



**LEONEL COSTA DE SOUSA JUNIOR**

**ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO PELA MUDANÇA DO USO  
DA TERRA NO BIOMA CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientadora:** Profa. Dra. Alinne da Silva

Imperatriz, MA

2022



**LEONEL COSTA DE SOUSA JUNIOR**

**ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO PELA MUDANÇA DO USO  
DA TERRA NO BIOMA CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 26/08/2022

**BANCA EXAMINADORA**

*Alinne da Silva*

---

**Dra. Alinne da Silva**  
**Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente**  
**(Orientadora)**

*Joabel Raabe*

---

**Dr. Joabel Raabe**  
**Doutorado em Ciências Florestais**  
**(Membro)**

*Mauricélia F. Almeida Laranjeiras*

---

**Dra. Mauricélia Ferreira Almeida Laranjeiras**  
**Doutorado em Entomologia**  
**(Membro)**



S725a

Sousa Junior, Leonel Costa de

Alteração dos atributos físicos do solo pela mudança do uso da terra no bioma cerrado.  
/Leonel Costa de Sousa Junior. – Imperatriz, MA, 2022.

31 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade  
Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1.Atributos físicos do solo. 2.Sistemas agropecuários. 3.Cerrado maranhense.  
4.Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.41(812.1)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**



Dedico aos meus pais, Andrelina Rodrigues e  
Leonel Costa.



## RESUMO

A substituição da cobertura vegetal para implementação de cultivos agrícolas e pastagens, associada à ausência de práticas de manejo conservacionista, causam alterações das características físicas, químicas e biológicas do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da implantação de sistemas agropecuários nos atributos físicos do solo no bioma Cerrado. O trabalho se baseia na hipótese de que a conversão da vegetação nativa do bioma Cerrado em sistemas agropecuários diminuiu os estoques de carbono orgânico do solo, aumentam a compactação do solo e reduz a velocidade de infiltração de água no solo. Para validar tal hipótese, o experimento foi conduzido em uma propriedade rural particular, localizada no município de Porto Franco, na região Oeste do Estado do Maranhão, inserida no bioma Cerrado Maranhense. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em áreas de floresta, pastagem extensiva e pastagem abandonada com histórico de agricultura. Para cada área foi delimitada uma gleba representativa de aproximadamente 0,75 ha, composta de cinco unidades amostrais equidistantes 50 m entre si, totalizando cinco repetições para cada área de estudo. As características físicas do solo, densidade, porosidade e umidade, foram avaliadas a partir de amostras indeformadas de solo coletadas nas profundidades entre 0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm. Além disso, foram determinadas a resistência do solo a penetração, a velocidade de infiltração de água no solo e os teores de carbono orgânico. A hipótese desse trabalho não foi confirmada, pois a presença de biomassa das gramíneas tropicais perenes, influenciou nos menores valores de densidade do solo e maiores valores de porosidade e umidade na área PA. Os estoques de carbono orgânico, compactação do solo e velocidade de infiltração na área de floresta foi semelhante a área de pastagem extensiva com histórico de pastagem.

**Palavras-chave:** Compactação do solo. Cerrado maranhense. Estoque de carbono orgânico.



## ABSTRACT

The replacement of vegetation cover for the implementation of agricultural crops and pastures, associated with the absence of conservationist management practices, led to changes in the physical, chemical, and biological characteristics of the soil. Therefore, the objective of this project will be to evaluate the impact of the implantation of agricultural systems in the physical attributes of the soil compared to an area of native vegetation not anthropized in the Cerrado biome. The project is based on the hypothesis that the conversion of native vegetation of the Cerrado biome into agricultural systems decreased soil organic carbon stocks, increased soil compaction and reduced the rate of water infiltration into the soil. To validate this hypothesis, the experiment will be conducted in a private rural property, located in the municipality of Porto Franco, in the western region of the state of Maranhão, inserted in the Cerrado Maranhense biome. The experimental design will be completely randomized, in areas of forest, extensive pasture and abandoned pasture with a history of agriculture, with five replications. Soil physical characteristics, density, porosity and moisture, were evaluated from undisturbed soil samples collected at depths between 0-5; 5-10; 10-20 and 20-30 cm. In addition, soil penetration resistance, soil water infiltration rate and organic carbon contents were determined. The hypothesis of this work was not confirmed, as the presence of biomass of perennial tropical grasses influenced the lowest values of soil density and higher values of porosity and moisture in the PA area. The organic carbon stocks, soil compaction and infiltration velocity in the Forest area were like the extensive pasture area with pasture history.

**Keywords:** Soil compaction. Cerrado Maranhao. Organic carbon stock.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	8
<b>2.1 GERAL</b> .....	8
<b>2.2 ESPECÍFICOS</b> .....	8
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	9
<b>3.1 CERRADO MARANHENSE</b> .....	9
<b>3.2 ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO</b> .....	10
<b>3.3 INDICADORES FÍSICOS DA QUALIDADE DO SOLO</b> .....	10
3.3.1 Densidade do solo.....	11
3.3.2 Porosidade .....	11
3.3.3 Resistência do solo a penetração .....	12
3.3.4 Velocidade básica de infiltração de água no solo.....	12
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	13
<b>4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL</b> .....	13
<b>4.2 HISTÓRICO DO USO DA TERRA DAS TRÊS ÁREAS ESTUDADAS</b> .....	14
<b>4.3 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO</b> .....	15
<b>4.4 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO</b> .....	17
4.4.1 Estoque de carbono orgânico.....	17
4.4.2 Atributos físicos.....	18
<b>4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	20
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	25
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	26



## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso de extrema importância dentro da esfera em que vivemos, principalmente quando trata-se de sustentabilidade. O solo possui a capacidade de promover a produção de alimentos, fibra e energia, sendo fundamental na proteção ambiental e exercendo funções, como: meio para o crescimento vegetal, estoca e promove a ciclagem de nutrientes e a regulação do fluxo da água para o lençol freático (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2020).

