

# RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 19/08/2024.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**ENG.º AGRÔNOMO LUCAS MENEZES FELIZARDO**

**ESTOQUE DE CARBONO NOS BIOMAS BRASILEIROS COM  
ENFOQUE NO CERRADO E NO CULTIVO DE EUCALIPTO NO  
MATO GROSSO DO SUL**

Ilha Solteira

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Câmpus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

ENG.º AGRÔNOMO LUCAS MENEZES FELIZARDO

**ESTOQUE DE CARBONO NOS BIOMAS BRASILEIROS COM  
ENFOQUE NO CERRADO E NO CULTIVO DE EUCALIPTO NO  
MATO GROSSO DO SUL**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia -  
UNESP - Campus de Ilha Solteira, para obtenção do  
título de Doutor em Agronomia – Área de  
Conhecimento: Sistemas de produção

Orientadora: **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Luciene Maltoni**

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F316e Felizardo, Lucas Menezes.  
Estoque de carbono nos biomas brasileiros com enfoque no cerrado e no cultivo de eucalipto no Mato Grosso do Sul / Lucas Menezes Felizardo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022  
93 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Kátia Luciene Maltoni  
Inclui bibliografia

1. Uso do solo. 2. Resistência do solo a penetração. 3. Carbono orgânico.

  
Raiane da Silva Santos

# Folha de Julgamento



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Estoque de carbono nos biomas brasileiros com enfoque no Cerrado e no cultivo de Eucalipto no Mato Grosso do Sul


**AUTOR: LUCAS MENEZES FELIZARDO**

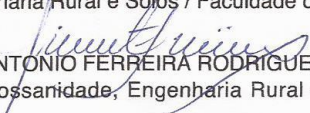
**ORIENTADORA: KÁTIA LUCIENE MALTONI**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
KÁTIA LUCIENE MALTONI  
Data: 25/08/2022 23:53:34-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> KÁTIA LUCIENE MALTONI (Participação Virtual)  
Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI (Participação Virtual)   
Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES (Participação Virtual)   
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> ELSANGELA DUPAS   
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. EPITÁCIO JOSÉ DE SOUZA (Participação Virtual)  
Departamento de Agronomia / UNIFEV

Assinado de forma digital por Epitácio José de Souza  
DN: cn=Epitácio José de Souza,  
email=epitacio.agro@gmail.com, c=BR  
Dados: 2022.08.26 16:42:35 -03'00'

Ilha Solteira, 19 de agosto de 2022

## **Dedicatória**

Dedico esta tese à minha esposa e à  
minha família pelo apoio de todas as horas.

*“Árvore do cerrado*

*Que sejamos como árvore do cerrado, podendo até ter o porte pequeno, porém tendo grande capacidade de amar. Apesar de sua casca ser rugosa, não torna a madeira sem valor e ainda a protege contra o fogo. Não esqueçamos o nosso valor! Suas características não surgiram por caso. Que tenhamos a capacidade de nos adaptar às intempéries da vida, como as árvores do cerrado têm quanto as intempéries climáticas. Assim como as árvores do cerrado buscam água nos lençóis mais profundos para saciar sua necessidade, que tenhamos raízes profundas, dando-nos suporte para buscar a esperança quando não houver mais água na superfície. Não deixemos de mostrar nossa beleza. Façamos como as árvores do cerrado fazem com suas flores em período seca. Que sejamos destaque em meio a paisagem, por pior que seja. Que possamos produzir frutos mesmo em terra de baixa fertilidade, como as árvores do cerrado. E como o cerrado tem uma importância fundamental para a vida de vários seres, você também tem um valor inestimável.”*

Ezequias Reis

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, por todo o amparo, sem o qual não teria sido possível passar por alguns dos empecilhos da vida.

À minha companheira Gláucia, pelo apoio em todos os momentos, sendo sempre meu escudo, minha espada e minha fortaleza.

