



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE AGRONOMIA

BRUNA THALIA SILVEIRA SABINO

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM PLANOSSOLO SOB SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA- FLORESTA NO AGRESTE DA PARAÍBA**

**AREIA
2023**

BRUNA THALIA SILVEIRA SABINO

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICA DE UM PLANOSSOLO SOB SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA- FLORESTA NO AGRESTE DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do Curso de
Agronomia do Centro de Ciências Agrárias
da Universidade Federal da Paraíba, como
requisito para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de
Oliveira

Areia
2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S116p Sabino, Bruna Thalia Silveira.

Propriedades físico-hídricas de um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste da Paraíba / Bruna Thalia Silveira Sabino. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

51 f. : il.

Orientação: Flávio Pereira de Oliveira.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA/AREIA.

1. Agronomia. 2. Indicadores de qualidade do solo.
3. Sistema de integração. 4. Semiárido. I. Oliveira, Flávio Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)



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

DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aprovada em 15 / 05 /2023

“Propriedades Físico-Hídrica de um Planossolo sob Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba”

Autor: Bruna Thalia Silveira Sabino

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira
Orientador – UFPB

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
Examinador – UFPB

Dra. Camila Costa da Nobrega
Examinadora – UFPB

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da minha vida e quem me permitiu estar e chegar aqui.

A Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de aprendizado e ensino não só no âmbito de formação, mas também pessoal.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas e incentivos para que inúmeros trabalhos pudessem ser realizados.

A Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), alocada na cidade de Alagoinha, PB pela disponibilidade da área de estudo e desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso.

Ao Professor e Orientador Dr. Flávio Pereira de Oliveira, por todas as contribuições, incentivo, paciência e amizade. Um orientador e mentor desde o terceiro período da graduação, a sua parcela na minha formação é enorme e sou eternamente grata por tudo.

À minha família, meus pais Sônia Silveira e Zacarias Sabino e meu irmão Bruno Tácito por serem fontes inesgotáveis de amor, incentivo e compreensão. Por se fazerem presentes mesmo a quase 400 Km de distância e por trilharem comigo cada passo dessa conquista árdua. Sempre será sobre nós e por nós. Eu amo vocês incondicionalmente!

Ao meu namorado, Abner Targino, um grande sonhador e incentivador dessa jornada junto comigo, que está segurando minha mão desde o início desse sonho sendo apoio, compreensão e paciência durante as minhas ausências. Grata pela parceria e toda dedicação, juntos seremos sempre melhores.

A todos os meus tios, em especial, Tia Izaura e Jacó e Tia Tânia (*in memorian*) por todo apoio, força, carinho e ajuda para que esse sonho fosse possível. Essa conquista também é de vocês.

A todos os meus primos, em especial, minha prima e irmã, Isnara Victória pelas palavras de carinho e pelo apoio em todos os momentos até aqui, sempre muito presente.

Aos meus padrinhos, Flaviana Marinho e Aécio (*in memorian*) e Pedro Lucas,

por todo amor e por todas as vezes que abdicaram do seu tempo para irem me deixar ou buscar na cidade vizinha durante as idas e vindas para Areia. Minha eterna gratidão.

Aos meus tios do coração, Izaque Targino e Ivone Targino por acreditarem que eu conseguiria e por todo carinho e acolhimento. Serei eternamente grata pelo apoio e incentivo de vocês.

As minhas amigas de uma vida, Alana Emile e Júlia Millene, apesar da distância, saber que tinha vocês do outro lado, também correndo atrás dos seus sonhos, sempre me deixou feliz e motivada. Obrigada pela amizade sincera e apoio em pensamentos e palavras.

A minha amiga e irmã, Paloma Gabriela, meu lar em Areia, meu apoio, companheira de bons e maus momentos dessa “montanha russa” que é morar longe de casa. A quem eu serei eternamente grata por toda bondade e mão estendida para comigo. Paloma, você foi essencial nesta jornada. Obrigada por tudo exatamente. E agora, Wclésio, cunhado e amigo, importante figura nesta reta final da graduação, obrigada por tudo.

A minha amiga e vizinha, Isabela Barros, por todo incentivo, carinho e por todas as conversas que serão eternos exemplos de honestidade, superação e garra.

A todos os meus amigos de curso, em especial, Rayan Araújo, Franklin Correa, Lucas Medeiros e Ítalo Luiz, pelo apoio, conhecimento compartilhado e parceria durante todo o tempo do curso.

Ao meu amigo, minha dupla na graduação, Eryadison Bonifácio, a quem sou grata por todo conhecimento trocado, amizade sincera, apoio, torcida e incentivo. Uma amizade que nasceu na graduação e que levarei para a vida.

As minhas amigas de curso, Tamiris Luana, Ellen Vitória e Emily Mirlene, pela troca, pelo apoio, por toda ajuda e por juntas acreditarmos que esse sonho se tornaria realidade. Obrigada!

Ao meu amigo, João Paulo Oliveira, amigo acadêmico, obrigada por toda ajuda de sempre.

A minha amiga Ana Alice, que conheci durante o curso e que serei eternamente grata por isso. Obrigada pela amizade que perdura e por todo incentivo e apoio sincero.

A todos os colegas do Laboratório de Física do Solos, Sr. Vaval, Lula, Danillo Dutra, Pedro Luan, por toda ajuda e amizade.

A Camila Nóbrega, que me acolheu no Laboratório de Física do Solo, me encaminhou e ajudou na parte inicial deste processo que é se encontrar na pesquisa. Muito obrigada por tudo!

A todos os professores do CCA que contribuíram em minha formação compartilhando não só seus conhecimentos, mas suas histórias exitosas de vida para que eu pudesse me tornar Engenheira Agrônoma.

Aos amigos do Laboratório de Sementes, por toda partilha durante um dos estágios do curso, especialmente, Guilherme, Joyce, Carol e Eduardo.

A todos que, direta ou indiretamente, estiveram comigo lapidando esse sonho e essa caminhada, meu muito obrigada. Sozinha, eu jamais teria conseguido.

*E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse
todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse
toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e
não tivesse amor, nada seria*
1 Coríntios 13:2

RESUMO

Os sistemas de integração, como o Lavoura-Pecuária-Floresta surgem como uma alternativa para mitigar os efeitos da degradação, uma vez que, com a utilização dos estratos vegetais, animais e florestais busca-se uma sinergia e equilíbrio no solo e no meio ambiente. Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar os atributos físicos de um Planossolo Háplico em busca de destacar atributos de qualidade sob iLPF no Agreste da Paraíba após sete anos de implantação. A pesquisa foi conduzida em área localizada na Estação Experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária – EMPAER, no município de Alagoinha, PB. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por 1) Gliricídia + *Brachiaria decumbens* (GLI+BRA); 2) Sabiá + *Brachiaria decumbens* (SAB+BRA); 3) Ipê roxo+ *Brachiaria decumbens* (IPÊ+BRA); 4) Milho + *Brachiaria decumbens* (MI+BRA); 5) *Brachiaria decumbens* (BRA). Amostras de solo com estrutura indeformada e deformada foram coletadas em duas camadas (0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m) para a determinação das seguintes variáveis: textura, grau de flocculação (GF), densidade do solo (ρ), densidade máxima (ρ_{max}) e relativa (ρ_R), grau de compactação (GCE), porosidade total estimada (α_{Est}), macroporosidade (M_a), microporosidade (M_i) e condutividade hidráulica saturada (K_θ). Após a coleta dos dados, os mesmos foram tabulados e submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$) e também foi realizada uma análise de componentes principais (ACP). De acordo com os resultados obtidos, após sete anos de implantação do sistema de integração foi possível observar diferenças entre os sistemas para grau de flocculação, densidade do solo, densidade máxima, densidade relativa e grau de compactação do solo. Em relação aos atributos que melhor explicaram a variabilidade de tratamentos a partir da análise de componentes principais (ACP), foram a porosidade total, a macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada. Há uma forte correlação da porosidade total com os demais atributos relacionados, deste modo, o mesmo é considerado como essencial para avaliar as condições físicas do solo, principalmente relacionados à volume de raízes e condução da água. Os tratamentos que apresentaram maior diferença com relação aos atributos avaliados foram, Ipê (IPÊ) e Sabiá (SAB), justificado por um maior pisoteio nesta área. Além disso, o tratamento BRA isolado mostra valores menores para todos os atributos, principalmente grau de flocculação, ou seja, a associação de florestais com gramíneas melhoram as condições físicas do solo em detrimento as gramíneas isoladas.

Palavras-chave: indicadores de qualidade do solo; sistema de integração; Semiárido.

ABSTRACT

Integration systems, such as Crop-Livestock-Forest, emerge as an alternative to mitigate the effects of degradation, since, with the use of plant, animal and forest strata, a synergy and balance is sought in the soil and the environment. In this sense, this work aimed to evaluate the physical attributes of a Haplic Planosol in search of highlighting quality attributes under iLPF in Agreste da Paraíba after seven years of implantation. The research was conducted in an area located at the Experimental Station of the Empresa Paraibana de Pesquisa, Rural Extension and Land Regularization - EMPAER, in the municipality of Alagoinha, PB. The experimental design used was randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments consisted of 1) Gliricidia + Brachiaria decumbens (GLI+BRA); 2) Thrush + Brachiaria decumbens (SAB+BRA); 3) Purple Ipê+ Brachiaria decumbens (IPÊ+BRA); 4) Corn + Brachiaria decumbens (MI+BRA); 5) Brachiaria decumbens (BRA). Soil samples with undisturbed and deformed structures were collected in two layers (0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m) to determine the following variables: texture, degree of flocculation (GF), soil density (ρ), maximum (ρ_{max}) and relative (ρ_R) density, degree of compaction (G_{Ce}), estimated total porosity (α_{Est}), macroporosity (M_a), microporosity (M_i) and saturated hydraulic conductivity (K_θ). After collecting the data, they were tabulated and submitted to the Tukey test ($p < 0.05$) and a principal component analysis (PCA) was also performed. According to the results obtained, after seven years of implementation of the integration system, it was possible to observe differences between the systems for the degree of flocculation, soil density, maximum density, relative density and degree of soil compaction. Regarding the attributes that best explained the variability of treatments based on principal component analysis (PCA), they were total porosity, macroporosity, microporosity and saturated hydraulic conductivity. There is a strong correlation between total porosity and the other related attributes, thus, it is considered essential to evaluate the physical conditions of the soil, mainly related to root volume and water conduction. The treatments that showed the greatest difference in relation to the evaluated attributes were Ipê (IPÊ) and Sabiá (SAB), justified by a greater trampling in this area. In addition, the BRA treatment alone shows lower values for all attributes, mainly the degree of flocculation, that is, the association of forests with grasses improves the physical conditions of the soil to the detriment of isolated grasses.

