



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE AGRONOMIA**



**ANTONIO DEUSIMAR OLIVEIRA DE SOUSA JUNIOR**

**IMPACTO DOS AGROECOSSISTEMAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NOS  
ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

**CHAPADINHA-MA**

**2023**

**ANTONIO DEUSIMAR OLIVEIRA DE SOUSA JUNIOR**

**IMPACTO DOS AGROECOSSISTEMAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NOS  
ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à coordenação de  
Agronomia da Universidade Federal  
do Maranhão, como requisito para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto  
Rocha de Moraes Rego

CHAPADINHA-MA

2023

**ANTONIO DEUSIMAR OLIVEIRA DE SOUSA JUNIOR**

**IMPACTO DOS AGROECOSSISTEMAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NOS  
ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à coordenação de  
Agronomia da Universidade Federal  
do Maranhão, como requisito para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Agronomia.

Aprovada em: / /

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor na Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego (Orientador)

---

Professor na Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Gregori da Encarnação Ferrão

---

Mcs. Hosana Aguiar Freitas de Andrade

Aos meus pais e irmãos

**OFEREÇO**

Ao meu orientador, que me guiou com paciência e sabedoria, agradeço a dedicação e apoio.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, meu criador, que desde o início está comigo e tem sido meu socorro presente na angustia, minha rocha, minha fortaleza, meu escudo e tens abençoado minhas metas escritas quando eu tinha 10 anos, sempre iluminando meu caminho, principalmente quando iniciei essa jornada acadêmica lá em 2019.

Aos meus super-heróis, meus pais Virlene Costa e Antonio Deusimar pelo seu amor incondicional e pelo incentivo para seguir em frente ainda quando as situações eram desafiadoras, além de conselhos, obrigado Deus pelos pais que me deste.

Aos meus pais em cristo, Joubert e Lilia Dayana, pelo seu amor e cuidado, pelos conselhos e pelo encorajamento para permanecer nesta luta, gostaria de expressar minha gratidão pela vida de vocês e por estarem comigo desde o início, apoiando e regularizando cada passo.

Aos meus avós Lazaro Amorim (in memoriam) e Osmar Cordeiro (in memoriam), os quais, desde a minha infância me introduziram no mundo agro e a cada momento entregavam seus ensinamentos sem medir esforços, sinto a angústia de hoje não estarmos compartilhando de mais conhecimento.

Aos meus irmãos, Danilo, Ana Clara e Ana Caroline que sempre tiraram meus melhores sorrisos nas férias e que eram responsáveis por me distrair da rotina cansativa do ensino remoto.

A republica cactos, em nome de Fernanda Freitas, sou imensamente grato por ter alguém tão dedicado e inspirador. Obrigado pela companhia durante essa graduação e nossos cinemas caseiros que duravam a semana que seria pra estudar kkkkkk, sua presença fez toda a diferença.

Ao meu primo e companheiro de vida acadêmica. Quero expressar minha profunda gratidão pelo companheirismo e por compartilharmos o período da graduação sob o mesmo teto. Os momentos de estudo, as conversas inspiradoras e até mesmo as adversidades fortaleceram nosso laço familiar de maneira única. Essa experiência foi incrivelmente especial e enriquecedora, e sou grato por tê-lo como primo e amigo. À medida que seguimos nossos caminhos, levo conosco as lembranças preciosas desse

tempo. Obrigado por tornar essa graduação uma vibe de estudos e risadas, levo você no coração com boas memórias.

As minhas mentoras Palmira Lima e Telma Regina, que pela rica experiência de vida, me presentearam com conselhos valiosos que me ajudaram a avançar. Além disso, nos divertimos muito juntos, rindo de nossas alegrias nos lugares mais simples e nos mais sofisticados. Elas são verdadeiras dádivas de Deus em minha vida. Vocês foram verdadeiras bússolas, guiando-me a cada pausa para reflexão e análise do meu entorno. Vocês são incríveis!

A minha família materna em nome da minha tia Virleide Amorim e paterna que sempre tornaram minhas férias incrivelmente divertidas com risadas de doer a bochecha principalmente citadas pelas minhas amadas avós Josefina e Maria de Fatima, que sempre me incentivaram aos estudos longe da zona de conforto.

A minha prima Vanessa, que no início se disponibilizou para ir comigo, os primeiros dias sempre serão os mais difíceis e foi muito bom dividir esses momentos com você! Sua companhia ajudou a diminuir a dor da saudade e te agradeço muito por ter feito parte desse momento.

Ao meu padrasto Durval, que nunca mediu esforços para me ajudar financeiramente, agradeço por ter me acompanhado incentivando sempre nessa caminhada. Sua colaboração foi fundamental para minha graduação.

As minhas amigas, Cyntia Airagna, Lucianne Lobato e Giselly Lobato que me deram apoio e forças para continuar no curso e que são responsáveis por deixar a vida acadêmica mais leve e divertida.

Aos meus amigos Juraci, Isaac e Adam, esses comedias tiveram grande participação nos momentos de agonia, principalmente na era véspera de prova nada sério se conversava, são pessoas que descontraíram os momentos desesperadores com piadas e analogias mais mirabolantes, e deixo registros(kkkk) como: “vai à praia? essa parte que eu choro”.

Aos meus amigos Daniele Ferreira, Carlos Victor, Jamily Loiola, Távila, Lazaro e Yasmim por tornarem os últimos meses da graduação mais leves e divertidos.

Ao meu amigo Henrique Brandão, que conheci em um momento que os estudos se tornaram cansativos no EAD, ele se fez presente sendo responsável pela distração e

muitos momentos divertidos, embora estávamos à km de distância kkk. No entanto, foi muito bom te conhecer.

A Laynara, Maríli, Sarah e a vizinha, que no início de tudo foram as principais pessoas que me ajudaram em tudo.

As minhas amigas conterrâneas, Isabelly e Kézia, expresso que cada abraço compartilhado entre nós carregava um significado especial, representando nossa determinação em superar obstáculos juntos. Comemorar cada conquista ao lado de vocês tornou esses momentos mais especiais. Obrigado pela amizade.

Expresso minha profunda gratidão a professora Raissa Rachel, cuja dedicação, conhecimento e paixão pelo ensino sendo fonte inesgotável de inspiração para mim. Suas orientações e exemplos moldaram não apenas meu percurso acadêmico, mas também minha abordagem à vida profissional. Falar da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Raissa é como montar um arranjo de flores diferentes, pois cada flor representa uma característica sua e traz ao ambiente diferentes essências que acalmam nossa alma. Agradeço por compartilhar generosamente seu saber, incentivando meu crescimento e cultivando o amor pelo aprendizado contínuo.

Aos professores Gregori Ferrão e Khalil Rodrigues pelos direcionamentos e orientações ao longo do meu percurso acadêmico. A dedicação e incentivo foram fundamentais, suas aulas inspiradoras contribuíram significativamente para o aprimoramento do meu entendimento no campo de estudo. Sou grato pela oportunidade de ser aluno de professores excepcionais. Sou privilegiado por ter tido a oportunidade de aprender com mestres tão dedicados e exemplares. Muito obrigado por serem fontes valiosas de inspiração.

Ao meu orientador que me proporcionou ao longo da elaboração deste trabalho, sua dedicação e compromisso, onde desde o início esteve presente de forma acolhedora, oferecendo seu tempo e conhecimento. Agradeço pelo incentivo, por ter acreditado no meu potencial me auxiliando com paciência e compreensão, não apenas em termos acadêmicos, mas também contribuiu para meu equilíbrio emocional. Obrigado por ter tornado mais leve, o trabalho mais desafiador do curso.

A Universidade Federal do Maranhão pela oportunidade de me tornar um profissional baseado no ensino de excelentes profissionais professores, que sempre

estão à disposição para auxiliar desde dúvidas de conteúdo à boas distrações com conversas saudáveis.

Muito Obrigado!

Não temas, porque eu sou contigo;  
não te assombres, porque eu sou teu Deus;  
eu te fortaleço e te ajudo, e te sustento com  
minha destra fiel.

Isaías 40:10

**RESUMO:** A busca pela manutenção da qualidade física do solo é essencial para a sustentabilidade dos agroecossistemas, mas fatores naturais e antrópicas podem afetar drasticamente a qualidade do solo, comprometendo a produtividade e a saúde do ecossistema. O monitoramento constante é crucial, porém, na região do cerrado meio-norte, a análise dos impactos nos atributos físicos do solo ainda é limitada. Este estudo propõe uma revisão bibliográfica abrangendo as duas últimas décadas nos estados do Maranhão e Piauí, visando investigar como diferentes agroecossistemas afetam os atributos físicos do solo. O trabalho se baseia na análise de artigos científicos de diversas fontes, incluindo Periódico.Capes, Scielo e Google Scholar, ResearchGate, Web of Science, ScienceDirect e Scopus além de outras, com o objetivo de coletar dados e analisar as mudanças nos indicadores de qualidade física do solo com as respectivas palavras chaves: atributos físicos do solo, florestas, pastagens, lavouras, impactos no solo, meio-norte. Os agroecossistemas analisados incluem lavouras, florestas e pastagens, escolhidos devido à sua relevância econômica e expansão nos estados mencionados. A densidade do solo, porosidade e resistência à penetração, formas de manejo, taxas de lotação de UA e uso de cultura são elementos-chave para compreender as alterações físicas do solo e seu impacto na produtividade das culturas. O estudo seguirá etapas como a definição de um protocolo de pesquisa, estratégias de busca em bases de dados, organização de bibliografias e padronização de dados. Por conseguinte, verificando as pesquisas utilizadas nesta revisão, é possível confirmar que as principais alterações notáveis que podem ocorrer na física do solo são advindas da forte pressão exercida por maquinário pesado e pelo pisoteio animal constante unido com alta taxa de lotação de animais em pastagens, além do uso de implementos utilizados para roçagens periódicas, são fontes de alterações na física do solo.

**Palavras-chave:** atributos físicos do solo, florestas, pastagens, lavouras, impactos no solo, meio-norte.

**ABSTRACT:** The pursuit of maintaining soil physical quality is essential for the sustainability of agroecosystems, but both natural and anthropogenic factors can dramatically affect soil quality, compromising ecosystem productivity and health. Constant monitoring is crucial; however, in the mid-north Cerrado region, the analysis of impacts on soil physical attributes is still limited. This study proposes a literature review covering the last two decades in the states of Maranhão and Piauí, aiming to investigate how different agroecosystems affect soil physical attributes. The work is based on the analysis of scientific articles from various sources, including Periódico.Capes, Scielo, Google Scholar, ResearchGate, Web of Science, ScienceDirect, and Scopus, among others, with the goal of collecting data and analyzing changes in soil physical quality indicators with respective keywords: soil physical attributes, forests, pastures, crops, soil impacts, mid-north. The analyzed agroecosystems include crops, forests, and pastures, chosen due to their economic relevance and expansion in the mentioned states. Soil density, porosity, penetration resistance, management practices, stocking rates per animal unit, and crop use are key elements to understand soil physical changes and their impact on crop productivity. The study will follow stages such as defining a research protocol, database search strategies, bibliography organization, and data standardization. Therefore, by examining the research used in this review, it is possible to confirm that the main notable changes in soil physics can result from the strong pressure exerted by heavy machinery and constant animal trampling combined with a high rate of animal stocking in pastures, as well as the use of implements for periodic clearing, which are sources of alterations in soil physics.