Assim, a forma como a terra é explorada influencia diretamente nos atributos do solo, principalmente a conversão de vegetação nativa em cultivos agrícolas (BARROS et al., 2020). A prática de sistemas agropecuários, geralmente, afeta a qualidade do solo, conforme a modalidade de manejo adotado (MEDEIROS et al., 2020). Por esse motivo, a atenção da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (2020), sobre os impactos socioeconômicos e ambientais exercidos pela substituição da cobertura vegetal nativa por áreas de atividade agrícola.

Adicionalmente, a qualidade física dos solos destaca-se dentro do estudo relacionados à sustentabilidade de agroecossistemas. Os principais atributos físicos utilizados como indicadores de qualidade do solo são textura, espessura de horizontes, densidade do solo, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção de água, estabilidade de agregados e condutividade hidráulica (ARAÚJO et al., 2012).

Embora haja várias pesquisas relacionadas aos impactos das mudanças do uso da terra nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, resultados considerando as condições edafoclimáticas no bioma Cerrado maranhense são escassos. O estudo é baseado na hipótese de que a conversão da vegetação nativa do bioma Cerrado em sistemas agropecuários diminuiu os estoques de carbono orgânico do solo, aumenta a compactação do solo e reduz a velocidade de infiltração de água no solo.





### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Cerrado Maranhense

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupa cerca de 24% do território, área equivalente a 204 milhões de hectares. Constitui um dos biomas brasileiros mais alterados, devido à ocupação humana nas últimas décadas (EMBRAPA, 2020). O Cerrado atrai atenções internacionais, pela sua ampla biodiversidade, abrigando mais de 11 mil espécies de plantas nativas já catalogadas (MMA, 2018). Possui característica biofísicas que associadas a fatores históricos sociais, econômicos e tecnológico caracterizam a região com grande variedade de uso e ocupação (LIBANO et al., 2006).

No Cerrado estão presentes 11 diferentes fisionomias de vegetação, que abrangem: formações florestais, representadas por áreas com predomínio de espécies arbóreas com formação de dossel, savânicas e campestres (EMBRAPA, 2008). A vegetação do cerrado é tipicamente caracterizada pela presença de troncos tortuosos, baixo porte, ramos retorcidos, casca espessas e folhas grossas (MEDEIROS, 2011).

O bioma Cerrado ocupa 64,1% da área do território do Maranhão, constituindo o maior bioma do Estado, seguido do bioma amazônico com 34,8% e Caatinga com 1,1% (EMBRAPA, 2016). A Aliança pelo Clima e Uso da Terra “Consulting – Clua” (CEA CONSULTING, 2016) destaca que o Matopiba, que corresponde aos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, situados na zona norte do Cerrado, é uma das fronteiras primárias da agricultura no Brasil evidenciando a relevância de estudos que visem entender os efeitos da antropização do solo em áreas de cerrado.

A conversão da vegetação nativa do cerrado em pastagem foi impulsionada na década de 60, pelo governo que pretendia ocupar rapidamente o território brasileiro (BRAZ et al., 2004). Assim, a substituição da cobertura vegetal para implementação de cultivos agrícolas ou implantação de pastagens, associada a práticas de manejo (adequadas ou não), acarretaram na alteração das características morfológicas, físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA et al., 2018). Portanto, estudos que visem entender essa dinâmica são de suma importância para garantir a pleno e correto uso do solo.



### 3.2 Estoque de carbono orgânico

A conversão de vegetação nativa em sistemas agrícolas exercer uma grande influência no destino do carbono estocado nos solos. Mudanças no uso da terra alteram os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de C e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera (DORAN e PARKIN, 1994). Dependendo das características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório de C (FERNANDES, 2008).

Além disso, a introdução do carbono como matéria orgânica no solo, contribui para a estabilidade do solo, referente a formação de agregados do solo (STEFFENS et al., 2008). Os agregados do solo são os principais encarregados de resguardar a matéria orgânica da oxidação microbiana, também são responsáveis por mantêm a estrutura do solo, permitido o fluxo de nutrientes, água e gases (JONES; DONNELLY, 2004).

Contudo, as práticas de manejo podem alterar a densidade do solo e, assim, ao se considerar uma mesma profundidade de uma área cultivada e de uma área sob vegetação nativa, as massas de solo serão diferentes, é indispensável realizar a correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo, para uma avaliação mais precisa quanto aos impactos de atividades antrópicas sobre os estoques de C do solo a exemplo os diferentes tipos de manejo de solo (FERNANDES, 2013).

### 3.3 Indicadores físicos da qualidade do solo

O conceito de qualidade e produtividade do solo foi amplamente discutido principalmente, a partir do lançamento, em 1993, do livro "Soil and water quality: an agenda for agriculture", pelo "Board on Agriculture of the National Research Council", que apresenta a qualidade do solo como um bom indicador na determinação da qualidade ambiental. A definição mais difundida de qualidade de solo é a capacidade de um tipo específico de solo de funcionar, dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais e a qualidade da água através da promoção da saúde humana e habitação (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

Em conjunto as alterações antrópicas afetam os recursos naturais solo, água e ar, que resulta na redução da qualidade do solo, disponibilidade de nutrientes, erosão, contaminação de corpos d'água superficiais e subterrâneos (SILVA et al., 2018).