Keywords: soil quality indicators; integration system; Semi-arid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área experimental em Alagoinha, Agreste da Paraíba.	27
Figura 2 - Área implantada com ILPF no município de Alagoinha – PB.....	28
Figura 3 - Método de amostragem do solo para cada parcela experimental.....	28
Figura 4 - Amostras deformadas secas ao ar (A), amostras indeformadas saturadas em água (B) e análise de condutividade em permeâmetro de carga constante(C). ..	31
Figura 5 - Análise de componentes principais dos atributos físicos em um Planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Granulometria e grau de flocculação em um Planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.	32
Tabela 2 - Densidade do solo (ρ), Porosidade total (α), Microporosidade (M_i), Macroporosidade (M_a) e Condutividade hidráulica ($K\theta$) entre diferentes tratamentos em um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste paraibano.	34
Tabela 3 - Densidade do solo (ρ), Porosidade total (α), Microporosidade (M_i), Macroporosidade (M_a) e Condutividade hidráulica ($K\theta$) entre diferentes camadas em um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste paraibano.	37
Tabela 4 - Densidade do solo (ρ), densidade máxima (ρ_{max}), densidade relativa (ρ_R) e grau de compactação (GCs) em um planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRA	<i>Brachiaria decumbens</i>
CCA	Centro de Ciências Agrárias
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPAER	Empresa Brasileira Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária
FDP	Função de pedotransferência
GLI	Gliricídia
GCe	Grau de compactação
GF	Grau de Floculação
iLP	Integração Lavoura-Pecuária
iLPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPÊ	Ipê
Ma	Macroporosidade
Mi	Microporosidade
MI	Milho
MOS	Matéria Orgânica do Solo
PD	Plantio Direto
SAF	Sistema Agroflorestal
SAB	Sabiá
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
<	Menor que
=	Igual a
>	Maior que
±	Mais ou menos
Σ	<i>Sigma</i> = Somatório
≤	Menor igual que
≥	Maior igual que
Θ	<i>Theta</i> = Umidade volumétrica
p	Significância
α	<i>Alpha</i> = Porosidade total
Π	<i>Pi</i> = 3,141592
ρ	Densidade
Ψ	<i>Psi</i> = Potencial matricial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Manejo do solo	16
2.2 Mau uso e degradação dos solos brasileiros.....	17
2.3 Adoção dos sistemas integrados de produção agropecuária e seus benefícios no solo	19
2.4 Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.....	21
2.5 Atributos físicos como indicadores de qualidade do solo	23
2.6 Planossolos: características, uso e manejo	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.4 Localização e caracterização da área de estudo	26
3.5 Implantação do experimento	27
3.6 Análise granulométrica, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica	29
3.7 Análise estatística dos dados	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A base para o crescimento das culturas é o solo e, por isso, é de suma importância o seu uso de maneira racional a fim de proporcionar o desenvolvimento sustentável atrelado a máxima produção. Até o ano de 2050 a demanda por alimentos deve crescer em 46%, se configurando como um dos grandes desafios da humanidade (Gouel e Guimbard, 2017) exigindo altas tecnologias para que se produza não só em qualidade, mas em quantidade (KLEIN et al., 2017).

Dentro da produção agropecuária no Brasil, outro grande desafio é a degradação dos solos (BARROS et al., 2018) provocada pelo mau manejo. O uso excessivo de máquinas e cultivo sem rotação de culturas são alguns dos pontos que causam prejuízos na qualidade do solo, causando alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas deste (NÓBREGA, 2020), consequentemente, reduzindo os níveis de produção em quantidade e qualidade.

Cerca de 95% da produção global de alimentos dependem do solo, isso explica porque as práticas agrícolas insustentáveis não podem existir (FAO, 2022). A superexploração dos recursos naturais e o crescimento populacional não causa só problemas na produção de alimentos, mas também reduzem a capacidade do solo em manter seus serviços ecossistêmicos essenciais (NASCIMENTO et al., 2019).

Porém, pensar a agricultura de uma maneira que interfira da menor forma o ambiente é uma discussão recente (SILVA, 2021). Van Ittersum et al. (2013) revendo pesquisas de épocas passadas de mesmo cunho, notaram que não se priorizava o aumento da produtividade agrícola de maneira sustentável e uma das provas dessa afirmação são as expansões desenfreadas de áreas agricultáveis.

Na região semiárida brasileira, os agricultores praticam um modelo de agricultura que pouco utiliza de práticas conservacionistas de manejo e, consequentemente, a perda da capacidade produtiva dos solos no âmbito do bioma Caatinga é exponencial (SILVA et al., 2021). Ou seja, a agricultura semiárida pode se caracterizar como uma produção agrícola itinerante com desmatamento e queima desordenadas, modificando os estratos herbáceos e arbustivo-arbóreo (ARAÚJO-FILHO; CARVALHO, 1996). Com o passar do tempo, não existe muitas mudanças, Silva et al. (2018) mencionam que o desmatamento e a queima continuam sendo práticas no semiárido visando a produção agrícola.

Sabendo da dificuldade que é a reversão dos problemas gerados pela degradação dos solos devido os processos de formação que são lentos e necessitam de fatores externos como clima e recursos hídricos para que ocorra (ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013) o uso de sistemas conservacionistas que visam a sinergia e, logo, o equilíbrio entre a produtividade agrícola com a conservação do meio ambiente tem sido uma saída nas últimas décadas proporcionando a conservação do solo, ciclagem de nutrientes e diversificação de culturas (SILVA et al., 2011).

Um dos sistemas conservacionistas que surge como alternativa para a recuperação de pastagens degradadas, por exemplo, é o Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), combinando espécies florestais, culturas agrícolas e animais em um tempo e arranjo espacial pré-estabelecido buscando benefícios mútuos para todas as atividades desempenhadas (PULROLNIK et al., 2019).

Por sua vez, esse sistema possibilita diversificação da renda, estabilidade econômica, recuperação de áreas degradadas, redução dos gases de efeito estufa, redução do êxodo rural e fixação da população rural em suas áreas (RODRIGUES et al., 2019) ou seja, as práticas conservacionistas fazem a manutenção social, econômica e ambiental a partir da sua adoção.

Nesse contexto, dentre os novos estudos e conceitos de produção, além do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), outros sistemas como o de integração lavoura-pecuária (ILP), sistema de plantio direto (PD) e agroflorestais (SAFS) podem ser adotados em substituição aos sistemas convencionais de produção, elevando a produção de alimentos e reduzindo os impactos negativos ao solo e ao meio ambiente como um todo (NICODEMO; BORGES; SOUZA, 2018).

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar os atributos físicos de um Planossolo Háplico sob condições de ILPF no intuito de observar e explicar possíveis alterações existentes proporcionadas pelo sistema de integração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manejo do solo

O solo é um meio trifásico, constituído por água, ar e minerais que estão associados a matéria orgânica, poroso, não rígido e formando por partículas que apresentam diferentes formas, tamanhos e estruturas (NÓBREGA, 2020). Devido essa heterogeneidade, os solos respondem e exigem manejos diferentes (REICHERT et al., 2010).

Pensando nos ecossistemas agrícolas, o manejo sustentável destes, resulta em uma tendência de aumento de produtividade, melhorias na qualidade do solo e serviços ecossistêmicos (LAL, 2009). O manejo do solo é considerado adequado quando as propriedades físicas, químicas e biológicas são levadas em consideração, sempre visando a produção futura e manutenção da fertilidade (NÓBREGA, 2020).

Macedo (2015) ressalta que o monocultivo, é um tipo de prática convencional, sendo realizado de maneira inadequada causa prejuízos como ocorrência de pragas e doenças, degradação do solo e dos recursos naturais. Nesse sistema o processo de compactação na superfície do solo é recorrente, uma vez que as máquinas exercem pressão e não existe cobertura que possa proteger o solo (BERTOL et al., 2000).

A contribuição do iLPF no solo é bastante significativa em decorrência da promoção ao equilíbrio. Assis et al., (2015) encontraram melhorias em solos degradados utilizando de sistemas de integração. A densidade, por exemplo, foi uma variável que se mostrou bastante sensível em detrimento a solos desagregados até a camada de 0,10-0,20 m.

Pensar diferente do manejo convencional é buscar sistemas de manejo que minimizam o movimento do solo, diminua o número de pragas e doenças, reservando no solo quantidades consideráveis de resíduos vegetais sobre a superfície e, assim, gerar proteção contra erosão mantendo a estrutura do solo e, esse sistema é o conservacionista (BRADY; WEIL, 2013).

A partir do estudo realizado por Silva et al. (2021) sobre a qualidade física de um solo arenoso sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta foi possível observar que os sistemas integrados de produção podem causar diversas melhorias

no solo, a exemplo dos atributos macroporosidade, porosidade total, porosidade de aeração e condutividade hidráulica que se apresentaram de maneira positiva.

Ainda sobre os estudos dos malefícios do uso do manejo convencional inadequado, Fagundes et al. (2019) verificando a qualidade de um Latossolo sob plantio convencional e em sistema plantio direto no cerrado baiano, afirmam que a estrutura e agregação do solo sofrem melhorias quando o manejo adotado é o de plantio direto.

Sendo assim, a diferença prática entre os sistemas conservacionistas e os convencionais é que este último mantém um preparo de solo que deixa-o descoberto, provocando desagregação, transporte e deposição de partículas no solo, além de erosão provocada pelo impacto das gotas da chuva (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999).

2.2 Mau uso e degradação dos solos brasileiros

Historicamente, o mau uso dos solos brasileiros teve seu início em 1531 (OLIVEIRA; MOURA CUNHA; CONSTANTINO, 2017) com a chegada dos primeiros donatários das capitanias hereditárias que logo mais transformaram o país em uma propriedade rural agrícola da coroa portuguesa (FELDENS, 2018).

Nascendo a agricultura intensiva no Brasil, houve e há uma grande contribuição para a degradação e, conseqüentemente, perda de fertilidade e produtividade dos solos brasileiros (OLIVEIRA et al., 2021).

Dentro dos sistemas de produção, entender sobre degradação é de ordem fundamental, pois a mesma se relaciona com processos estáticos e dinâmicos que contribuem para o desenvolvimento dos vegetais (SILVA, 2019). Nesse caso, devido ao mau uso do solo, a compactação é um dos processos que mais dificulta a produção agrícola, uma vez que é bastante limitante, principalmente nos sistemas convencionais de produção.

Não parando por aí, a compactação traz consigo um leque de problemas como a redução da disponibilidade de água, aumento de densidade, desordem na distribuição dos poros e baixo desenvolvimento das culturas devido retardar o sistema radicular (SANTOS et al., 2018).

Moreira et al. (2016) estudando sobre respostas de adubação em solos de sistema intensivo de produção notaram que as menores respostas estavam relacionadas a degradação física dos solos, isso se justifica devido as alterações que se configuram como barreiras para o desenvolvimento de raízes e, conseqüentemente, impede o contato das mesmas com a solução do solo.

Pimenta, Bin e Salles Filho (2020) estudando sobre o uso sustentável da biodiversidade brasileira ressalta que o principal problema ambiental de degradação é o desmatamento, uma vez que 67% das áreas brasileiras estão sofrendo com o desmatamento que contribui com o esgotamento nutricional, lixiviação, salinização, compactação e redução da atividade microbiana do solo.

Apesar da resistência, a agricultura desenvolvida no Brasil, em grande parte de subsistência sempre foi vulnerável a fenômenos climáticos como é o caso das secas, que atrelados a fatores já mencionados provocam desequilíbrios sociais e econômicos (BUAIANAIN; GARCIA, 2013).

Além disso, o mau uso dos solos atinge um espectro negativo muito maior quando este pode contribuir para a redução da produção e segurança alimentar (SILVA, 2021). Primando para o que Haack (2020) afirma, a fome no Brasil tem avançado e 59% dos domicílios brasileiros vivem em situação de insegurança alimentar.

Devido ao aumento da população e o mau uso das áreas agrícolas, a agricultura moderna passou a padronizar e simplificar o sistema em monoculturas, que por sua vez, causa saturação do solo em resposta a demanda elevada por energia e recursos naturais que caracterizam o solo (BALBINO et al., 2011).

