

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

FABIANE DA SILVA ARRUDA

**ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS DO BIOMA
PANTANAL SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NO MUNICÍPIO DE
CÁCERES - MATO GROSSO, BRASIL**

**CÁCERES - MT
2022**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

FABIANE DA SILVA ARRUDA

**ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS DO BIOMA
PANTANAL SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NO MUNICÍPIO DE
CÁCERES - MATO GROSSO, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Geografia para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Zenén Domínguez González

Coorientador: Prof. Dr. Juberto Babilônia de Sousa

**CÁCERES - MT
2022**

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

- | | |
|-------|--|
| A773e | <p>ARRUDA, Fabiane da Silva.</p> <p>Estimativa do Estoque de Carbono em Solos do Bioma Pantanal Sob Diferentes Tipos de Uso no Município de Cáceres-Mato Grosso, Brasil / Fabiane da Silva Arruda – Cáceres, 2022. 95 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso
(Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Geografia, Faculdade de Ciências Humanas, Câmpus de Cáceres, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2022.</p> <p>Orientador: Alfredo Zenen Dominguez Gonzalez
Coorientador: Juberto Babilônia de Sousa</p> <p>1. Mudanças Climáticas. 2. Solo. 3. Estoque de Carbono. I. Fabiane da Silva Arruda. II. Estimativa do Estoque de Carbono em Solos do Bioma Pantanal Sob Diferentes Tipos de Uso no Município de Cáceres-Mato Grosso, Brasil: .
CDU 631.4(817.2)</p> |
|-------|--|

FABIANE DA SILVA ARRUDA

**ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS DO BIOMA PANTANAL
SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NO MUNICÍPIO DE CÁCERES - MATO
GROSSO, BRASIL**

Esta Dissertação foi julgada e aprovada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia, junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGeo), da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT).

Cáceres – MT, 29 de março de 2022.

Banca examinadora

Prof. Dr. Alfredo Zenen Dominguez Gonzalez
Orientador
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

Prof. Dr. Juberto Babilônia de Sousa
Co-orientador
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo

Prof. Dr. Amintas Nazareth Rosseth
Avaliador Interno
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

Prof. Dr. Milson Evaldo Serafim
Avaliador Externo
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo

**CÁCERES - MT
2022**

Dedico esta pesquisa ao meu pai (*in memoriam*), com todo meu amor e gratidão, por sempre ter me ajudado e apoiado a seguir meus estudos, incentivando sempre a buscar o melhor de mim em tudo o que fosse proporcionado nessa vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por ter me dado força e coragem para superar todos os desafios dessa trajetória.

À minha mãe Edil da Silva, que em meio a tantas dificuldades sempre esteve ao meu lado dando todo o amor, falando da palavra de Deus e buscando a fé, para que eu pudesse cada vez mais realizar os meus sonhos.

Ao meu esposo Raynner dos Santos Arruda, meu companheiro, que esteve ao meu lado nos momentos de alegrias, tristezas, desesperos e angústias, mas que sempre me deu o incentivo e o apoio necessários para a realização dos meus objetivos.

Aos amigos: José Advan que não mediu esforços em me ajudar a realizar o trabalho de campo, foram momentos de muito aprendizado, de muitas risadas, mas também de muito trabalho; Miguel Olivo, pela amizade, pelas orientações e esclarecimentos nas análises dos dados e; Carolina Tavares, por sempre me ouvir e me apoiar nos momentos de desesperos da dissertação, agradeço imensamente a ajuda de todos vocês, pois tudo se tornou concreto e real, meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Milson Evaldo Serafim, que não mediu esforços para a realização do campo, gratidão pelo apoio e pela colaboração em demonstrar os procedimentos da coleta de solo tanto no campo quanto no laboratório, o seu apoio foi essencial para a realização da minha pesquisa.

Ao Professor Juberto Babilônia de Sousa, pelos ensinamentos no que diz respeito à pedologia, agradeço imensamente por toda contribuição e apoio no desenvolvimento do meu trabalho.

Aos professores Salmo Silva e Luciano Romano, ao Técnico do laboratório de solos Alan França e aos colaboradores Carlos e Miguel do IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo, por toda logística e apoio na realização da pesquisa.