À minha orientadora, a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Luciene Maltoni, pela orientação e contribuição ao estudo realizado. Por sempre acreditar e confiar no meu trabalho.

A todos os funcionários da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, que sempre que solicitados me deram o suporte necessário para a elaboração desse trabalho.

À grandiosa instituição Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia, que vem fazendo parte de minha vida nos últimos 5 anos.

Agradeço o apoio da empresa Eldorado por ter disponibilizado o acesso as áreas de coleta e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 por apoiar os programas de Pós-graduação da UNESP.



## RESUMO

A presença de carbono orgânico no solo e na biomassa vegetal é benéfica para as funções dos ecossistemas e está intimamente associada à redução dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Os estoques de carbono do solo são controlados por uma variedade de fatores climáticos e biogeoquímicos, sendo diretamente influenciados por mudanças no uso e ocupação do solo, em particular pela conversão de ecossistemas naturais em áreas cultivadas para agricultura e pecuária. Deste modo, objetivou-se com este trabalho estudar a presença de carbono orgânico no solo e os fatores que podem promover alteração no seu estoque (EstC). Para avaliar tais fatores, este trabalho foi dividido em três capítulos: No capítulo 1, foi realizado um estudo a partir de dados amostrais e resultados de simulações de estoque de carbono no solo, em seis biomas brasileiros (Cerrado, Amazônia, Pantanal, Caatinga, Mata-atlântica e Pampas), bem como verificar a contribuição dos fatores Bioma, Sistemas de uso do solo, Profundidade amostrada e o Tipo de dado (amostrado ou simulado) sobre o estoque de carbono dos solos. Apenas 42 trabalhos em mais de 200 artigos científicos foram qualificados para este estudo. Para analisar os dados, procedeu-se a análise de variância (ANOVA) seguindo o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, cujos fatores analisados foram o uso da terra, a camada do solo (0,0 – 0,10 e 0,0 – 0,20 m), o bioma e a interação entre eles, aplicando-se o teste F a 5% de probabilidade para detectar as diferenças dos fatores e a interação entre eles, e o teste de Scott-Knott a 5% foi utilizado para detectar diferenças entre as médias. Complementar à ANOVA, foi aplicada uma técnica com base na análise de componentes principais (CP), com o intuito de verificar a contribuição dos fatores de estudo analisados no EstC. Nos estoques de carbono amostrados de 0,0 – 0,20 m, houve diferença significativa no Bioma Pantanal, com estoques inferiores aos demais biomas na vegetação nativa bem como na pastagem, na interação uso da terra x Bioma Pampas. Nos dados simulados de 0,0 – 0,20 m foram observadas diferenças significativas para Mata Atlântica e Pantanal, com valores acima de 43 Mg ha<sup>-1</sup>, e para uso da terra na pastagem o estoque de pastagens do Pantanal foram obtidos os menores valores. Por meio da técnica CP, foi possível observar que o EstC se correlaciona com as práticas de conservação, permitindo inferir que as práticas agrícolas influenciam o estoque de carbono. No Capítulo 2, foi verificado o EstC em diferentes áreas de cultivo localizadas no Sudeste do Mato Grosso do Sul: pastagem degradada, cerrado natural e áreas de plantio de eucalipto em diferentes estádios de desenvolvimento (3, 5, 7, 10 e 14 anos) com coletas de solo realizadas nas linhas e