Chegando a esse ponto, é necessário encontrar um equilíbrio entre geração de alimentos, renda e utilização responsável desses solos (COUTINHO, 2017) permitindo que os pequenos e grandes produtores possam utilizar das terras agricultáveis disponíveis.

Embora o mau uso do solo e os processos de degradação deste sejam extremamente maléficos para o desenvolvimento agrícola e os produtores já serem orientados sobre isso, de modo geral, ainda é um grande desafio desenvolver sistemas produtivos capazes de atender as duas demandas – mercado e sociedade

– sem causar impactos negativos e comprometer as gerações futuras (FORTINI; BRAGA; FREITAS, 2020).

Putte et al. (2010) afirma que muitos estudos mostram que a agricultura de conservação ocasiona sustentabilidade ao ambiente, diminuindo os níveis de erosão e demais desgastes ao solo, porém este não é o maior princípio norteador para que os produtores adotem estas práticas conservacionistas, uma vez que o custo é o que realmente interessa para os mesmos.

Assim sendo, Fortini; Braga e Freitas (2020) mencionam a necessidade de mensurar o impacto gerado no solo ao adotar práticas convencionais, que apesar de possui um custo mais baixo produz efeitos negativos a longo prazo, dificultando a produção e o retorno econômico aos produtores de maneira eficiente.

Então, incentivar a adoção de sistemas conservacionistas de produção que equilibrem a produção de alimento, a preservação do meio ambiente e o menor custo, é necessário.

2.3 Adoção dos sistemas integrados de produção agropecuária e seus benefícios no solo

Os sistemas de integração consistem na sinergia entre dois principais componentes, o agrícola e o pecuário que podem estar em rotação, consórcio ou sucessão por um determinado tempo ou vários anos com o intuito de aproveitar esse sinergismo entre os componentes (RODRIGUES et al., 2019).

O uso desses sistemas de integração são mecanismos de suma importância, uma vez que, auxiliam na recuperação de áreas degradadas, pois possibilita o uso da terra através do equilíbrio entre o vegetal e o animal (BALBINO et al., 2011), buscando promover melhorias físicas, químicas e biológicas no solo.

Em termos de melhorias diretamente no solo, pode-se destacar o aumento da condição de retenção de água, incremento de carbono orgânico, favorecendo o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, uma maior assimilação dos componentes essenciais para as plantas (PEZARICO et al., 2013).

Vasconcellos e Beltrão (2018) reafirmam que os sistemas de integração, buscam criar condições físicas, químicas e biológicas que o ecossistema apresentava

quando era uma mata nativa, possibilitando a diminuição do uso de sistemas convencionais como é a monocultura, que utiliza os atributos do solo de maneira excessiva (SILVA, 2021).

A qualidade do solo pode ser analisada de acordo com algumas variáveis que estão relacionadas a sua forma e estabilidade, a qual algumas propriedades físicas como estrutura e agregação estão entre os parâmetros mais sensíveis a depender do manejo adotado (TAVARES FILHO et al., 2010). Para que estes atributos estejam em conformidade, outro grande componente, a matéria orgânica, precisa exercer o seu papel.

A matéria orgânica é formada pela decomposição de resíduos de plantas e animais, além dos diversos compostos de carbono em vários graus de alteração e interação. Sobre a influência da MOS nos atributos físicos do solo, têm-se em destaque a complexação de elementos tóxicos e consequente aumento da capacidade de troca de cátions que servem como agentes cimentantes na estrutura do solo (COGO et al., 2013).

A MOS possui frações importantes que contribuem para o condicionamento dos atributos físicos, como as substâncias húmicas, biomassa microbiana e fração leve que auxiliam no armazenamento de água, favorece a aproximação das partículas a partir da biomassa no solo. Além de promover a manutenção da macro e meso fauna que atuam nas propriedades físicas servindo de canais de preferência para o crescimento radicular.

Loos et al. (2014) afirmam que a disponibilidade dos resíduos orgânicos também aumenta a matéria orgânica no solo, contribuindo não só com a agregação do solo, mas também com outro atributo importante que é a porosidade.

Se tratando de outros benefícios, através do dinamismo e rotação das atividades dentro dos sistemas de integração, há a diminuição do ciclo de pragas e doenças, redução dos riscos econômicos, redução de custos para preparação e renovação da área e diminuição de gases do efeito estufa que é um dos maiores problemas ambientais do Brasil (BARBOSA et al., 2015)

Diferente dos sistemas convencionais, a produção e conservação ambiental são eixos considerados importantes, além de consistir em práticas mais sustentáveis

na produção de alimentos (MAGALHÃES et al., 2019), que é uma das maiores preocupações da população atual, juntamente com a contaminação ambiental devido os efeitos negativos gerados (FRANÇA; SILVA, 2017).

Em razão de tantos benefícios, os sistemas integrados são importantes no Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas que visam a consolidação da economia de baixo carbono na agricultura, mecanismo de política pública que objetiva melhorias ao meio ambiente apoiado por iniciativa de crédito, oferecendo empréstimo para agricultores a fim de proporcionar a implementação de práticas agrícolas sustentáveis (CORDEIRO et al., 2015).

A partir dos estudos realizados sobre o potencial dos sistemas integrados, no Brasil já existia até 2019, 11,4 milhões de hectares ocupados com sistemas integrados de produção agropecuária (Rede ILPF, 2019). No ambiente semiárido, a realidade dos sistemas integrados de produção tem tomado uma projeção no sentido de lidar com as adversidades do clima e amenizar os efeitos da erosão dos solos (SILVA, et al., 2021).

Balbino et al. (2011) ressaltam que a recomendação do uso desses sistemas para o Nordeste se justifica pela demanda em alimentos devido ao aumento da população e dos rebanhos. Os sistemas de ILPF são justamente soluções para áreas que sofrem grande pressão sobre seus recursos naturais.

Sendo assim, a implantação de sistemas como o de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) representa um avanço inovador dentro dos SAFs (SIMÃO et al., 2018) e devido a estudos estes tem sido cada vez mais utilizados, mas não significa que já se sabe tudo sobre os sistemas de integração e é por isso que é necessário difundir e realizar pesquisas para que existam novas informações que possam somar na construção de modelos ILPF que sejam eficientes aos distintos cenários brasileiros (RODRIGUES et al., 2019).

2.4 Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta

O Brasil é um país com grande potencial de expansão de áreas, isso porque a demanda por alimentos e biocombustíveis é elevada, porém, a intensificação da abertura de novas áreas para este fim não é mais necessária, uma vez que o Brasil já

possui área suficiente para alimentar a população, o que não existe é manejo adequado (FREIRE; CAVICHIOLI, 2022).

Então, para que se atinja uma condição de produção melhor é necessário buscar alternativas tecnológicas e eficazes, como é o caso de uma estratégia que tem se destacado nos últimos anos, a ILPF, sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Segundo a Embrapa (2019), ILPF é uma estratégia de produção que integra três grupos de atividades, agrícola, pecuária e florestal podendo ser realizada em uma mesma área.

Devido a sua versatilidade, esse sistema tem sido bastante utilizado na recuperação de pastagens degradadas ou terras com baixa produção (KICHEL et al., 2012). Essa integração entre estratos vegetais, animais e florestais é tecnicamente eficiente e ambientalmente adequada e, assim como outras formas de manejo, também precisa ser manejada corretamente (NÓBREGA, 2020).

Vale lembrar que este sistema de integração pode ser implantado em consórcio, rotação e sucessão (ZONTA et al., 2016), isso proporciona a otimização do uso do solo a partir de quando se pode utilizar os estratos de maneira diferente: lavoura-pecuária, lavoura-floresta, pecuária-floresta ou lavoura-pecuária-floresta (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011).

O bom uso do sistema ILPF resulta em produção de alimentos como carnes e grãos de qualidade, produção de madeira para energia, construção civil e indústria moveleira (SILVA; SCHWARTZ, 2019). Além das melhorias econômicas, estes sistemas contribuem com a redução do êxodo rural, redução dos gases de efeito estufa, recuperação de áreas e também proporciona a diversificação de renda (RODRIGUES et al., 2019).

O uso da ILPF proporciona benefícios tecnológicos, como promover o aumento da matéria orgânica no solo, melhorando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (TOMAZ; WANDER, 2017), benefícios ecológicos e ambientais como a melhoria do aproveitamento da água e dos nutrientes do solo (ASSIS et al., 2015). Além dos benefícios econômicos e sociais, como aumento de renda e empreendimento rural (TOMAZ; WANDER, 2017).

Apesar do interesse e incentivo à adoção do sistema ILPF, passados 10 anos os estudos ainda são muito incipientes e possuem lacunas no conhecimento a serem pesquisadas, isso porque a execução desses sistemas necessita de uma elaboração e planejamento (SALLES et al., 2012; CERQUEIRA, et al., 2020).

Tomaz e Wander (2017) ressaltam as barreiras à adoção do ILPF no Goiás através de entrevista com alguns produtores e, as maiores dificuldades se concentram na falta de conhecimento em relação ao manejo do sistema, a falta de fomento por parte dos bancos e investimento muito alto, isso indica que estas lacunas devem ser preenchidas para que esses sistemas possam chegar com mais facilidade aos produtores.

2.5 Atributos físicos como indicadores de qualidade do solo

A qualidade do solo é definida e mensurada pela capacidade do mesmo funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra, assegurando que os fatores biológicos, químicos e físicos permaneçam preservados, com a finalidade de manter a qualidade ambiental e, conseqüentemente, promover a saúde das plantas e animais (BUNEMANN et al., 2018).

Nesse sentido, a utilização desse conceito é de suma importância pois é através dele que os indicadores de qualidade do solo são utilizados para definir e explicar a funcionalidade do solo, evidenciando deficiências e norteando os técnicos, produtores e demais pessoas sobre o manejo e recuperação do solo (CAVALCANTE et al., 2020).

Se tratando da qualidade física do solo, esta pode ser determinada através de diversos atributos do solo, como estabilidade de agregados, textura, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, carbono orgânico total, permeabilidade do solo à água e resistência a penetração (RODRIGUES et al., 2016). Doran e Parkin (1994) foram dois estudiosos pioneiros quando se fala em avaliação de qualidade do solo, a qual propuseram um conjunto de atributos citados já acima como indicadores de qualidade física, destacando densidade do solo e permeabilidade do solo.

A densidade do solo é, em geral, a relação entre massa e o volume ocupado (SILVA et al., 2020). Mota et al. (2013) explica que o aumento da densidade do solo é

caracterizado pela redução dos espaços porosos devido a uma força externa aplicada, sendo extremamente maléfica as plantas, uma vez que, dificulta a penetração de raízes no solo, sendo então um fator sensível a variações.

Outro atributo indicador de qualidade do solo é a condutividade hidráulica, que nada mais é que uma propriedade que trata de determinar quantitativamente o movimento da água no solo (KLEIN, 2012). Quando se trata de variáveis que influenciam a condução da água pelo solo, a condutividade se sobrepõe a quase todas as outras variáveis, pois segundo Suszek et al. (2019) este indicador atua no dimensionamento de sistemas de drenagem agrícola, ou seja, em sistemas que atuam na retirada do excesso de água e sais.

Assim, não é possível pensar em estudos que envolvam o movimento da água no solo sem quantificar este atributo, pois influencia não só a dinâmica da água em si, mas também o transporte de nutrientes e defensivos agrícolas (SILVA et al., 2020).