**Keywords:** soil physical attributes, forests, pastures, crops, soil impacts, mid-north.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Atividade de descompactação com utilização do subsolador na Fazenda Barbosa localizada no Leste maranhense em 2023_____	9
<b>Figura 2:</b> Representação ilustrativa do crescimento de raízes em solos com diferentes valores dos atributos físicos _____	14
<b>Figura 3:</b> Pastagem implantada na Fazenda Barbosa, Brejo/MA com lotação de 2,2 UA ha-1, na safra de 2022/2023 _____	20
<b>Figura 4:</b> Área com implantação do sistema Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta, com três diferentes culturas adotadas pela Fazenda Barbosa, no município de Brejo/MA _	21
<b>Figura 5:</b> Correntão em atividade realizando a incorporação do resto cultural deixado pela colheita de soja, na fazenda Barbosa localizada no Leste maranhense _____	23
<b>Figura 6:</b> À esquerda o mapa de resistência à penetração para avaliar o grau e compactação do solo conforme dados do penetrômetro em lavoura plantada com soja (Glycine max), de uma área experimental na fazenda Europa localizada no Leste maranhense município de Buriti, avaliação realizada pelo grupo de pesquisa da Universidade Federal do Maranhão e Field Crops, e a direita utilização do penetrômetro para levantamento de dados de resistência _____	24
<b>Figura 7:</b> Planta de soja de uma área não escarificada, com raízes mal desenvolvidas (raiz pivotante indicada em vermelha) e na figura do lado direito, uma planta de soja cultivada em área escarificada, com expressivo desenvolvimento de suas raízes (Raiz pivotante indicada em vermelho) _____	25
<b>Figura 8:</b> Sistema de Integração Pecuária-Floresta localizada na Fazenda Barbosa na região de Brejo-MA _____	32

## LISTA DE FIGURAS

**Tabela 1:** Valores da média compilados do levantamento de pesquisas realizadas no período de 2003 a 2023 nos estados do Piauí e Maranhão para demonstrando a ação dos impactos gerados nos atributos físicos do solo, por lavoura, pecuária e floresta em diferentes solos \_\_\_\_\_ 12

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESE</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
3.1	Objetivo geral	4
3.2	Objetivos específicos	4
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>4</b>
4.1	Fonte de dados	4
4.2	Triagem de artigos e coleta de dados	5
4.3	Variáveis-alvo	6
<b>5</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>7</b>
5.1	Qualidade física do solo	7
5.2	Atributos físicos do solo	8
5.3	Densidade do solo	10
5.4	Resistência à penetração do solo	10
5.5	Porosidade do solo e sua dinâmica no solo	11
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>12</b>
6.1	Impacto das pastagens sobre as variáveis avaliadas (densidade, porosidade e resistência à penetração)	13
6.2	Impactos do cultivo de grãos sobre as variáveis avaliadas (densidade, porosidade e resistência à penetração)	22
6.3	Impacto das coberturas de sistemas florestais sobre as variáveis avaliadas (densidade, porosidade e resistência à penetração)	31
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma prática milenar realizada para obter alimento para humanos e animais, e proporcionalmente aumenta com o crescimento populacional. É importante ressaltar a necessidade de uma gestão sustentável e racional dos recursos naturais. Essas medidas adaptativas devem ser aceitáveis não apenas do ponto de vista econômico, mas também sob as perspectivas ecológica e social. O objetivo é alcançar sistemas agrícolas de produção sustentável que minimizem os impactos ambientais, conforme indicado por (Sarkar et al., 2020).

A degradação do solo coloca em risco a sobrevivência dos seres vivos. Por essa razão, a preservação do solo é de extrema importância para a sustentabilidade e saúde do planeta (Lima et al., 2007; Silva et al., 2019).

Parte fundamental dos ecossistemas, principalmente agroecossistemas podem ser prejudicados, aprimorados ou conservados dependendo do uso e manejo adotado (Mohanty et al., 2007). No entanto, devido aos diferentes fatores de formação do solo e às atividades humanas no solo, sua modificação pode ocorrer de forma mais acelerada, tanto de forma positiva quanto negativa.

A ação humana tem sido responsável por diversas alterações negativas nos solos agrícolas. Algumas práticas agrícolas, como o uso intensivo de fertilizantes e maquinários, a irrigação inadequada e o cultivo em larga escala, podem levar à degradação do solo. O cultivo em larga escala, cultivo convencional ou monocultivo pode causar problemas físicos no solo, diminuição da biodiversidade local e aumento da erodibilidade dos solos agrícolas afetando sua “saúde”, devido ao uso repetitivo maquinário, cultura em grandes áreas, reduzindo a dinâmica dos diferentes benefícios entregue pela adoção de diferentes práticas.

Cherubin e Schiebelbein (2022) descrevem a saúde do solo como “a capacidade contínua do solo em funcionar como um ecossistema vivo, mantendo a produtividade vegetal e animal, a qualidade da água e do ar, e promovendo a saúde vegetal, animal e humana, bem como a saúde do planeta”. Portanto, o monitoramento da qualidade e saúde do solo são de extrema importância para buscar alternativas de manter a sustentabilidade dos agroecossistemas (Silva et al., 2020).

Esse acompanhamento pode ser realizado por meio da verificação das alterações resultantes dos diferentes agroecossistemas em diferentes parâmetros do solo como os atributos físicos, químicos e biológicos, em relação ao seu estado original ou condições consideradas ideais (FAO, 2023). Através de levantamentos sistemáticos dos agroecossistemas, como lavouras, pastagens e florestas nos estados Maranhão e Piauí, é possível verificar o grau de impacto causado ao solo em regiões do MATOPIBA, principalmente em propriedades como estrutura, densidade, porosidade e permeabilidade uma vez que seus atributos, podem sofrer alterações capazes de serem utilizados como indicadores.

O MATOPIBA compreende regiões sul de cada estado Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, o que se encontra em expansão agrícola, que aumenta a cada safra, os estados apresenta.

A exploração das mudanças provocadas por esses agroecossistemas influenciam na qualidade e saúde do solo. Quanto à influência dos atributos físicos, as transformações ocorrem na estrutura do solo, na porosidade, na densidade do solo, na resistência à penetração e outros aspectos, sendo que essas propriedades estão indiretamente relacionadas a produtividade das culturas e desenvolvimento fisiológico das plantas.

No Maranhão e Piauí, em termos percentuais, os Latossolos representam 32,96% e 41,12%, os Argissolos representam 18,96% e 8,15%, os Plintossolos representam 19,16% e 10,66%, e os Neossolos representam 17,31% e 35,12%, respectivamente (Marques et al., 2014; Gama e Jesus, 2020; Ivanov, 2020). Esses solos são predominantemente de textura arenosa a franco-arenosa, o que apresenta um grande desafio para o uso e conservação, devido à sua alta permeabilidade, susceptibilidade à erosão e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Sotta et al., 2021; Barbosa et al., 2022a).

Fica evidente portanto, a importância do monitoramento destes solos com papel fundamental para quantificar os impactos das diferentes práticas de manejo ao longo do tempo. Contudo a condução de levantamentos dos impactos causados pela adoção e manejo dos diferentes agroecossistemas, sobretudo os atributos físicos destes solos,

ainda é incipiente comparativamente a outras fronteiras agrícolas. Este fato impossibilita verificar o grau de impacto já causados ao longo de anos de uso e manejo e/ou o efeito da adoção de práticas e estratégias de manejo. Portanto, a qualidade física dos solos é um importante elemento de sustentabilidade, auxiliando na tomada de decisão sobre o tipo de manejo a ser adotado ou se é possível sustentar a atividade e evitar a degradação do solo (Rodrigues, 2018).

Neste aspecto, este trabalho teve como objetivo de pesquisar, compilar e ordenar os dados disponíveis na literatura, analisando os resultados das pesquisas sobre os impactos dos diferentes agroecossistemas sobre os atributos físicos dos solos nos estados do Maranhão e Piauí no período de 2003 a 2023. Ressaltando que, ênfase foi direcionada aos manejos adotados em cultivos anuais, pastagens e sistemas agroflorestais comparativamente às áreas nativas.

## **2 HIPÓTESE**

Esta pesquisa propõe uma análise dos impactos nos atributos físicos do solo nos estados do Maranhão e Piauí, gerados por agroecossistemas do tipo lavoura, pastagem e floresta ao longo do período de 2003 a 2023. O ângulo principal reside na compreensão dos efeitos das práticas de uso e manejo em cultivos anuais, pastagens e sistemas agroflorestais, comparativamente às áreas nativas dessas regiões, a qual é concentrado o bioma cerrado. A ideia central é que a diversidade de práticas de manejo desempenha um papel crucial na modificação dos atributos físicos do solo nesses dois estados que compõem a última fronteira agrícola do Brasil, revelando desafios e oportunidades para a preservação da qualidade do solo.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Realizar um levantamento bibliométrico sobre os impactos de diferentes agroecossistemas sobre os atributos físicos do solo nos estados do Maranhão e Piauí.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Fornecer parâmetros para entender quais mudanças têm ocorrido e até que ponto isso tem sido benéfico ou prejudicial para a preservação da qualidade e saúde do solo;
- Divulgar os resultados já existentes dos estados do Maranhão e Piauí e que sejam factíveis com os desafios edafoclimáticos e a realidade intrínseca da região;
- Identificar quais impactos foram gerados pela implantação de sistemas de lavouras, pastagens e florestas e quais os níveis de alteração dos atributos físicos do solo dentro nos estados do Maranhão e Piauí;
- Propor uma visão panorâmica a partir dos resultados das pesquisas nos estados Maranhão e Piauí, direcionando a adoção de práticas conservacionistas.

### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 Fonte de dados**

O trabalho será baseado em revisão bibliográfica de trabalhos científicos publicados nas plataformas Periódico.Capes, Scielo.br, scholar.google.br, ResearchGate, Web of Science, ScienceDirect e Scopus além de outras. Serão realizadas coletas de informações e fichamento para levantamento das pesquisas dos últimos 20 anos (2003 a 2023) nos estados do Maranhão e Piauí os impactos verificados de diferentes agroecossistemas sobre os atributos físicos do solo.

Serão avaliados os agroecossistemas capazes de provocar modificações mais intensas na estrutura do solo associados aos indicadores de qualidade física como densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência do solo à penetração avaliando a diferença percentual de cada sistema de manejo e uso do

solo. Esse parâmetro contribui para confirmar quais agroecossistemas vem causando mais alterações físicas no solo e quais podem ser aprimorados para desviar impactos no solo. será utilizada as palavras-chave a fim de filtrar a pesquisa para obter resultados mais precisos na busca como: atributos físicos do solo, florestas, pastagens, lavouras, impactos no solo, meio-norte, as quais foram pesquisadas em inglês, espanhol e português.

A seguir a fórmula utilizada para verificar a alteração percentual de cada atributo físico do solo, onde  $V_{alt\%}$ : Valor de Alteração,  $V_{manejo}$ : valor do atributo adquirido na pesquisa,  $V_{referencia}$ : Valor da área nativa (não antropizada).

$$V_{alt\%} = \frac{V_{manejo} - V_{referencia}}{V_{referencia}} * 100$$

## 4.2 Triagem de artigos e coleta de dados

Para a execução deste trabalho foram realizadas as seguintes etapas: definição do protocolo de pesquisa; análise dos dados; e síntese. Estas fases são distribuídas em atividades como: estratégia de busca nas bases de dados, organização das bibliografias, padronização dos componentes selecionados e avaliados, consolidação de dados e elaboração de tabelas.

A confecção dos dados foi realizada a partir dos principais indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo com diferentes agroecossistemas e verificado qual a influência nos atributos físicos do solo, se houve aumento de algum valor do atributo do solo, como exemplo se a densidade estava em  $1,05 \text{ g cm}^{-3}$  e passou para  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$  não, se houve valores acima do tolerado, em relação a área nativa e a outros formas de manejo dentro da mesma região.

Com o levantamento de artigos, livros, capítulos de livro, monografias, dissertações, teses e resumos. A tabulação e discussão final dos resultados serão diretamente de pesquisas realizadas nos estados do Maranhão e Piauí, a partir do tipo de solo cultivado, agroecossistema e os atributos físicos que autor explorou. Logo, feito a média por cada agroecossistema, atributo físico e o solo da área, para que sejam

comparados entre eles a fim de obter informações de quais propriedades físicas sofreram com impacto dos agroecossistemas.

### **4.3 Variáveis-alvo**

Os agroecossistemas a serem avaliados foram escolhidos devido a sua grande influência no meio econômico rural e pela expansão territorial nos estados Maranhão e Piauí, cada sistema conta com culturas e manejos diferentes, visto que ambos dispõem de condições climáticas e tipo de solo parecidos.