entrelinhas de plantio. Os dados obtidos foram analisados quanto a estatística descritiva e análise de variância (ANOVA), que seguiu o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial ( $5 \times 2 + 2$ ) com 4 repetições, sendo cinco anos de plantio de eucalipto (3, 5, 7, 10 e 14 anos), duas posições (linha e entrelinha) e dois tratamentos adicionais (cerrado e pastagem) em quatro profundidades (0,0 – 0,10, 0,10 – 0,30, 0,30 – 0,60 e 0,60 – 1,00 m). O teste F foi utilizado para detectar as diferenças dos fatores e das interações, o teste de Tukey para detectar as diferenças entre as médias dos anos de cultivo e o teste de Dunnett para comparações entre essas médias com as médias das testemunhas e entre testemunhas. Na análise do EstC as diferenças significativas de destaque foram encontradas na profundidade 0,30 – 0,60 m no ano 14, na entrelinha, para eucalipto ( $9,99 \pm 0,89 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Cerrado ( $9,88 \pm 0,62 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e pastagem ( $10,96 \pm 0,87 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e na profundidade 0,60 – 1,00 m no ano 14, na linha, para eucalipto ( $11,04 \pm 0,96 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Cerrado ( $14,47 \pm 0,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e pastagem ( $15,19 \pm 1,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Com base na análise dos dados ficou evidenciado que a preservação do Cerrado mantém o Carbono no solo e que no final dos ciclos do Eucalipto (7 e 14 anos) os valores estão próximos ao encontrado no Cerrado. Por fim, no Capítulo 3 foi avaliada a medição da resistência do solo à penetração (RP) por três metodologias a partir do penetrógrafo manual de molas (SC60), penetrômetro estático de bancada com 60 cm.c.a-coluna d'água (PEB60) e penetrômetro estático de bancada com 100 cm.c.a (PEB100), em 3 áreas de cultivo (eucalipto - EUCP, pastagem - PAST e cerrado conservado – CERC), em 3 profundidades (0 – 0,10; 0,10 – 0,30 e 0,30 – 0,60 m). Os dados obtidos foram convertidos para MPa (para resistência do solo à penetração), analisados quanto a estatística descritiva e análise de variância, sendo o teste F utilizado para detectar as diferenças dos fatores e as interações, e o teste Tukey para comparar as médias quando encontradas diferenças significativas. Foram verificados valores de RP acima de 1,9 MPa com o uso do SC-60 no eucalipto e na pastagem. Foram constatados valores de RP superiores, para pastagem nas profundidades de 0,10 – 0,30 m (1,50 Mpa), no SC60 em cultivo de eucalipto e pastagem (1,90 Mpa) e SC60 a partir da profundidade de 0,10 – 0,30 m (1,75 a 2,07 Mpa), valores considerados moderados e não impeditivos ao desenvolvimento radicular do eucalipto. O SC60 apresentou os maiores valores de RP (1,16 a 2,07 Mpa) independente do cultivo e da profundidade. Não houve variações significativas na RP em relação às colunas d'água utilizadas (60 e 100 cm.c.a.).

**Palavras-chave:** uso do solo; resistência do solo a penetração; carbono orgânico.

## ABSTRACT

The presence of organic carbon in soil and plant biomass is beneficial for ecosystem functions and is closely associated with reducing the negative effects of climate change. Soil carbon stocks are controlled by a variety of climatic and biogeochemical factors, being directly influenced by changes in land use and occupation, in particular by the conversion of natural ecosystems into cultivated areas for agriculture and livestock. Thus, this work aimed to study the presence of organic carbon in the soil and the factors that can promote changes in its stock (EstC). To evaluate these factors, this work was divided into three chapters: In chapter 1, a study was carried out based on sample data and results of simulations of carbon stock in the soil, in six different Brazilian biomes (Cerrado, Amazônia, Pantanal, Caatinga, Atlantic Forest and Pampas), as well as verifying the contribution of the factors Biome, Land use systems, Sampled depth and the type of data (sampled or simulated) on the carbon stock of soils. Only 42 papers in more than 200 scientific articles were qualified for this study. To analyze the data, analysis of variance (ANOVA) was carried out following a completely randomized design, in a factorial scheme, whose factors analyzed were land use, soil layer (0.0 - 0.10 and 0.0 – 0.20 m), the biome and the interaction between them, applying the F test at 5% of probability to detect the differences of the factors and the interaction between them, and the Scott-Knott test at 5% was used to detect differences between the means. Complementary to ANOVA, a technique based on principal component analysis (CP) was applied, in order to verify the contribution of the study factors analyzed in the EstC. In the carbon stocks sampled from 0.0 – 0.20 m, there was a significant difference in the Pantanal Biome, with stocks lower than the other biomes in native vegetation as well as in pasture, in the interaction of land use x Pampas Biome. In the simulated data of 0.0 – 0.20 m, significant differences were observed for Atlantic Forest and Pantanal, with values above 43 Mg ha<sup>-1</sup>, and for land use in pasture and pasture stock in the Pantanal, the lowest values were obtained. Through the CP technique, it was possible to observe that the EstC is correlated with conservation practices, allowing us to infer that agricultural practices influence carbon stock. In Chapter 2, the EstC was verified in different cultivation areas located in the Southeast of Mato Grosso do Sul: degraded pasture, natural cerrado and eucalyptus plantation areas at different stages of development (3, 5, 7, 10 and 14 years) with soil collections carried out in the rows and between the planting rows. The data obtained were analyzed in terms of

descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA), which followed a randomized block design, in a factorial scheme ( $5 \times 2 + 2$ ) with 4 replications, with five years of eucalyptus plantation (3, 5, 7, 10 and 14 years), two positions (row and between rows) and two additional treatments (Cerrado and pasture) at four depths (0.0 – 0.10, 0.10 – 0.30, 0.30 – 0.60 and 0.60 – 1.00 m). The F test was used to detect differences in factors and interactions, Tukey's test to detect differences between the averages of the years of cultivation and Dunnett's test for comparisons between these averages with the averages of the controls and between controls. In the analysis of the EstC, significant differences were found at depth 0.30 – 0.60 m in year 14, between the rows, for eucalyptus ( $9.99 \pm 0.89 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Cerrado ( $9.88 \pm 0.62 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) and pasture ( $10.96 \pm 0.87 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) and at depth 0.60 – 1.00 m in year 14, in the line, for eucalyptus ( $11.04 \pm 0.96 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Cerrado ( $14.47 \pm 0.60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) and pasture ( $15.19 \pm 1.37 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Based on the data analysis, it became evident that the preservation of the Cerrado maintains the carbon in the soil and that at the end of the Eucalyptus cycles (7 and 14 years) the values are close to those found in the Cerrado. Finally, in Chapter 3, the measurement of soil penetration resistance (RP) was evaluated by three methodologies using manual spring penetrometer (SC60), benchtop static penetrometer with 60 cm.w.c-water column (PEB60) and benchtop static penetrometer with 100 cm.w.c (PEB100), in 3 cultivation areas (eucalyptus - EUCP, pasture - PAST and conserved cerrado - CERC), in 3 depths (0 - 0.10; 0.10 - 0.30 and 0.30 - 0.60 m). The data obtained were converted to MPa (for soil penetration resistance), analyzed for descriptive statistics and analysis of variance, and the F test was used to detect differences in factors and interactions, and the Tukey test to compare the means when significant differences were found. PR values above 1.9 MPa were verified with the use of SC-60 in eucalyptus and pasture. Higher RP values were found for pasture at depths of 0.10 - 0.30 m (1.50 MPa), in SC60 in eucalyptus cultivation and pasture (1.90 MPa) and SC60 from a depth of 0.10 – 0.30 m (1.75 to 2.07 MPa), values considered moderate and not impeding the root development of eucalyptus. SC60 showed the highest RP values (1.16 to 2.07 MPa) regardless of cultivation and depth. There were no significant variations in the RP in relation to the water columns used (60 and 100 cm.w.c.).