A exploração intensiva nos agrossistemas, associada à falta de boas práticas de manejo são, do ponto de vista conservacionista, um desafio para a conservação do bioma cerrado (ROCHA et al., 2013). O pisoteio excessivo, a alta taxa de lotação de animais e a ausência de reposição dos nutrientes são consideradas as principais causas da compactação, acidificação do solo, perda de matéria orgânica e perda de solo por erosão hídrica (FERREIRA e FILHO, 2010).

Cardoso (2020), destaca a qualidade física de solos com um importante elemento de sustentabilidade, e afirma que os indicadores físicos e químicos de qualidade do solo são indispensáveis para a manutenção do sistema agrícola produtivo.

Entre os principais indicadores físicos de qualidade de solo, estão a textura, estrutura, densidade, porosidade, resistência mecânica do solo à penetração, profundidade em que as raízes crescem, capacidade de água disponível, taxa de infiltração de água no solo, retenção e disponibilização de água às plantas (EMBRAPA, 2006; DORAN e PARKIN, 1994).

### 3.3.1 Densidade do solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) visa medir a densidade média de um volume conhecido de um solo através da relação entre a massa de solo seco e seu volume, estando relacionada com a porosidade e composição orgânica do solo (DOS SANTOS et al., 2018; SILVA et al., 2014).

Cardoso (2020), admite para valores normais de  $D_s$ , os intervalos de 1,2 a 1,9 g cm<sup>-3</sup> para solos arenosos, de 0,9 a 1,7 g cm<sup>-3</sup> para solos argilosos. Áreas cultivadas e pastagens mal manejadas estão associados a altos valores de  $D_s$ . Contudo, para altos valores de compactação admite-se limites críticos em torno de 1,65 g cm<sup>-3</sup> para solos arenosos e 1,45 g cm<sup>-3</sup> para solos argilosos, valores acima do limite crítico oferecem riscos de restrição ao crescimento radicular das plantas (REINERTE et al., 2006).

### 3.3.2 Porosidade

A porosidade total é uma fração do volume total de um volume determinado, que está sujeito a ser ocupado por água e/ou ar, e pode ser definida como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo (TEIXEIRA et al., 2017).

A porosidade é classificada em classes, referentes à sua distribuição e tamanho: micro e macroporosidade (DOS SANTOS et al., 2018). De forma que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis



pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo (CARDOSO et al., 2020).

### 3.3.3 Resistência do solo a penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RSP) é um dos atributos da qualidade física do solo que mais restringem o desenvolvimento radicular das plantas (SILVA et al., 2012). A RPS é determinada por meio de penetrômetros, que são equipamentos de ação mecânica no solo, determinando a resistência que este oferece à sua penetração. Altos valores de RSP estão diretamente relacionados a altos valores de DS, o que conseqüentemente limitam o desenvolvimento radicular (CARNEIRO et al., 2009).

### 3.3.4 Velocidade básica de infiltração de água no solo

Vários são os fatores do solo que interferem na da velocidade básica de infiltração (Vib). Esses fatores estão associados às propriedades físicas do solo, da própria água, e do tipo de manejo utilizado, textura, estrutura e porosidade são alguns dos fatores apontados como responsáveis pelas variações nos valores da velocidade de infiltração básica de água nos solos (NASCIMENTO et al., 2020; BRANDÃO et al., 2016; SALES et al., 1999).

Além disso, solos com boa qualidade física permite maior armazenamento de água e boa circulação interna, configurando como uma zona de recarga hídrica que propicia uma alta disponibilidade de água para as plantas (PEREIRA et al., 2019). As altas taxas de infiltração são proporcionais à diminuição da taxa de escoamento superficial que acarreta menores perdas de solo e nutrientes, além da manutenção do material orgânico nas camadas superficiais do solo, a exemplo das áreas de vegetação nativa que apresentam cobertura vegetal permanente, facilita a infiltração da água no solo apresentando valores superiores de Vib (NASCIMENTO et al., 2020).