Ainda tratando dos atributos físicos de qualidade do solo, a resistência a penetração (RP) é outro parâmetro importante a ser pesquisado, visto que interfere no desenvolvimento da planta, no transporte e armazenamento de água pelo solo (SILVA et al., 2020). Esse atributo se refere à compactação do solo e permite a identificação de camadas compactadas, assim como mudanças nas propriedades físicas do solo ao longo dos horizontes, auxiliando na determinação da vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos (REICHERT et al., 2010).

A taxa de infiltração de água é um outro atributo, que é definida a partir da infiltração da água sobre o solo percolando em seu perfil (NERY et al., 2017). Esse atributo possui uma grande importância prática, pois consegue determinar o balanço da água na zona das raízes, ou seja, os testes de infiltração indicam a capacidade do solo em receber e armazenar determinado volume de água ao decorrer do tempo (ROSS; FIERZ, 2009). Além de que, outros atributos como textura e estrutura estão ligados diretamente contribuindo com a regulação do armazenamento de água.

Juntamente a taxa de infiltração, pode-se falar ainda da porosidade do solo, que trabalha em conjunto com a textura e estrutura possuindo grande influência na drenagem, retenção de água do perfil e a aeração do solo (CARMO et al., 2018). Almeida et al. (2017) ressalta que o conhecimento sobre a porosidade do solo é

necessário porque é ele que permite entender sobre o movimento e retenção de água, entre outros aspectos.

Esses e outros atributos conseguem explicar a qualidade do solo, que é fundamental para que as tomadas de decisões sejam feitas corretamente.

2.6 Planossolos: características, uso e manejo

Os Planossolos possuem como característica marcante a grande quantidade de minerais e a capacidade de perder argila (desargilação) na parte superficial do solo até a subsuperficial (EMBRAPA, 2019). Estes solos ocorrem normalmente em áreas de cotas baixas, planas a suaves onduladas, além de que geralmente são pouco profundos, horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média, em sequência é possível observar um horizonte B plânico (EMBRAPA, 2021).

Sobre a fertilidade química destes solos, pode-se dizer que está associada ao material de origem e ao teor de matéria orgânica presente no solo, os solos com maior teor de argila e matéria orgânica na superfície são mais férteis. Os solos com teores de argila elevados que seja, principalmente de argilominerais 2:1 expansivos, possuem alta fertilidade, porém há problemas de manejo devido a dureza quando secos e alta pegajosidade quando molhados (STRECK et al., 2008).

A Embrapa (2021) ressalta ainda que, os Planossolos possuem alta CTC, elevada saturação por bases e porcentagem de saturação total entre 8 e 20% ocorrendo nos horizontes B ou C. No Brasil e no Rio Grande do Sul, os Planossolos ocupam domínios diferentes, que vão desde as áreas de várzea até as grandes extensões das planícies de rios e lagos (SILVA, 2018).

Sobre as aptidões e limitações de uso dos Planossolos no Rio Grande do Sul, Streck et al. (2008) explicam que estão relacionadas as condições de drenagem, constituição mineralógica, sodicidade e fertilidade química. Além de que a presença de argila no horizonte B mais argiloso auxilia o armazenamento temporário de água no solo, ou seja, contribui na economia de água quando necessita-se de cultivo em solo inundado (SILVA, 2018).

Ainda sobre as limitações, Souza et al. (2013) mencionam que estas estão relacionadas em dificuldades a mecanização, pequena profundidade e diferença abrupta entre os horizontes A e B e isso torna os Planossolos um ambiente com pouca

sustentabilidade para plantas e raízes. Isto se justifica devido a facilidade de compactação no período chuvoso.

Sabendo de algumas características importantes dos Planossolos, no Nordeste brasileiro o seu uso está bastante ligado a implantação de pastagens, palma forrageira, milho, feijão e sorgo (SOUZA et al., 2013). E quanto ao manejo, os cuidados devem estar ligados principalmente a drenagem e a correção do solo devido aos teores nocivos de alumínio que são prejudiciais à maioria das culturas (EMBRAPA, 2019).

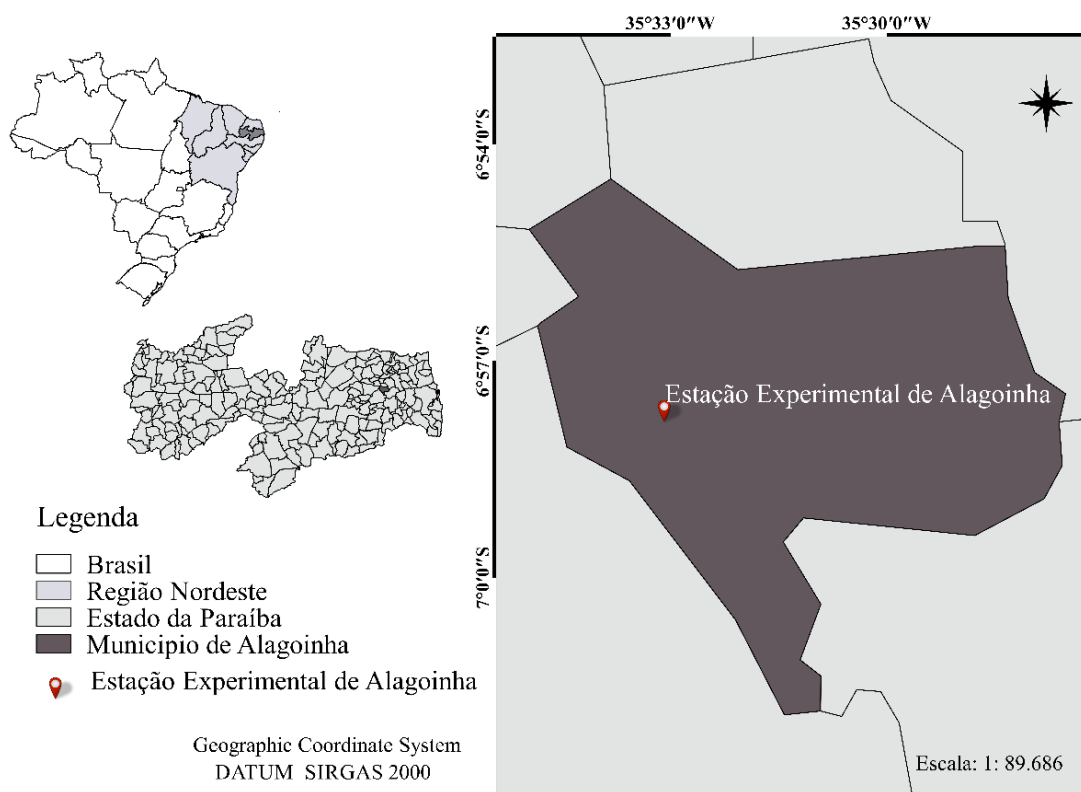
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.4 Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na estação experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária - EMPAER, localizado no município de Alagoinha, mesorregião Agreste do Estado da Paraíba, sob as coordenadas 06°57'00" S e 35°32'42" W (Figura 1) e 317 m de altitude. Segundo a classificação Koppen-Geiger, o clima da região é caracterizado como As', quente e úmido, com chuvas de outono-inverno. A precipitação média anual é de 995 mm, com o período chuvoso compreendendo os meses de março a agosto. A temperatura média anual varia entre 22 e 26 °C.

O solo da área experimental foi classificado como Planossolo Háplico eutrófico mésico solódico com horizonte A moderado e de textura franco arenosa de acordo com SiBCS (SANTOS et al., 2018).

Figura 1 - Mapa de localização da área experimental em Alagoinha, Agreste da Paraíba.



Fonte: A autora (2023)

3.5 Implantação do experimento

O experimento foi instalado em julho de 2015, as primeiras avaliações ocorreram em 2017/2018 e a presente avaliação ocorreu em 2022. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e quatro repetições (5 x 4). Os tratamentos foram constituídos por: 1) Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud) + *Brachiaria decumbens* (GLI+BRA); 2) Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) + *Brachiaria decumbens* (SAB+BRA); 3) Ipê roxo (*Handroanthus avellanadae* (Lorentz ex Griseb.) Mattos) + *Brachiaria decumbens* (IPÊ+BRA); 4) Milho (*Zea mays* L.) + *Brachiaria decumbens* (MI+BRA); 5) *Brachiaria decumbens* (BRA). As espécies florestais foram plantadas em linhas triplas, com espaçamento de 3 x 2 m nas extremidades de cada parcela, totalizando seis fileiras por parcela, enquanto o milho foi plantado em sistema de plantio direto. O componente

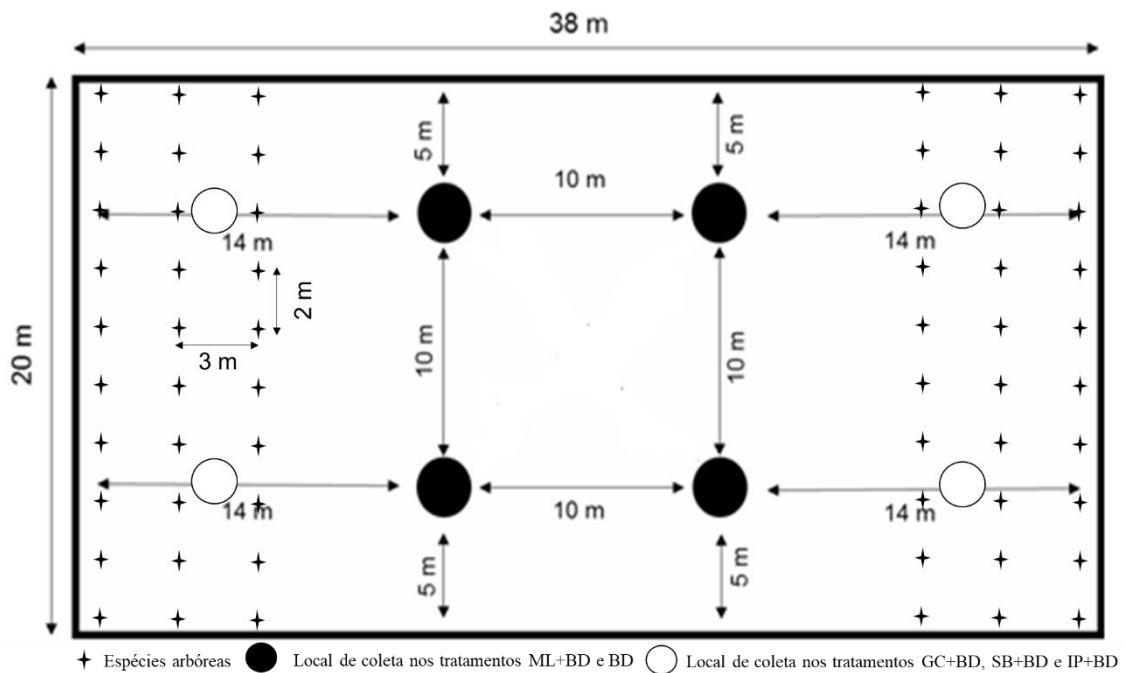
animal foi inserido na área com sistema de integração entre os meses de janeiro e fevereiro de 2018, logo após o estabelecimento das espécies florestais. Foram utilizados 30 animais (bovinos) da raça Sindi e pastejaram na área por um período de 35 dias.

As parcelas experimentais apresentavam dimensão 38 x 20 m, perfazendo uma área total de 760 m². As amostras de solo, deformadas e indeformadas foram coletadas em duas camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m consistindo em 40 amostras indeformadas e 40 deformadas, totalizando 80 amostras coletadas.

Figura 2 - Área implantada com ILPF no município de Alagoinha – PB.



