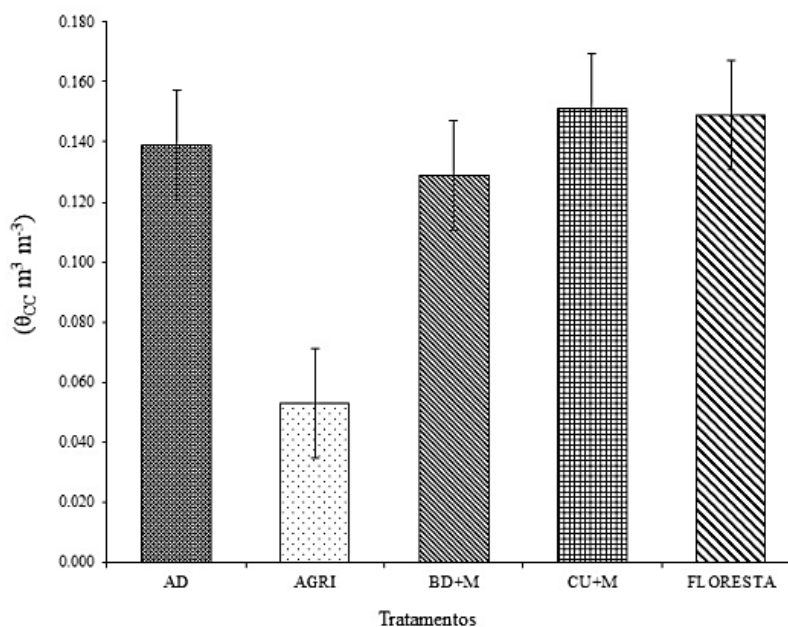
Figura 5. Valores referentes à capacidade de água disponível na camada 0,10-0,20 m em neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.



Todos os tratamentos apresentaram médias semelhantes com relação a capacidade de campona camada 0,0-0,10, com exceção do tratamento AGR. A camada 0,10-0,20 apresentou uma pequena variação em seus valores, com destaque para o tratamento AD, que apresentou média bastante superior em relação aos demais. No caso da camada mais superficial, de 0,0-0,10, a área de agricultura apresenta menor valor devido ao manejo adotado, onde o revolvimento do solo atuou na redução de sua capacidade de campo. Costa et al. (2009) constatou que o revolvimento do solo com arado, grade ou escarificador reduziram a capacidade de campo em sistema de plantio convencional quando comparado a sistema de plantio direto.

A manutenção de resíduos em superfície é crucial para a preservação do conteúdo de água no solo, principalmente em função dos teores de humina que, entre outros benefícios, irá atuar na adesão das moléculas de água com a matriz do solo (CARMO et al., 2012; MELO et al., 2017; BORBA et al., 2019).

Figura 6. Valores referentes à capacidade de campo na camada 0,00-0,10 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.