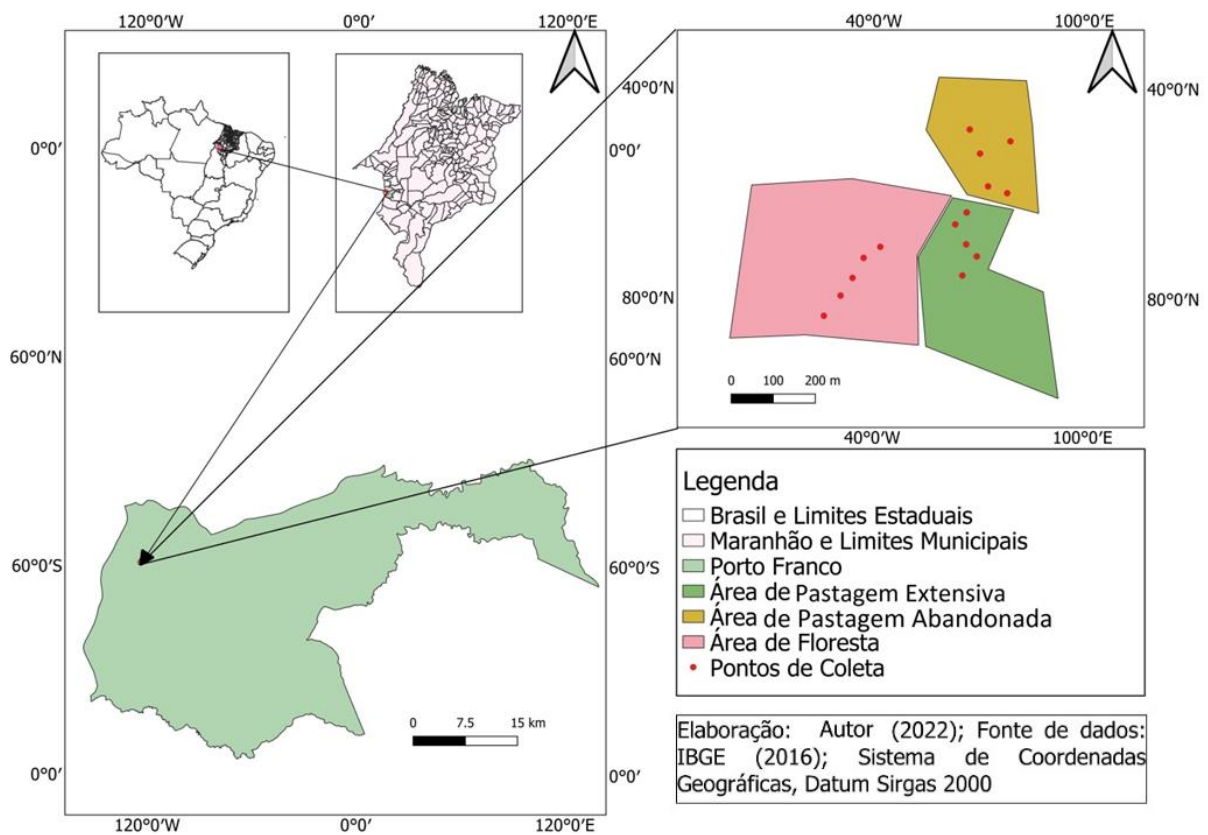


## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da Área Experimental

O trabalho foi conduzido na Fazenda Santa Elisa, localizada no município de Porto Franco, na região Oeste estado do Maranhão (Latitude: 6° 20' 29" Sul, Longitude: 47° 24' 6" Oeste), à 164 metros de altitude, inserida no bioma Cerrado Maranhense (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área experimental no município de Porto Franco, no Oeste do Estado do Maranhão.



**Fonte:** Autor (2022).

A região possui clima caracterizado como AW<sup>3</sup>, segundo a classificação de Köppen e Geiger, com duas estações bem definidas. A estação chuvosa se estende de novembro a maio e a estação seca, entre os meses de junho a outubro. A temperatura média anual é 25,1 °C, com índice pluviométrico de 1.418 mm. A área apresenta relevo plano e o solo foi classificado no local como LATOSSOLO VERMELHO (DOS SANTOS et al., 2018).

Foram avaliadas três áreas: Floresta (FL) (Figura 2a), área de pastagem abandonada (PA) (Figura 2b), e pastagem extensiva com histórico de agricultura (PE) (Figura 2c). As três

áreas são adjacentes, separadas por cercas e caracterizadas por apresentar a mesma classificação de solo (INDE, 2020).

**Figura 2.** Imagens da área de floresta (FL) (a), área de pastagem extensiva abandonada (PA) (b) área de pastagem extensiva com histórico de agricultura (PE) (c) após a colheita de soja, no Oeste do Estado do Maranhão.



Fonte: Autor (2021).

## 4.2 Histórico do uso da terra das áreas estudadas

O fragmento de floresta (FL) se encontra preservada desde o processo de ocupação da propriedade. Na área de PA, a pastagem foi implantada na década de 70, constituída por braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). Nesta área não há histórico de aplicação de fertilizantes minerais, apenas roçagem, a cada dois anos, e aplicação de herbicidas esporadicamente. A taxa de lotação é desconhecida, pois não há controle do trânsito e a quantidade de animais nas áreas. A área encontra-se em processo de degradação, observado pela presença da vegetação de porte baixo que crescem em áreas abandonadas, popularmente denominada juquirá.

Próximo às duas áreas descritas, encontra-se a área PE, na qual foi cultivada soja em dezembro de 2020. No histórico da área PE, a vegetação nativa foi retirada gradualmente entre 1983 e 1986, e convertida em cultivo de arroz e milho. Em 1986, os cultivos foram substituídos por gramínea *Urochloa brizantha* cv. Marandu e capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth). Entre 2002 e 2014, a área foi cultivada com cana-de-açúcar, em dois plantios e onze colheitas.

Para o cultivo da cana-de-açúcar, o solo foi submetido à gradagem, nivelamento e subsolagem, seguido de abertura de sulcos com 30 cm de profundidade, espaçados em 1,50 m. A fertilização ocorreu de acordo com a análise de solo, porém não há registros das quantidades de fertilizantes utilizados. As colheitas foram realizadas com despalha à fogo e

corte manual. Após 2014, a área voltou a ser manejada para pecuária extensiva, pelo surgimento de remanescentes de capim braquiária e andropogon.

Em outubro de 2020 foi realizada a limpeza da área (PE) através da utilização de uma pá carregadeira, seguida de gradagem, com grade acoplada a um trator de pneu. A fertilização aplicada no momento do plantio foi de 100 kg de fósforo e 80 kg de potássio por hectare. As cultivares comerciais utilizadas foram HO Juruena e FTS 4280, com 220 mil e 240 mil plantas por hectare, respectivamente, ambas com espaçamento de 0,5 m.

### 4.3 Coleta de amostras do solo

Nas áreas FL, PA e PE foram coletadas amostras indeformadas de solo para avaliação da densidade do solo, porosidade do solo, umidade com base em massa e umidade volumétrica, bem como a determinação da resistência mecânica do solo à penetração, a velocidade básica de infiltração de água no solo. Foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação do estoque de carbono orgânico do solo. A coleta das amostras foi realizada no final do período chuvoso na região, maio de 2021.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em que cada uma das áreas descritas anteriormente representa um tratamento (PA, PE e FL). Para cada área foi delimitada uma gleba representativa de aproximadamente 0,75 ha, composta de cinco unidades amostrais equidistantes 50 m metros entre si, totalizando cinco repetições para cada área de estudo (Figura 1). Cada ponto de coleta foi registrado com auxílio de um GPS (*Global Positioning System*).