Figura 3 - Método de amostragem do solo para cada parcela experimental.



Fonte: NÓBREGA, C. C. (2020).

3.6 Análise granulométrica, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica

As amostras deformadas, após secagem ao ar, foram destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm de diâmetro para determinação das variáveis de textura e grau de floclulação (GF), conforme TEIXEIRA et al. (2017).

Para as variáveis densidade do solo (ρ), porosidade total (α), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e condutividade hidráulica (K_θ), coletaram-se amostras de solo com estrutura preservada, em cilindros metálicos, com volume de 98,17 cm³.

A densidade do solo (ρ) foi determinada conforme metodologia proposta por Blake e Hartge (1986), por meio da relação entre a massa do solo seco e o volume da amostra, conforme equação 1:

$$\rho(\text{g cm}^{-3}) = \text{mss}/v \quad (1)$$

Onde: ρ = densidade do solo (g cm⁻³); mss = massa do solo seco mantido em estufa a $\pm 105^\circ\text{C}$ por um intervalo mínimo de 48 horas, ou até atingir o peso constante; e v = volume da amostra de solo no cilindro (cm³).

A densidade máxima do solo e a densidade relativa do solo foram determinadas de acordo com Marcolin e Klein (2011), utilizando uma função de pedotransferência (FTP). No cálculo da (ρ_{max}) levou-se em consideração os teores de argila e o conteúdo de matéria orgânica do solo observado em cada tratamento. No caso da densidade relativa do solo (ρ_R) foi estimada através da relação entre a ρ_{max} e a densidade do solo (ρ), equações 2 e 3

$$\rho_{max}(\text{g cm}^{-3}) = 2,03133855 - 0,00320878 * \text{MOS} - 0,00076508 * \text{Argila} \quad (2)$$

$$\rho_R = \rho / \rho_{max} \quad (3)$$

Onde: ρ_{max} = densidade máxima do solo (g cm³); MOS = conteúdo de matéria orgânica no solo (g Kg⁻¹); Argila = teor de argila na amostra de solo (g Kg⁻¹). E ρ_R = porosidade relativa (adimensional); ρ = densidade do solo (g cm³).

Com os dados de densidade do solo e densidade máxima do solo, foi possível estimar o grau de compactação (GC_e), definindo o percentual de compactação do solo em relação ao seu máximo, conforme a metodologia de Suzuki et al. (2007). A equação utilizada para o cálculo do GC_e encontra-se abaixo:

$$\text{GC}_e (\%) = (\rho / \rho_{max}) * 100 \quad (4)$$

Onde: GCe = grau de compactação (%); ρ = densidade do solo (g cm^3) e ρ_{max} = densidade máxima do solo (g cm^3).

A porosidade total (α) do solo foi determinada por meio da umidade do solo correspondente ao volume de saturação, denominando-se porosidade total estimada (TEIXEIRA et al., 2017). As amostras de solo com estrutura indeformada foram saturadas em água destilada (Figura 4-B) por um intervalo de 48 horas de forma a saturar todos os espaços porosos com diâmetro maior que 0,05 mm, para posterior obtenção do volume de saturação do solo ($\Psi_m = 0$) e obtenção da α ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$). A equação 5 foi utilizada para o cálculo da porosidade total estimada (α_{Est}).

$$\alpha_{Est} (\text{m}^3 \text{ m}^{-3}) = \text{Mssat} - \text{Msseco} / \text{volume} \quad (5)$$

Onde: α = porosidade total do solo calculada pelo volume de saturação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Mssat = massa do solo saturada ($\Psi_m = 0$) (kg^{-1}); Msseco = massa do solo seco em estufa $\pm 105^\circ \text{C}$ (kg^{-1}); volume = volume da amostra de solo no anel volumétrico calculado pela expressão: ($\pi * r^2 * h$) (cm^3).

A microporosidade do solo (M_i) foi determinada por meio do potencial matricial $\Psi_m = 6 \text{ kPa}$ em mesa de tensão, por um período mínimo de 72 horas, ou após cessar a drenagem de água dos poros maiores que 0,05 mm (Equação 6). A macroporosidade do solo (M_a) foi obtida por meio da relação entre a porosidade total do solo calculada e a microporosidade do solo (M_i) em mesa de tensão, conforme equação 7:

$$M_i (\text{m}^3 \text{ m}^{-3}) = \frac{\text{Msseco}_{(\Psi_m 6 \text{ kPa})} - \text{Msseco}}{\text{Volume}} \quad (6)$$

$$M_a (\text{m}^3 \text{ m}^{-3}) = M_i - \alpha \quad (7)$$

A condutividade hidráulica saturada (K_θ) foi determinada por meio do permeâmetro de carga constante (Figura 4-C), conforme descrito em TEIXEIRA et al. (2017).

$$K = \frac{Q \times L}{A \times H \times t} \quad (8)$$

Onde: K - é condutividade hidráulica saturada (cm h^{-1}); Q - volume do percolado (mL^{-1}); L - altura do bloco de solo (cm); A - área do cilindro (cm^2); H - altura do bloco de solo + coluna de água (cm); t - tempo em horas da coleta do volume percolado.

A faixa de valores que podem ser utilizadas na avaliação da qualidade do solo por meio da condutividade hidráulica saturada serão apresentadas a seguir, conforme adaptação de dados apresentadas por Soil Survey Staff (1993): $K\theta > 25,4 \text{ cm h}^{-1}$; = muito rápida; $25,4 \geq K\theta < 12,7$ = moderada a rápida; $12,7 \geq K\theta < 6,35$ = moderada; $6,35 \geq K\theta < 2,0$ = lenta a moderada; $2,0 \geq K\theta < 0,5$ = lenta; $K\theta < 0,5$ = muito lenta.

Figura 4 - Amostras deformadas secas ao ar (A), amostras indeformadas saturadas em água (B) e análise de condutividade em permeâmetro de carga constante (C).



3.7 Análise estatística dos dados

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de ($p < 0,05$). Os dados também foram avaliados através da estatística multivariada, como análise de componentes principais (ACP) aos níveis de ($p < 0,01$ e $0,05$). Utilizou-se o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontra-se os valores médios de granulometria e grau de floculação em duas profundidades. De acordo com os tratamentos e profundidades de amostragem é possível verificar uma textura franco-arenosa, aos quais os valores de areia variam de 703 g kg^{-1} na camada de 0-0,10m a 696 g kg^{-1} na camada 0,10-0,20 m.

Observa-se maior predominância da fração areia, com média de 689 g kg^{-1} na camada de 0,00-0,10 m e 681 g kg^{-1} na camada de 0,10-0,20 m. Verificou-se que os teores de argila aumentaram com a profundidade da camada de solo avaliada, com média de 162 g kg^{-1} na camada 0,00-0,10 m e na de 0,10-0,20 m, 172 g kg^{-1} .

Esses resultados são característicos da classe dos Planossolos, que tem aumento de argila em profundidade, por apresentam desargilização, ou seja, perda de argila da parte superficial, com acumulação ou concentração intensa no horizonte subsuperficial (SANTOS; ZARONI, 2018).

É possível perceber também, o aumento direto dos teores de argila com o aumento da profundidade do solo em todos os tratamentos. Neste caso, pode ser justificado devido ao solo da área experimental ser um Planossolo Háplico, caracterizado por possuir o horizonte superficial com textura mais arenosa ou até argilosa, com fraca estrutura (CABRAL *et al.*, 2015; FAO,2020), além de que entre os horizontes A e B do solo, pode-se notar mudanças abruptas que contribuem para o aumento de frações argila com a profundidade.

Tabela 1 - Granulometria e grau de floculação em um Planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.

Tratamento	Granulometria			Grau de Floculação
	Areia	Silte	Argila	
----- g kg ⁻¹ -----				
	<u>0 – 0,10 m</u>			
GLI+BRA	703	139	158	904 ab
SAB+BRA	686	152	162	919 ab
IPÊ+BRA	694	143	163	972 a
MI+BRA	683	156	162	884 ab
BRA	681	152	167	819 b

	<u>0,10 – 0,20 m</u>			
GLI+BRA	696	144	160	816 a
SAB+BRA	692	142	166	842 a
IPÊ+BRA	676	147	177	813 a
MI+BRA	695	136	169	862 a
BRA	650	160	190	861 a

GC+BD: Gliricídia (*Gliricidia sepium*) + *Brachiaria decumbens* Stapf; SB+BD: Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) + *Brachiaria decumbens* Stapf.; IP+BD: Ipê (*Tabebuia alba* (Chamisso) Sandwith) + *Brachiaria decumbens* Stapf.; MI+BD: Milho + *Brachiaria decumbens* Stapf. e BD: *Brachiaria decumbens* Stapf.

Na Tabela 1, o grau de floculação (GF) apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) na camada superficial do solo (0,00-0,10 m), o tratamento SAB+BRA apresentou maior GF e o BRA apresentou menor grau.

Levando em consideração os dados, é possível dizer que o solo em estudo possui uma baixa tendência a desagregação de microagregados, isso porque todos os valores de grau de floculação dos tratamentos aproximaram-se a 1000 g kg^{-1} . Essa informação corrobora com Barreto (2019), que estudando sobre o GF em Latossolo encontrou valores para grau de floculação aproximando-se de 100% ou 1000 g Kg^{-1} e, consequentemente, baixa capacidade de desagregação.

A determinação dessa variável é de suma importância porque com ela dá para obter uma representação da capacidade de desagregação dos microagregados do solo, isso porque quanto maior o GF, menor a tendência do solo em desagregar e, consequentemente, maior estabilidade estrutural (DANTSOVA et al., 2009).

Vários são os fatores envolvidos na elevação do grau de floculação entre os tratamentos avaliados, primeiro, a alta concentração de elementos floculantes como Al^{+3} e H^{+} (SOUZA et al., 2006) e segundo, a deposição de resíduos de forma constante através da associação entre as gramíneas e espécies florestais, que em conjunto promovem a cimentação de partículas, reduzem o teor de argila dispersa em água e elevam o grau de floculação.

Ainda sobre o grau de floculação, é notável que os seus teores foram menores em subsuperfície, isso se justifica pelo solo em estudo apresentar um horizonte B plânico, caracterizado como um tipo especial de horizonte B textural que é geralmente adensado e apresenta teores elevados de argila dispersa em água (SANTOS; ZARONI, 2018), favorecendo assim, a diminuição no grau de floculação em profundidades maiores.

O sistema de integração não propiciou diferenças significativas entre os tratamentos para os atributos físicos porosidade total (α), microporosidade (M_i), macroporosidade (M_a) e condutividade hidráulica saturada ($K\theta$), isto pode ser notado na Tabela 2. Isso pode ser justificado a partir do tempo de implantação do sistema de integração que possui 7 anos, não permitindo ainda uma grande diferenciação dos dados entre os tratamentos (NÓBREGA, 2020).

Matos (2022) estudando a qualidade física de um Argissolo Vermelho Amarelo também consta mudanças maiores nos atributos físicos do solo após 8 anos da implementação dos SAFs. Ou seja, o tempo também é um fator importante para a avaliação da qualidade do solo

Bortolini et al. (2016) mencionam uma informação coincidente estudando sobre propriedades físicas de solo quando notam que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para os atributos relacionados a porosidade, macro e microporosidade e consideram que isso ocorreu devido o sistema de integração ter menos de dez anos, tempo considerado razoável para conseguir visualizar efeitos maiores no solo.

