



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

JOÃO VICTOR LEITE DE CARVALHO

**RESISTÊNCIA MECÂNICA A PENETRAÇÃO EM PLANOSSOLO SOB SISTEMAS
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NO AGRESTE PARAIBANO**

AREIA

2023

JOÃO VICTOR LEITE DE CARVALHO

**RESISTÊNCIA MECÂNICA A PENETRAÇÃO EM PLANOSSOLO SOB SISTEMAS
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NO AGRESTE PARAIBANO**

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

Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C331r Carvalho, João Victor Leite de.

Resistência mecânica a penetração em planossolo sob sistemas integrados de produção no Agreste Paraibano / João Victor Leite de Carvalho. - Areia:UFPB/CCA, 2023. 36 f. : il.

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

1. Agronomia. 2. Compactação. 3. Estrutura do solo.
4. ILPF. I. Oliveira, Flávio Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

JOÃO VICTOR LEITE DE CARVALHO

**RESISTÊNCIA MECÂNICA A PENETRAÇÃO EM PLANOSSOLO SOB SISTEMAS
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO NO AGRESTE PARAIBANO**

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

Aprovado em: 14/06/2023.

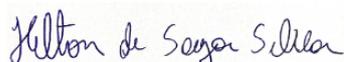
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira – Orientador
DSER/CCA/UFPB



Prof. Milton César Costa Campos, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Examinador



Eng. Agr. Helton de Souza Silva, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Examinador

Aos meus pais Joelino e Marta Lúcia,
pelo apoio incondicional durante toda
esta jornada.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que durante esta jornada, como também em toda minha vida, esteve presente me dando forças e bênçãos.

Ao meu pai Joelino, minha mãe Marta Lúcia e irmãos Igor Gabriel e Alex Kardell que são minha base e sempre estiveram ao meu lado me apoiando. A minha namorada Kyvia Danielly, que sempre se fez presente, com apoio e incentivos diários.

Ao meu orientador, professor Dr. Flávio Pereira de Oliveira, que sempre se fez presente com suas orientações e abriu portas para mim desde o 5º período, com três projetos de pesquisa desde então, onde com certeza contribuiu muito para meu desenvolvimento profissional, sou muito grato por isto.

A todos os meus familiares que de alguma forma contribuíram durante este ciclo, em especial as avós Floriza e Maria J6, as tias Silvestra, Marina, Moça, Claudiana, Urbaniza, Irene, Meyre, Marlene e Clarice. Aos tios Olívio, Amarante e Cícero, e também ao primo Dr Balduíno. Agradeço ao primo Josias e compadre Jorge, no qual pude conviver diariamente boa parte deste curso, ambos sempre me ajudando com bons conselhos.

Aos amigos de jornada acadêmica e também grupo de estudos, no qual convivi esses 5 anos, em especial: Jurandez, Allef, Murilo, Alexandre e Mayra. As amigadas na qual construí na cidade de Areia, em especial: Silvio, Danilo e Ricardo.

E por fim, ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) e a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pelo suporte durante o período de graduação.

OBRIGADO A TODOS!

**“Tenho-vos dito isto, para que em mim
tenhais paz; no mundo tereis aflições, mas
tende bom ânimo, eu venci o mundo.”**

João 16:33

CARVALHO, João Victor Leite de. **Resistência mecânica a penetração em Planossolo sob sistemas integrados de produção no Agreste paraibano.** Areia – PB, 2023. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba.

RESUMO

A compactação dos solos surge como uma das causas principais de degradação recurso, ocasionada especialmente pelo pisoteio de animais e perda de plantas forrageiras. Com isso, a avaliação da qualidade do solo com base na resistência mecânica a penetração surge como um dos indicadores de maior eficácia para indicação das propriedades físicas. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência mecânica a penetração em Planossolo após seis anos de implantação do sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano. O experimento está sendo conduzido desde julho de 2015, em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER) na cidade de Alagoinha, Paraíba, Brasil. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos: I) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricídia (*Gliricidia sepium*); II) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*); III) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamiso) Sandwith); IV) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Lavoura Anual e V) *Brachiaria decumbens* Stapf. com quatro repetições. Foram realizadas determinação da resistência mecânica a penetração, a campo, até 30 cm de profundidade, a partir de um penetrômetro de impacto. Os resultados apontaram que após seis anos de implantação dos sistemas, a resistência mecânica à penetração variou de baixa a alta entre os tratamentos. O tratamento *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê apresentou resistência alta (2.0 - 4.0 MPa) e o tratamento com *Brachiaria decumbens* apresentou resistência baixa (0.1 - 1.0 MPa). Ainda, em profundidade, observou-se que para a maioria dos tratamentos, a camada superficial apresentou menor resistência, com destaque para o tratamento com *Brachiaria decumbens*.

Palavras-chave: compactação; estrutura do solo; ILPF.

CARVALHO, João Victor Leite de. **Mechanical resistance to penetration in Planossolo under integrated production systems in the Paraíba Agreste.** Areia – PB, 2023. 38 p. Completion of course work (Graduation in Agronomy) – Federal University of Paraíba.

ABSTRACT

Soil compaction emerges as one of the main causes of resource degradation, caused especially by trampling by animals and loss of forage plants. Thus, the evaluation of soil quality based on mechanical resistance to penetration appears as one of the most effective indicators for indicating physical properties. Therefore, this work aimed to evaluate the mechanical resistance to penetration in Planossolo after six years of implementation of the Crop-Livestock-Forest Integration system in Agreste Paraíba. The experiment has been conducted since July 2015, in an experimental area of the Empresa Paraibana de Pesquisa, Rural Extension and Land Regularization (EMPAER) in the city of Alagoinha, Paraíba, Brazil. The experimental design adopted was in randomized blocks (DBC) with five treatments: I) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricidia (*Gliricidia sepium*); II) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Thrush (*Mimosa caesalpiniiifolia*); III) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamiso) Sandwith); IV) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Annual tillage and V) *Brachiaria decumbens* Stapf. with four repetitions. Determination of the mechanical resistance to penetration, in the field, up to 30 cm deep, was carried out using an impact penetrometer. The results showed that after six years of implantation of the systems, the mechanical resistance to penetration ranged from low to high between treatments. The treatment *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê showed high resistance (2.0 – 4.0 MPa) and the treatment with *Brachiaria decumbens* showed low resistance (0.1 – 1.0 MPa). Still, in depth, it was observed that for most treatments, the surface layer showed less resistance, with emphasis on the treatment with *Brachiaria decumbens*.

Key words: compaction; soil structure; ILPF.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Limitações passíveis de ocasionar crescimento deficiente do sistema radicular	15
Figura 2- Área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER)	19
Figura 3- Disposição das parcelas experimentais com os tratamentos no iLPF, em Alagoinha, Paraíba	20
Figura 4- Penetrômetro de impacto utilizado para as análises na área experimental	21
Figura 5- Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. + Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>) em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano	22
Figura 6- Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. + Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i>) em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano	23
Figura 7- Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. + Ipê (<i>Tabebuia alba</i> (Chamiso) Sandwith) em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano	24
Figura 8- Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. + Lavoura Anual em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano	25
Figura 9- Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diferentes configurações de sistemas produtivos integrados	13
Tabela 2- Classes de resistência do solo à penetração	18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
	2.1 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária	13
	2.2 Impactos da compactação do solo	15
	2.3 Resistência mecânica do solo à penetração	16
	2.4 Qualidade do solo em sistemas de produção	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
	3.1 Caracterização da área experimental	20
	3.2 Tratamentos e delineamento experimental	21
	3.3 Resistência à penetração	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÕES	28
	REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

O solo é considerado um recurso natural não renovável, sendo essencial para a sobrevivência dos seres humanos, visto que a produção agrônômica é diretamente dependente de suas condições para apresentar bom desempenho produtivo (MILEUSNIC et al., 2022). Ainda, é apontado que a manutenção de solos de boa qualidade é essencial para que se consiga avanços sustentável da agricultura e proteção do ambiente. No entanto, a compactação dos solos surge como uma das causas principais de degradação do solo, ocasionada especialmente pelo pisoteio de animais e perda de plantas forrageiras (BENEVENUTE et al., 2020), afetando de forma negativa os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (PULIDO-MONCADA et al., 2019).