As amostras deformadas e indeformadas foram coletadas utilizando anéis cilíndricos, com volume conhecido de 100 cm<sup>3</sup>. Em cada uma das quatro unidades amostrais foram abertas trincheiras com dimensões de 30 cm x 30 cm x 50 cm. Os anéis volumétricos foram inseridos no solo de forma paralela ao plano do terreno, realizada três repetições por trincheira, em quatro profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm (Figura 3).



**Figura 3.** Coleta das amostras indeformadas de solo nas profundidades 0-5 cm (a), 5-10 cm (b), 10-20 cm (c) e 20-30 cm (d), no Oeste do Estado do Maranhão, bioma Cerrado.



Fonte: Autor (2021).

Próximos aos locais de coleta das amostras indeformadas, a resistência mecânica do solo à penetração foi determinada com a utilização de penetrômetro de impacto, de acordo com a metodologia de Stolf (1991) (Figura 4). Foi utilizado um penetrômetro da marca Sonda Terra®, produzido em aço inoxidável 304, capaz de realizar os registros em camadas de até 60 cm de profundidade.

**Figura 4.** Determinação da resistência mecânica do solo à penetração na Área de pastagem extensiva (PE), utilizando um penetrômetro de impacto.



Fonte: Autor (2021).

A velocidade básica de infiltração (Vib) foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Brandão (2006), em três unidades amostrais por área. Essa metodologia consiste em dois anéis que são posicionados de forma concêntrica no solo. O interno apresenta diâmetro de 300 mm e o externo de 600 mm, sendo ambos com altura de

aproximadamente 300 mm (Figura 5). Os anéis, cujas bordas são biseladas, são cravados verticalmente no solo, deixando-se uma borda livre superior a 150 mm. O anel externo tem como finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em uma direção predominantemente vertical, o que evita superestimava da taxa de infiltração.

**Figura 5.** Determinação da velocidade básica de infiltração ( $V_{ib}$ ) na área de pastagem extensiva (PE) utilizando anéis de infiltração, no Oeste do Estado do Maranhão, bioma Cerrado.



Fonte: Autor (2021).

## 4.4 Avaliação dos atributos do solo

### 4.4.1 Estoque de carbono orgânico

A determinação do estoque de carbono orgânico no solo (ECO) foi realizada por via úmida, pela oxidação com o dicromato de potássio, e quantificado os provenientes de materiais orgânicos facilmente oxidáveis ou decomponíveis. Contudo, os teores de carbono orgânico foram determinados seguindo a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) e corrigida com base em Carvalho et al. (2009) (Equação 1).

$$EstC = \frac{[(C_s * D_s) * \left(\frac{D_{ref}}{D_s} * e\right)]}{10} \quad (1)$$

Em que:

EstC= estoque de C orgânico em determinada profundidade ( $Mg \cdot ha^{-1}$ );

$C_s$  = teor de C orgânico total na profundidade amostrada ( $g \cdot kg^{-1}$ );

$D_s$  = densidade aparente do solo na profundidade amostrada ( $kg \cdot dm^{-3}$ );

$D_{ref}$  = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência ( $kg \cdot dm^{-3}$ );



$e$  = espessura da camada considerada (cm).

#### 4.4.2 Atributos físicos

Nas amostras indeformadas foram determinados os valores da densidade do solo ( $D_s$ ) (Equação 2), umidade com base em massa (UMM) (Equação 3) e umidade volumétrica (UMV) (Equação 4) e a porosidade total (PR) (Equação 5). Com auxílio do penetrômetro foi determinado a resistência do solo à penetração (RSP) (Equação 7).

A densidade do solo foi obtida através da seguinte equação:

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad (2)$$

Em que:

$D_s$  – densidade do solo, em  $\text{kg dm}^{-3}$  (equivalente a  $\text{g cm}^{-3}$ );

$m_a$  – massa da amostra de solo seco a  $105^\circ\text{C}$  até peso constante, em g;

$V$  – volume do cilindro, em  $\text{cm}^3$ .

A umidade com base em massa foi obtida através da seguinte equação:

$$UMM = \frac{m_a}{M_s} \quad (3)$$

Em que:

UMM = umidade com base em massa ( $\text{g g}^{-1}$ );

$m_a$  = massa de água (g) (massa úmida do solo – massa seca);

$M_s$  = massa seca (g).

A umidade com base em volume foi obtida através da seguinte equação:

$$UMV = UMM * D_s \quad (4)$$

Em que: UMV = umidade com base em volume ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );



UMM = umidade com base em massa ( $\text{g g}^{-1}$ );

DS = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

A porosidade total foi obtida através da seguinte equação:

$$P_t = \frac{[(a - b) - (c - d)]}{e} \quad (5)$$

Em que:

Pt – Porosidade total, em  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

a – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

b – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga seco a  $105^\circ\text{C}$ , em kg.

c – massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

d – massa do conjunto cilindro-tecido-liga seco a  $105^\circ\text{C}$ , em kg.

e – volume total da amostra, em  $\text{m}^3$ .

Nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro, que pode ser estimado por:

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (6)$$

Em que:

Vc – volume do cilindro, em  $\text{m}^3$ .

r – raio do cilindro, em m.

h – altura do cilindro, em m.

Os valores da resistência mecânica à penetração foram obtidos pela seguinte equação:

$$RP = \left( \frac{M \cdot g \cdot h}{A} * x \right) * \left( \frac{M}{M} + m \right) + \left( M + \frac{m}{a} \right) g \quad (7)$$

Em que:

RP = Resistência mecânica a penetração;

M (massa que provoca o impacto) = 4 kg;



A (área da base do cone) =  $1,29 \times 10^4 \text{ cm}^2$ ; g (gravidade) =  $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ;  
m (massa dos demais componentes do penetrômetro excluída a de impacto) =  $3,2 \text{ kg}$ ;  
h (altura de queda da massa que provoca o impacto) =  $0,4 \text{ m}$ ;  
x = penetração unitária ocasionada por um impacto ( $-\text{cm impacto}^{-1}$ ).