O agroecossistema lavoura foi escolhido devido as grandes áreas manejadas de várias formas, como rotação de culturas, consorcio, plantas de cobertura, uso de adubos, maquinário intensivo ou até sistemas de irrigação. Além do cultivo com culturas que protegem mais o solo em relação a outras que possuem uma arquitetura vegetal pouco protetora ao solo.

O agroecossistema floresta foi escolhido em razão da maioria das espécies cultivadas no cerrado disporem de raízes profundas e robustas e uma grande quantidade de folhas, as quais fornecem ao solo proteção e nutrientes. Por mérito, o dossel das arvores proporciona uma “barreira foliar” evitando o impacto das gotas de chuva, reduz a velocidade dos ventos e adiciona ao solo matéria orgânica através das folhas que logo são decompostas por microrganismos.

O agroecossistema pastagem foi selecionado em virtude do seu sistema radicular profundo e ramificado, além da cobertura vegetal e quantidade de matéria orgânica, a qual age como agente cimentante para os agregados do solo, aumenta a retenção de água, favorecendo a dinâmica dos microrganismos do solo elevando ainda mais a mineralização de matéria orgânica, a qual é depositada ao solo graças à grande concentração de raízes e folhas.

Logo, as propriedades físicas do solo foram definidas por causa da grande influência que esses agroecossistemas tem sobre o corpo físico do solo, e consequentemente ao desenvolvimento vegetal (Cherubin e Schiebelbein, 2022). Em resumo, a densidade do solo é uma escolha criteriosa devido à sua habilidade de refletir

a organização das partículas e estabelecer as características do sistema poroso. Ao considerar solos de diferentes estruturas, é fundamental reconhecer que essas variações estruturais podem, sim, influenciar os valores de densidade. Portanto, uma análise completa requer a integração da densidade com outras propriedades, garantindo uma compreensão holística do comportamento do solo em seus diversos aspectos como a sua estabilidade em sustentar plantas de interesse econômico e ambiental.

A porosidade do solo é um atributo fundamental, visto que a disposição e geometria das partículas determinam os espaços vazios. Foi selecionado por influenciar a troca gasosa, a infiltração, drenagem, aeração das raízes e disponibilidade de nutrientes. Solos porosos retêm mais água, possibilitam melhor circulação de ar e são essenciais para o crescimento saudável das plantas. Essa característica é crucial para a produtividade agrícola e a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres.

A resistência do solo à penetração é escolhida por sua influência na produtividade das culturas. Ela reflete a capacidade do solo de suportar forças sem rupturas, ligada à compactação e coesão das partículas. Solos compactados têm alta resistência, prejudicando o crescimento radicular e a infiltração de água, impactando a produtividade vegetal. Essa análise avalia a qualidade do solo e guia melhorias estruturais para promover o crescimento das plantas.

## **5 REVISÃO DE LITERATURA**

### **5.1 Qualidade física do solo**

De acordo com a pesquisa de Walia e Dick (2018), a qualidade física do solo desempenha um papel fundamental nas pesquisas que avaliam a qualidade de solo. Isso ocorre porque a qualidade física do solo influencia diretamente a capacidade do solo de fornecer suporte às plantas, armazenar água e nutrientes, e controlar a erosão. Entre os vários elementos que impactam a qualidade do solo, a compactação é um fenômeno originado pelo emprego de maquinários agrícolas ou pelo tráfego de animais, culminando em obstáculos para a introdução de novas técnicas agrícolas. Esse processo prejudica a

germinação das sementes, a capacidade de infiltração da água de irrigação e a penetração das raízes no solo (Silva et al., 2023).

O manejo do solo é um elemento essencial no sistema de produção agrícola e uma ferramenta valiosa na busca por práticas agrícolas sustentáveis. Os conceitos de Qualidade e Saúde do Solo foram concebidos em resposta à demanda de uma parcela significativa da comunidade científica (Casalinho et al., 2007). Confirma-se pela pesquisa de Rodrigues (2018) destacando que o emprego de práticas inadequadas de manejo pode resultar na deterioração da qualidade do solo. Isso ocorre porque essas práticas podem causar a perda de nutrientes, a compactação do solo e a erosão.

Segundo Melloni et al. (2008), a análise dessa qualidade por meio dos atributos do solo é desafiadora devido à diversidade de definições para um solo de qualidade em usos específicos. A complexidade é acentuada pela multiplicidade de interações entre os fatores físicos, químicos e biológicos que regulam os processos do solo, além das considerações associadas à sua variabilidade temporal e espacial. Ainda assim, atributos como densidade do solo, porosidade e resistência à penetração são informações valiosas sobre a qualidade do solo.

## **5.2 Atributos físicos do solo**

A atributos físicos do solo são características importantes na comparação de diferentes solos, enquanto a quantificação de propriedades dinâmicas é importante para detectar os efeitos dos sistemas de manejo do solo ao longo do tempo, mesmo quando pertencentes à mesma classe de solo (Souza et al., 2021).

Os atributos físicos do solo desempenham um papel fundamental na sua qualidade e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais. Esses atributos referem-se às características físicas do solo, como densidade, porosidade, resistência à penetração e capacidade de retenção de água. Sua importância ao considerarmos a influência direta que exercem sobre o desenvolvimento das plantas, a infiltração de água, a aeração e a disponibilidade de nutrientes (STEFANOSKI et al., 2013).

Todas essas propriedades estão relacionadas aos componentes do solo que são suscetíveis a alterações na estrutura original do solo em resposta a operações agrícolas e sistemas de uso e manejo do solo (Melloni et al., 2008). É essencial monitorar, visando manejar adequadamente os atributos físicos do solo, para garantir a produtividade sustentável e a conservação do ambiente. Práticas de manejo adequadas, como o uso de sistemas agroflorestais, a adoção de rotação de culturas e a utilização de técnicas de conservação do solo podem contribuir para a melhoria e manutenção desses atributos.

Nos sistemas agrícolas, o solo é submetido a pressões sucessivas do tráfego de máquinas durante a semeadura, cultivo e colheita, o que pode resultar em compactação do solo (Figura 1). Por outro lado, práticas de manejo conservacionista podem mitigar tais efeitos, reduzindo a pressão efetiva na superfície do solo, aumentando a matéria orgânica e a atividade biológica, o que melhora a estrutura do solo. Em geral, sistemas de cultivo com pouca cobertura do solo e sem a utilização de práticas conservacionistas adequadas apresentam maiores indícios de degradação do solo (Souza et al., 2021).



**Figura 1:** Atividade de descompactação com utilização do subsolador na Fazenda Barbosa localizada no Leste maranhense em 2023  
Fonte: Luís Fernando Devicari

### **5.3 Densidade do solo**

A densidade do solo é uma medida da compactação das partículas do solo e está relacionada à resistência do solo à penetração das raízes. Um solo com alta densidade pode dificultar o crescimento das raízes, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Por outro lado, uma densidade adequada favorece a penetração das raízes, permitindo um desenvolvimento saudável das plantas (REICHERT et al., 2007).

Segundo Ramos et al. (2017) e Richart et al. (2005), essa propriedade está relacionada à estrutura do solo, à densidade das partículas, à resistência à penetração e à porosidade, que é utilizada como indicador de processos de degradação da estrutura do solo que podem ser modificados dependendo do uso e manejo do solo. As principais alterações que podem ocorrer nas propriedades físicas do solo estão relacionadas ao aumento da densidade do solo.

### **5.4 Resistência à penetração do solo**

A resistência à penetração é um atributo que indica a facilidade com que as raízes das plantas podem penetrar no solo. Solos com alta resistência à penetração podem limitar o crescimento radicular, resultando em menor absorção de água e nutrientes. Por outro lado, solos com baixa resistência à penetração favorecem o crescimento radicular e a exploração mais eficiente do solo pelas plantas (Richart et al., 2005).

A resistência à penetração do solo varia de acordo com a densidade e o teor de umidade do solo. Cada sistema de manejo pode afetar a resistência ao crescimento das raízes em diferentes épocas, que são consideradas indicadoras de compactação do solo a médio prazo (Costa, 2016). Segundo Richart et al. (2005), a resistência à penetração do solo varia de acordo com o tipo de solo e com a espécie cultivada, sendo que suas causas têm sido atribuídas ao tráfego de máquinas agrícolas. Stefanoski et al. (2013) informam que, para o Brasil, valores críticos de resistência do solo à penetração podem variar de 1,5 MPa a 4,0 MPa. No entanto, valores próximos a 2,0 MPa são geralmente

considerados limitantes para o crescimento das raízes, resultando em prejuízos econômicos.

A resistência à penetração é um dos atributos físicos do solo com maior interferência no crescimento das raízes das plantas, pode ser altamente modificada pela presença de umidade, aumentando com a sua secagem. Atualmente sua ocorrência em grandes áreas pode ocasionar degradação de ecossistemas, algumas pesquisas revelam que 20% das pastagens sofrem algum grau de resistência a penetração, o que pode ser relacionado a forma de manejo como sobrepastoreio, compactação, situações geradas pela pressão no solo pelo aumento do pisoteio animal (MEDINA et al., 2016; ROESCH et al., 2019; MAYERFELD et al., 2022).

## **5.5 Porosidade do solo e sua dinâmica no solo**

A porosidade do solo, por sua vez, refere-se à quantidade e distribuição dos espaços vazios entre as partículas do solo. A presença de poros é essencial para o armazenamento de água, a circulação de ar e a disponibilidade de oxigênio para as raízes. Solos com boa porosidade proporcionam uma drenagem adequada, evitando o encharcamento e a compactação (TEIXEIRA et al., 2017).

A porosidade é constituída por macro e microporosidade existentes no solo, refletindo sua estabilidade. A porosidade do solo é determinada pelo arranjo das partículas sólidas, de modo que, se estiverem em contato próximo, a amostra de solo terá baixa porosidade total, enquanto se houver predominância de espaços vazios, a porosidade será alta (Ribeiro et al., 2007).

Segundo Rezende (2020), a macroporosidade é considerada pelos espaços vazios entre as partículas do solo e têm relação direta com a infiltração e movimentação da água no solo, a qual pode ser influenciada pela forma e período de preparo da área. Enquanto a microporosidade é o conjunto de partículas como argila e areia fina, que formam agregados com maior capacidade de reter água, tornando o solo menos drenável. Quanto maior a quantidade de microporos, maior será a capacidade de retenção de água do solo e menor a sua drenagem (RIBEIRO et al., 2007).

De acordo com Hadassa (2016), o valor da densidade é inversamente proporcional aos valores de porosidade, ou seja, quanto maior a densidade, menor será a porosidade. Segundo Rodrigues (2018), alterações na porosidade do solo refletem em compactação, a qual está relacionada aos valores de densidade do solo e provoca o rearranjo das frações texturais do solo (argila, silte e areia), resultando na diminuição dos espaços porosos do solo.

De modo geral, os atributos físicos do solo desempenham um papel crucial na produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais. Um solo com boa estrutura, porosidade adequada, baixa densidade e resistência à penetração proporciona condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, contribuindo para a produtividade e a conservação dos recursos naturais.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao considerar os últimos 20 anos de pesquisas em diferentes agroecossistemas, observam-se resultados bastante variados, dependendo do tipo de solo (Tabela 1). Essas alterações podem ser intensas, uma vez que as condições de manejo ainda apresentam diferenças. No entanto, ao observar os agroecossistemas implementados, é possível identificar medidas que podem ser adotadas para impactos negativos nos atributos físicos dos solos.