Nesta perspectiva, é importante a avaliação da qualidade do solo, de modo que auxilie o produtor em informações para obtenção de plantas com bom desenvolvimento, sendo a resistência mecânica a penetração um dos indicadores de maior eficácia para indicação das propriedades físicas (WANG et al., 2022). A resistência mecânica do solo à penetração depende diretamente da composição granulométrica e umidade do solo, apontando, dessa forma, o seu estado atual (VENANZI et al., 2020), tornando-se essencial para recomendação de práticas de manejo do sistema de preparo mais apropriado do solo, bem como para a avaliar os efeitos na produção agrícola. Nesse sentido, surge equipamentos para determinação da resistência do solo à penetração, utilizando-se para isso o penetrômetro de impacto (EMBRAPA, 2023).

Por outro lado, os sistemas de uso conservacionistas que auxiliam no caminho para o avanço sustentável da produção agrícola, de modo que reduzem as perturbações do solo e diversificam as atividades executadas no ambiente, como é o caso do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – ILPF, os quais se desenvolvem através de interações temporais e espaciais, com produção diversificada de origem animal e vegetal, otimizando o ciclo biológico e visando a produção sustentável com atividades agrícolas, pecuárias e florestais (FREITAS & SANTOS, 2022), ajudando no aumento da produtividade. Assim, entende-se que o sistema ILPF está inserido dentro dos sistemas agroflorestais, sendo um meio sustentável de produção em todo o mundo. Contudo, é comum notar alterações na qualidade física do solo, especialmente pelo pisoteio animal nestas áreas, o que acarreta no aumento considerável da compactação do solo, remodelando por consequência, o volume das três fases do solo (porção sólida, a água e os espaços preenchidos por ar) (BARROS et al., 2021).

Além disso, o tempo de uso de iLPF em um determinado ambiente apresenta importância quanto aos atributos físicos do solo, além de promover condições para assimilação de água, ar

e nutrientes, estando ligado as diferentes interações entre as atividades bem como o tempo de implantação do sistema, tornando-o dinâmico, complexo e interessante para a realização de pesquisas, de modo a entender se existem benefícios ou ganhos no que diz respeito a resistência do solo à penetração (OLIVEIRA et al., 2017).

Com base nos supracitados, e levando em consideração a importância do solo para humanidade, entende-se ser necessário estudos relacionados a resistência mecânica do solo a penetração em sistema ILPF. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência mecânica a penetração em Planossolo após seis anos de implantação do sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistemas integrados de produção agropecuária

Para o desenvolvimento com busca a uma agricultura inclusiva, é necessário que a produção agrícola apresente tecnológicas e estratégias importantes para o avanço de forma sustentável, incluindo a diversificação e a integração (GASPARINI et al., 2017). Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) apresentam qualidades e características que quando utilizados na prática se tornam essenciais para o desenvolvimento agrícola e sobrevivência do agronegócio do Brasil e do mundo (BEHLING et al., 2014; COMITÊ, 2016).

Na atualidade, é de conhecimento algumas modalidades de sistemas integrados de produção agropecuária, podendo ser citado, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); Integração Lavoura-Pecuária (ILP); Integração Lavoura-Floresta (ILF); e Integração Pecuária-Floresta (IPF), como pode ser observado na Tabela 1 (CARVALHO et al., 2014).

Tabela 1. Diferentes configurações de sistemas produtivos integrados.

Componentes	Sigla	Sistema	Características
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	ILPF	Agrossilvipastoril	Integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área
Integração Lavoura-Pecuária	ILP	Agropastoril	Em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola
Integração Lavoura-Floresta	ILF	Silviagrícola	Consortiação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes).
Integração Pecuária-Floresta	IPF	Silvipastoril	Integra pastagem e animal com floresta em consórcio

Fonte: Adaptado de Embrapa (2016); Balbino et al. (2011) e Sousa Júnior et al. (2021).

Entende-se que os SIPA são atividades antigas que fizeram ligação com história da agricultura, em as pessoas que caçavam e colecionavam plantas, identificaram que quando se arremessava as sementes ao solo, surgiam plantas iguais as originais, e os animais que na época eram utilizados para suprir a demanda de alimentos se beneficiavam dessas plantas e posteriormente excretavam, ajudando a melhorar a qualidade do solo, o que fez com que ocorresse um forte sinergismo entre as diferentes práticas (CARVALHO et al., 2014).

Dentre os sistemas integrados de produção, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) se destaca, visto se tratar de uma forma de produção onde existe a integração de diversos sistemas produtivos agropecuários e florestais em consonância, sendo possível realizar o cultivo

de diferentes espécies de forma consorciada, e portanto, obter benefícios mútuo para ambas as atividades empregadas na área (EMBRAPA, 2020).

ILPF apresenta diversas vantagens, podendo ser citado a otimização e intensificação da ciclagem de nutrientes no ambiente, melhoria na qualidade e conservação no tocante as peculiaridades do solo, melhoria ao bem-estar animal pelo maior conforto térmico do local e ainda, é um sistema eficiente quanto ao uso de recursos naturais, tornando vantajoso quando empregada em um determinado local (GREGORI et al., 2021).

As pesquisas apontam que o ILPF pode ser empregado por qualquer produtor rural, sem levar em consideração o tamanho da área, sendo um sistema capaz de possibilitar o aumento da inserção social e maior geração de empregos, visando ainda, a conciliação de atividades produtivas com a conservação do ambiente (BEHLING et al., 2013).

Nesse sentido, é notório que o sistema ILPF é apto a ecoeficiência com progresso socioeconômico, possibilitando uma série de vantagens ao produtor rural e ao ambiente como um todo, sendo necessário pesquisas que se baseiem neste tipo de integração para subsidiar produtores, pesquisadores e técnicos.

Além disso, é interessante estudos voltados a avaliar a resposta quanto ao tempo de implantação iLPF sobre os atributos físicos e químicos do solo, como já observado por Silva et al. (2020), ao estudarem o impacto do manejo sobre a qualidade física de um Planossolo sob sistema iLPF, em que observaram alteração quanto a qualidade física do solo e observaram sensibilidade as mudanças de uso. Sartor et al. (2020), estudando a resistência mecânica à penetração utilizando sistema integrados agropecuários, após onze anos de implantação, observaram resistência mecânica à penetração em áreas mais próximos de árvores, o que indica efeito dos animais sobre as propriedades físicas do solo em locais com maior quantidade de sombreamento. Por sua vez, Sabino et al. (2022) também observaram respostas quanto à qualidade física do solo sob sistema iLPF após 6 anos de implantação, com aumento da densidade do solo em profundidade. Assim sendo, entende-se que o tempo de implantação de um sistema ocasiona respostas interessantes quanto aos atributos do solo, especialmente os físicos e químicos.

2.2. Impactos da compactação do solo

Dentre as causas principais de compactação do solo, as práticas inadequadas de manejo são as que tendem a aumentar o grau de compactação de forma mais acelerada, comprometendo a estabilidade estrutural do solo (SILVA, 2021), visto estar diretamente relacionada com a distribuição de raízes das plantas, absorção de água, nutrientes e produtividade (ÇELIK et al., 2020). De acordo com McPhee et al. (2020), a compactação do solo em ambientes agrícolas se deu pela necessidade de otimizar o trabalho e aumentar a produtividade de mão de obra, o que foi possível pelo uso de máquinas pesadas.