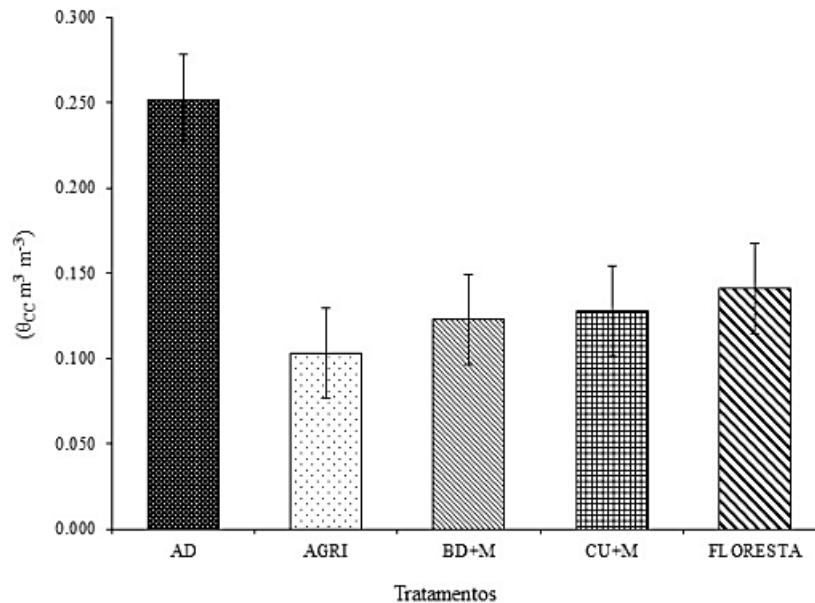


Verifica-se que a capacidade de campo não diferiu entre os tratamentos avaliados na profundidade de 0,00 – 0,10 m, com valores médios superiores a $0,10 m^3 m^{-3}$, excetuando-se apenas o tratamento AGRI, onde a CC foi menor que $0,06 m^3 m^{-3}$. Levando-se em consideração o proposto por Hall et al. (1977) para a classificação dos limites de umidade do solo, pode-se afirmar que o teor de umidade no tratamento AGRI é considerado pobre, por estar abaixo do limite crítico mínimo, que é de $0,10 m^3 m^{-3}$. Nesse caso específico, as plantas podem apresentar sérios problemas em função da baixa capacidade de armazenamento de água desse solo, que reduz o volume de água prontamente disponível para às plantas.

Em alguns casos, o baixo conteúdo de água disponível às plantas está relacionado ao elevado conteúdo de água no ponto de murcha permanente, que se estiver fortemente retido, em potenciais maiores que -100 kPa, pode comprometer a absorção pelo sistema radicular dos vegetais (SILVA et al., 2017). No caso do baixo conteúdo de água observado no tratamento AGRI (Figura 5) em comparação aos demais tratamentos avaliados, pode estar relacionado a heterogeneidade apresentada pelos atributos físicos do solo no tempo e no espaço em áreas agrícolas (MOTA et al., 2017), interferindo assim, na dinâmica de água no solo.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, o comportamento da umidade do solo na capacidade de campo foi superior na área degradada, em relação aos demais tratamentos, conforme verificado na Figura 7.

Figura 7. Valores referentes à capacidade de campo na camada 0,10-0,20 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.



Para o ponto de murcha foram observados valores semelhantes para todos os tratamentos na camada 0,00-0,10, com exceção do tratamento agricultura que apresentou os menores resultados. Na camada de 0,10-0,20 o comportamento permaneceu o mesmo, onde o tratamento agricultura continuou com os menores resultados. Nas camadas mais profundas do solo, o aumento de densidade auxilia na retenção de água (ALVES et al., 2016), que em alguns casos pode ser mais eficiente que a matéria orgânica do solo na retenção e disponibilidade de água as plantas.

Figura 8. Valores referentes ao ponto de murcha na camada 0,00-0,10 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.

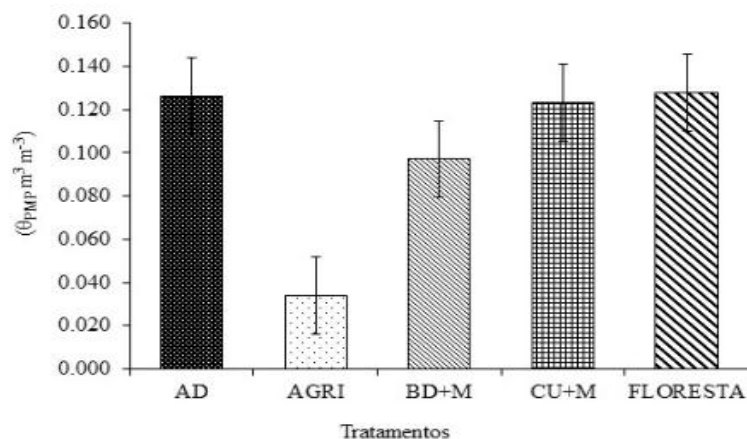
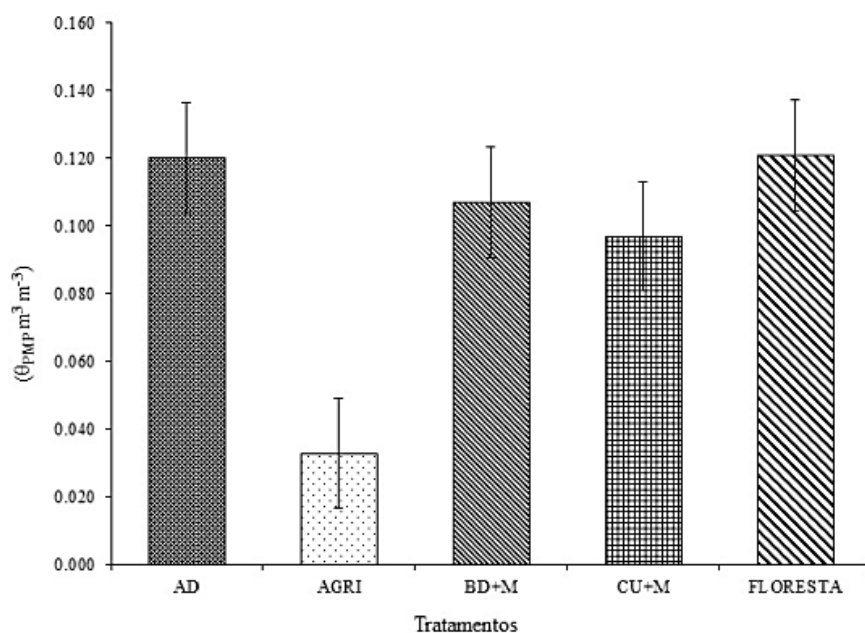