**Tabela 1:** Valores da média compilados do levantamento de pesquisas realizadas no período de 2003 a 2023 nos estados do Piauí e Maranhão para demonstrando a ação dos impactos gerados nos atributos físicos do solo, por lavoura, pecuária e floresta em diferentes solos

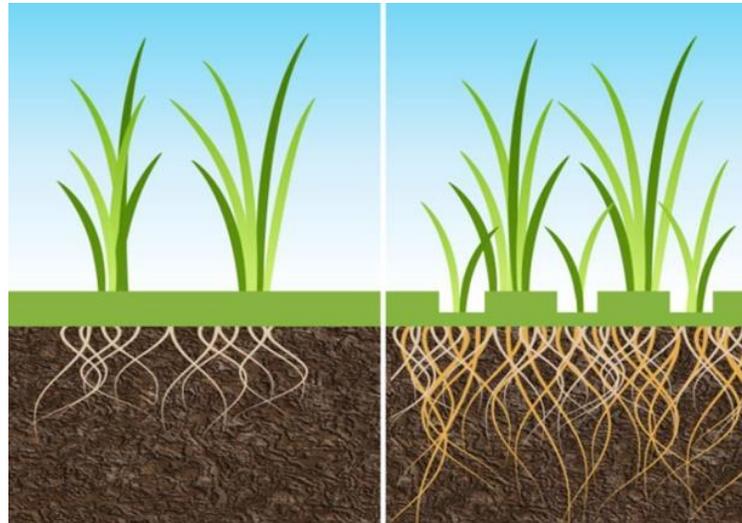
Tipo de solo	Atributos	Maranhão			Piauí		
		Lavoura	Pecuária	Floresta	Lavoura	Pecuária	Floresta
Latossolos	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	1,34	1,56	1,44	1,32	1,41	1,53
Plintossolos		---	1,4	1,29	---	---	---
Neossolos		2,6	2,8	2,59	---	---	---
Gleissolos		1,45	---	1,3	---	---	---

Argissolos		1,47	---	1,54	1,42	1,52	1,21
Latossolos	Porosidade (%)	50,07	48,52	45,47	45,59	40,24	42,09
Plintossolos		---	44,94	43	---	---	---
Neossolos		35,8	36,7	36,2	---	---	---
Gleissolos		54,1	---	57,3	---	---	---
Argissolos		36,26	---	47,75	---	59,34	58,3
Latossolos		Macroporosidade (%)	41,65	45	29,72	26,04	13,77
Plintossolos	---		19,78	20	---	---	---
Neossolos	17,4		14,6	18,5	---	---	---
Gleissolos	5,3		---	6,8	---	---	---
Argissolos	18,61		---	20,8	---	33	31,8
Latossolos	Microporosidade (%)		5,71	9,91	16,8	33,78	33,41
Plintossolos		---	25	24,75	---	---	---
Neossolos		18,9	22,3	19,4	---	---	---
Gleissolos		48,8	---	50,5	---	---	---
Argissolos		17,7	---	17,4	---	26,33	26,07
Latossolos		Resistencia a penetração (MPa)	4,53	3,96	2,77	2,48	1,99
Plintossolos	---		1,13	0,75	---	---	---
Gleissolos	5,5		---	3,9	---	---	---
Argissolos	1,4		---	1	---	---	---

### 6.1 Impacto das pastagens sobre as variáveis avaliadas (densidade, porosidade e resistência à penetração)

A introdução de gramíneas forrageiras nos sistemas produtivos tem se destacado devido à alta produtividade de matéria seca e à eficiência na reciclagem de nutrientes. Estas são capazes de explorar um maior volume de solo em profundidade. Além disso, promovem a proteção e a saúde do solo por meio da arquitetura, morfologia e fisiologia das raízes, interagindo com a microbiota do solo. Isso aumenta a formação de agregados, a porosidade do solo, o sequestro de carbono e influencia a ciclagem de nutrientes tanto na superfície quanto nas camadas subterrâneas (Cherubin e Schiebelbein, 2022).

Nos estados do Maranhão e Piauí, é possível haver mudança dos atributos físicos do solo com a implantação de pastagens consorciadas ou em monocultivos de gramíneas. As gramíneas possuem sistemas radiculares capazes de romper camadas compactadas do solo, tanto na superfície quanto em camadas mais profundas (Figura 2) e quando consorciadas com outras espécies (mono ou dicotiledôneas) podem trazer diversos efeitos benéficos à saúde do solo.



**Figura 2:** Representação ilustrativa do crescimento de raízes em solos com diferentes valores dos atributos físicos

Fonte: Rodrigo Santos (2018)

No entanto, o plantio de gramíneas para pastejo animal pode ter efeitos negativos quando mal manejado, levando ao aumento da compactação do solo na camada superficial. Ocasionalmente pelo pisoteio dos animais, este fato pode ser confirmado pela diminuição da macroporosidade, aumento da microporosidade e densidade do solo (Benevenuto et al., 2020).

Em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em Teresina no Piauí, verificaram que o cultivo de gramíneas alterou as propriedades físicas do solo em uma profundidade de 0,10 m. Foram avaliados dois tipos de gramíneas, capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) e capim-Tifton 85 (*Cynodon* spp), submetidos a cortes periódicos de 28 e 50 cm na altura da folha, com ovinos e caprinos. Esses sistemas de manejo foram

capazes de aumentar a densidade do solo em 1,4% em relação à mata nativa. Esse pequeno declínio na qualidade do solo pode ser atribuído ao crescimento cespitoso das gramíneas, deixando o solo desprotegido e permitindo um maior impacto do tráfego dos animais (Silva et al., 2014).

Na fazenda Nova Zelândia, município de Uruçuí/PI, em Latossolo Amarelo distrófico, Araújo et al. (2010) verificaram que a pastagem apresentou aumento na densidade do solo de 9,3% quando comparado à área nativa. Vale ressaltar que, essa área foi ocupada pelo gado 45 dias após a colheita da soja e permaneceu durante 168 dias.

Melo et al. (2021) avaliaram, no campo experimental da EMBRAPA Teresina no Piauí, a influência da pastagem com ovinos em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Foram dois sistemas integrados, utilizando capim Massai associado a cunhã e a cajueiros em comparação a vegetação nativa. Analisando a porosidade total na profundidade de 0,10 m, houve um aumento de 10% no consórcio de gramínea e cunhã (*Clitoria ternatea*), o sistema 2 com consórcio de cajueiros alterou apenas 1,17% em relação a mata nativa. Esse comportamento pode ter sido causado pelo sistema radicular fasciculado do capim-massai ter se beneficiado do nitrogênio fixado pela utilização da planta cunhã.

Pessoa et al. (2018) realizaram uma pesquisa na Fazenda Chapada Grande, Regeneração no Piauí, em Latossolo Amarelo, na qual analisaram as alterações físicas do solo com monocultivo de pastagem em relação à área nativa na profundidade de 0,10 m. A área com pasto predominava capim braquiária e foi mantida sob pastejo intensivo a 3 UA ha<sup>-1</sup> por 8 meses. Antes das práticas de pastoreio, a soja foi cultivada nesta área até 2011. A resistência do solo à penetração para pastagem aumentou 66,6% em relação à área nativa na camada superficial do solo, a qual é considerada a camada arável para preparo do solo.

Outro aspecto importante analisado e verificado por Silva et al. (2014) foi o acréscimo de 14,2% na densidade na camada de 0 - 10 cm do solo para a área cultivada com capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), quando comparada à área nativa. Enquanto isso, a área avaliada com capim elefante (*Pennisetum purpureum*) aumentou o valor dessa variável em 3%.

Em uma pesquisa realizada por Silva (2021) em Uruçuí no Piauí em Latossolo, uma área de pastagem foi avaliada em relação às variações na mata nativa, na camada superficial do solo em 0,10 m de profundidade. Foram observadas as alterações da macro, micro e porosidade total como indicadores da qualidade desse solo. A macroporosidade foi maior na mata nativa, com uma diferença de 1% em relação à pastagem. Logo, a microporosidade apresentou um aumento de 15% quando comparada à mata nativa, e a porosidade total apresentou apenas uma diferença de 1% de aumento na área plantada com gramíneas em relação à área nativa. É perceptível que o sistema radicular das gramíneas foi fundamental para esses valores, pois resultaram em poucas alterações nos atributos, aumento a retenção de água representada pelo aumento da microporosidade.

Lima et al. (2013), em pesquisa desenvolvida na UFPI campus de Teresina/PI avaliaram três áreas, sendo duas cultivadas com pastagem e a mata nativa. A primeira área era composta por capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth) e espécies arbóreas de valor comercial, com 24 anos de cultivo e manutenção manual. Enquanto a segunda área, cultivada com a mesma espécie, existia há 13 anos, com predominância de árvores nativas e manutenção por meio de roçada mecânica anual. Sob Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, a primeira área (24 anos) não apresentou variação percentual em relação à mata nativa, enquanto a segunda área (13 anos) apresentou aumento da densidade de 10% em profundidade de 0,10 m, comparado à mata nativa. Segundo os autores, a roçada mecânica contribuiu para o declínio da qualidade do solo.

Ao avaliar o comportamento dos atributos físicos de um Latossolo Amarelo distrófico no município de Corrente no Piauí, Silva et al. (2014), verificaram a alteração do volume da porosidade do solo em profundidade de 0,10 m, em duas áreas de pastagem, uma com capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e outra área com *Brachiaria decumbens*. Com 9 anos de implantação, foi verificada menor macroporosidade na área com capim elefante, com  $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , enquanto a área nativa apresentou o valor de  $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Em valores percentuais, houve uma redução de 24% para a área com capim elefante, enquanto a braquiária apresentou  $0,21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e um aumento de apenas 11% em relação à mata nativa. A microporosidade na camada superficial para a

mata nativa foi de  $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , enquanto na área com capim elefante foi de  $0,31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , com uma variação percentual de 29%. Na área com braquiária, a microporosidade foi de  $0,14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e a variação ficou em 12%, um valor positivo para o uso da braquiária. Quanto à porosidade total, a mata nativa teve um valor de  $0,34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , a camada sob capim elefante foi de  $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e sob capim braquiária foi de  $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Após a verificação do uso e manejo do solo com as culturas utilizadas, os valores positivos resultaram do uso da pastagem com capim braquiária.

No estado do Maranhão, Leite et al. conduziram as avaliações no ano de 2013. Em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, foram avaliados os impactos físicos gerados a partir do agroecossistema de pastagem convencional plantada com preparo convencional com cerca de 19 anos de implantação em relação à mata nativa. Com uma lotação de 1,5, a densidade do solo foi 16% menor em relação à área de mata nativa em uma profundidade de 0,10 m.

No Maranhão, Leite et al. (2013), em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico verificou que uma pastagem convencional com aproximadamente 19 anos plantada era ocupada por uma taxa de lotação igual a  $1,5 \text{ UA ha}^{-1}$  aumentou a densidade do solo reduziu em 16% em relação a área nativa. Enquanto os resultados da pesquisa de Gonçalves et al. (2020) em Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, com taxa de Lotação de  $11,1 \text{ UA ha}^{-1}$  ocupando uma pastagem com Braquiária, a qual era roçada mecanicamente para manutenção aumentou a densidade do solo em 100% em relação a área nativa. Apenas 0,10 m do solo, foi possível observar que a qualidade física do solo pode ser afetada. Isso ocorre porque o aumento da taxa de lotação animal na área provoca um aumento da densidade do solo.

Uma pesquisa, realizada por Gonçalves et al. (2020), em um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, avaliou o grau de compactação sobre a densidade do solo. Em um sistema de manejo com pastagem implantada de braquiária roçada mecanicamente (manutenção da altura do pasto) duas vezes ao ano. Na camada superficial (0-0,10 m), a densidade do solo aumentou drasticamente em 100% em relação à área de mata nativa. Atribuiu-se para este resultado obtido, o manejo excessivo da pastagem e a taxa

de lotação animal equivalente a 11,1 UA ha<sup>-1</sup>, terem contribuído para o aumento da densidade.

Almeida et al. (2021) compararam o plantio de pastagem convencional com um sistema silvipastoril em relação à área nativa, com o objetivo de avaliar qual manejo do solo pode impactar os atributos físicos, como a densidade do solo. O estudo foi realizado no Maranhão, em um Latossolo, com coletas realizadas no período seco e chuvoso. A pastagem convencional, quando comparada ao sistema silvipastoril, apresentou um aumento de 6,5% na densidade do solo, e quando comparada à mata nativa, o aumento foi de 43%. No período seco, a pastagem convencional teve um acréscimo de 14,6% no valor da densidade em relação ao sistema silvipastoril. O sistema convencional contribuiu significativamente para o aumento da compactação, principalmente durante o período seco.