A compactação do solo fica favorável ao aumento em profundidade, especialmente pelo pisoteio animal que alteram a conformação dos agregados (SARTOR et al. 2020). Entende-se que solos desgastados e com alta resistência à penetração incentiva o estresse hídrico às plantas, visto a diminuída taxa de crescimento do sistema radicular e redução da taxa de captação de água em camadas com maior profundidade (SILVA et al., 2015), o que reflete de forma negativa na produtividade agrícola. Na Figura 1, observa-se algumas limitações passíveis de ocasionar crescimento deficiente do sistema radicular, com destaque na compactação, o que interfere no crescimento e desenvolvimento das raízes, fazendo com que as plantas cessem seu crescimento em profundidade.

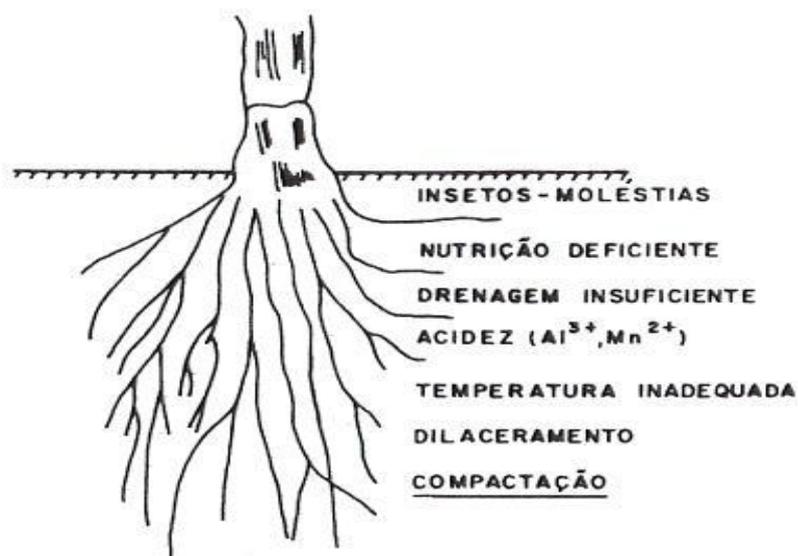


Figura 1. Limitações passíveis de ocasionar crescimento deficiente do sistema radicular.

Fonte: Infobibos (2006).

Em síntese, nota-se que a compactação do solo é um processo de pressionar as partículas do solo, reduzindo os espaços dos poros e preservar o conteúdo de água entre eles (VERMA & KUMAR, 2020), e é por meio desse processo que os comportamentos mecânicos do solo conseguem ser altamente aprimorados (WANG & YIN, 2020). Não obstante, a compactação do solo é acelerada em condições úmidas e com reduzido teor de matéria orgânica, e sob essas condições, fatores intrínsecos do solo como textura e estabilidade agregada interatuam com as forças de pressão externas (peso do maquinário, tração, número de passagens, taxa de lotação animal e frequência de pisoteio dos animais) para determinação da extensão (PULIDO-MONCADA et al., 2022).

Neste sentido, torna-se necessário estudos que avaliem a compactação do solo na determinação da sua qualidade física. Uma avaliação que vêm sendo empregada na pesquisa agrônômica para determinar camadas compactadas se dá por meio da resistência mecânica do solo à penetração (RMP), onde se torna possível simular o impedimento mecânico ao crescimento e desenvolvimento das raízes por meio da força que é utilizada para romper as estruturas do solo para penetração (SORIANI et al., 2018).

2.3. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência do solo à penetração é altamente afetada pela umidade do solo (LIL et al., 2022), aumentando com a sua secagem. A resistência à penetração do solo é o estresse físico de maior interferência para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Pesquisas mostram que cerca de 20% das áreas de pastagens em todo o globo estejam apresentando formas de degradação, sendo influenciados especialmente pelo sobrepastoreio, erosão e compactação, sendo o pisoteio animal um forte influenciador neste processo (ROESCH et al., 2019; MAYERFELD et al., 2022), ocasionando pressões no solo semelhantes ou maiores que as de ferramentas mecânicas (MEDINA et al., 2016).

Assim, entende-se que a resistência do solo a penetração se encontra ligada de forma direta à compactação do solo, podendo ser usada como um indicador, visto sua capacidade de descrever a resistência física que o solo tende a exercer sobre o sistema radicular da planta que buscam se movimentar por meio dele, sendo diretamente afetado pela densidade e porosidade do solo (MAZURANA et al., 2013).

Atualmente, existem maneiras para determinação da resistência do solo à penetração, dentre elas, a penetrometria, que identifica as camadas que apresentam dificuldade para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, utilizando-se para isso o penetrômetro de

impacto, auxiliando na profundidade em que as camadas apresentam compactação, visto que quando se atinge determinada profundidade, o número de impactos necessários para penetração aumenta, apontando a presença de camadas compactas (MION et al., 2012; (BAESSO et al., 2020; KORMANEK & DVOŘÁK, 2022; EMBRAPA, 2023).

Mioto et al. (2020) avaliando alguns parâmetros físicos relacionados à resistência mecânica do solo à penetração utilizando-se do equipamento penetrômetro de anel dinamométrico e de impacto, observaram que o penetrômetro de impacto foi capaz de mensurar valores de resistência à penetração de forma superior quando comparado ao de anel dinamométrico, apontando ser viável sua utilização para mensurar dados físicos do solo. Nessa mesma perspectiva, Baesso et al. (2020), ao comparar três penetrômetros (impacto, manual e automático) em um latossolo de modo a investigar a influência da umidade nas leituras da resistência mecânica do solo à penetração, observaram variações inversamente com a umidade do solo nos equipamentos, onde apontam que é seguro comparar valores de resistência de penetrômetros diferentes, contudo, é preciso que as avaliações tenham sido realizadas sob as mesmas condições de umidade do solo.

Valente et al. (2019) investigando a resistência mecânica do solo à penetração em sistemas de manejo do solo através do uso da técnica de penetrometria, na profundidade de 0,00 a 0,40m, observaram que os sistemas de manejo de solo ocasionam alterações na estrutura do solo, acarretando em camadas com diferentes graus de compactação. Os mesmos autores ainda concluem que o sistema de plantio convencional ocasiona alterações mais elevadas na física do solo.

O estudo de compactação do solo já foi estudado por diversos autores, como relatado por Gurgel et al. (2020), ao estudarem os efeitos da compactação do solo na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras, em que observaram que o pisoteio animal é a principal causa da compactação do solo nesses sistemas, sendo intensificado por pastejos quando se tem maior frequência.

Cardoso et al. (2022) investigando a influência da compactação do solo sobre ausência ou diferentes coberturas de solo, constataram que a cobertura gramada tende a apresentar resistência à penetração nas primeiras camadas, e, o solo descoberto apresentou resistência em camadas mais profundas, diferente do solo com palhada que uniformizou a baixa resistência a penetração mecânica.

Em estudo realizado por Bayat et al. (2017), os autores observaram os efeitos dos aspectos das encostas Norte e Sul, a intensidade do pastejo (pasto livre e controlado e exclusão de gado) e a posição de amostragem (abaixo e entre o dossel) na curva de resistência do solo à penetração,

onde foi possível notar segundo os autores que a curva de resistência à penetração se elevou com a intensidade do pastejo dos animais no ambiente. Por sua vez, Sartor et al. (2020) estudando a resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação, notaram que os maiores valores de resistência à penetração se observou na camada de 0,05-0,10 m do solo e em locais avaliados com maior proximidade das árvores, mostrando o efeito do animal que permanece nessas áreas por mais tempo devido ao conforto térmico proporcionado pela sombra de suas copas.