**Keywords:** soil depth; land use; C determination methods.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Amostragem à campo (CMP)  
Análise de componentes principais (ACP)  
Análise de variância (ANOVA)  
Anos de cultivo (Acult)  
Carbono (C)  
Carbono Orgânico (CO)  
Cerrado conservado (CERC)  
Coeficiente de variação (CV)  
Coluna d'água (c.a.)  
Derivada do modelo RP ( $\Theta_m$ ) ( $dC/d\Theta$ )  
Densidade do solo (Ds)  
Espessura da camada considerada (e)  
Estoques de carbono orgânico do solo (EstC)  
Eucalipto (EUCP)  
Matéria orgânica do solo (MO)  
Megapascal (MPa)  
Pastagem (PAST)  
Penetrógrafo manual de molas (SC-60)  
Penetrômetro estático de bancada (PEB)  
Perda de massa por ignição (PMI)  
Plantio convencional (PC)  
Porosidade total (Pt)  
Posição (Pos)  
Práticas conservacionistas (PCS)  
Processos de retirada de umidade a 100 cm.c.a (B100)  
Processos de retirada de umidade a 60 cm.c.a (B60)  
Profundidade (Prof)  
Quadrado médio (QM)  
Quilograma-força (Kgf)  
Resistência do solo à penetração (RP)  
Resistência à penetração corrigida ( $RP_c$ )  
Resistência à penetração medida ( $RP_m$ )

Sociedade Americana de Engenharia Agrícola (ASAE)

Teor de Umidade (TU)

Testemunhas (T)

Umidade medida ( $\Theta_m$ )

Umidade a base de massa de referência ( $\Theta_{ref}$ )

Vegetação nativa (VN)

Vegetação plantada (VP)

Vegetações (VEGT)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 1: ESTOQUE DE CARBONO AMOSTRADO E SIMULADO EM BIOMAS BRASILEIROS .....</b>	<b>17</b>
	.....	17
<b>2.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Material e Métodos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 2: ESTOQUE DE CARBONO NO CULTIVO DE EUCALIPTO EM COMPARAÇÃO COM PASTAGEM E CERRADO NATURAL, NO SUDESTE DO MATO GROSSO DO SUL.....</b>	<b>33</b>
	.....	33
<b>3.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Material e Métodos .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLOS DO CERRADO .....</b>	<b>55</b>
	.....	55
<b>4.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Material e Métodos .....</b>	<b>58</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>61</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido às características climáticas e edafológicas do extenso território brasileiro, seis biomas principais podem ser descritos: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Com biomas tão distintos, os eventos de mudanças climáticas podem se tornar um imenso desafio ambiental, e impedir que grandes quantidades de carbono sejam adicionadas à atmosfera pode ser solução para esse problema. O solo é um enorme reservatório de carbono, capaz de armazenar cerca de 3 vezes mais C que a atmosfera. Para quantificar esse elemento modelos matemáticos foram desenvolvidos, os quais monitoram as mudanças nos estoques de carbono em diferentes compartimentos do solo, podendo então prever o impacto das práticas de manejo sobre o comportamento do estoque de carbono e assim quantificar o CO<sub>2</sub> que se perde para a atmosfera ou se ganha incorporando ao solo.

O carbono do solo é considerado um dos importantes indicadores gerais de segurança do solo, pois pode sinalizar se determinado solo está suscetível ou caminhando em direção à degradação, relacionada à mitigação das mudanças climáticas, ou à capacidade do solo em suprir as necessidades básicas de instalação ou manutenção de um cultivo. A presença de C no solo e na biomassa vegetal é benéfica para as funções dos ecossistemas e está intimamente associada à redução dos efeitos negativos sobre as mudanças climáticas. Os estoques de carbono do solo são controlados por uma variedade de fatores climáticos e biogeoquímicos, sendo diretamente influenciados por mudanças no uso e ocupação do solo, em particular pela conversão de ecossistemas nativos em áreas cultivadas para agricultura e pecuária.