Em uma pesquisa realizada no leste maranhense, em um Neossolo Quartzarênico, com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes usos do solo e a alteração dos atributos físicos, constatou-se que, em uma profundidade de 0,20 m, o solo apresentou um aumento de 8,4% da densidade na pastagem de sequeiro e 8% na pastagem irrigada em relação à área nativa (Ramos et al., 2020). Não houve diferenças significativas. No entanto, é importante verificar o comportamento da física do solo na presença de água, sendo importante característica para atribuição de sistemas que consigam armazenar mais água.

Como citado anteriormente, outro indicador da qualidade física do solo é a porosidade, que pode ser observada e confirmada através da redução ou aumento no solo, sendo um importante parâmetro para a manutenção do solo. A manutenção da qualidade do solo é essencial para a sustentabilidade dos agroecossistemas, uma vez que desempenha um papel vital na produção (Moreira et al., 2018). No Maranhão, em um Plintossolo Argilúvico distrófico típico, foi analisada a diferença na macro, microporosidade e porosidade total na profundidade de 0,10 m em uma pastagem degradada cultivada com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Constatou-se uma redução de 7,5% na macroporosidade da pastagem degradada em relação à mata nativa, enquanto

a microporosidade apresentou um aumento de 5,5%, e a porosidade total aumentou 6% em relação à vegetação nativa sob esse uso de manejo (Sousa, 2020).

Costa (2016) conduziu um experimento no município de Chapadinha, Maranhão para avaliar os impactos do uso de pastagem (*Andropogon gayanus*) em um Latossolo Amarelo distrófico, em comparação com uma reserva ambiental representada pela mata nativa, em uma profundidade de 0,10 m. Foi observado um aumento de 12% na macroporosidade na área com pastagem em relação à área nativa. Em relação à microporosidade, houve um aumento de apenas 13% na área da pastagem, e a porosidade total apresentou um aumento de 8,5% em relação à área nativa. Esses resultados indicam que a pastagem contribuiu significativamente para o aumento do espaço poroso do solo.

Ao comparar pesquisas como Costa (2016) e Rego et al (2023), é possível verificar que a pastagem degradada é capaz de diminuir a qualidade física do solo, gerando novas consequências e inviabilizando o desenvolvimento da cultura. Estudos nos quais podem ser vistos em contrastes para adotar formas e melhorar o manejo já realizado.

A utilização de gramíneas pode ser considerada favorável para melhorar os atributos físicos do solo, ainda que em algumas áreas ainda é ocasionado perda na qualidade física, porém geralmente quando sua forma de manuseio é incorreta. No entanto, sua adoção ainda é baixa e pouco utilizada. Neste caso, áreas implementadas com este manejo podem causar menos impacto nas características físicas do solo (Figura 3).



**Figura 3:** Pastagem implantada na Fazenda Barbosa, Brejo/MA com lotação de 2,2 UA ha<sup>-1</sup>, na safra de 2022/2023

Fonte: Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior (2023)

Rego et al. (2023), conduziram um estudo no município de Pindaré-Mirim/MA, para avaliar as modificações nos atributos físicos do solo em pastagens manejadas com diferentes tempos de recuperação em um Plintossolo Argilúvico. Em uma área onde o capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf) estava presente há 29 anos, logo substituído pela *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Essa área estava sujeita a pastejo contínuo em regime extensivo, com uma taxa de lotação de 0,7 UA ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Periodicamente, eram realizadas roçadas mecânicas em relação à mata nativa, que contava com a presença de babaçu, açaí e outras espécies. Na profundidade de 0,10 m, a macroporosidade diminuiu 16% em relação à área nativa, enquanto a microporosidade aumentou em 6,5% na pastagem e a porosidade total apresentou um acréscimo de apenas 1,7% em relação à mata nativa.

A resistência do solo à penetração é uma estimativa do impedimento mecânico que o solo impõe às raízes, sendo um fator físico que afeta o crescimento das mesmas (Silva et al., 2008). Dentre os vários indicadores de qualidade física do solo relacionados ao seu estado de compactação, a resistência à penetração tem sido utilizada em várias pesquisas nos estados do Maranhão e Piauí, com o objetivo de identificar o grau de alteração decorrente da intensificação do manejo e uso do solo.

Para avaliar a alteração da resistência à penetração do solo no Maranhão, a equipe de Rego, em 2023, analisou duas áreas. A mata nativa, foi representada pelo bioma amazônico contido no estado do Maranhão em transição para floresta de babaçu. Na profundidade de 0,10 m, a resistência do solo à penetração aumentou em 40% na área com pastagem convencional em relação à floresta nativa.

No ano de 2021, Alves et al. pesquisa realizaram a caracterização física de diferentes classes de solos cultivados em sistema convencional com cana-de-açúcar no município de Campestre/MA. Os autores concluíram que, para a classe dos Latossolos, os resultados evidenciaram que o solo está em processo de degradação, com valores

elevados de densidade do solo. Eles também destacaram a importância da adoção de práticas conservacionistas, que priorizem a sustentabilidade e a conservação do solo, para a produção contínua dessa cultura em solos Nitossolos de textura argilosa e Latossolos de textura média da região, visando a reconstrução dos solos que já estão em processo de degradação.



**Figura 4:** Área com implantação do sistema Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta, com três diferentes culturas adotadas pela Fazenda Barbosa, no município de Brejo/MA

Fonte: Luís Fernando Devicari (2023)

É importante ressaltar que as mudanças nos parâmetros físicos do solo, decorrentes da alteração no manejo, requerem tempo para evidenciar seus efeitos benéficos. Um estudo relevante nesse contexto é o realizado por Santana et al. (2018), que teve como objetivo avaliar os impactos de diferentes sistemas de cultivo - plantio direto e convencional - nas propriedades físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo em uma propriedade em Açailândia, no estado do Maranhão. Os resultados

indicaram que, mesmo após dois anos de adoção do plantio direto, não foram observadas alterações significativas na densidade do solo e na porosidade total. No entanto, o estudo constatou que o uso desse sistema contribuiu para o aumento do armazenamento de água em comparação ao sistema de plantio convencional.

É igualmente importante destacar os estudos realizados por Almeida et al. (2017) no sudoeste do estado do Maranhão, que examinaram as alterações nas propriedades físicas do solo em sistemas de manejo ecológico de pastagem em comparação com o manejo convencional. Os resultados revelaram modificações na densidade do solo e no índice de compactação. Notavelmente, as áreas com histórico de mais de vinte anos sob manejo ecológico apresentaram valores menores de densidade do solo e índice de compactação em comparação com as áreas com pastagem convencional. Esses estudos enfatizam a importância de considerar o tempo de adoção do manejo ecológico e os benefícios potenciais para a qualidade física do solo, como a melhoria da matéria orgânica, a capacidade de armazenamento de água e a redução da compactação, promovendo assim a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Os valores encontrados em diferentes estudos e tipos de solo demonstram a importância do monitoramento do solo quando submetido a diferentes práticas de exploração econômica. O solo, como recurso natural, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de plantas para alimentação humana e animal. Portanto, é essencial investigar outros agroecossistemas e avaliar sua influência na saúde do solo.

## **6.2 Impactos do cultivo de grãos sobre as variáveis avaliadas (densidade, porosidade e resistência à penetração)**

A exploração agrícola do solo tem crescido significativamente, principalmente no cultivo de grãos, e, é importante adotar práticas conservacionistas para minimizar os impactos antropogênicos e preservar as propriedades físicas originais do solo (Figura 5) (EPAMIG, 2009).



**Figura 5:** Correntão em atividade realizando a incorporação do resto cultural deixado pela colheita de soja, na fazenda Barbosa localizada no Leste maranhense

Fonte: Luís Fernando Devicari (2023)

A avaliação das alterações físicas do solo em sistemas agrícolas é realizada comparando-se com a área nativa, uma vez que é a partir dessas avaliações verificar o impacto do cultivo de grãos em lavouras, utilizando variáveis como resistência à penetração do solo (Figura 6 e 7), densidade, macro e microporosidade, e porosidade total, que são indicadores da qualidade física do solo (Rossetti et al., 2013).



**Figura 6:** À esquerda o mapa de resistência à penetração para avaliar o grau e compactação do solo conforme dados do penetrômetro em lavoura plantada com soja (*Glycine max*), de uma área experimental na fazenda Europa localizada no Leste maranhense município de Buriti, avaliação realizada pelo grupo de pesquisa da Universidade Federal do Maranhão e Field Crops, e a direita utilização do penetrômetro para levantamento de dados de resistência

Fonte: Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior, André Luis Sousa Mamedio e Daniel Lobo de Sousa (2023)



**Figura 7:** Planta de soja de uma área não escarificada, com raízes mal desenvolvidas (raiz pivotante indicada em vermelha) e na figura do lado direito, uma planta de soja cultivada em área escarificada, com expressivo desenvolvimento de suas raízes (Raiz pivotante indicada em vermelho)

Fonte: Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior e Gregori da Encarnação Ferrão (2023)

Os estados do Maranhão e Piauí possuem condições naturais favoráveis para a agricultura, como disponibilidade de água, clima propício com dias longos e alta radiação solar, além de topografia plana a suavemente ondulada, facilitando as operações agrícolas (Spinelli-Araujo et al., 2016). Baseado nessas condições que ambos estados tem grandes áreas ocupadas por agroecossistemas, o que torna ainda mais abrangente verificar os impactos causados por estes.

Um estudo realizado por Azevedo et al. (2007) no Maranhão investigou os impactos na densidade do solo em um Latossolo Amarelo submetido ao plantio convencional em comparação com o plantio direto e a área nativa. Durante três anos, a cultura da soja foi cultivada na área experimental utilizando-se o preparo convencional. Na profundidade de 0,10 m, o plantio convencional apresentou um aumento de 5% na densidade em relação à área nativa, enquanto o plantio direto resultou em um aumento

de 7% em relação à área nativa. Do ponto de vista físico, o plantio direto mostrou-se mais favorável, devido à melhor organização das partículas do solo.

No leste do Maranhão, em um Latossolo Amarelo distrófico, Costa et al. (2016) conduziram na cidade de Chapadinha, Universidade Federal do Maranhão (UFMA) uma pesquisa para avaliar a densidade do solo ao longo de dois anos de cultivo de mucuna-preta, feijão-de-porco e feijão-caupi, em comparação com a vegetação espontânea. Na profundidade de 0,10 m, foram observadas alterações distintas na densidade do solo para cada cultura. A mucuna-preta apresentou redução de 1,3%, enquanto o feijão-de-porco e o feijão-caupi mostraram aumento de 1,3% cada. Embora esses valores sejam médios, quando considerado o ano, observam-se mudanças distintas nos atributos físicos do solo. De forma geral, o plantio direto da mucuna-preta e do feijão-de-porco demonstraram melhores condições para o solo, com redução da densidade do solo no segundo ano de cultivo, em comparação com a vegetação espontânea.

No município de Brejo, estado do Maranhão, um estudo conduzido por Barbosa et al. (2022b) em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico analisou a densidade do solo em um sistema de plantio direto que estava em uso há 14 anos, sem interação com animais e com a incorporação de 2 t/ha de calcário, em comparação com a vegetação nativa do bioma Cerrado. Foi observado um aumento de 7% na densidade do solo para o sistema de plantio direto após 14 anos, em comparação com a floresta nativa, na camada de 0,20 m do solo. Além disso, o estudo avaliou uma área com plantio direto de soja e milho, com integração de animais e cultivo de *Urochloa ruziziensis*, com aporte de 0,7 UA ha<sup>-1</sup>. Nessa área, foi observado um aumento de 13% na densidade do solo em comparação com a área nativa. O aumento da densidade do solo mesmo sob plantio direto pode ser explicado em razão do não revolvimento do solo e pela estabilidade dos agregados, formando uma massa de solo mais agrupada.

Outro estudo realizado no estado do Maranhão, município de Açailândia (Argissolo Vermelho-Amarelo), avaliou a densidade do solo em uma profundidade de 0-0,20 m, em áreas com cultivo de soja (*Glycine max*) e milho em entrelinhas. O cultivo convencional apresentou um aumento de 3,7% na densidade do solo em relação ao plantio direto, de acordo com os resultados médios de 5 repetições obtidos na pesquisa. Assim, o sistema

de plantio direto, com apenas dois anos de uso, não apresentou mudanças significativas nas propriedades de densidade do solo, indicando que o tempo de adoção desse sistema ainda não foi suficiente para modificar consideravelmente as características no horizonte superficial (Santana et al., 2018).