Na Tabela 2, são apresentadas as classes de resistência do solo à penetração de acordo com a Soil Survey Staff (1993).

Tabela 2. Classes de resistência do solo à penetração.

Classe	Resistência à penetração (MPa)
Extremamente baixa	<0.01
Muito baixa	0.01-0.1
Baixa	0.1-1.0
Moderada	1.0-2.0
Alta	2.0-4.0
Muito alta	4.0-8.0
Extremamente alta	>8.0

Fonte: Adaptado de Soil Survey Staff (1993). Citadas por Arshad et al. (1996).

2.4. Qualidade do solo em sistemas de produção

No semiárido nordestino, práticas como derrubada de árvores e queimas, são constantemente empregadas na agricultura, o que acaba por ocasionar degradação do solo e reduz de forma direta a fauna e flora da região (MAIA et al., 2019). Assim, torna-se importante conservar a qualidade estrutural do solo, visto que, a depender do avanço de degradação, o mesmo pode vir a se tornar infértil (ARRUDA et al., 2012).

Com base nisso, é evidente a necessidade de avaliar os sistemas de produção, visto que a identificação de manejos mais adequados é crucial para que se mantenha a produtividade das culturas e conseqüentemente da qualidade do solo. Nesse sentido, a busca por sistemas balanceados priorizando práticas de manejo sustentável, contribui para melhorar a qualidade do solo (SILVA et al., 2020).

Problemas como a compactação surge como um grande entrave na agricultura. Silva et al. (2021) ao avaliarem o comportamento físico-hídrico do solo quatro anos após a implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no semiárido Brasileiro, observaram que após

a implantação dos sistemas, ocorreu uma alteração positiva na estrutura do solo, o que refletiu na diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total.

De modo regional, com ênfase no estado da Paraíba, a compactação do solo se constitui como um fator limitante do crescimento e desenvolvimento vegetal, o que reduz de forma significativa a produtividade agrícola (CARNEIRO et al., 2018). Nesse sentido, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisa, de modo a subsidiar produtores, pesquisadores e técnicos.

Um fato curioso, é que, até meados dos anos 90, grande parte dos estudos eram voltados apenas aos indicadores químicos e físicos do solo para diagnosticar a qualidade e as práticas utilizadas em um determinado solo, no entanto, notou-se a elevada importância da atividade microbiana nos solos, e que a maioria dos atributos físicos e químicos são resultados dos processos bióticos do solo (CARLOS, 2017). A biomassa microbiana, por sua vez, é um importante indicador de qualidade do solo, estando relacionado com outros atributos físicos e químicos do solo, biodiversidade, e conseqüentemente, na produtividade das culturas (KASCHUK et al., 2010).

Em síntese, práticas conservacionistas de solo que ajudam a melhorar a qualidade, como os SIPA, já citados anteriormente, são alternativas de produção sustentáveis de sinergismos que atuam de forma positiva quanto a produção de alimentos e na qualidade ambiental (LEMAIRE et al., 2014). Trabalhos de pesquisa já apontam diversas melhorias quanto a qualidade do solo em sistemas de produção por meio dos SIPA, como os relatados por (COSTA et al., 2015; MARTINS et al., 2017). Assim sendo, o uso de práticas que potencializem os benefícios alcançados na melhoria da qualidade do solo são essenciais e precisam ser explorados.

A qualidade do solo em sistemas de produção é um dos pilares essenciais no tocante a sustentabilidade agrícola e florestal. Assim sendo, a matéria orgânica do solo (MOS) é um responsável da fertilidade dos solos, sendo ainda o compartimento principal de carbono nos ecossistemas terrestres (SCHARLEMANN et al., 2014). Nesse sentido, tem-se o alto interesse em conservar funções importantes do solo, fazendo uso para isso de práticas de manejo quanto a qualidade do solo (RODRIGUEZ et al., 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O experimento está sendo conduzido desde julho de 2015, em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER) na cidade de Alagoinha (PB) (Figura 2). O município está inserido na microrregião de Guarabira e mesorregião geográfica do Agreste da Paraíba, sob as coordenadas (06°57'00" S e 35°32'42" W) e 317 metros de altitude.



Figura 2. Área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER).

Segundo a classificação Köppen-Geiger, o clima predominante no município é do tipo As' – quente e úmido, com chuvas de outono-inverno e período chuvoso entre os meses de março e agosto. A precipitação média anual é de 995 mm, com temperatura variando de 22 a 26 °C e umidade relativa do ar anual em torno de 25%. Segundo a classificação agroclimática de Thornthwaite e Matter (1955) para a capacidade de armazenamento de água no solo de 100 mm, o período com maior disponibilidade de água no solo para Alagoinha situa-se entre abril e julho (ROLIM & SENTELHAS, 1999). O solo cuja área experimental está inserida foi classificado como Planossolo Háplico de textura franco-arenosa (SANTOS et al., 2018).

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e quatro repetições (5 x 4). Os tratamentos foram compostos pelos seguintes consórcios: I) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricídia (*Gliricidia sepium*); II) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*); III) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamiso) Sandwith); IV) *Brachiaria decumbens* Stapf. + Lavoura Anual e V) *Brachiaria decumbens* Stapf., conforme descrito na Figura 3. Ademais, as parcelas experimentais apresentavam dimensão de 38 x 20 m, totalizando 760 m².



Figura 3. Disposição das parcelas experimentais com os tratamentos no iLPF, em Alagoíinha, Paraíba.

3.3. Resistência à penetração

Foram realizadas determinação da resistência a penetração, a campo, até 30 cm de profundidade, a partir de um penetrômetro de impacto (Figura 4). A avaliação de compactação foi realizada após seis anos de implantação dos sistemas.



Figura 4. Penetrômetro de impacto utilizado para as análises na área experimental.

A resistência do solo à penetração foi determinada com o penetrômetro de impacto (modelo IAA/ Planalsucar-Stolf) (STOLF et al., 1983). A transformação dos valores da penetração da haste do aparelho no solo (cm impacto⁻¹) em resistência à penetração (MPa) foi obtida pela fórmula dos “holandeses”, segundo Stolf (1991).

A resistência à penetração foi obtida através da fórmula abaixo:

$$R = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A}$$

em que, RMPS = resistência mecânica do solo à penetração; M = massa do êmbolo, 4,03 Kg; g = aceleração da gravidade; m = massa do aparelho excetuando o êmbolo, 3,24 Kg; h = altura percorrida pelo êmbolo, 56 cm; x = penetração do cone no solo, cm/impacto; A = Área basal do cone (cm²).

Os dados foram obtidos a partir de uma coleta em campo, e posteriormente foram inseridos em uma planilha do Excel. A partir dos valores obtidos, gerou-se os gráficos para a interpretação e análise de cada tratamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 apresenta os valores de resistência a penetração em Planossolo sob *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricídia (*Gliricidia sepium*), em sistema de Integração Lavoura Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano, com valores variando de baixa a alta resistência a penetração (RP), de acordo com a classificação estabelecida pela Soil Survey Staff (1993) (Tabela 2). Em profundidade, observa-se variações de RP, com resultados variados nas camadas do solo, chegando a maiores valores próximos de 4,50 MPa (Figura 5B e D, respectivamente), e menores valores em 2,50 e 1,50 MPa (Figura 5A e C), respectivamente.