No entanto, é válido ressaltar que um maior tempo de avaliação é necessário para que se tenha variações mais expressivas sendo constatadas (LOBATO et al., 2018).

Sobre o atributo densidade do solo (ρ) é possível observar diferença estatística significativa entre os tratamentos, sendo os tratamentos IPÊ+BRA e MI+BRA com maiores densidade, $1,50 \text{ g cm}^3$ e $1,49 \text{ g cm}^3$ respectivamente. Corroborando com estes resultados, Campos (2021) nota que a maior densidade do solo pode ser decorrente do efeito do pisoteio do gado, igualmente ocorre na área deste estudo, uma vez que, nos últimos anos espécies bovinas são liberadas na área para pastar e utilizar do sombreamento das espécies florestais.

Apesar de serem valores maiores estatisticamente, Reichert, Reinert e Braida (2003) mostram que os valores críticos para o atributo (ρ) em solos de textura franco-arenosa é de $1,70$ a $1,80 \text{ g cm}^3$, ou seja, o solo estudado está dentro dos parâmetros críticos, não podendo ser considerado como um solo compactado.

Tabela 2 - Densidade do solo (ρ), Porosidade total (α), Microporosidade (Mi), Macroporosidade (Ma) e Condutividade hidráulica ($K\theta$) entre diferentes tratamentos em um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste paraibano.

Tratamentos	ρ	α Est	Mi	Ma	$K\theta$
	g cm^{-3}	-----	$\text{m}^3.\text{m}^{-3}$	-----	cm h^{-1}
GLI+BRA	1,42ab	0,41a	0,32a	0,09a	3,54a
SAB+BRA	1,44ab	0,44a	0,35a	0,10a	3,19a
IPÊ+BRA	1,50a	0,40a	0,31a	0,08a	2,07a
MI+BRA	1,49a	0,40a	0,33a	0,07a	2,61a
BRA	1,33b	0,43a	0,34a	0,11a	3,41a

Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, no teste de Tukey ($p < 0,05$). Tratamentos: GC+BD = Gliricídia + Braquiária; SB+BD = Sábia + Braquiária; IP+BD = Ipê + Braquiária; ML+BD = Milho + Braquiária; BD = Braquiária.

A condutividade hidráulica ($K\theta$) é um parâmetro utilizado geralmente para o estudo da dinâmica de água no solo, essa variável pode ser determinada a campo ou em laboratório. Segundo Brady (1983) este é um atributo dinâmico que consegue se correlacionar com vários outros atributos do solo, são eles, estrutura, densidade, porosidade do solo, macro e microporosidade.

A condutividade hidráulica saturada variou de lenta a moderada a lenta conforme o que foi proposto por Soil Survey Staff (1993) $> 25,4 \text{ cm h}^{-1}$ = muito rápida; $25,4 \geq K\theta > 12,7$ = moderada a rápida; $12,7 \geq K\theta > 6,35$ = moderada; $6,35 \geq K\theta > 2,0$ = lenta a moderada; $2,0 \geq K\theta > 0,5$ = lenta; $K\theta < 0,5$ = muito lenta.

De acordo com a Tabela 2, não houve variação significativa para esta variável, porém o maior valor médio foi verificado no tratamento GLI+BRA, com $3,54 \text{ cm h}^{-1}$ e o menor no tratamento IPÊ+BRA, com $2,07 \text{ cm h}^{-1}$. A redução da condutividade no tratamento IPÊ+BRA foi proporcional ao aumento da densidade do solo, corroborando com o que foi encontrado por Silva (2019) e Nóbrega (2020) estudando o mesmo atributo no mesmo solo.

Outra justificativa para a redução da $K\theta$ é que em algumas camadas do solo há a redução da atividade dos microrganismos, influenciando na macroporosidade e bioporosidade do solo (SALLES et al., 2018). A densidade do solo aumentando também capacita menores valores de ($K\theta$), que segundo Gubiani et al. (2015) o aumento da densidade ocorre pelas práticas agrícolas com uso de maquinários e o próprio pisoteio animal, induzindo a diminuição da condutividade em virtude das modificações dos agregados do solo, portanto, planejar o manejo do solo e verificar a densidade do solo é importante.

Frisar que Planossolos apresentam permeabilidade lenta ou muito lenta é importante para que se entenda os resultados obtidos nessa pesquisa, isso ocorre porque estes solos são formados por minerais ou porque são imperfeitamente drenados sendo possível observar essa tendência de diminuição com o tempo ou em profundidade (OLIVEIRA et al., 2018).

Ainda sobre os atributos que se relacionam com a condutividade, apesar dos baixos valores para macroporosidade entre os tratamentos, quando relacionados com

os parâmetros adotados por Vomocil e Flocker (1961) a condutividade da área pode ser considerada razoável, uma vez que os autores supracitados afirmam que se caracteriza como uma má condutividade valores menores que 0,25 a 0,50 cm h⁻¹.

Com relação a microporosidade, apesar de não possuir diferença significativa entre os tratamentos é possível notar que seus valores são inversamente proporcionais aos de macroporosidade, corroborando com o que Ribeiro et al. (2015) mencionam, maior macroporosidade, conseqüentemente, menor microporosidade e o contrário também é verdade.

Outrossim, reafirma-se que as variáveis Pt, Mi, Ma e K θ não apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados (Tabela 2), porém os valores médios estiveram acima do limite crítico mínimo requerido para o desenvolvimento satisfatório das plantas (REICHERT et al., 2008).

Dentro das camadas estudadas nenhuma das variáveis demonstraram diferença significativa (Tabela 3). Porém, é notável que o maior valor de densidade do solo (ρ) encontra-se na camada de 0,10-0,20 m, como foi constatado por Nóbrega (2020), comprovando que os solos apresentam densidades maiores de acordo com o aumento da profundidade.

Esse aumento da densidade em profundidade pode ocasionar uma série de limitações no solo, como a penetração de raízes devido o adensamento e até mesmo a dificuldade no preparo do solo (ALMEIDA; ZARONI; SANTOS, 2019).

A menor densidade (1,40 g cm⁻³) foi observada na camada superficial do solo, que está relacionada a quantidade de raízes das culturas implantadas e, conseqüentemente, no maior aporte de matéria orgânica no solo, diminuindo a densidade na profundidade de 0,0-0,10 m. Como a ρ é um atributo que influencia os demais, Nascimento et al. (2018) estudando sobre a estrutura e o sistema poroso de um solo sob sistema de integração afirmaram que a menor densidade do solo na camada superficial provoca maiores valores de poros no solo, o mesmo se constata nessa pesquisa.

Esse aumento na porosidade total estimada na camada superficial também pode ser explicado pelo efeito da textura arenosa do solo (Tabela 1) e pela maior quantidade de matéria orgânica condicionada pelas raízes, auxiliando na manutenção

e proteção do solo que exprime consequências na boa formação dos agregados e do sistema poroso do solo.

Tabela 3 - Densidade do solo (ρ), Porosidade total (α), Microporosidade (Mi), Macroporosidade (Ma) e Condutividade hidráulica ($K\theta$) entre diferentes camadas em um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste paraibano.

Profundidades	ρ	α Est	Mi	Ma	$K\theta$
m	g cm ⁻³	-----	m ³ .m ⁻³ -----		cm h ⁻¹
0,0 – 0,10	1,40a	0,43a	0,33a	0,09a	2,96a
0,10 – 0,20	1,47a	0,41a	0,30a	0,07a	2,93a

Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, no teste de Tukey ($p < 0,05$). Tratamentos: GC+BD = Gliricídia + Braquiária; SB+BD = Sábida + Braquiária; IP+BD = Ipê + Braquiária; ML+BD = Milho + Braquiária; BD = Braquiária.

Outrossim, embora os valores de porosidade estimada não tenham variado estatisticamente, considerando os limites de α Est propostos por Vomocil e Flocker (1961) em que mencionam que um solo ideal para produção agrícola deve apresentar porosidade total próxima a 0,50 m³ m⁻³, ambas as médias das duas profundidades estudadas se encontram ideais.

Em profundidade, no entanto, ocorre a diminuição do aporte de carbono orgânico, aumento da densidade, diminuição da porosidade e, por isso, menor teor de oxigênio, influenciando na redução da porosidade de aeração (macroporos). Como se constata na Tabela 3, o menor valor de Ma está na camada mais profunda do solo estudado.

O sistema poroso do solo é importante para a adequação da produção de culturas, no entanto, valores inferiores a 10%, ou seja, 0,10 m³ m⁻³ de espaços vazios preenchidos com ar (macroporos) podem ocasionar a limitação no desenvolvimento das plantas (VOMOCIL; FLOCKER, 1996).

Valores inferiores a 0,10 m³ m⁻³ foram constatados neste trabalho, os valores para macroporosidade foram inferiores em todos os tratamentos (Tabela 2) e camadas (Tabela 3), isso implica no mau desenvolvimento das espécies vegetais implantadas, a exemplo do IP+BD e MI+BD, que apresentaram os menores valores médios de macroporos.

Além disso, Ribeiro et al. (2015) verificaram que o baixo valor de macroporos também contribui para condições de má drenagem no solo, essencialmente na camada superficial e estes autores supracitados também detectaram valores limitantes para macroporosidade estudando um Planossolo Háplico independente do manejo adotado.

É importante ressaltar que além das boas condições dadas ao solo, o tempo também exercerá seu papel na implantação de sistemas de integração com cultivo de espécies forrageiras, isso porque as mesmas irão influenciar no desenvolvimento de outras culturas, porque são importantes na agregação, estruturação e permeabilidade do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular de outras culturas tanto na camada mais superficial como na mais subsuperficial do solo (CHIODEROLI et al., 2011). Isso favorece na produção, uma vez que boas condições de agregação, permeabilidade, propiciam maior absorção de água e nutrientes.

Com relação a condutividade hidráulica, a mesma não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) nas camadas avaliadas (Tabela 3). Porém, é notável que esta foi maior na profundidade de 0,0-0,10 m, isso pode ser justificado a partir da diminuição da densidade do solo, igualmente foi encontrado por Silva (2019) e Nóbrega (2020) estudando este atributo em um Planossolo Háplico.

Na tabela 4, encontram-se os valores médios para densidade do solo (ρ), densidade máxima do solo (ρ_{max}), densidade relativa (ρ_R) e grau de compactação estimado (GCE). Não houve variação estatística significativa ($p < 0,05$) para nenhum dos atributos avaliados entre tratamentos na camada de 0,0-0,10 m. Porém, para a profundidade de 0,10-0,20 m houve variação estatística significativa para ρ_{max} , ρ_R e GCE.

Conforme os dados da Tabela 4, é notável o aumento da densidade com o aumento da profundidade das camadas do solo e, conseqüentemente, o aumento do grau de compactação estimado. A densidade máxima variou de 1,81 g cm⁻³ na profundidade de 0,0-0,10 m a 1,86 g m⁻³ na profundidade de 0,10-0,20 m, a ρ_R variou de 0,71 a 0,85 nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m respectivamente e o GCE variou de 71,7% a 85,0% nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m respectivamente.

A densidade relativa na camada superficial do solo, apesar de não apresentar variação estatística, todos os seus valores estiveram dentro do limite crítico mencionado por Klein (2006) que é de 0,71 a 0,80, tendo seu maior valor médio de 0,80 no tratamento IP+BD, isso pode ser justificado através dos maiores valores de densidade do solo e densidade máxima para este mesmo tratamento na mesma camada do solo.