Figura 9. Valores referentes ao ponto de murcha na camada 0,10-0,20 m em Neossolo sob diferentes sistemas de cultivo de agreste paraibano.



Verifica-se nas Figuras 7 e 8, que o conteúdo de água no ponto de murcha permanente foi maior nos seguintes tratamentos FLORESTA > AD. No caso do ambiente de mata, o maior conteúdo de água pode estar relacionado a melhor distribuição de poros e ao maior conteúdo de matéria orgânica do solo; já que em ambiente de mata, geralmente a retenção e disponibilidade de água está relacionada aos teores de matéria orgânica do solo (ALVES et al., 2016). Outro fator que influencia no comportamento da umidade do solo é a natureza da fração argila do solo (BEUTLER; CENTURION, 2002), nesse caso pode-se afirmar que a distribuição de partículas do solo (Textura) na camada de 0,00-0,10 m, foi mais eficiente no armazenamento de água na capacidade de campo, em relação a camada de 0,10-0,20, provavelmente influenciado pelo teor de argila.

Apesar da macro e microporosidade serem superiores na camada de 0,00-0,10 em relação à camada de 0,10-0,20 cm, verificou-se que o conteúdo de água disponível às plantas foi superior ao tratamento AD em relação aos demais tratamentos avaliados, com valor médio superior a $0,120 m^3 m^{-3}$, provavelmente ocasionado pelo elevado conteúdo de água na capacidade de campo, caracterizada pela presença de macroporos na ordem de $0,14 m^3 m^{-3}$.

Para Serafim et al. (2011), o revolvimento intenso do solo através da mecanização, ocasiona o rompimento dos agregados do solo, promovendo o aumento da microporosidade e consequentemente o fenômeno de capilaridade, delimitando o comportamento das curvas de retenção e a capacidade do solo em armazenar água e disponibilizar para às plantas. No caso da área degradada (DG), a mecanização contribuiu para à elevação de densidade do solo e aumento da macroporosidade, que são atributos que ditam o comportamento da água no solo. Machado et al. (2008) avaliando inter-relações entre as propriedades físicas do solo e os componentes da curva de retenção de água no solo verificou que o aumento de densidade do solo reduziu o teor de umidade residual do solo (umidade correspondente ao ponto de murcha permanente), em função das mudanças que a densidade do solo promove à estrutura do solo, com redução na distribuição espacial e temporal dos poros do solo.

Na Tabela 3, encontram-se os coeficientes de correlação de Pearson para os atributos físicos do solo. Verificam-se valores variando de moderados a forte entre a densidade do solo e porosidade total ($r = -0,522$) e entre densidade do solo e macroporosidade ($r = -0,783$). A variável condutividade hidráulica saturada mostrou-se como a mais sensível às mudanças nos atributos físicos do solo, apresentado valores de correlação variando de moderado a forte com os demais atributos físicos do solo, independente da camada avaliada.