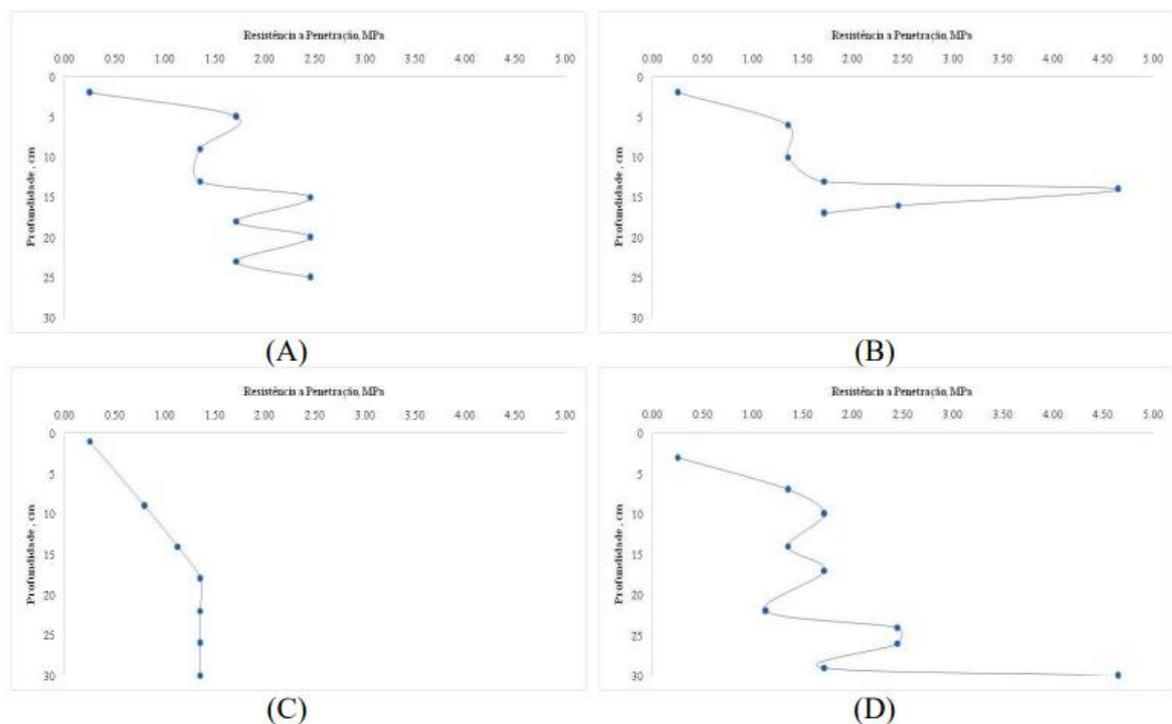


Figura 5. Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob *Brachiaria decumbens* Stapf. + Gliricídia (*Gliricidia sepium*) em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano. (A)- bloco 1; (B)- bloco 2; (C)- bloco 3 e (D)- bloco 4.

Os resultados de RP podem ter ocorrido pela associação entre uma gramínea e uma arbórea, capazes de melhorar a qualidade do solo por intermédio da manutenção do estoque de carbono e diminuição da emissão de gases do efeito estufa (CARVALHO et al., 2016). Percebe-se que, à medida que aumenta a profundidade, a RP se tornou maior, podendo ser explicado pela alta

densidade de raízes dessas espécies, fazendo com que as partículas do solo se aproximem e formem mais agregados (LOURENTE et al., 2016).

Quanto a resistência a penetração utilizando *Brachiaria decumbens* Stapf. + Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.), observa-se variações de RP em todas as profundidades, contudo, as menores RP foram observadas nas camadas superficiais, até 15 cm (Figura 6A), com maior MPa obtido nas profundidades maiores (20 a 30 cm) (Figura 6B, C e D), respectivamente. De forma específica, a resistência foi moderada, de acordo com a classificação estabelecida pela Soil Survey Staff (1993), quando associado essas espécies. Possivelmente, o aporte de M.O. em subsuperfície pelo sistema radicular das espécies deve ter favorecido o maior acúmulo de água, bem como maior grau de compactação e aumento na densidade quando em maiores profundidades (MORAES BORBA et al., 2020).

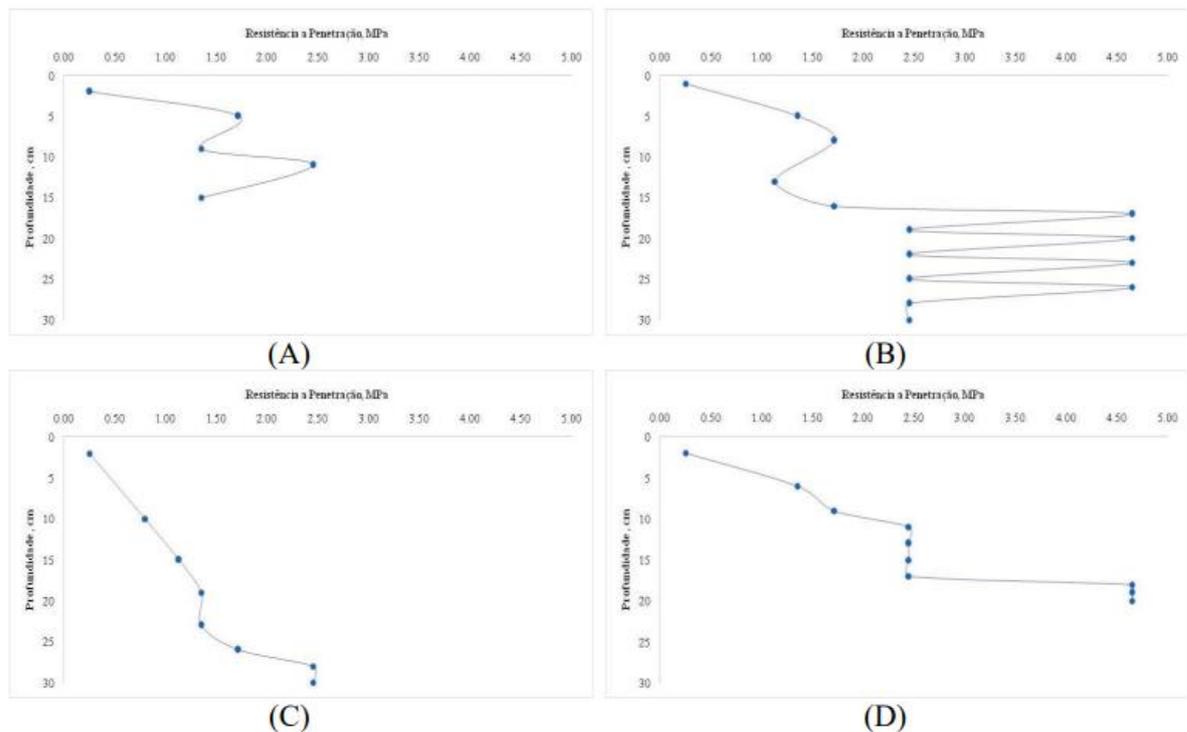


Figura 6. Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob *Brachiaria decumbens* Stapf. + Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano. (A)- bloco 1; (B)- bloco 2; (C)- bloco 3 e (D)- bloco 4.

A resistência moderada pode estar relacionada, ainda, pela associação da espécie forrageira com a leguminosa arbórea (*Brachiaria decumbens* Stapf e *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) respectivamente, fazendo com que o solo fique mais rico em macroporosidade, deixando-o menos compactado (MENDONÇA et al., 2013). De fato, os efeitos de diferentes sistemas de

uso na curva de resistência a penetração podem constituir uma ferramenta tecnicamente positiva para a restauração parcial da qualidade física do solo (BLAINSKI et al., 2008).

Segundo a classificação estabelecida pela Soil Survey Staff (1993), ao utilizar o tratamento associando *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamisso) Sandwith), percebe-se alta resistência a penetração, se elevando com o aumento em profundidade (Figura 7A, B, C e D), com maiores resultados de RP próximos a 5,00 MPa. Os resultados mostram que a associação não foi suficiente para evitar a compactação, possivelmente, não houve uma boa distribuição de raízes, dificultando a drenagem da água (SILVA et al., 2018).