Aos professores e aos amigos que o PPGGEO/UNEMAT (Programa de Pós-graduação em Geografia) me proporcionou, obrigada pela amizade, pelos momentos

de confraternização e pelo aprendizado durante este período tão importante da minha formação.

Ao meu orientador Professor Alfredo Zenén Domínguez González, por todo empenho e paciência ao longo da elaboração da dissertação, foram tantos percalços ao longo do caminho que conseguimos superá-los, somente tenho a agradecer pelos ensinamentos e pelo tempo disponibilizado em me orientar, sem o seu apoio eu não teria conseguido chegar até aqui.

Agradeço também à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), e em especial ao PPGGEO, por possibilitar a oferta do curso de mestrado.

Por fim, deixo os meus sinceros agradecimentos a todos os meus amigos, familiares e a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com a realização da minha pesquisa e a conclusão do meu mestrado.

Gratidão!

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para sua própria produção ou construção. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender” (FREIRE, 2003)

RESUMO

Tendo em vista que o estoque de carbono nos solos constitui uma alternativa para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa e do aquecimento global, a presente pesquisa objetivou estimar o estoque de carbono em solos do bioma Pantanal submetidos a diferentes tipos de uso no município mato-grossense de Cáceres. Para isso, os procedimentos metodológicos utilizados incluíram: coleta de 72 amostras de solos nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm em 12 pontos de amostragem localizados em áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta-ILPF, Pastagem e Reserva florestal; separação de amostras para análise granulométrica; determinação da densidade do solo e do teor de carbono orgânico total; quantificação do estoque de carbono no solo e; análise estatística dos dados obtidos. Os resultados alcançados mostram que, na composição granulométrica (areia, silte e argila), a classe textural predominante foi a franco-arenosa, sendo conferida pela maior concentração de areia (partículas mineiras grosseiras). A menor densidade foi observada no solo da Reserva florestal, o que se explica pela sua maior porosidade e acúmulo de biomassa, em uma área com vegetação nativa conservada. Ao correlacionar as variáveis granulometria e carbono orgânico total (COT) foi possível observar uma correlação estatisticamente significativa e negativa entre a argila e o COT, enquanto que para a variável areia a correlação foi significativa e positiva, indicando que os teores de areia se sobressaíram aos teores de argila. Também os valores obtidos para o COT e o estoque de carbono no solo (ECS) em todos os tratamentos amostrados foram estatisticamente comparados, sendo que as diferenças encontradas foram significativas. Foi observado que os maiores teores de carbono se encontram nas camadas superficiais (0-10 cm), tanto para COT quanto para ECS, as quais evidenciam uma maior variação do COT em comparação com as camadas de 10-20 e 20-40 cm, verificando assim que a Pastagem e, a seguir, a Reserva florestal, foram os tratamentos que propiciaram os maiores valores do teor de carbono no solo em comparação ao ILPF. Quando realizada a correlação entre as camadas e o teor de carbono no solo, ela mostrou-se significativa e negativa, indicando que com o aumento da profundidade há uma redução do teor de carbono no solo. Tudo isto indica que as diferenças locais identificadas nesta pesquisa entre as áreas amostradas e seus tipos de usos se refletem em diferenças dos teores de carbono estocado no solo, o que é consistente com outros estudos realizados no estado de Mato Grosso, em solos sob diferentes usos da terra.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Solo. Estoque de carbono.