Nos últimos anos, no Cerrado houve a intensificação do processo de substituição de suas áreas nativas por áreas com diferentes usos, o que tem acelerado processos de degradação ambiental. Dependendo de como é a transição do Cerrado para outros sistemas de uso do solo pode aumentar o carbono do solo, uma vez que, em geral os solos sob Cerrado são pobres em carbono e nutrientes. No entanto, a perda do carbono armazenado sob Cerrado nativo não pode ser ignorada e chama a atenção para a importância de se analisar as mudanças no uso da terra, pois podem colocar mais carbono na atmosfera. Com a intensificação da ocupação do Cerrado para dar lugar a diferentes usos do solo, surgem relevantes sinais de degradação, sendo a compactação um dos mais importantes problemas, e os solos de textura moderada a moderadamente grosseiras (francos, franco arenosos e franco siltosos) tem se



mostrado muito suscetíveis a estes processos, pois suas partículas se reorganizam mais facilmente.

A avaliação da resistência do solo a penetração (RP) é um parâmetro muito utilizado para avaliar a compactação e está relacionada às propriedades físicas do solo, sendo considerada um indicador de compactação, como também a textura e umidade que afetam diretamente a compactação do solo. Os dados de RP, associados a outras ferramentas tecnológicas e observações de campo, podem contribuir para formação de um cenário realista das condições em que ele se encontra, onde se pretende implementar planos de produção agropecuária, outras mobilizações do solo, implantação de culturas, e/ou operações com vistas à sua recuperação física e de fertilidade.

O eucalipto, nativo da Austrália, adaptou-se muito bem às condições de clima e solo no Brasil, o que favoreceu seu estabelecimento. Este tem sido plantado em extensas áreas, para produção de celulose e, mais recentemente, a cultura tem se expandido na região sudeste do Mato Grosso do Sul, em áreas de pastagens bastante degradadas, ou mesmo em áreas de Cerrado.

Para esse estudo foram levantadas algumas hipóteses acerca dos fatores que podem promover alteração no estoque de carbono do solo, são elas: Existem diferenças entre o estoque de carbono entre Biomas brasileiros? O uso e ocupação influenciam no estoque de carbono? O estoque de carbono é maior em região preservada de Cerrado, pastagem ou cultivo de eucalipto? Os anos de cultivo de eucalipto interferem no estoque de carbono? Será que o cultivo de eucalipto em substituição à pastagem degradada no Cerrado do Mato Grosso do Sul pode ampliar o estoque de carbono no solo desse bioma? Se ocorrer aumento do estoque de carbono no solo no cultivo de eucalipto, ele ocorre com maior intensidade na linha ou na entrelinha do plantio? Há diferença nos resultados, para os equipamentos e os métodos utilizados na obtenção da resistência do solo a penetração?

Assim, como objetivo geral do trabalho buscou-se quantificar o estoque de carbono para múltiplos usos do solo, determinando a dinâmica do estoque de carbono no solo do Cerrado no sudeste do estado do Mato Grosso do Sul

Os objetivos específicos foram: 1) avaliar o estoque de carbono no solo dos biomas brasileiros; 2) identificar diferenciações nos valores de estoque de carbono obtidos a partir de dados amostrados ou simulados, nos biomas estudados; 3) entender como o sistema de uso do solo pode reduzir ou aumentar os estoques de carbono nos biomas; 4) no bioma Cerrado, avaliar como o efeito da mudança da vegetação nativa para pastagem, bem como posteriormente para cultivo de eucalipto, interfere no estoque de carbono no solo; 5) avaliar o

comportamento do estoque de carbono ao longo do perfil do solo em múltiplos usos; e, 6) verificar se as médias nos parâmetros para determinação do estoque de carbono no solo do cerrado apresentam diferenças à medida que se utilizam diferentes equipamentos e, ou, metodologias distintas.