Neste caso, podemos verificar o efeito de diferentes formas de uso e manejo do solo sobre as propriedades físicas do solo. Costa (2016) comparou uma área cultivada com soja pelo método convencional e outra área com plantio direto de soja sob palhada de milho, em relação à área nativa. O solo da região foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico. Na profundidade de 0-0,10 m, foi observado o aumento de 36% na macroporosidade para a área com cultivo convencional em comparação com a mata nativa, enquanto a área com plantio direto apresentou um aumento de 56%. A microporosidade apresentou uma redução de 78% para o cultivo convencional e 74% para o plantio direto em relação à mata nativa. Os valores de porosidade total aumentaram em 46% para o plantio direto e 29% para o plantio convencional, quando comparados à vegetação nativa.

De forma semelhante, Martins-Filho (2019) realizou um estudo para investigar a porosidade do solo em dois sistemas de cultivo no município de São Benedito do Rio Preto/MA. Sob plantio direto de soja e plantio convencional de milho, em um Latossolo, ao longo de 3 anos. Na profundidade de 0,20 m, a macroporosidade apresentou um aumento de 13,8% para o plantio direto em comparação com a área nativa, enquanto o plantio convencional teve um aumento de 12,3%. A microporosidade apresentou uma redução de 22,7% para o plantio direto e 21% para o plantio convencional, indicando uma menor porosidade nos sistemas de cultivo. A porosidade total diminuiu em 9% para o plantio direto e em 8,8% para o plantio convencional, em comparação com a área nativa.

Em outro estudo realizado no Maranhão por Santana et al. (2018), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, comparou-se os sistemas de plantio direto com 2 anos de implementação e cultivo convencional de soja e milho em entrelinhas. Após a colheita do milho, verificou-se um aumento de 50% na resistência à penetração do solo no sistema convencional, em comparação com o plantio direto. Isso confirma que a adoção recente do sistema alterou as características físicas do solo.

No Piauí, foram realizados estudos sobre alterações físicas no solo em Latossolo Amarelo devido ao cultivo de soja em comparação com a área nativa. A área cultivada com soja estava em seu terceiro ano consecutivo de manejo convencional, utilizando arado e grade, após dois anos de cultivo de arroz e milho. Na profundidade de 0-0,20 m, observou-se uma diminuição de 43,5% na macroporosidade, um aumento de 54% na microporosidade e uma redução de 8,1% na porosidade total em comparação a vegetação nativa (Nunes et al., 2020).

Em um Latossolo Amarelo distrófico típico no Piauí, uma lavoura foi submetida a um sistema consorciado de cultivo convencional e plantio direto por 8, 5 e 3 anos para avaliar suas alterações físicas em comparação com o cerrado nativo, na camada superficial de 0,20 m. Verificou-se uma redução de 19,35% na porosidade total para o sistema de 8 anos com plantio direto e convencional em relação ao cerrado nativo. Para o sistema consorciado de 5 anos, a redução foi de aproximadamente 24%, e para o sistema consorciado de 3 anos, foi de 16%. Quanto à macroporosidade, observou-se uma redução de 48% para o sistema de 8 anos, 51% para o sistema de 5 anos e 41% para o sistema de 3 anos. A microporosidade apresentou um aumento de 33% para o consórcio de 8 anos, 28% para o consórcio de 5 anos e 26% para o consórcio de 3 anos (Pragana et al., 2012).

Outro estudo realizado no Piauí, no município de Sebastião Leal, teve como objetivo analisar as modificações físicas do solo em diferentes sistemas de manejo em comparação com a área nativa. O solo estudado foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico. Após 16 anos de implantação do plantio direto e 3 anos de cultivo convencional, verificou-se uma redução de 8,6% na macroporosidade para o plantio direto, enquanto o sistema convencional apresentou uma redução de 13% em relação ao cerrado nativo. A microporosidade aumentou 41,1% para o plantio direto de 16 anos e 61% para o plantio convencional de 3 anos, em comparação com a área nativa. A porosidade total mostrou uma redução de 11% para o plantio direto de 16 anos e 4% para o plantio convencional, em comparação com a área nativa, na profundidade de 0-0,20m (Schossler et al., 2013).

Uma pesquisa realizada por Ibiapina et al. (2014) na fazenda Chapada Grande no Piauí, avaliou as mudanças nas propriedades físicas do solo em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com soja por 3 anos, após dois anos de cultivo de arroz e milho, em comparação com a área nativa de cerrado preservada. Os resultados mostraram uma redução de 50% na resistência à penetração do solo na camada de 0,10m para o plantio convencional em comparação com a vegetação nativa, sendo 1 Mpa para a área nativa e 0,5 Mpa para o plantio convencional. No entanto, em camadas mais profundas, foi observado um aumento de 67% na resistência à penetração no plantio convencional em relação à área nativa, atingindo valores de 4 Mpa.

Outra pesquisa realizada por Alves (2022) em Uruçuí/PI teve como objetivo obter dados sobre as modificações físicas do solo em um Latossolo Amarelo distrófico devido ao tempo de cultivo no sistema de plantio direto. Foram avaliados três períodos de cultivo: 12, 18 e 24 anos, em comparação com a área nativa, na profundidade de 0,20 a 0,25m. A área sem cultivo apresentou um valor de resistência à penetração de 1,04 Mpa, enquanto o sistema com 12 anos de cultivo mostrou um valor de 2,38 Mpa, o sistema com 18 anos apresentou um valor de 2,21 Mpa e o sistema com 24 anos de cultivo mostrou um valor de 2,24 Mpa. Em termos percentuais, os valores indicaram um aumento de 128% para o cultivo com 12 anos, 112% para o cultivo com 18 anos e um valor semelhante de 24 anos em relação à área nativa. No entanto, os valores das três áreas ficaram ligeiramente acima do limite crítico para essa variável, e os últimos dois períodos de cultivo mais longos apresentaram uma redução de 16%.

Associado ao estudo anterior, Nunes et al. (2020) também realizaram na Fazenda Chapada Grande-Pi, uma avaliação, em um Latossolo Amarelo, sob sistema de manejo convencional utilizando as culturas arroz e soja durante 2 anos e 10 anos para avaliar a descompactação do solo com o uso de um escarificador. Foram observadas mudanças na densidade do solo na profundidade de 0-0,20m, com um aumento de 1% no sistema de plantio direto com 2 anos de implantação e um aumento de 27% no sistema de plantio direto com 10 anos. O sistema de plantio direto durante 10 anos apresentou indicadores físicos que indicaram compactação. Para reduzir esses valores de compactação, foi utilizado um escarificador a uma profundidade de 0,18cm, o qual reduziu a compactação

do solo em 11% no sistema de plantio direto com 10 anos. Portanto, a alternativa de descompactação utilizando o implemento de escarificação foi eficiente para melhorar os indicadores de qualidade física do solo na camada de 0,00 a 0,20m.

Esses estudos evidenciam que o cultivo de soja em Latossolos Amarelos no Piauí, seja por meio do manejo convencional ou do plantio direto, pode levar a alterações nas características físicas do solo em comparação com a área nativa de cerrado. Os resultados indicam redução na macroporosidade e porosidade total, aumento na microporosidade e aumento na resistência à penetração do solo em algumas situações. O tempo de cultivo, a técnica de manejo adotada e a presença de sistemas consorciados também influenciam nessas alterações físicas. Além disso, o uso de práticas de descompactação, como a escarificação, pode ser eficiente para melhorar a qualidade física do solo nessas áreas cultivadas.

Com base nos sistemas de manejo adotados nas lavouras, foi observada uma alteração nos atributos físicos do solo ao longo do tempo e das culturas utilizadas. As pressões exercidas pela maquinaria agrícola durante o preparo periódico do solo, o cultivo e a colheita resultam em um maior adensamento das partículas, reduzindo a quantidade de poros (macroporosidade), o que leva ao aumento da densidade do solo. Isso resulta em um novo estado de resistência do solo (Souza et al., 2021).

De acordo com Rodrigues (2018), o solo desempenha um papel fundamental na produção vegetal em diversas regiões, e seus atributos físicos podem ser influenciados pelo uso e pelo sistema de manejo adotado, bem como pelo período de ocorrência. Ao avaliar as propriedades do solo, constatou-se que a manutenção da cobertura do solo tem o potencial de melhorar ligeiramente a qualidade estrutural física, contribuindo para a proteção do solo contra fatores de degradação (Martins e Silva, 2022).

Com o objetivo de utilizar o solo com o mínimo impacto possível, são realizadas pesquisas para mensurar quantitativamente a influência do uso e manejo sobre os atributos físicos do solo. Por meio de diversos testes, é possível determinar se é necessário manter o manejo atual ou adotar outras práticas que reduzam a perda da estrutura original do solo.

Nos sistemas de produção agrícola, é essencial promover a saúde do solo por meio de práticas que estimulem a vida no solo. Sistemas de manejo, como a agricultura conservacionista, desempenham um papel fundamental na adoção da agricultura regenerativa, que visa restaurar a saúde do solo. O sistema de plantio direto é capaz de promover a restauração e reestruturação das propriedades físicas do solo por meio do processo de agregação de partículas e da rotação de culturas (Giller et al., 2021).

### **6.3 Impacto das coberturas de sistemas florestais sobre as variáveis avaliadas (densidade, porosidade e resistência à penetração)**

Estima-se que aproximadamente 58,5% do território brasileiro seja composto por áreas florestais, o que corresponde a 497.962.509 hectares. Dessas áreas, 98% são florestas naturais, enquanto apenas 2% são florestas plantadas. A Floresta Ombrófila Densa é a fitofisionomia mais predominante, ocupando 39,2% do total de áreas florestais, o que equivale a 195.284.061 hectares, principalmente na região amazônica (SNIF, 2018).

Nos últimos anos, tem sido observado um aumento na adoção de sistemas integrados com florestas plantadas, pastagens e lavouras no Cerrado nordestino, principalmente na forma de sistemas agropastoris (ILP). Tanto o número de produtores que adotam essa tecnologia quanto a área total das propriedades que a utilizam têm aumentado significativamente (Souza et al., 2021). De acordo com o REDE ILPF (2021), estima-se que existam aproximadamente 1.994.450 hectares de sistemas ILPF no Nordeste, com 112.661 hectares no Piauí e 105.012 hectares no Maranhão.

O monocultivo de espécies florestais ou sistemas que contêm espécies florestais integradas, têm gerado debates e despertado curiosidade em relação aos seus impactos ambientais, especialmente em relação ao solo, à água e à biodiversidade, quando se trata de monoculturas. Estudos e experimentos na área silvicultural têm sido conduzidos para responder a essas questões e compreender as principais alterações nos atributos físicos do solo em diferentes condições edafoclimáticas (Vital, 2007).

De acordo com Bungenstab et al. (2019), a introdução de árvores e arbustos em sistemas produtivos agrícolas desempenha um papel importante, como o controle da erosão, a melhoria da fertilidade e da estrutura do solo, o aumento da biodiversidade, a diversificação da produção e o prolongamento do ciclo de manejo da área (Figura 8).



**Figura 8:** Sistema de Integração Pecuária-Floresta localizada na Fazenda Barbosa na região de Brejo-MA

Fonte: Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior (2023)

No Piauí, em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, foi analisada a densidade do solo em sistemas agroflorestais com três, seis e dez anos de adoção, em comparação com a floresta nativa, para avaliar o grau de influência desse sistema. Não foram verificados aumentos na densidade dos sistemas agroflorestais em comparação com a mata nativa, o que demonstra um efeito positivo na conservação do solo (Lima et al., 2011).

Em monocultivos de florestas plantadas, os resultados podem ser diversos, como observado em uma pesquisa de 10 anos de implantação no Piauí, que mostrou que o monocultivo altera as propriedades físicas do solo em comparação com a vegetação nativa em um Latossolo Amarelo de textura argilosa. Foi observado um aumento de 9% na densidade em relação à área nativa na camada arável do solo. No entanto, essa

alteração não foi significativa devido ao intervalo entre as atividades de maquinário agrícola, o que proporcionou a reorganização das partículas no solo (Pessoa et al., 2018).