#### 4.5 Análise estatística

Para garantir a análise de premissas de variância (ANOVA), os resultados foram primeiramente verificados quanto à normalidade e homoscedasticidade, pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de probabilidade, respectivamente. Os resultados foram submetidos à análise fatorial (usos do solo x profundidades) e, em caso de diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para a variável ECO apresentaram interação significativa entre os usos do solo e as profundidades avaliadas. Na área de PA, os maiores valores médios de ECO foram registrados até os 20 cm de profundidade, quando comparada às áreas PE e FL, que não diferenciaram estatisticamente entre si. O ECO diminuiu com a profundidade para todas as áreas avaliadas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios de estoque de carbono orgânico no solo (ECO) em amostras de solo coletadas em áreas de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, no Oeste do Estado do Maranhão.

Profundidade (cm)	USOS DA TERRA		
	PA	PE	FL
	ECO (Mg C ha <sup>-1</sup> )		
0–5	16,07 aA	9,86 aB	10,26 aB
5–10	13,10 abA	8,60 aB	7,40 abB
10–20	10,53 bA	8,25 aB	6,02 bB
20–30	7,12 cA	6,69 bA	5,35 bA
Total	46,80	33,40	29,00
CV (%)	14,88		

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna indica não haver diferença significativa entre profundidade, e as médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica não haver diferença significativa entre usos da terra, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

**Fonte:** Autor (2022).

O teor de carbono no solo está diretamente relacionado a adição de material orgânico, por meio da senescência de componentes da biomassa acima e abaixo do solo, associado ao maior acúmulo de serrapilheira e à maior entrada de material orgânico no sistema solo-planta (DENARDIN et al., 2012).

A justificativa para área de PA possuir maior ECO se deve a capacidade das gramíneas perenes tropicais de metabolismo C4, como as pastagens de capim braquiária, proporcionarem grande aporte de C após a morte das raízes (MOREIRA, 2006). De acordo com Pulrolnik et al. (2009), as gramíneas tropicais são muito importantes para o acúmulo de carbono nos solos do Cerrado, onde são responsáveis por 50% do aporte de C derivados de suas raízes finas (WILCKE & LILLENFEIN, 2004). Costa et al. (2009) explicam que solos sob pastagens apresentam estoque de carbono iguais ou superiores aos encontrados em ambiente de mata nativa, devido ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado pelas raízes. Este fato é

aliado à ausência de manejo da pastagem na área abandonada (PA), a proliferação de espécies espontâneas nativas foi favorecida.

Não houve interação significativa entre os fatores usos da terra e profundidade sobre as variáveis PR, DS, UMV e UMM, no entanto houve efeitos isolados de ambos os fatores. A área de PA apresentou os maiores valores médios para as variáveis PR, UMV e UMM, com diferença estatística em relação a PE e FL, que não apresentaram diferença entre si para as mesmas variáveis. O maior valor de DS foi observado na área PE, seguido pelas áreas FL e PA (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores médios de porosidade (PR), densidade do solo (DS), umidade volumétrica (UMV) e umidade com base em massa (UMM) em amostras de solo coletadas na área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades de 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm.

Fator		PR (%)	DS (g cm <sup>-3</sup> )	UMV (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	UMM (g g <sup>-1</sup> )
Usos da Terra	PA	23,77 a	1,26 c	0,23 a	0,20 a
	PE	18,08 b	1,68 a	0,18 b	0,11 b
	FL	16,07 b	1,39 b	0,17 b	0,12 b
Profundidade (cm)	0–5	19,52 ab	1,51 a	0,20 a	0,13 <sup>ns</sup>
	5–10	19,92 a	1,49 a	0,20 a	0,14 <sup>ns</sup>
	10–20	21,1 4a	1,43 ab	0,21 a	0,15 <sup>ns</sup>
	20–30	17,18 b	1,33 b	0,16 b	0,14 <sup>ns</sup>
CV (%)		20,63	16,21	20,31	27,01

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por <sup>ns</sup> não diferem entre si pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

De acordo com Reinerte et al. (2006), densidade do solo acima dos valores críticos, 1,65 g dm<sup>-3</sup> para solos arenosos e 1,45 g dm<sup>-3</sup> para solos argilosos, podem limitar o desenvolvimento radicular das plantas. A DS na área de PE atingiu 1,68 g cm<sup>-3</sup>, valor que indica que a densidade do solo está acima do limite crítico, podendo afetar o desenvolvimento radicular e o acesso à água e nutrientes. As médias de DS para as áreas de PA e FL estão abaixo do valor crítico, indicando que não há limitações para o crescimento radicular sob esses dois usos da terra.

A área de PA apresentou o maior valor de ECO e o menor valor para a DS. Braida et al. (2010) afirma que o acúmulo de matéria orgânica no solo está associado a susceptibilidade à compactação do solo, onde a deposição de matéria orgânica no solo contribui para a redução

da DS, devido à baixa densidade em relação a dos sólidos minerais do solo, como foi verificado neste estudo. A área PA apresentou o maior PR, demonstrando que a pastagem tem efeito na estruturação do solo, onde promove o aumento da porosidade total.

A área de PE apresentou a maior média de DS. De acordo com Moreira et al. (2005), os altos valores para DS encontrados em solos cultivados são associados a pastagens mal manejadas, principalmente devido ao excesso de carga animal, ocasionada por diferentes lotações sobre as pastagens, e a redução da matéria orgânica, que nesta área foi provocada pela operação mecanizada, a qual acelerou a oxidação da matéria orgânica.