Como o GCe é calculado usando a relação da densidade relativa observa-se um valor médio de 80,9% no tratamento IP+BD que se considerada como restritivo, uma vez que, segundo Beutler (2005) é de 80,0%. Com relação a p_{max} que se conceitua como sendo o valor máximo de densidade do solo não variou na camada superficial do solo para nenhum dos tratamentos, corroborando com o que foi encontrado por Silva (2019), o seu menor valor mínimo foi de $1,81 \text{ g cm}^{-3}$.

Tabela 4 - Densidade do solo (ρ), densidade máxima (p_{max}), densidade relativa (ρ_R) e grau de compactação (GCs) em um planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.

Tratamento	ρ	p_{max}	ρ_R	GCe
	----- g cm^{-3} -----		---	--- % ---
0,00 – 0,10 m				
GC+BD	1,42 a	1,84 a	0,77 a	77,8 a
SB+BD	1,37 a	1,83 a	0,74 a	74,8 a
IP+BD	1,46 a	1,81 a	0,80 a	80,9 a
ML+BD	1,44 a	1,81 a	0,79 a	79,9 a
BD	1,31 a	1,83 a	0,71 a	71,7 a
0,10 – 0,20 m				
GC+BD	1,41 a	1,86 b	0,76 ab	76,0 ab
SB+BD	1,50 a	1,82 ab	0,82 ab	82,6 ab
IP+BD	1,53 a	1,80 a	0,85 b	85,0 b
ML+BD	1,53 a	1,82 ab	0,84 ab	84,3 ab
BD	1,35 a	1,83 ab	0,73 a	73,7 a

Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, no teste de Tukey ($p < 0,05$).
 Tratamentos: GC+BD = Gliricídia + Braquiária; SB+BD = Sábida + Braquiária; IP+BD = Ipê + Braquiária;
 ML+BD = Milho + Braquiária; BD = Braquiária.

As mudanças de ρ , p_{max} e ρ_R demandam tempo e sistemas de manejo eficientes, como é o caso da adoção do plantio direto, implicando no baixo revolvimento do solo, o sistema de manejo é importante porque de acordo com Pauletto et al. (2005) não foi possível observar mudanças significativas para as

variáveis de densidade em um Gleissolo manejado após três anos em sistema de plantio direto. Diferente disso, Pedrotti (1996) verificou que houve mudanças das mesmas variáveis após 10 anos em um solo revolvido continuamente.

Tomar nota dessas variáveis é importante porque de acordo com Nóbrega (2020), valores limitantes dessas variáveis podem causar problemas no desenvolvimento das plantas porque o solo pode exprimir comprometimento em sua qualidade física, estrutural e também nos seus processos dinâmicos: aeração, condutividade e crescimento de raízes.

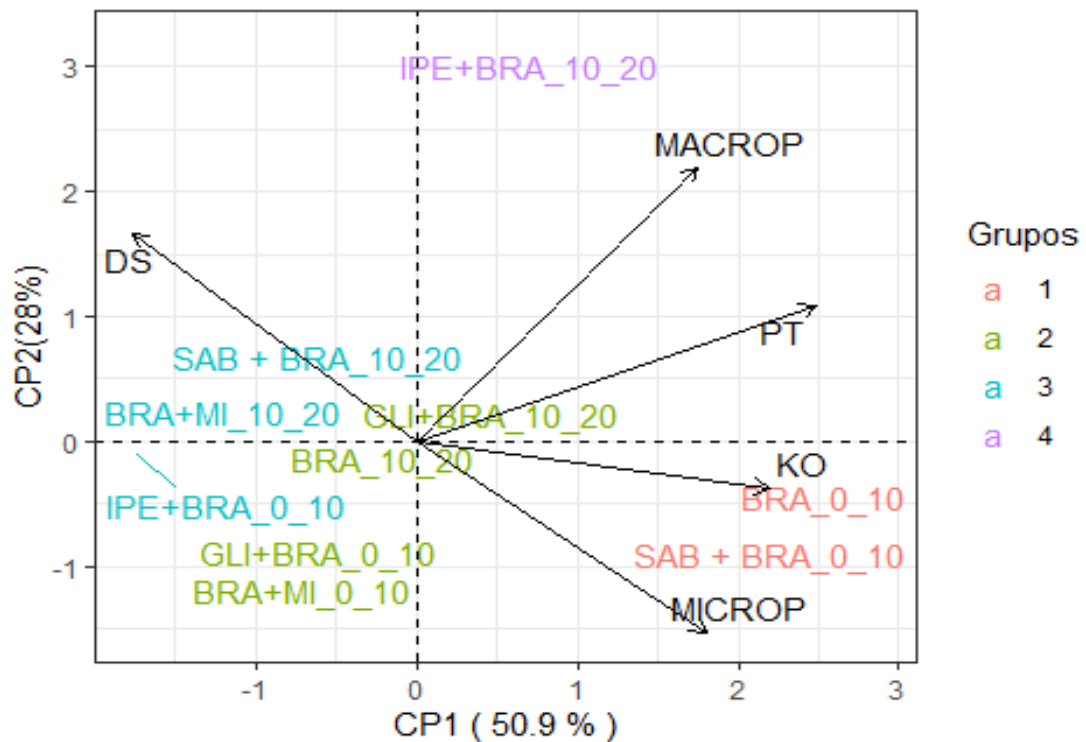
Na camada de 0,10-0,20 m os valores de p_{max} , pR e G_{Ce} aumentaram e variaram significativamente ($p < 0,05$) obtendo-se maiores valores no tratamento GC+BD com p_{max} de 1,86, IP+BD com pR de 0,85 e G_{Ce} com 85%, corroborando com a pesquisa de Silva (2019) que obteve maiores valores para essas variáveis em profundidade.

Segundo Marcolin e Klein (2011) problemas relacionados com pR e G_{Ce} já podem ocorrer quando o valor é maior que 0,75 para densidade relativa e 75% como sendo o limite crítico superior restritivo para o grau de compactação estimada, na camada 0,10-0,20 o tratamento todos os tratamentos foram superiores a este limite, exceto BD.

A elevação dos valores em profundidade, principalmente o G_{Ce} é resultado do impacto mecânico proveniente do pisoteio animal e da utilização de implementos agrícolas (CORTEZ et al., 2018).

A Análise de Componentes Principais (ACP) (Figura 5), foi responsável por explicar 78,90% da variação original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2). Para o eixo 1, que reteve 50,9% da explicação, observou-se associação significativa de porosidade total (PT) ($p < 0,01$), condutividade hidráulica (KO) ($p < 0,01$) e microporosidade (MICROP) ($p < 0,05$). É notável a formação de dois grupos, o G1 associado a maiores valores de condutividade hidráulica e microporosidade e o G4 a maiores valores de macroporosidade.

Figura 5 - Análise de componentes principais dos atributos físicos em um Planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.



Elipses: Grupo 1 = BRA e SAB+BRA na camada de 0,0-0,10m; Grupo 2 = BRA+MI e GLI+BRA na camada de 0,0-0,10 e GLI+BRA e BRA na camada de 0,10-0,20 m; Grupo 3 = SAB+BRA e BRA+MI na camada de 0,10-0,20 m e IPE+BRA na camada de 0,0-0,10 m; Grupo 4 = IPE+BRA na camada de 0,10-0,20 m. Variáveis: macroporosidade – Macrop (Ma), Porosidade total – PT (α), microporosidade – Microp (Mi), condutividade hidráulica saturada ($K\theta$) e densidade do solo – DS (ρ).

Já para o eixo 2, que explicou 28% da variância dos dados, não se observou associação significativa de nenhuma variável. Embora haja a formação de um grupo (G3) com maiores valores de densidade.

Os tratamentos BRA e SAB+BRA na camada superficial do solo mostraram altos índices de correlação com o primeiro componente principal (Figura 3), do contrário os tratamentos SAB+BRA, BRA+MI e IPE+BRA nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,0-0,10 respectivamente propiciaram altos índices de correlação com o segundo componente principal. Segundo Nóbrega (2020) esse comportamento diferenciado pode ser associado com as espécies vegetais utilizadas nos tratamentos.

No caso do agrupamento formado no eixo 1 da figura, ocorre porque determinados tratamentos possuem tendência de se agruparem devido a influência por alguma ou mais propriedade específica do solo. Ou seja, os tratamentos BRA 0,0-

0,10 m e SAB+BRA 0,0-0,10 m apresentaram similaridade para com os atributos microporosidade e condutividade hidráulica.

Isso pode ser justificado devido a presença da *Brachiaria* que condiciona um maior volume de raízes, acumula matéria orgânica e cria condições positivas quanto a distribuição de poros.

Nascimento et al. (2018) explicam que fatores como tamanho, arranjo e forma dos poros são essenciais para que se tenha um melhor entendimento da influência dos componentes da planta na estrutura do solo em sistemas de integração.

CONCLUSÕES

Há uma forte correlação da porosidade total com os demais atributos relacionados, deste modo, o mesmo é considerado como essencial para avaliar as condições físicas do solo, principalmente relacionados à volume de raízes e condução da água.

O aumento da densidade do solo nos tratamentos compostos por IP (Ipê) e SB (Sabiá) surgem em decorrência do pisoteio animal por serem espécies que produzem sombra e proporcionam o bem-estar animal.

O tratamento com BRA isolada mostrou valores menores para todas as variáveis quando comparados aos tratamentos com BRA consorciada com espécies florestais, evidenciando que há uma interação positiva do consórcio entre gramíneas e espécies florestais, principalmente com relação ao GF.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. P. C.; ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Solos tropicais: planossolos háplicos**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. 2019.
- ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 10 Ed. 322 p. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013
- ARAÚJO-FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. Desenvolvimento sustentado da caatinga. In: ALVAREZ V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 125-133.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO, S. V.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropec. Brasileira**, v. 46, p. 1-12, 2011.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PROFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesq. Agropec, Bras**, v. 46, n. 10, p. 1-11, 2011.
- BARBOSA, F. A.; COSTA, P. M.; ANDRADE, V. J.; MAIA FILHO, G. H. B.; MACIEL, I. C. F.; LOPES, S. Q. Avaliação econômica e produtiva dos sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 151-165, 2015.
- BARRETO, A. B.; TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Argila dispersa em água e grau de floculação de um Latossolo sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 7, n. 3, p. 10-19, 2019.
- BARROS, L. R.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SOUZA, J. L. O.; CARRECHEL, V.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; ALVES, A. R. Integrated managements systems for te improvement of the physical quality of a Cerrado Oxisol. **Australian Journal of Crop Science**, Camberra, v. 12, n. 5, p. 711-716, 2018.
- BLAKE, G.R., HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, (ed). **Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.363-375.
- BORTOLINI, D.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; FILHO, R. H. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 1, 2016.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas. **Journals Open Edition**, v. 19, n19, 2013.

BUNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESSENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CAMPOS, B. H. **Estudo de caso de atributos físicos de solo no bioma Cerrado em diferentes sistemas de uso e manejo**. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

CARMO, M. C.; CUNICO, J. M.; SANTOS, M. R. G.; SILVA, P. K. M.; SIQUEIRA, M. G. Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada na Amazônia Ocidental. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 9, 2018.

CAVALCANTE, W. F.; SILVA, L. R. C.; SILVA, E. G.; OLIVEIRA, J. T. C.; MOREIRA, K. A. Enzymatic activity of Caatinga biome with and without anthropic action. **Rev. Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 142-150, 2020.