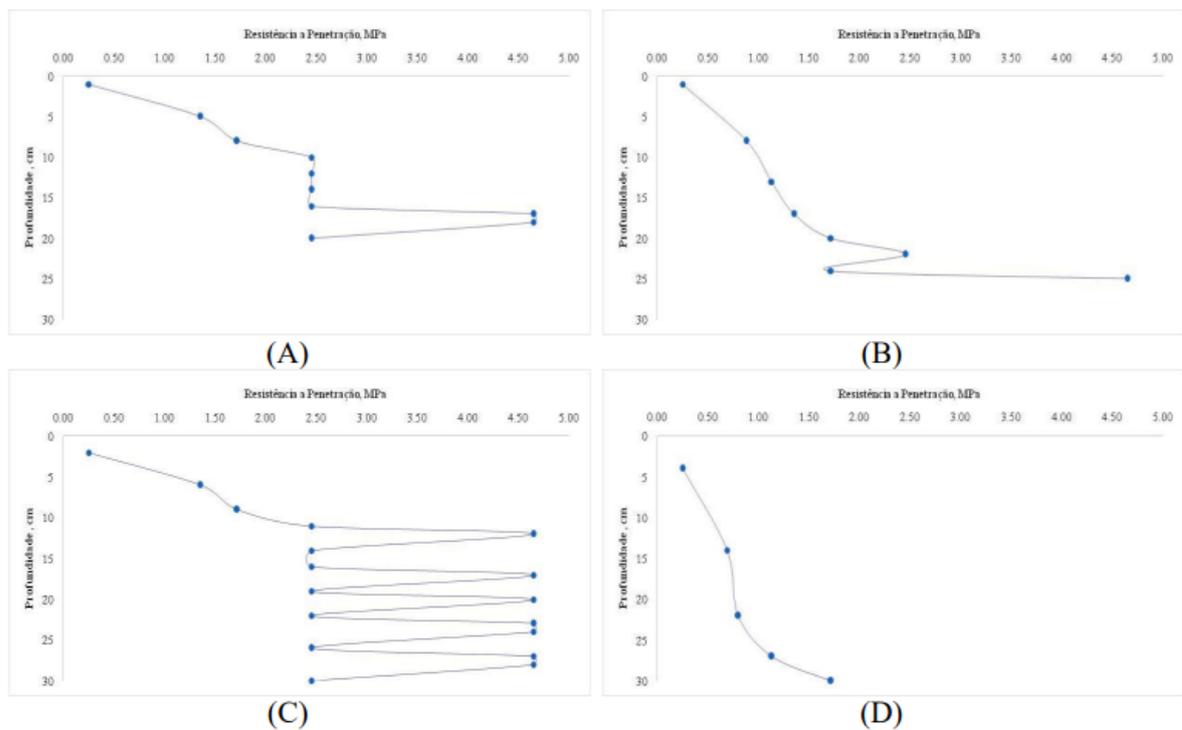


Figura 7. Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê (*Tabebuia alba* (Chamisso) Sandwith) em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano. (A)- bloco 1; (B)- bloco 2; (C)- bloco 3 e (D)- bloco 4.

Ainda, estudos apontam que valores de resistência a penetração acima de 2 MPa, tendem a dificultar o crescimento radicular para a maioria das culturas. Vale ressaltar que a resistência do solo a penetração exercida pela haste tem tendências a superestimação, pois não necessariamente representa a resistência que as raízes imprimem (VAN LIER & GUBIANI, 2015). Com isso, entende-se que o uso de práticas de manejo inadequadas pode inviabilizar a capacidade produtiva do solo, independente do sistema de integração (SILVA et al., 2021).

Na Figura 8, encontram-se apresentados os valores de resistência a penetração em Planossolo sob Lavoura Anual, em sistema ILPF no Agreste paraibano. A Resistência a penetração para o tratamento variou em moderada, ou seja, entre 1.0 a 2.0 MPa, de acordo com a classificação estabelecida pela Soil Survey Staff (1993), podendo estar atrelado a uma menor densidade do solo e melhor dinâmica de água no perfil do solo, tornando-o menos compactado (CENTENO et al., 2017).

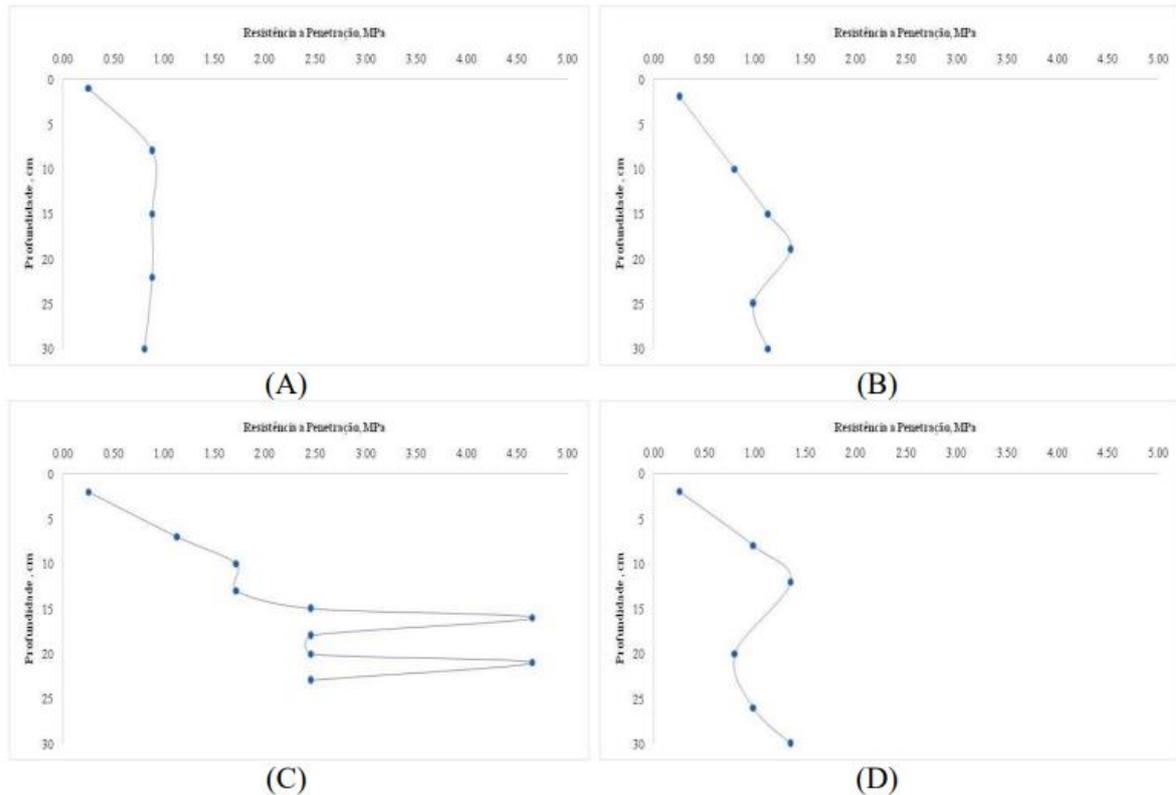


Figura 8. Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob *Brachiaria decumbens* Stapf. + Lavoura Anual em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano. (A)- bloco 1; (B)- bloco 2; (C)- bloco 3 e (D)- bloco 4.

Os resultados encontrados são interessantes, especialmente ao levar consideração que o pisoteio animal e o uso de implementos agrícolas no manejo de pastagens e em parcelas com lavoura anual são propícias ao aumento da densidade do solo com o passar do tempo, e levando em consideração ser uma área conduzido desde julho de 2015, está tende a atingir limites críticos. O processo de compactação é um dos principais responsáveis pela degradação dos solos agrícolas, limitando a qualidade física e a obtenção de maiores índices produtivos (ASSIS et al., 2014).