Os valores médios de PR foram menores em PE e FL e diminuem com profundidade. Solos com maiores valores de DS apresentam menor porosidade total (SERPA et al., 2020). Valores de umidade estão diretamente correlacionados a teor de matéria orgânica (DALCHIAVON, 2014). Os valores de UMM e UMV foram maiores em PA, justificado pelo maior ECO demonstrado na tabela 1. As áreas de PE e FL não apresentaram diferença significativa para UMM e UMV.

Não foi verificada diferença para a RSP entre as áreas na profundidade de 0 - 5 cm de profundidade. Os maiores valores médios para RSP foram observados na área de PA na profundidade 5-10 cm (Tabela 4).

**Tabela 4.** Valores médios de resistência mecânica do solo à penetração (RSP) em área de pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL) nas profundidades de 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm e 30–40 cm, no Oeste do Estado do Maranhão.

Profundidade (cm)	USOS DA TERRA		
	PA	PE RSP (MPa)	FL
0–5	0,13 cA	0,13 bA	0,13 dA
5–10	0,87 bA	0,33 bB	0,47 cdAB
10–20	1,21 bA	1,04 aA	0,96 bcA
20–30	1,06 bA	1,26 aA	1,45 bA
30–40	1,90 aB	1,17 aC	2,4 Aa
CV (%)		37,21	

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna indica não haver diferença significativa entre profundidade e médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica não haver diferença significativa entre usos da terra pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

Conforme Girardello et al. (2014), o valor crítico de resistência à penetração é de 3,0 MPa para o Latossolo Vermelho. Valores acima do limite crítico podem restringir, ou impedir, o desenvolvimento radicular em solos secos (SILVA et al. 2012). Os resultados de

RSP foram semelhantes ao encontrado no trabalho de Carneiro et al. (2009), onde a RSP encontrada em áreas de cultivos agrícolas foi similar a encontrada na área de Floresta Nativa do Cerrado.

De acordo com Souza e Alves (2003), o intenso pisoteio de animais causam mudanças na RSP do solo. Em oposição a essa afirmação, os valores de RSP encontrados nas camadas de 0-5 cm desse estudo, foram iguais para todas as áreas independente do uso, incluindo FL, na qual não houve trânsito de animais. Segundo Cassol (2003), o pisoteio animal causa efeito sobre as propriedades físicas do solo nas suas camadas mais superficiais, e pode ser temporário e reversível.

Não houve diferença significativa entre as médias de Vib nas áreas estudadas (Tabela 4). Segundo Bono et al (2001) a velocidade de infiltração básica é reduzida em áreas de lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária quando comparadas a solos com vegetação nativa no Cerrado. Porém, devido ao elevado coeficiente de variação, o efeito do manejo do solo não foi verificado para esta variável.

**Tabela 4.** Valores médios de velocidade básica de infiltração (Vib) em áreas pastagem abandonada (PA), pastagem extensiva (PE) e floresta (FL), no Oeste do Estado do Maranhão.

	USOS DA TERRA		
	PA	PE	FL
	Vib (mm h <sup>-1</sup> )		
	92 <sup>ns</sup>	264 <sup>ns</sup>	327 <sup>ns</sup>
CV (%)	43,48	73,15	4,09

Médias seguidas por <sup>ns</sup> não diferem entre usos da terra pelo teste ANOVA a 5% de probabilidade

Fonte: Autor (2021).

A área de FL apresentou o menor CV, obtendo uma taxa de infiltração estável e de maior valor em relação as outras áreas, resultados similares ao de Bertol et al. (2001) e Bono et al. (2001), que afirmam ser um bom indicativo de boa estrutura física de solos com vegetação nativa no Cerrado. A remoção da FL e implantação de pastagem ou lavoura, reduzem a velocidade de infiltração básica de água no solo (DA SILVA et al.,1998).

## 6 CONCLUSÃO

A hipótese desse projeto não foi confirmada, pois a conversão da vegetação nativa do bioma Cerrado em sistemas agropecuários não diminuiu os estoques de carbono orgânico do solo. A biomassa subterrânea das gramíneas tropicais perenes, aliada à ausência de mecanização, proporcionou maior estoques de carbono orgânico na área de pastagem abandonada, o que influenciou nos menores valores de densidade do solo e maiores valores de porosidade e umidade nesta área. Os estoques de carbono orgânico, compactação do solo e velocidade de infiltração na área de Floresta foi semelhante à área de pastagem extensiva com histórico de pastagem.



## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E.A. KER, J.C. NEVES, J.C.L. LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, atributos e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- BARROS, Deni Rafaela Silva *et al.* Impactos dos sistemas agrícolas e pastagem nos estoques de carbono, nitrogênio e qualidade do solo no semiárido brasileiro. 2020.
- BENASSI, Caetano. **Qualidade de um latossolo manejado com plantio direto sob rotações após três anos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.
- BERTOL, Ildgardis *et al.* Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 555-560, 2001.
- BONO, José Antonio Maior *et al.* Infiltração de água no solo em um LATOSSOLO VERMELHO da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1845-1853, 2012.
- BORGES, Elias Nascentes *et al.* Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1663-1667, 1999.
- BRAIDA, João A. *et al.* Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um NITOSSOLO e um ARGISSOLO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 131-139, 2010.
- BRAZ, Sérgio Pereira *et al.* Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo "input" tecnológico na região dos cerrados. **Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2004.
- CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Caracterização das propriedades físicas de um PLANOSSOLO sob pastagem. In: **Congresso Latino Americano de Ciência do Solo**. 1996.
- CARDOSO, CARLOS REINIER GARCIA. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de diferentes rotações de culturas**. 2020. Tese (Doutorado) – Curso Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.
- CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009.