Para alcançar os objetivos e testar as hipóteses formuladas, dividiu-se este trabalho em três capítulos: No capítulo 1 foi realizado um estudo a partir de dados amostrais e resultados de simulações de estoque de carbono no solo, em seis biomas brasileiros (Cerrado, Amazônia, Pantanal, Caatinga, Mata-atlântica e Pampas), bem como verificar a contribuição dos fatores Bioma, Sistemas de uso do solo, Profundidade amostrada e o Tipo de dado (amostrado ou simulado) sobre o estoque de carbono dos solos. Neste capítulo foram avaliados os resultados das estimativas de modelos relacionados às observações de campo em estudos realizados no Brasil, na tentativa de demonstrar a importância da compreensão do comportamento do carbono em seis biomas e em diferentes cenários de uso da terra agrícola.

No Capítulo 2 foi avaliado o estoque de carbono no solo (EstC) em áreas de cultivo localizadas no Sudeste do Mato Grosso do Sul: pastagem degradada, cerrado natural e áreas de plantio de eucalipto em diferentes estádios de desenvolvimento (3, 5, 7, 10 e 14 anos), com coletas realizadas nas linhas e entrelinhas de plantio.

No Capítulo 3 foi avaliada a medição da resistência do solo à penetração (RP) por três metodologias: a partir do penetrógrafo manual de molas (SC60), do penetrômetro estático de bancada com 60 cm.c.a (PEB60) e do penetrômetro estático de bancada com 100 cm.c.a (PEB100), em 3 áreas de cultivo (eucalipto - EUCP, pastagem - PAST e cerrado natural – CERC), em 3 profundidades do solo (0 – 0,10; 0,10 – 0,30 e 0,30 – 0,60 m).

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Viçosa, MG, v. 17, p. 932-937, 2013.
- BAESSO, M. M. *et al.* Comparação entre três penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração em um latossolo vermelho eutroférico. **BIOENG**, [s. l.], v.14, n. 2, p. 101-110, 2020.
- BETIOLI JÚNIOR, E. *et al.* Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 971-982, 2012.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 146-151, jan./abr. 2007.
- BUSSCHER, W. J. *et al.* Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, p. 205-217, 1997.
- BECKETT, C. T. S. *et al.* Evaluation of the dynamic cone penetrometer to detect compaction in ripped soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 175, n. 1, p. 150-157, 2018.
- CAMARGO DE, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. [S. l.], 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/C6/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm). Acesso em: 24 jan. 2022.
- CENTENO, L.N. *et al.* Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.
- DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, p. 412-419, 2007.
- DUARTE, M. L. *et al.* Avaliação da variabilidade espacial da resistência à penetração e teor de água de um solo de Terra Preta Arqueológica. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 4, n. 3, p. 200-208, 2019.
- FIBRACON. **Consultoria Perícias e Projetos Ambientais**. Encarte II. Revisão do Plano de Manejo do Monumento Natural da Serra do Bom Jardim, Alcinópolis, MS. p. 186. 2017
- FURQUIM, L. C. *et al.* Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 16, n. 5, p. 82-95, 2020.

FURRIEL, G. P. **Desenvolvimento e validação de aparelho automático para medição da compactação do solo.** 110 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e da Computação) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GOMES, J. E. *et al.* Resistência à penetração do solo em sistemas de plantio *de tectona grandis* L. (teca) no cerrado do estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Paracatu, v. 1, n. 3, p. 1-18, 2005.

LEITE, F.; SANTOS, J. E. G.; LANÇAS, K. P. Comparação da resistência do solo à penetração entre penetrômetro elétrico-eletrônico e penetrógrafo manual. **Cultivando o Saber**, [s. l.], v. 3, p. 32-39, 2010.

LIMA, K. E. A. de. **Resistência mecânica de um latossolo vermelho à penetração: comparação de penetrômetros, ajustes de modelos e correção da umidade.** 2019. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2019.

MONTANARI, R. *et al.* Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1811-1822, 2010.