Uma pesquisa realizada no Piauí avaliou os impactos nos atributos físicos de um Latossolo Amarelo distrófico em uma área plantada com Nim (*Azadirachta indica*) por 9 anos, em comparação com a mata nativa em transição de vegetação de Caatinga para Cerrado. Foi verificado um aumento de 120% na densidade do solo na camada arável (0-0,20 m) na área com Nim em comparação com a vegetação natural. A macroporosidade da área com Nim reduziu em 50% em relação à vegetação natural, enquanto a microporosidade aumentou significativamente em 90%, passando de  $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para  $0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Além disso, a porosidade total teve uma redução de 17,64% quando comparada à área com Nim e à mata nativa (Silva et al., 2014).

Pessoa et al. (2018) realizaram uma pesquisa no cerrado piauiense para avaliar as alterações dos atributos físicos de um Latossolo amarelo sob diferentes cultivos em comparação com a mata nativa. Verificou-se que os solos sob eucalipto apresentaram valores de resistência à penetração abaixo do limite máximo de 2,0 MPa, considerado restritivo ao desenvolvimento das raízes, não diferindo do solo de mata, provavelmente devido à maior quantidade de materiais orgânicos incorporados ao solo, o que pode ter preservado a estrutura do solo.

Em uma fazenda no Piauí, foi avaliada a modificação dos atributos físicos do solo em uma área plantada com eucalipto por 2 e 4 anos, em comparação com a área nativa de cerrado. O solo da área estudada foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, e as áreas plantadas com eucalipto passaram por preparo do solo com gradagem para auxiliar na incorporação da adubação e calagem. Quando a resistência à penetração foi verificada na floresta nativa em comparação com a área com eucalipto por 2 anos, houve um aumento de 30% na resistência à penetração nas florestas nativas, passando de 0,3 MPa para 1 MPa. Na área com eucalipto de 4 anos de implantação, foi registrada uma resistência à penetração de 1,2 MPa, representando um aumento de 40% em comparação com a área nativa, que apresentou 1 MPa (IBIAPINA et al., 2014).

Ao comparar os resultados dos sistemas de integração florestal, foram observadas mudanças na física do solo em diferentes épocas de plantio, correlacionadas com o valor

da vegetação original em um Plintossolo Argilúvico distrófico típico localizado no Maranhão, onde o babaçu foi a principal espécie da floresta nativa. Os valores de macroporosidade na área com integração de plantio de eucalipto por 4 anos na profundidade de 0,10 m aumentaram em 0,2%, enquanto a área com 3 anos de integração reduziu em 25%, a área com 2 anos de integração reduziu em 20% e a área com 1 ano de duração de integração aumentou em 5%. A microporosidade na integração de 4 anos diminuiu em 12%, a área com 3 anos de integração não apresentou diferença percentual significativa, a área com 2 anos de integração aumentou em 10% e a área com 1 ano de integração reduziu em 20% em comparação com a mata nativa. A porosidade total foi maior no sistema de 4 anos de implantação, com uma diferença de 2% em relação à floresta nativa, enquanto o sistema com 2 anos de implantação apresentou uma menor porosidade total, com uma diferença de 20% em relação à mata nativa (Sousa, 2020).

No sudoeste do estado do Maranhão, uma pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o componente densidade do solo e verificar o nível de alteração do solo Latossolo Vermelho Amarelo com o sistema de integração pecuária-floresta com eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) e braquiária em relação à floresta nativa. Antes da implantação, a área passou por remoção da vegetação com trator de esteira e, em seguida, foi utilizada uma grade aradora acoplada ao trator, seguida por um segundo revolvimento do solo com trator de pneus. A densidade do solo na camada superficial de 0-0,10 m aumentou em 2,29% no sistema em relação à floresta nativa não antropizada durante o período seco. O solo da área foi considerado arenoso, e após 3 anos da implantação do sistema, observou-se uma melhoria nos atributos físicos do solo, pois solos arenosos têm um maior potencial de erosão, e devido à cobertura de serrapilheira deixada pelas árvores de eucalipto, a erosividade foi reduzida (Mignoni, 2020).

No Maranhão, foram observadas modificações na física do solo ao comparar os resultados de sistemas com integração de floresta em diferentes épocas de implantação, correlacionando-os com o valor da vegetação nativa em um Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, sendo o babaçu a principal espécie. A área com integração de plantio de eucalipto por 4 anos apresentou um aumento de 8% na densidade do solo na camada

de 0,10 m em relação à floresta nativa. Comparando com a área com 1 ano após a implantação, houve um aumento de 3,7% na densidade do solo, enquanto a área com 2 anos de implantação apresentou um aumento de 7,4%. A área com 3 anos de cultivo mostrou uma redução na densidade do solo de 19%, passando de 1,35 g/cm<sup>3</sup> para 1,1 g/cm<sup>3</sup>. O sistema apresentou incrementos anuais de pouca variação, mas foi constatada uma redução na densidade do solo, provavelmente causada pela maior concentração de matéria orgânica gerada pela quantidade de resíduos vegetais dos eucaliptos (Sousa, 2020).

Uma pesquisa realizada na Mesorregião Leste do estado do Maranhão, predominantemente com Latossolos amarelos distróficos, avaliou a alteração do solo comparando a roça de toco com a mata nativa, na camada superficial do solo a uma profundidade de 0,10 m. O sistema de roça de toco aumentou 7,5% na porcentagem de macroporosidade do solo em comparação com a mata nativa, enquanto a microporosidade da roça de toco aumentou 5% em relação à vegetação nativa (Viana et al., 2015).

A pesquisa de Mignoni (2020), situada no sudoeste do Maranhão, também avaliou a resistência à penetração no período seco e no período chuvoso para verificar o nível de alteração provocada pelo plantio de eucalipto com preparo convencional do solo. A área estudada em 2016 foi definida como Latossolo Vermelho Amarelo, e a área total era de 70 ha com 400 plantas de eucalipto por hectare. A resistência do solo à penetração na profundidade de 0,10 m durante o período chuvoso foi de 0,35 MPa no sistema com eucalipto, representando um aumento de 34% em comparação com a floresta secundária, que apresentou 0,12 MPa. No período seco, a floresta secundária apresentou uma resistência à penetração de 0,3 MPa, enquanto o sistema com eucalipto apresentou 0,4 MPa, representando um aumento de 33% em comparação com a floresta secundária. O que mostra novamente que a presença de espécies florestais minimiza o impacto de áreas agricultáveis.

De acordo com a pesquisa realizada na região central do Maranhão, em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, não foram observadas alterações significativas na densidade do solo entre o monocultivo de macaúba plantada

há 17 anos e a área de vegetação nativa com árvores de pequeno porte com 3 metros de altura (Leite et al., 2013).

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As pesquisas realizadas nos estados do Maranhão e Piauí revelam a importância fundamental de manejar o solo de acordo com sua capacidade e adotar práticas que promovam o aumento dos teores de matéria orgânica. Essa abordagem é essencial para melhorar os atributos físicos do solo, proporcionando um suporte adequado para as atividades químicas e biológicas que ocorrem nesse ambiente vital. Ao enfatizar a melhoria dos atributos físicos, podemos garantir uma base sólida para a produtividade sustentável da terra, evitando a degradação e a perda de fertilidade.

Dentre as técnicas alternativas sustentáveis, destaca-se a adoção de sistemas como pastagem perene, plantio direto, agrossilvipastoril, silvipastoril e agropastoril. Esses sistemas não apenas promovem a saúde do solo, mas também possibilitam uma exploração mais eficiente do mesmo, garantindo sua viabilidade produtiva ao longo do tempo. No entanto, é crucial aprimorar a escolha das culturas utilizadas como cobertura do solo, pois essa decisão exerce um impacto significativo tanto na qualidade do solo quanto no sucesso da lavoura. Adaptar e modificar os modelos de integração existentes para incluir culturas nativas da região do cerrado como mandioca, milho, feijão, melancia, caju, goiaba, manga além de capim-elefante e capim-mombaça como também cedro e jatobá que já estão adaptadas às condições edafoclimáticas do Maranhão e Piauí, é uma estratégia promissora.

É essencial reconhecer o amplo espectro de alterações nos atributos físicos do solo causadas principalmente pela atividade humana e pelas práticas de manejo inadequadas. Para assegurar a sustentabilidade da produção agrícola e preservar a saúde do solo, é necessário promover mudanças significativas no cenário agrícola. Essas mudanças devem focar em mitigar ainda mais os efeitos negativos causados pelas práticas agrícolas convencionais, visando uma abordagem holística que promova tanto a produção agrícola quanto a conservação e melhoria da saúde do solo.

Além disso, a adoção de práticas que visem aumentar a resiliência do solo e sua capacidade de retenção de água é fundamental. A implementação de sistemas de manejo que minimizem a compactação do solo, promovam a agregação das partículas e melhorem a estrutura geral do solo desempenha um papel crucial na manutenção de um ambiente propício para o desenvolvimento das culturas. O uso de cobertura vegetal adequada, rotação de culturas e práticas de conservação do solo, como terraceamento e curvas de nível, podem contribuir significativamente para a melhoria dos atributos físicos do solo, evitando a erosão e a perda de nutrientes.

É importante ressaltar que a saúde do solo é um fator determinante para a sustentabilidade a longo prazo da agricultura. Investir em estratégias de manejo que priorizem a conservação e a regeneração do solo é essencial para garantir a segurança alimentar, a saúde ambiental e o bem-estar das comunidades rurais. A integração de práticas agroflorestais, o uso de adubos orgânicos, a compostagem e a agricultura de conservação são exemplos de abordagens que podem contribuir para a melhoria dos atributos físicos do solo, oferecendo um ambiente propício para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis.

Por fim, é necessário destacar a importância da pesquisa contínua e da disseminação de conhecimentos sobre manejo do solo. A troca de informações entre pesquisadores, agricultores e extensionistas é fundamental para identificar e implementar as melhores práticas de manejo que atendam às necessidades específicas de cada região. A conscientização sobre os benefícios de uma abordagem sustentável do solo e o acesso a informações atualizadas são elementos-chave para impulsionar a transformação positiva do setor agrícola, promovendo a conservação do solo e a busca por sistemas produtivos mais saudáveis e resilientes.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. F.; MACEDO, G. T.; CUTRIM-JUNIOR, J. G.; SILVA, C. M.; SILVA, A.; SILVA, W. A. Soil physical indicators in a silvipastoral system in the cerrado-mazon rainforest ecotone. **Brazilian Journal Development**, v. 7, n. 5, p. 43729-43734. 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-002>
- ALMEIDA, D. F.; SILVA, W.; SILVA, A.; C. M.; SILVA; CARDINS, W. A. Soil physical indicators in an agroforestry system in the cerrado-amazonian maranhense. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 21, 2017, Rio de Janeiro. **Resumos....** Rio de Janeiro: SBCS, 2017.
- ALVES, K. F.; SILVA, W.A.; SILVA, C. M.; SILVA, A.; CONCEIÇÃO. A. J. L.; NASCIMENTO, K. P. M. Physical characterization of different soil orders cultivated with sugarcane in the Maranhense Cerrado. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.6, p. 56132-56141, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-157>
- ALVES, M. D. S. **Influência do tempo de cultivo na compactação do solo em subsuperfície**. 2022. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Uruçuí, 2022.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.3, p. 717-723, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300013>
- AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; NETO-TEIXEIRA, M. L.; DANTAS, J. S.; Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.
- BARBOSA, L. R.; SOUZA, H. A.; NETO, M. L. T.; LEITE, L. F. C. Organic matter compartments in an Ultisol under integrated agricultural and livestock production systems in the Cerrado. **Ciência Rural**, v.52, n.10, p.e20200845, 2022a. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200845>
- BARBOSA, L. R.; SOUZA, H. A.; OLIVEIRA, F. P.; NUNES, L. A. P. L.; LEITE, L. F. C. Physical-hydraulic properties of an aulisol in direct planning and free livestock integration in the cerrado. **Revista Caatinga**, v.35, n.2, p.460-469, 2022b. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n221rc>
- BDIA - BANCO DE DADOS DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS. **Vegetação**. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao> >. Acesso em: 17 de mar 2023.