ABSTRACT

Considering that the carbon stock in soils is an alternative for the mitigation of greenhouse gas emissions and global warming, the present research aimed to estimate the carbon stock in soils of the Pantanal biome subjected to different types of use in the municipality from Cáceres - Mato Grosso. For this, the methodological procedures used included: collection of 72 soil samples in the layers of 0-10, 10-20 and 20-40 cm in 12 sampling points located in areas of Integration Crop-Livestock-Forest-ILPF, Pasture and Forest reserve; separation of samples for granulometric analysis; determination of soil density and total organic carbon content; quantification of carbon stock in the soil and statistical analysis of the data obtained. The results obtained show that, in the granulometric composition (sand, silt and clay), the predominant textural class was the sandy loam, being conferred by the highest concentration of sand (coarse mining particles). The lowest density was observed in the soil of the Forest Reserve, which is explained by its greater porosity and accumulation of biomass, in an area with preserved native vegetation. By correlating the particle size and total organic carbon (TOC) variables, it was possible to observe a statistically significant and negative relationship between clay and TOC, while for the sand variable the correlation was significant and positive, indicating that the sand contents stood out over the clay contents. Also the values obtained for the TOC and the soil carbon stock (ECS) in all the treatments sampled were statistically compared, and the differences found were significant. It was observed that the highest levels of carbon are found in the surface layers (0-10 cm), both for TOC and for ECS, which show a greater variation in TOC compared to the layers of 10-20 and 20-40 cm, thus verifying that the Pasture and, later, the Forest Reserve, were the treatments that provided the highest values of carbon content in the soil in comparison to the ILPF. When the correlation between the layers and the carbon content in the soil was performed, it was significant and negative, indicating that with increasing depth there is a reduction in the carbon content in the soil. All this indicates that the local differences identified in this research between the sampled areas and their types of uses are reflected in differences in the levels of carbon stored in the soil. This is consistent with other studies carried out in the state of Mato Grosso, in soils under various land uses.

Keywords: Climate change. Soil. Carbon stock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do ciclo do carbono no solo.....	31
Figura 2 - Mapa de localização do perímetro do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo	37
Figura 3 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	39
Figura 4 - Área do sistema ILPF (esquerda) e um dos seus pontos de amostragem de solo (direita).....	41
Figura 5 - Área de Pastagem (esquerda) e um dos seus pontos de amostragem de solo (direita).....	42
Figura 6 - Área de Reserva florestal (esquerda) e um dos seus pontos de amostragem de solo (direita).....	43
Figura 7 - Geomorfologia do perímetro do IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo.	50
Figura 8 - Classes de solos representativas no perímetro do IFMT - Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo.	52
Figura 9 – Uso e cobertura no perímetro do IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo	55
Figura 10 - Usos do solo no perímetro do IFMT Cáceres Prof. Olegário Baldo	56
Figura 11 – Variação das classes texturais presentes no conjunto da área de estudo, representadas pelos triângulos texturais	57
Figura 12 - Variação do carbono orgânico total (COT) e o estoque de carbono (EC) entre os usos do solo: ILPF, Pastagem e Reserva florestal na profundidade total (40cm)	66
Figura 13 - Estoque de carbono (EC) nos diferentes tipos de usos do solo (ILPF, Pastagem, e Reserva florestal) na profundidade total da camada (40 cm)	67
Figura 14 - Variação do carbono orgânico total (COT) e o estoque de carbono (EC) entre as camadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm)	69
Figura 15 - Variação do carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC) do solo entre as profundidades, segundo o tipo de uso	70
Figura 16 - Correlação de Sperman entre o teor de carbono orgânico total (COT) e a profundidade do solo para o conjunto da área de estudo	71

LISTA DE QUADRO E TABELAS

Quadro 1 - Classes de solos encontrados nos pontos amostrados (ILPF, Pastagem e Reserva florestal)	53
Tabela 1 - Classe de solos representativas para o perímetro estudado	52
Tabela 2 - Propriedades físicas dos solos analisados nos tipos de uso: ILPF, Pastagem e Reserva florestal	58
Tabela 3 - Correlação de Sperman entre o carbono orgânico total (COT) e as variáveis da granulometria para o conjunto geral da área de estudo e camadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm)	61
Tabela 4 - Correlação de Sperman entre a densidade do solo e carbono orgânico total (COT) para o conjunto da área amostrada.....	63
Tabela 5 - Teores de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono no solo (ECS) dos solos analisados nos tipos de uso: ILPF, Pastagem e Reserva florestal .	65
Tabela 6 - Comparação entre os usos do solo para carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC) na profundidade total (40cm).....	66
Tabela 7 - Comparação entre profundidades para carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC)	69
Tabela 8 - Comparação entre as profundidades e usos do solo para carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC).....	71
Tabela 9 - Estoques de carbono no solo em diferentes usos da terra no estado de Mato Grosso.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BUR	Relatórios de Atualização Bienal
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COT	Carbono orgânico total
Ds	Densidade do solo
EC	Estoque de carbono
ECS	Estoque de carbono no solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBMC	Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas
FFc	Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico
FTd	Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico
GCF	Fundo Verde do Clima
GEE	Gases de efeito estufa
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GXbd	Gleissolo Háptico tb distrófico
HCNM	Hidrocarbonetos não metânicos
IFMT	Instituto Federal de Mato Grosso
ILPF	Integração-lavoura-pecuária-floresta
INCT-MC	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LVAD	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOS	Matéria orgânica do solo
Plano ABC	Agricultura de Baixa Emissão de Carbono
ppb	Partes por bilhão
ppm	Partes por milhão
Prof.	Profundidade
PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abráptico
RGB	Red – Green – Blue (paleta de cores)
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de gases de efeito estufa
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TFSA	Terra Fina Seca no Ar
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
URT	Unidades de Referência Tecnológica