MORAES, M. T. *et al.* of penetrometers in agriculture: A review. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 179-193, 2014.

REZENDE, J. O.; SHIBATA, R. T.; SOUZA, L. S. **Justificativa e recomendações técnicas para o "plantio direto" dos citros nos Tabuleiros Costeiros: ênfase na citricultura dos Estados da Bahia e Sergipe.** Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2015. v. 1. 240 p.

RICHART, A. *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SALTON, J. C. *et al.* **Sistema São Mateus:** Sistema de Integração Lavoura-Pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato Grossense. Dourados, 2013. (COMUNICADO TECNICO, 186) .

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

SILVA, L. I. *et al.* Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob diferentes manejos e métodos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 40, p. 40-48, 2020.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 573-581, 1998.

VOGEL, G. F. *et al.* Avaliação dos penetrômetros de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica a penetração do solo. **Revista Scientia Agrária**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 30-36, 2017.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 1 fica evidenciado que o sistema de uso do solo é o fator de maior interferência para a variável estoque de carbono, influenciando de forma relevante nos seus valores nos biomas, tanto para dados amostrados quanto simulados.

Para os dados amostrados, os sistemas convencional e pastagem apresentaram os menores resultados para estoque de carbono, nos biomas Caatinga, Cerrado, Pampas e Pantanal. Enquanto nos dados simulados, os menores estoques são encontrados no sistema convencional e na pastagem do bioma Mata-Atlântica.

A utilização do sistema convencional no bioma Amazônico pode comprometer o estoque de C e os sistemas de vegetação nativa e práticas agrícolas conservacionistas apresentam-se como melhores alternativas para manutenção ou ampliação dos estoques de carbono nos biomas estudados.

No capítulo 2, os sistemas abordados para o Bioma Cerrado (pastagem degradada e cultivo de eucalipto) causaram alterações significativas para o aumento do estoque de carbono, quando comparados ao ambiente natural.

A conversão do Cerrado para o cultivo de Eucalipto não alterou os estoques de carbono do solo, mantendo os valores semelhantes em ambos os usos, principalmente ao final do ciclo do eucalipto (7 e 14 anos). Possivelmente, isso se deva às condições favoráveis à estabilização do carbono do solo, devido à pouca movimentação do solo por práticas agrícolas durante o ciclo do eucalipto.

Com base nos estoques de carbono no solo, conclui-se que o cultivo de eucalipto é sustentável em termos de estoque, uma vez que não reduziu a quantidade de carbono orgânico no solo, e quando se compara com a pastagem degradada nas profundidades de 0,30 – 0,60 e 0,60 – 1,00 m foram encontrados os menores valores de estoque de C, o que pode indicar a baixa movimentação desse elemento nesse cenário ficando limitado a região das raízes da pastagem.

No capítulo 3, foram obtidos valores de Resistência a penetração do solo superiores à referência de 1 MPa. Os maiores valores foram obtidos na Pastagem nas profundidades de 0,10 – 0,30 m (1,50 MPa), quando do uso do penetrógrafo (método SC60), e em cultivo de Eucalipto e Pastagem (1,90 MPa) a partir da profundidade de 0,10 – 0,30 m (1,75 a 2,07 MPa). Independente do sistema e profundidade do solo, o penetrógrafo (método SC60)

apresentou os maiores valores de RP (1,16 a 2,07 MPa), fator que pode gerar condições restritivas ao crescimento do sistema radicular das plantas.

Em relação ao penetrômetro de bancada (PEB60 e PEB100) não foram verificadas variações significativas de RP em relação às extrações de água do anel, indicando que, para amostras de Latossolos arenosos oriundas do cerrado Sul Mato-Grossense é indiferente usar a extração de água do anel a 100 cm.c.a, como estabelece o manual do penetrômetro Solotest, ou a 60 cm.c.a como um dos tratamentos abordados nesse estudo.