CERQUEIRA, C. L.; MÔRA, R.; TONINI, H.; ARCE, J. E.; LISBOA, G. S.; DINIZ, C. C.; CARVALHO, S. D. Modelagem do volume de eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Adv. For. Sci**, v. 7, n. 4, p. 1213-1221, 2020.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de.; GRIOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43.

COGO, F. D.; JÚNIOR, C. F. A.; ZINN, Y. L. JÚNIOR, M. S. D.; ALCÂNTARA, E. N.; GUIMARÃES, P. T. G. Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasoras. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1089-1098, 2013.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, v. 32, n. 1, p. 15-54, 2015.

CORTES, J. W.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; ARCOVERDE, S. N. S.; OLSZEVSZKIN, N. Atributos físicos do solo em sistemas de adubação e de manejo de resíduos culturais em plantio direto. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 42, p. 343-351, 2018.

DANTSOVA, K. M.; HAYES, C.; PENNINGTON, J. C.; PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. **Journal of environmental quality**, v. 38, n. 4, p. 1458-1465.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**, p. 1-20, 1994.

EMBRAPA. Integração lavoura-pecuária-floresta: noções técnicas. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso: 14 fev. 2023.

EMBRAPA. Planossolos. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/planossolos>. Acesso em: 15 fev 2023.

EMBRAPA. **Solos tropicais: Planossolo**. 2019. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_14_2212200611542.html. Acesso em: 15 fev. 2023.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

FELDENS, L. O homem, a agricultura e a história. **Ed. 1**. Lajedo, RS: Editora Univates, 171 f. 2018.

FORTINI, R M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto of conservation agricultural practices in the land of productivity and profit of farms brazilian. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, e199479, 2020.

FRANÇA, T. J. F.; SILVA, J. R. O sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 47, n. 1, 2017.

FREIRE, D. N.; CAVICHIOLI, F. A.; Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF): uma estratégia tecnológica para o agronegócio. **Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, 2022.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesq. Agropec. Bras**, v. 45, n. 12, p. 1489-1498. 2010.
GOUEL, C.; GUIMBARD, H. 2017. Nutrition transition and structure of global demand, Washington, DC: **International Food Policy Research Institute**, 2017.

GUBIANI, P. I.; VAN LIER, Q. J.; DRESCHER, M. S.; MEZZAMI, C.; VEIGA, C. M. C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.

HAACK, P. G. **Consumo, endividamento, questões ambientais e adaptabilidade humana**. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ZIMMER, A. H.; SOARES, C. O.; ALMEIDA, R. G. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o progresso do setor agropecuário brasileiro. In: BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. Ed. 2. Brasília: Embrapa, 2012. Cap. 1, p.1-9.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. Ed. 2. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012.

LAL, R. Soils and sustainable agriculture: A review. In: LICHTFOUSE, E.; NAVARRETE, M.; DEBAEKE, P.; SOUCHERE, V.; ALBEROLA, C. (Ed.) **Sustainable Agriculture**. London: Springer; France: EDP Sciences, 2009, p. 15-23.

LOBATO, M. G.; SAMPAIO, F.; NÓBREGA, J. C.; FERREIRA, M.; MATIAS, S. S.; TORRES, A.; SILVA, C.; CUNHA, C. S. Physical attributes of a Oxisol from the Brazilian Cerrado under different management systems. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 1, p. 361-368, 2018.

MACEDO, M. C. M. CLFIS: an overview of the Brazilian experience. In: World congress on integrated crop-livestock-forest system; International symposium on integrated crop-livestock systems. 2015, Brasília, DF. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 33.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. Integração lavoura-pecuária-floresta: estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. p. 46. (Documento, 110).

MAGALHÃES, C. A. S.; PEDREIRA, B. C.; TONINI, H.; FARIAS NETO, A. L. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 2085-2096.

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

MATOS, A. M. S. **Qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico em sistema ILPF**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.

MOREIRA, C. R.; GALLETO, P. S.; WEDMANN, R.; ROSA, H. A. Níveis de compactação em pastagem de sistema intensivo e extensivo de produção. In: **I Seminário de Eng, de Energia na Agricultura**. Acta Iguaçu, Cascavel, v. 5, p. 145-153, 2016.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.

NASCIMENTO, C. D.; COSTA, M. C.; TOMA, R.; MOTA, J. C.; MENEZES, A.; COOPER, M. Soil structure and porous system in response to plant components of the agrosilvopastoral system. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 63-78, 2018.

NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI POLIZEIJ, K. M. V.; SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 186, n. 1, p. 292-299, 2019.

NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SOUSA, A. G.; SANTOS, F. F. C.; NERE, D. E. R. Infiltração da água nos solos cultivados com palma forrageira e pastagem no IFCE campus Crato. **Acta Kariri Pesq. e Des.**, v. 2, n. 1, p. 56-61, 2017.

NICODEMO, M. L. F.; BORGES, W. L. B.; SOUZA, I. M. D. Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, e5524, 2018.

NÓBREGA, DA C. C. **Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta para agricultura familiar no agreste paraibano**. 164f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, CCA, Areia, 2020.

OLIVEIRA, A. B.; MOURA CUNHA, G. H.; CONSTANTINO, M. **Cerrado brasileiro: Um estudo exploratório nas políticas para o seu desenvolvimento**. Contribuciones a las Ciencias Sociales, 2017.

OLIVEIRA, J. P. C.; CORREIA, D. B.; VERÇOSA, C. J.; FIGUEROSA, M. E. V.; CABRAL, C. P.; SANTOS, A. F.; MARTINS, A. S.; TEIXEIRA, L. M.; PEREIRA, G. G.; ANUNCIAÇÃO, J. A. O.; PEREIRA, F. D.; VASCONCELOS, J. M. P. B. L.; SILVA, A. S. O.; FERNANDES, N. S. A utilização inadequada do solo e seus impactos na degradação das áreas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

OLIVEIRA, L. F.; JÚNIOR, A. P.; NACHTIGAL, S. D.; PINTO, L. F. S.; CADONÁ, E. A.; MIGUEL, P. Variação das características pedológicas de Planossolos da região sul do estado do Rio Grande do Sul. In: **4ª Semana Integrada**, UFPEL. 2018.

PAULETTO, E. A.; BORGES, J. R.; SOUSA, R. O.; PINTO, J. F. S.; SILVA, J. B.; LEITSEKE, V. W. Avaliação da densidade e da porosidade de um Gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 2, p. 207-210, 2005.

PEDROTTI, A. **Avaliação da compactação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1996.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PIMENTA, K. K. P.; BIN, A.; SALLES FILO, S. L. M. Indústria e biodiversidade no Brasil: o novo marco regulatório sobre o uso sustentável da biodiversidade. **Administração de Empresas em Revista**, 2020.

PULROLNIK, K.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; SOUZA, K. W.; MORAES NETO, S. P. Recomendações para inserção do componente arbóreo em sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta. **EMBRAPA**, Planaltina, p. 1-12, 2019. (182, Comunicado Técnico.) Disponível em:

<https://www.redeilpf.org.br/index.php/publicacoes/send/4-folhetos/8-recomendacoes-para-insercao-do-componente-arboreo-em-sistemas-integrados-lavoura-pecuaria-floresta>. Acesso em: 08 fev. 2023.

PUTTE, A. V.; GOVERS, G.; DIELS, J.; GILIJINS, K.; DEMUZERE, M. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 231-241, 2010.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. 2008. In: LIER, Q. J. V (Ed.) **Física do Solo**. Ed. 1. Viçosa: SBCS, 2010, cap. 2, p. 29-102, 2008.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.). **Pedologia: Fundamentos**. Ed. 1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. Cap. 3, p. 47-80.

RODRIGUES, L. M.; TEODORO, A. G.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; ROCHA, J. H. T.; GIONGO, P. R.; SANTOS, Y. L. A. Integração lavoura-pecuária-floresta: interação entre componentes e sustentabilidade do sistema. **Arch. Zootec**, v. 68, n. 263, p. 448-455, 2019.

RODRIGUES, M. S.; SOUZA, C.; LIMA, D. D.; SILVA, S. D. P.; ALVES, D. C.; MACHADO, N. S. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida brasileira. **Ciência del Suelo**, v. 34, n. 1, p. 139-144, 2016.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. de S. M. Algumas técnicas de pesquisa em geomorfologia. In: VENTURI, L. A. B. (org.). **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SALLES, T. T.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SOARES, C. P. B.; PAIVA, H. N.; SANTOS, F. L. Modelo de Clutter na modelagem de crescimento e produção de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 253-260, 2021.

SANTOS, H. G. dos.; ZARONI, M. J. **Planossolos: definição e características gerais**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2018. Disponível em: <
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_14_2212200611542.html>. Acesso em: 16 abr. de 2023.

SILVA, A. R.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; RAMOS, P. P.; PEREIRA, J. M. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 630-640, 2020.

SILVA, A. R.; SCHWARTZ, G. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies florestais em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no leste da Amazônia. **Rev, Agro. Amb**, v. 12, n. 1, p. 45-63, 2019.

SILVA, E. F.; LOURENTI, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

SILVA, J. C. L.; VIDAL, C. A. S.; BARROS, L. M.; FREITA, F. R. V. Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180-191, 2018.

SILVA, J. C. R. **Atributos físicos do solo e macrofauna edáfica em sistema agroflorestal e mata**. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.

SILVA, L. F. **Pedogênese e classificação de Planossolos em diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Braz. J. of Develop**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, P. L. F. **Atributos físicos e químicos de um planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no agreste da paraíba**. 143f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, CCA, Areia, PB, 2019.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; AMARAL, A. J.; Martins, A. F.; PEREIRA, W. E.; TVARES, D. D.; NÓBREGA, C. C. Sistemas integrados de produção agropecuária: efeitos sobre a qualidade física de um planossolo no semiárido brasileiro. **Ciência del Suelo**, v. 39, n. 2, p. 307-322, 2021.

SIMÃO, E. de P.; GONTIJO NETO, M. M.; OLIVEIRA NETO, S. N.; GALVÃO, J. C. C.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C. Produção de grãos e forragem em função da disponibilidade luminosa em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 111-121, 2018.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.

SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. (Org). Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste. In: SILVA, A. P.; OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D.; DIAS, B. O.; SOUZA, A. P.; FRAGA, V. S. (ed.). **Manejo e conservação do solo em agroecossistemas familiares do bioma Caatinga**. 1ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021, p. 316-374.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Ed. 2. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. p. 222.

SUSZEK, F. L.; SAMPAIO, S. C.; LIMA, V. L. A. Controle estatístico de qualidade da condutividade hidráulica em Luvisolo e Neossolo com variação da densidade do solo. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 16-24, 2019.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p.1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M de C.; RIBON, A. A. Atributos físicos de Latossolo distrófico psamítico sob diferentes usos agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 925-933, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos e análises de solos**. Ed3. Brasília: Embrapa, 2017, p.573. TOMAZ, G. A.; WANDER, A. E. Barreiras à adoção do sistema ILPF em Goiás. **Revista Política Agrícola**, n. 1, p. 93-100, 2017.

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Interações**, v. 19, n. 1, p. 209-220, 2018.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J.; Effect of Compaction on Storage and Movement of Soil air and water. **Trasactions of the ASAE**, v. 4, p. 242-246, 1961. ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; SILVA, O. R. R. F.; RAMOS, E. N.; BARBOSA, H. F.; CORDEIRO JUNIOR, A. F.; LIRA, A. J. S. **Sistema integração lavoura-pecuária (ILP) para a região Agreste do Nordeste**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. p. 26. (Documentos, 266). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158255/1/Sistema-integracao-lavoura-pecuaria1.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.