Ao utilizar *Brachiaria decumbens* Stapf., nota-se que a RP para o tratamento se caracterizou como uma baixa resistência (0.1 a 1.0 MPa) de acordo com a classe de resistência da Tabela 2, especialmente nas camadas superficiais (Figura 9A, B, C e D). De fato, o cultivo de *Brachiaria decumbens* Stapf. ajuda na formação e estabilidade de agregados superiores a dois milímetros, proporcionando maior acúmulo de M.O. na superfície do solo e melhora a estrutura como um todo, deixando-o mais resistente as injúrias na superfície por intermédio, ainda, do volume de raízes que alteram os valores de porosidade total (KINTSCHEV, 2021).

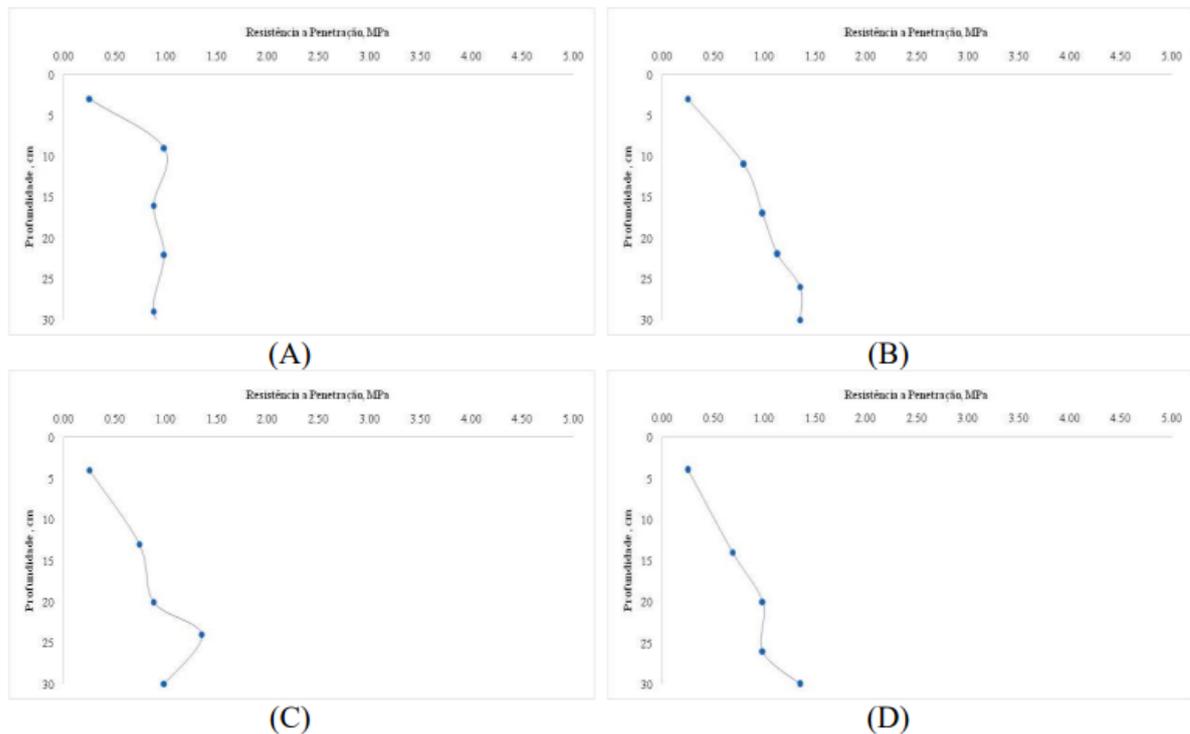


Figura 9. Valores de resistência à penetração obtido em cada bloco experimental em Planossolo sob *Brachiaria decumbens* Stapf. em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste Paraibano. (A)- bloco 1; (B)- bloco 2; (C)- bloco 3 e (D)- bloco 4.

Em síntese, a resistência a penetração foi moderada para os tratamentos de *Brachiaria decumbens* + Gliricídia, *Brachiaria decumbens* + Sabiá e *Brachiaria decumbens* Stapf. + Lavoura Anual. Não obstante, para o tratamento *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê a resistência foi alta e para *Brachiaria decumbens* Stapf. a resistência foi baixa. Em profundidade, observa-se que para a maioria dos tratamentos, a camada superficial apresentou menor resistência, com destaque para o tratamento com *Brachiaria decumbens*.

5. CONCLUSÕES

Observou-se que após seis anos de implantação dos sistemas, a resistência mecânica à penetração variou de baixa (0,1 - 1,0 MPa) a alta (2.0 - 4.0 MPa) entre os tratamentos;

O tratamento *Brachiaria decumbens* Stapf. + Ipê apresentou resistência alta e o tratamento com *Brachiaria decumbens* a resistência à penetração foi baixa;

Observa-se que para a maioria dos tratamentos, a camada superficial apresentou menor resistência, com destaque para o tratamento com *Brachiaria decumbens*.

Em áreas com a presença de árvores (florestal), observou-se maior compactação do solo, estando ligado ao pisoteio animal e conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, Luiz Eduardo Vieira. et al. Uso de metodologia participativa na obtenção de indicadores da qualidade do solo em Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 25-35, 2012.

RSHAD, M. A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p.123- 141, 1996. (Special publication, 49).

ASSIS, Edson. et al. Resistência à penetração em Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

BAESSO, M. M. et al. Comparação entre três penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração em um latossolo vermelho eutroférico. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 101-110, 2020.

BALBINO, L. C. et al. **Ações de transferência de tecnologia de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta 2007-2011**. Brasília, DF: Embrapa; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011c 52 p.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p. 1-12, 2011.

BARROS, Dener Santos. et al. Compactação de solo: índices físicos necessários para determinação dos fatores de compactação. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 7, n. 1, p. 52-64, 2021.

BAYAT, Hossein. et al. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. **Geoderma**, v. 303, p. 150-164, 2017.

BEHLING, M. et al. Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). In: FUNDAÇÃO MT. **Boletim de Pesquisa de Soja**, Rondonópolis, p. 306-324, 2014.

BEHLING, M. et al. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Embrapa Agrossilvipastoril-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2013.

BENEVENUTE, P. N. A. et al. Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106647, 2020.

BLAINSKI, Éverton. et al. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

CARDOSO, João Vinicius. et al. Influência na compactação de solo sobre efeito da ausência ou diferentes coberturas de solo. **Revista Scientia Rural-ISSN 2178-3608**, v. 1, p. 1-24, 2022.

CARLOS, Filipe Selau. **Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado**. 168f. 2017. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CARNEIRO, Kalline Almeida Alves. et al. Influência da compactação do solo no crescimento de milho (*Zea mays* L.) em Latossolo Vermelho-Amarelo. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2018. p. 88-98.

CARVALHO, J. S.; KUNDER, R. J.; STOCKES, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistema de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CARVALHO, Paulo César de Faccio. et al. Definições e terminologias para sistema integrado de produção agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1040-1046, 2014.

COSTA, S.E.V.G.A. et al. Impact of an integrated no-till crop-livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 43–51, 2014.

ÇELIK, İsmail. et al. Evaluating the long-term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. **Soil Use and Management**, v. 36, n. 2, p. 223-239, 2020.