Os valores do coeficiente de correlação entre a condutividade hidráulica saturada e os demais atributos físicos do solo foram os seguintes: PT x K_{θ} ($r = 0,891$), MA x K_{θ} ($r = 0,891$), MI x K_{θ} ($r = 0,690$), CAS x K_{θ} ($r = 0,664$) e DS x K_{θ} ($r = -0,649$). Nesse caso verifica-se que a condutividade hidráulica saturada é sensível as mudanças nos valores de densidade do solo, geralmente, em função das alterações que ela promove na estrutura do solo, principalmente se tratando do diâmetro de poros e da distribuição deles no solo, seja horizontal ou vertical.

Tabela 3. Análise de coeficiente de correlação de Pearson para atributos físicos de solo sob diferentes sistemas de cultivo no agreste paraibano.

	PT	MA	MI	CAS	DS	K_{θ}
PT	1	0,224	0,869	0,823	-0,522	0,891
MA		1	-0,219	-0,152	-0,783	0,891
MI			1	0,885	-0,121	0,690
CAS				1	-0,187	0,664
DS					1	-0,649
K_{θ}						1

PT= Porosidade total, MA= Macroporosidade, MI- Microporosidade, CAS= Capacidade de aeração do solo, DS= Densidade do solo, K_{θ} = Condutividade hidráulica saturada.

A densidade do solo apresentou correlação negativa com a porosidade total e com a capacidade de aeração do solo (Tabela 3). O mesmo foi verificado por Sampietro et al. (2016), para eles, esses valores de correlação negativos estão relacionados ao processo de compactação e redução na porosidade provocada pelo aumento de densidade do solo. Houve correlação fraca e negativa entre CAS x MA (-0,152) e MI x MA (-0,219), porém, pouco significativas.

A densidade do solo (DS) é um atributo que apresenta estreita relação com os demais atributos físicos do solo (PT, MA, CAS e K_{θ}) e grande parte das pesquisas converge para o fato de que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade hidráulica e absorção de água, assim como também, aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo (LIMA et al., 2007).

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o tratamento floresta apresentou maiores valores na camada 0,0-0,10 m para a porosidade total, macroporosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica saturada. Para a camada 0,10-0,20 os maiores valores encontrados foram para porosidade total e microporosidade.

O tratamento CU + M apresentou maiores valores para a capacidade de aeração do solo nas camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20.

O tratamento BD + M se mostrou mais eficiente na microporosidade do solo nas duas camadas avaliadas, 0,0-0,10 e 0,10-0,20.

O tratamento CU + M mostrou-se mais eficiente com relação ao volume de água disponível na camada 0,0-0,10. Já para a camada 0,10-0,20 o tratamento que apresentou maior valor foi o de Área degradada.

REFERÊNCIAS

- ALBERT, R. P. et al. Physico-mechanical attributes of a Typic Hapludox in areas with different sugarcane cultivation times. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 2, p. 1-8, 2018.
- ALVARENGA, C. C. et al. Continuidade espacial da condutividade hidráulica saturada do solo na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1745-1757, 2011.
- ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. **Integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005, p. 1- 20.
- ALVES, A. R. et al. Indicadores físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso em sistemas de integração na região do Cerrado. **Espacios**, Caracas, v. 38, n. 10, p. 3-12, 2016.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, campina grande, v. 15, n. 2, p. 111 - 116, 2011.
- ASSIS, P. C. R et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 309 - 316, 2015.
- BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1 - 12, 2011.
- BALIN, N. M. et al. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Revista Scientia Agraria**, Marechal Cândido Rondon, v. 18, n. 3, p. 85-94, 2017.
- BATISTA, A. M. **O sistema radicular na estruturação do solo avaliada pela argila dispersa em água**. 68p. 2018. Dissertação (mestrado em ciências). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.

CORREIA, G. G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro paraibanos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 1 - 7, 2008.

COSTA, C. S. et al. Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 524-530, 2009.

COSTA, A et al. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 235-244, 2009.

SILVEIRA JUNIOR, S. D. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1854-1867, 2012.

DALMAGO, G. A. et al. 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, supl., p. 855-864, 2009.