BENEVENUTE, P. A. N.; MORAIS, E. G.; SOUZA, A.; VASQUES, I. C. F.; CARDOSO, D. P.; SEVERIANDO, E. C.; HOMEM B. G. C.; CASAGRANDE, D.R.; SILVA, B. M. Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, v.117, n.10, p.106647, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106647>

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. **Critical Reviews in Plant Science**, v.28, n.4, p.39–163, 2009. <https://doi.org/10.1080/07352680902776507>

BRAINER, M. S. C. P. Silvicultura: uma nova proposta para a área de atuação do banco do nordeste do Brasil (BNB). **Caderno Setorial ETENE**, ano 4, n. 68, p.1-16, 2019.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, 2007.

CHERUBIN, M. R.; SCHIEBELBEIN, B. E. **Saúde do solo**: múltiplas perspectivas e percepções. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022. 128 p. <https://doi.org/10.11606/9786587391342>

COSTA, P. H. S. **Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo de solo**. 2016. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2016.

COSTA, R. M.; MATOS, S. S.; SOUSA, R. C. M.; LEITE, M. R. L.; FARIAS, M. F.; FURTADO, M. B.; SERRANO, L. J. P. Indicadores físicos de um latossolo amarelo distrófico sob adubação verde. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.6, p.141-149, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0013>

DIÓGENESES, L. C.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE-JUNIOR, A. S.; SILVA, J. L.; MATIAS, S. S. R.; SANTOS, G. G. Resistência à penetração e atributos químicos em um latossolo do Piauí sob monocultivos e consórcio de gramíneas irrigados. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 181-195, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p181-195>

EPAMIG - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Práticas conservacionistas**. Disponível em: [http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10512/EPAMIG\\_Pr%E1ticas-conservacionistas-vegetativas-ed%E1ficas-mec%E2nicas.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10512/EPAMIG_Pr%E1ticas-conservacionistas-vegetativas-ed%E1ficas-mec%E2nicas.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 09 de mar de 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS. **Soil degradation**. Disponível em: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/>. Acesso em: 08 mai 2023.

GAMA, D. C.; JESUS, J. B. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do *Eucalyptus L'* Heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 214-221, 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i2.70968>

GILLER, K. E.; HIJBEEK, R.; ANDERSSON, J. A.; SUMBER, J. Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. **Outlook on Agriculture**, v.50, n.1, p.13-25, 2021. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>

GONÇALVES, R. G. M.; PINTO, L. A. S. R.; FERRARI, A. C.; DIAS, R. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Indicadores edáficos em sistemas de manejo no cerrado maranhense. **Brazilian Journal of Development**. v.6, n.5, p.29550-29569, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-419>

HADASSA, A. R. **Atributos físicos do solo e sua relação com a população de *pratylenchus brachyurus* em cultivo de soja na microrregião de Chapadinha-MA.** 2016. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Extração vegetal e silvicultura.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pesquisa/16/11863?localidade1=22>. Acesso em 23 de fev de 2023.

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P.; LIMA, M. G.; SOARES, L. M. S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. **Científica**, v. 42, n. 4, p.411-418, 2014. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n4p411-418>

IVANOV, M. M. M.; LEMOS, J. R. **Unidades de conservação do estado do Piauí.** Teresina: EDUFPI, 2020.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA-NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1257-1263, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200002>

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **ACSA**, v. 9, n. 1, p. 117-124, 2013. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v9i1.252>

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v.35, n.1, p.51-60, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100006>

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. **O solo no meio ambiente:** abordagem para

professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba; Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. 141 p.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; ARAÚJO-FILHO, J. C.; SILVA, A. B. **Solos do Nordeste**. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003864/1/FOLDERSOLOSDON\\_Eversaofinal.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003864/1/FOLDERSOLOSDON_Eversaofinal.pdf). Acesso em: 22 de fev de 2023.

MARTINS, M. V. E.; SILVA, M. L. N. Propriedades físico-estruturais do solo em área sob processo de degradação próximo às margens do rio Balsas-MA. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e39711125106, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25106>

MARTINS-FILHO, J. B. **Atributos físico-hídricos do solo em sistemas de plantio direto e convencional no trópico úmido maranhense**. 2019. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2019.

MAYERFELD, D.; KRUGER, E.; GILDERSLEEVE, R.; RICKENBACH, M. Impacts of different grazing approaches on woodland ecosystem properties. **Agroforestry Systems**, p. 1-14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00707-6>

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.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.6, p. 2461-2470, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>

MELO, F. B.; ARAÚJO, A. M.; ANDRADE -JÚNIOR, A. S.; LEAL, T. M. **Matéria orgânica e propriedades físico hídricas em argissolo, em sistema silvopastoril, em Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2021. 23 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 135).

MOHANTY, M.; PAINULI, D. K.; MISRA, A. K.; GHOSH, P. K. Soil quality effects of tillage and residue under rice-wheat cropping on a Vertisol in India. **Soil & Tillage Research**, v. 92, n.1, p. 243-250, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.03.005>

MOREIRA, G. M.; NEVES, J. C. L.; ROCHA, G. C.; MAGALHÃES, C. A. S.; FARIAS-NETO, A. L.; MENEGUCI, J. L. P.; FERNANDES, R. B. A. Physical quality of soils under a crop-livestock-forest system in the cerrado/amazon transition region. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, e. 420213, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200013>

NUNES, L. A. P. L.; SOARES, B. K. F.; SOUSA, R. S.; IBIAPINA, T. V. B.; BARBOSA, L.

R. Physical indicators after mechanical scarification in a Yellow Oxisol under no-tillage. **Científica**, v. 48, n. 4, p. 396-402, 2020. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n4p396-402>

PESSOA, M. M. C.; NUNES, L. A. P. L.; SOUSA, R.S.; ARAÚJO, A. S. F.; IBIAPINA, T.V.B.; SALVIANO, A. A. C. Physical attributes of a yellow oxissol under different monocultures in the savanna of Piauí state. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n.4, p.e5576, 2018.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, RIBEIRO-FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de latossolos amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1591-1600, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500023>

RAMOS, H. M. M. **Funções de pedotransferência para estimativa da densidade e atributos físico-hídricos de solos do estado do Piauí**. 2017. 50f. Tese (Doutorado em Agronomia - Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

RAMOS, H. M. M.; DUARTE, J. F. B.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; OLIVEIRA, I. M. C.; FEITOSA, D. L. Atributos físico-hídricos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.2, p. 3968-3975, 2020. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V14N101147>

REDE ILPF. **ILPF em números**. Disponível em: < <https://redeilpf.org.br/ilpf-em-numeros/>>. Acesso em: 08 mai 2023.

REGO, C. A. R. M.; OLIVEIRA, P. S. R.; MUNIZ, L. C.; ROSSET, J. S.; MATTEI, E.; COSTA, B. P.; PEREIRA, M. G. Chemical, physical, and biological properties of soil with pastures recovered by integration crop-livestock system in Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.47, n.spe, p.e0220094, 2023. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220094>

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**. v.5, p. 49-134, 2007.

REZENDE, C. H. S.; **Infiltração de água no solo e erodibilidade em áreas de pastagem em diferentes declividades**. 79F. 2020. Tese (Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2020.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>

RICHART, A. TAVARES-FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R.

Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n3p321>

RODRIGUES, R. A. S. **Ciência do solo: Gênese e Morfologia**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018. 262 p.

ROESCH, A.; WEISSKOPF, P.; OBERHOLZER, H.; VALSANGIACOMO, A.; NEMECEK, T. An approach for describing the effects of grazing on soil quality in life-cycle assessment. **Sustainability**, v. 11, n. 18, p. 4870, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11184870>

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. SOUSA-NETO, E. L. Physical Quality of na oxisol after diferente periods of management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n.6, p. 1522-1534, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600009>

SANTANA, J. S.; LIMA, E. F.; KOMATSU, R. S.; SILVA, W. A. S.; RIBEIRO, M. I. D. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 22, 2018.

SARKAR, D.; KAR, S. K.; CHATTOPADHYAY, A.; SHIKHA; RAKSHIT, A.; RIPATHI, K.; DUBEY, P. K.; ABHILASH, P. C. Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. **Ecological Indicators**, v.115, 106412, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106412>

SCHOSSLER, T. R.; SANTOS, L. I.; ALENCAR, V. S.; SANTOS, G. G.; ANDRADE, F. R.; MARCHÃO, R. L. Estabilidade e atributos físicos de Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo no cerrado piauiense. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**, 2013.

SILVA, D. I. B.; SOARES, L. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; OLIVEIRA, M. E.; CARNEIRO, R. F. V. Qualidade superficial de um solo sob sistemas de manejo utilizados para produção de forragens no estado do Piauí. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 867-875, 2013.

SILVA, J. E. T.; MUNIZ, A. M.; SILVA-JUNIOR, I. B.; SOUSA, L. H. G.; OLIVEIRA, F. P. Avaliação de atributos físicos como indicadores de qualidade do solo sob influência de diferentes sistemas agropecuários. In: XVIII Semana da agronomia, 2023, Paraíba, **Resumos...** Paraíba: UFP, 2023.

SILVA, L. S.; MATIAS, S. S. R.; LOBATO, M. G. R.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região sul do Piauí. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 160-168, 2014.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J. de; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.7, p. 47838-47855, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>

SILVA, M. V.; ALMEIDA, G. L. P.; BATISTA, P. H. D.; PANDORFI, H.; MACÊDO, G. A. P. A.; MESQUITA, M.; SILVA, R. A. B. Variabilidade Espacial dos Atributos Físicos do Solo em Área Cultivada com Palma Forrageira Resistente a Cochonilha do Carmim no Semiárido Nordestino. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4. p 39-49, 2019. [https://doi.org/10.11137/2019\\_4\\_39\\_45](https://doi.org/10.11137/2019_4_39_45)

SILVA, W. F. **Caracterização do solo sob diferentes formas de manejo na Fazenda Escola do IFPI - Uruçuí**. 2021. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Uruçuí, 2021.

SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais. **Florestas naturais**. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/os-biomas-e-suas-florestas>. Acesso em: 05 abr de 2023.

SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; MARZALL, K.; SILVA, W. G. S. **Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros**. Brasília: MAPA/SENAR, 2021. 187 p.

SOUSA, G. O. **Alterações no solo em função da cronossequência da pastagem em integração lavoura-pecuária-floresta, na amazônia maranhense**. 2020. 68f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília: Embrapa, 2021. 595 p.

SPINELLI-ARAUJO, L.; BAYMA-SILVA, G.; TORRESAN, F.E.; VICTORIA, D.; VICENTE, L.E.; BOLFE, E.L. et al. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. Jaguariuna: EMBRAPA, 2016. 29 p.

STEFANOSKI, D. C.; SOUZA, T. R. S.; SANTOS, L. I.; ALENCAR, V. S. SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. Densidade, resistência à penetração e porosidade sob sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 34, 2013, Florianópolis, **Resumos....** Florianópolis: SBCS, 2013.

STEFANOSKI, D. C.; SOUZA, T. R. S.; SANTOS, L. I.; ALENCAR, V. S. SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. Densidade, resistência à penetração e porosidade sob sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado piauiense. **XXXVI Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo**, p. 1-4,2 ago. 2013.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Ed.: 3. Brasília: Embrapa, 2017. 577 p.

TORRES, L. J. **Análise dos atributos físicos-hídricos do solo em região de cerrado**. 2022. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão,

Chapadinha, 2022.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.8, n.4, p.673-684, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p673-684>

VIANA, L. O.; FARIAS, M. F.; FEITOSA, C. E. L.; TEIXEIRA, L. C.; SILVA, E. L.; SILVA, F. M. Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal, **Resumos....** Natal: SBCS, 2015.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, v.14, n. 28, p.235-276, 2007.

WALIA, M.K.; DICK, W.A. Selected soil physical properties and aggregate-associated carbon and nitrogen as influenced by gypsum, crop residue, and glucose. **Geoderma**, Amsterdam, v. 320, p. 67-73, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117306122>. Acesso em: 11 dez. 2023.