CASSOL, Luis Cesar. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** 2003.

CEA CONSULTING. **Desafios e oportunidades para conservação, produção agrícola e inclusão social no bioma do Cerrado.** 2016. Disponível em: [climateandlandusealliance.org/wpcontent/uploads/2016/09/Cerrado\\_ES\\_pt.pdf](http://climateandlandusealliance.org/wpcontent/uploads/2016/09/Cerrado_ES_pt.pdf). Acesso em: 10 de mar. 2021.

COSTA, Adilson Alves *et al.* Atributos físicos e estoque de carbono em áreas sob diferentes formas de uso do solo no Cerrado do Oeste da Bahia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 32294-32306, 2020.

COSTA, Oldair Vinhas *et al.* Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

DA SILVA, Cícero Lopes; KATO, Eiyti. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 1149-1158, 1998.

DALCHIAVON, Flávio Carlos *et al.* Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Revista Ceres**, v. 61, p. 255-264, 2014.

DENARDIN, Rosiane Berenice Nicoloso *et al.* Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó-SC. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 59-69, 2014.

DE OLIVEIRA SILVA, Michelangelo *et al.* Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

DORAN, John W.; PARKIN, Timothy B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 1-21, 1994.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

DE SOUZA, Fernando Gomes *et al.* ATRIBUTOS FÍSICOS, MINERALOGIA E COMPACTAÇÃO DO SOLO EM AMBIENTES NATURAIS NO EXTREMO NORTE DA AMAZÔNIA, BRASIL. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 154-167, 2019.

EMBRAPA. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais / Luciana Spinelli-Araújo et al.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções / Édson Luis Bolfe, Edson Eyji Sano, Silvia Kanadani Campos, editores técnicos.** – Brasília, DF. 2020.



EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FAO. **Sítio Agricultura de Conservação**. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ca/es/>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. **Embrapa Pantanal-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2013.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. **Embrapa Pantanal-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2008.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. **Effects of pasture system management on physical properties**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez. 2010.

GIRARDELLO, Vitor Caduro *et al.* Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em LATOSSOLO ARGILOSO manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1234-1244, 2014.

JONES, Michael B.; DONNELLY, Alison. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>. **New Phytologist**, Cambridge. v. 164, n. 3, p. 423-439, 2004.

KARLEN, D. L.; Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997

KLEIN, Vilson Antonio. Densidade relativa-um indicador da qualidade física de um LATOSSOLO VERMELHO. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEINPAUL, Isabel Sandra *et al.* Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus sp.* e floresta estacional decidual. **Revista árvore**, v. 29, n. 6, p. 965-972, 2005.

KLINK, CARLOS A.; MACHADO, RICARDO B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LIBANO, Andrea Marilza; FELFILI, Jeanine Maria. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 927-936, 2006.

LÚCIO, Alessandro Dal Col; STORCK, Lindolfo. Relação entre diferença mínima significativa e coeficiente de variação nos ensaios de competição de cultivares. **Ciência Rural**, v. 28, p. 225-228, 1998.

MACHADO, RICARDO B. **Estimativa de perda da área do Cerrado brasileiro**. 2016.



MEDEIROS, A. S. *et al.* Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, p. 106690, 2020.

MEDEIROS, J. de D. **Guia de campo: vegetação do Cerrado 500 espécies**. 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Inventário chega a quase 80% do Cerrado**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/noticia-acom-2018-02-2843>. Acesso em: 19 de mar. 2021

MOREIRA, José Aloísio Alves *et al.* Atributos químicos e físicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2005.

NASCIMENTO, Silvânia Maria de Souza Gomes *et al.* Umidade inicial e velocidade de infiltração básica da água no solo em diferentes agroecossistemas do Campus III da UFPB. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

PEREIRA, Diely Cristina *et al.* Estimativa da velocidade de infiltração básica em solos sob regeneração vegetativa. **Terr@ Plural**, v. 13, n. 1, p. 124-137, 2019.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p. 27:29-48, 2003.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, Dalvan José. 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.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

Ribeiro, J. F & Walter, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora** v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

RIBEIRO, JOSÉ FELIPE; WALTER, BRUNO MACHADO TELES. Fitofisionomias do bioma Cerrado. **Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 1998.

ROCHA, Carlos Magno Campos da *et al.* Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, p. iv-vi, 2013.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Indicadores de qualidade em LATOSSOLOS compactados e suas relações com o crescimento do sistema radicular do milho. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 11, n. 3, p. 181-190, 2017.

SALES, LUÍS EDUARDO DE OLIVEIRA *et al.* Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2091-2095, 1999.

SEGNINI, Aline *et al.* Seqüestro de carbono em solos com gramíneas. **Embrapa Instrumentação-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.



SERPA, Kelvin Monson *et al.* Atributos físicos e teor de matéria orgânica em área de Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e131932399-e131932399, 2020.

SILVA, Átila Reis da *et al.* Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. 2012.

SILVA, R. F.; *et al.* Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema plantio direto no Cerrado. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.7, n.1, p. 60-74, 2018.

SOUZA, Zigomar M. de; ALVES, Marlene C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 18-23, 2003.

STEFFENS, M. *et al.* Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1–2, p.63-72, 2008.

SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches *et al.* Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em LATOSSOLO e ARGISSOLO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TEIXEIRA, Paulo César *et al.* Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa**, p. 573, 2017.

WILCKE, Wolfgang; LILIENFEIN, Juliane. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 3, p. 827-832, 2004.

ZANINI, Pedro Paulo Gonçalves *et al.* **Alterações na estrutura do solo e anisotropia dos poros sob pisoteio animal e tráfego de maquinário**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