ALMEIDA, A. V. D. L. et al. Atributos físicos, macro e micromorfológicos de Neossolos Regolíticos no agreste meridional de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1235-1246, 2015.

ARAÚJO, G.; MARTINS, A. D.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1174-1184, 2013.

ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

SOUZA, A. R. et al. Caracterização e interpretação de um Planossolo Háptico Eutrófico do Agreste Pernambucano, Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 10, n. 271 - 279, p. 271-279, 2015.

SOUZA, E. J.; CUNHA, F. F. Métodos para estimativa da umidade do solo na capacidade de campo. **Revista de ciências agro-ambientais**, Alta Floresta, v. 11, n. 1, p. 43 - 50. 2013.

DIAS-FILHO, M. B. Uso de pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: passado, presente e futuro. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos, cidade**, 2016, p. 1 – 44.

SANTOS, J. C. B. et al. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 683-695, 2012.

SANTOS, J. L. D. et al. Caracterização física e química de um Planossolo localizado no semiárido Baiano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 9, n. 3, p. 13-17, 2013.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Soilmoisture in Pernambuco semi-arid using time domain reflectometry (tdr). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 670-679, 2011.

FERRARESI, Tatiana Maris et al. Espectroscopia de infravermelho na determinação da textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1769-1777, 2012.

FRANCESCHINI, M. H. D. et al. Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 12, p. 1569-1582, 2014.

FREITAS, R. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom**. Viçosa: UFV. 51f. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis: I. Physical and Mineralogical Methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-409.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 6, 2006.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 337-345, 2012.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. Oliveira (Ed.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

HALL, D. E. M.; REEVE, M. G.; THOMASSON, A. J.; WROGHT, V. F. **Water retention, porosity and density of field soil**. Rothamsted: Transport and Road Research Laboratory, Soil Survey-Tech Monograph. 1977.

J. K. R. et al. Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 4, p. 1 - 8, 2018.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragens, a porosidade total e densidade do solo em Pereira Barreto, São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 10, p. 1233-1244, 2015.

MACEDO, Manuel Claudio Motta. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 133-146, 2009.

MACHADO, Jorge Luiz et al. 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, n. 2, p. 495-502, 2008.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARTINS, M. V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009.

MATIAS, S. S. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MEDEIROS, B. M. **ATUALIZAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DA PARAÍBA**. 2018. Folhas. Monografia (Graduação em agronomia), universidade federal da Paraíba, Areia, 2018.

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.

MORAES, M. et al. Propriedades físicas do solo sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho distroférico. In: **Embrapa Soja-Resumo em anais de congresso**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 6., 2011, Londrina. Resumos expandidos. Londrina: Embrapa Soja, 2011. p. 51-55.

MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MORAES, S. O.; NASCIMENTO, I. V.; ALENCAR, T. L. Variabilidade espacial dos parâmetros da equação de Van Genuchten em um Latossolo Vermelho Amarelo. **Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 2, p. 92-100, 2017.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

PORTELA, J. C. et al. Argila dispersa em água e grau de floculação em classes de solos *clawless scaffold in water and flocculation degree in soil classes*. In: Congresso nacional das ciências agrárias, cidade, Natal, n. 3. **Anais...Cointer**, Natal, 2018, p. 1-7.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. **Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria**, 2006.

ROQUE, A. A. O. et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.

SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S. Compactação de um Cambissolo causada por máquinas de colheita florestal espacializada com geoestatística. **Revista Floresta**, Santa Maria, v. 46, n. 3, p. 307-314, 2016.

SANTOS, G. G. et al. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1339-1348, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5. ed. Brasília, Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, K. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 828 - 835, 2012.

SARTORI, G. M. S. et al. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1139-1149, 2015.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, 2011.

SILVA, É. A.; BENEVENUTE, P. A. N.; MELO, L. B. B. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos das curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “índice S”. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p. 49-54, 2017.

SILVA, M. P.; A. R. F., O.; SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

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, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SPERA, Silvio Tulio et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013. Revista.

STOLF, R. et al. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 447-459, 2011.

THOMAZINI, A. et al. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, na região sul do Espírito Santo. **CoffeSciense**, v. 8, n. 4, 2019, p. 450 – 459, 2013.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **BioscienceJournal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256 - 266, 2012.