CENTENO, L. N. et al. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

COMITÊ atualiza saldo de ações da Estratégia PCI. **Mato Grosso Econômico**. 2016. Disponível em: <<http://www.matogrossoeconomico.com.br/blog-post/comite-atualiza-saldode-acoes-da-estrategia-pci/11661>>. Acessado em: 17 de abril de 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2016. **ILPF em números**. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf>. Acessado em: 17 de abril de 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2023. **Aplicações da agricultura de precisão em pastagens**. In: Oliveira, Pêrsio Sandir. et al. 2023, circular técnica 127. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151612/1/Aplicacoes-da-agricultura-de-precisao-em-pastagens.pdf>. Acessado em: 12 de abril de 2023.

EMBRAPA. **O que é ILPF?** 2020. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/temaintegracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

FREITAS, Â. M. S.; SANTOS, J. L. S. Importância dos sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 14, n. 1, 2022.

GASPARINI, L. V. L. et al. **Sistemas integrados de produção agropecuária e inovação em gestão: estudos de casos no Mato Grosso**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA. 2017. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29871. Acessado em: 17 de abril de 2023.

GOMIDE, J. A. et al. Valor alimentício das Brachiarias. In: simpósio sobre manejo da pastagem, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p.223-248.

GREGORI, G. S. et al. Integração lavoura pecuária floresta (ILPF): minicurso online. In: **Anais do VIII ECOPET-Encontro Centro-Oeste dos Grupos PET**. 2021.

GURGEL, Antônio Leandro Chaves. et al. Compactação do solo: Efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 13-29, 2020.

INFOBIBOS. **Conceitos Gerais de Compactação do Solo**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com.br/artigos/compsolo/comp1.htm>. Acessado em: 15 de abril de 2023.

KASCHUK, G. et al. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n.1, p. 1-13, 2010.

KINTSCHEV, Maurício Rocha. **Biomassa microbiana e resistência do solo à penetração em função do consórcio de milho e *Brachiaria* spp. na produtividade da soja**. 2021. 74f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2021.

KORMANEK, Mariusz; DVOŘÁK, Jiří. Use of impact penetrometer to determine changes in soil compactness after Entracon Sioux EH30 timberharvesting. **Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering**, v. 43, n. 2, p. 325-337, 2022.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4–8, 2014.

LIU, Hui. et al. Effects of soil compaction on grain yield of wheat depend on weather conditions. **Science of the Total Environment**, v. 807, p. 150763, 2022.

LOURENTE, E. R. P. et al. Agricultural management systems affect on physical, chemical and microbial soil properties. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 683- 692, 2016.

LUCAS, A. A. T. et al. Características de distribuição radicular de maracujazeiro sob fertirrigação. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 245-801, 2002.

MAIA, Stoécio Malta Ferreira. et al. Combined effect of intercropping and minimum tillage on soil carbon sequestration and organic matter pools in the semiarid region of Brazil. **Soil Research**, v. 57, n. 3, p. 266-275, 2019.

MARTINS, A.P. et al. Short-term Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 2, p. 534–542, 2017.

MAYERFELD, Diane. et al. Impacts of different grazing approaches on woodland ecosystem properties. **Agroforestry Systems**, p. 1-14, 2022.

MCPHEE, John E. et al. Managing soil compaction—A choice of low-mass autonomous vehicles or controlled traffic?. **Biosystems Engineering**, v. 195, p. 227-241, 2020.

MEDINA, Carlos. Effects of soil compaction by trampling of animals in soil productivity. Remediations. **Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA**, v. 8, n. 1, p. 88-93, 2016.

MENDONÇA, V. Z. D. et al. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 251-259, 2013.

MILEUSNIĆ, Z. I. et al. Soil compaction due to agricultural machinery impact. **Journal of Terramechanics**, v. 100, p. 51-60, 2022.

MION, R. L. et al. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.

MIOTO, Liliane Scabora. et al. Resistência mecânica do solo à penetração avaliada em área de segundo ano de implantação da cultura da mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4601-4620, 2020.

MORAES BORBA, José Otávio. et al. Qualidade física de um Latossolo Amarelo sob gramíneas e mata nativa no Brejo da Paraíba. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e564997522-e564997522, 2020.

PULIDO-MONCADA, Mansonia. et al. Wheel load, repeated wheeling, and traction effects on subsoil compaction in northern Europe. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 300-309, 2019.

PULIDO-MONCADA, Mansonia. et al. Soil compaction raises nitrous oxide emissions in managed agroecosystems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 3, p. 38, 2022.

RODRIGUEZ, L. et al. Agroforestry systems in the Colombian Amazon improve the provision of soil ecosystem services. **Applied Soil Ecology**, v. 164, p. e-103933, 2021

ROESCH, Andreas. et al. An approach for describing the effects of grazing on soil quality in life-cycle assessment. **Sustainability**, v. 11, n. 18, p. 4870, 2019.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. Planilhas no ambiente Excel™ para os cálculos de balanços hídricos: Mensal sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SABINO, Bruna Thalia Silvaira. et al. Qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta: efeitos de 6 anos de implantação. **Revista Valore**, v. 7, p. 7026, 2022.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5. ed. Brasília, Embrapa, 2018. 356p.

SARTOR, Laércio Ricardo. et al. Resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 231-241, 2020.

SCHARLEMANN, J. P. W. et al. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, p. 81-91, 2014.

SILVA, Bruno Montoani. et al. Soil moisture space-time analysis to support improved crop management. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, p. 39-47, 2015.

SILVA, Pedro Luan Ferreira. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, n. 2, 2021.

SILVA, Pedro Luan Ferreira. et al. Sistemas integrados de produção agropecuária: efeitos sobre a qualidade física de um planossolo no semiárido brasileiro. **Ciencia del suelo**, v. 39, n. 2, p. 106-121, 2021.

SILVA, Pedro Luan Ferreira. et al. Impacto do manejo sobre a qualidade física de um Planossolo Háplico Franco-Arenoso. **Contecc**, p. 1-5, 2020.

SILVA, Pedro Luan Ferreira. et al. Solos arenosos para Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez, Rio Grande do Norte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 5, p. 581-589, 2018.

SILVA, Pedro Victor Castro. et al. Utilização de indicadores participativos de qualidade do solo em sistemas de produção agrícola familiar. **Nativa**, v. 8, n. 5, p. 671-678, 2020.

SORIANI, Rafael. et al. Eficiência dos penetrômetros de impacto e eletrônico na detecção de compactação do solo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 34, p. 202-211, 2018.

SOIL SURVEY STALF. **Soil survey manual**. U.S. Dep. Agric. Handb, n. 18, 1993.

SOUSA JÚNIOR, J. C. et al. Integrados de Produção de Produção: Instituições Críticas das Ações do Estado de Produção de Goiás. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 11, p. e228101119414-e228101119414, 2021.

STOLF, Rubismar. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

STOLF. SOIL SURVEY SATAFF. **Keys to soil taxonomy**. Washington: Natural Resources Conservation Service, 10. Ed. 1993. 80p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, R. J. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 144p.

VALENTE, Gislayne Farias. et al. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 140-145, 2019.

VAN LIER, Q. J.; GUBIANI, P.I. Beyondthe “Least Limiting Water Range”: rethinking soil physics research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.925- 939, 2015.

VENANZI, Rachele. et al. Soil disturbance and recovery after coppicing a MediterraneanOak stand: The effects of silviculture and technology. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 4074, 2020.

VERMA, Gaurav; KUMAR, Brind. Prediction of compaction parameters for fine-grained and coarse-grained soils: a review. **International Journal of Geotechnical Engineering**, v. 14, n. 8, p. 970-977, 2020.

WANG, Han-Lin; YIN, Zhen-Yu. High performance prediction of soil compaction parameters using multi expression programming. **Engineering Geology**, v. 276, p. 105758, 2020.

WANG, Yijiao. et al. Effects of crop residue managements and tillage practices on variations of soil penetrationresistance in slopingfarmland of Mollisols. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 15, n. 1, p. 164-171, 2022.