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Célsius
CH ₄	Metano
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
g	Grama
g cm ³	Grama por centímetro cúbico
g kg ⁻¹	Grama por quilograma
Gg	Gigagrama
ha	Hectare
km	Quilômetro
km ²	Quilometro quadrado
m	Massa
Mg ha ⁻¹	Megagrama por hectare
mg m ³	Miligramma por metro cúbico
ml	Mililitro
mm	Milimetro
mol L ⁻¹	Mol por litro
N ₂ O	Óxido nitroso
NaOH	Hidróxido de sódio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
v	Volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 A categoria paisagem e o seu tratamento pela Geografia.....	19
2.2 Mudanças climáticas: paisagens em transformação	22
2.2.1 Alternativas de mitigação e adaptação diante das mudanças climáticas	25
2.3 O ciclo do carbono e sua importância no ambiente.....	30
2.4 O solo como reservatório de carbono.....	32
2.4.1 O uso do solo e sua relação com a estocagem de carbono.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 Área de estudo	37
3.2.1 Fase I - Levantamento bibliográfico	39
3.2.2 Fase II – Procedimentos cartográficos	40
3.2.3 Fase III - Amostragem dos solos.....	41
3.2.4 Fase IV - Análises dos dados coletados.....	44
3.2.4.1 Análise granulométrica	44
3.2.4.2 Carbono Orgânico	45
3.2.4.3 Densidade do solo.....	46
3.2.4.4 Estoque do Carbono.....	47
3.2.4.5 Análises estatísticas	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Caracterização geoambiental.....	48
4.1.1 Clima	48
4.1.2 Geologia.....	48
4.1.3 Geomorfologia.....	49
4.1.4 Hidrografia.....	51
4.1.5 Solos	51
4.1.6 Vegetação	54
4.2 Propriedades físicas do solo.....	57
4.3 O Carbono e a estimativa do estoque de carbono no solo em diferentes tipos de uso.....	64
4.3.1 Estoques de carbono no solo sob diferentes tipos de uso da terra no estado de Mato Grosso.....	72

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento das primeiras civilizações, a natureza vem sofrendo sucessivas transformações. A interferência gradativa do ser humano associada às técnicas, promoveu alteração na paisagem ao longo da história. Desse modo, a paisagem não seria apenas o “natural”, mas sim o resultado das implicações da ação antrópica (BERTRAND, 1971); ou seja, da transformação da paisagem natural pelo homem, que representa um elemento fundamental na sua formação (SCHIER, 2003).

O meio natural ou geográfico antecede à questão ambiental, sendo assim, o meio geográfico está presente na questão ambiental como um conceito-chave por constituir o suporte de todas as atividades humanas na superfície terrestre (GIANNUZZO, 2010 apud GERALDINO, 2010).

Essa interferência humana tem levado o meio a sua subdivisão, conforme Santos (2003), em três partes: meio natural, sem expressivas transformações pela ação humana pelo predomínio de técnicas simples na agricultura e a domesticação de animais, com forte associação com a natureza; meio técnico, que surgiu após a invenção e uso das máquinas, gerando a gradativa artificialização do meio; e o meio técnico-científico informacional iniciado após a Segunda Guerra Mundial, que une técnica, ciência e informação e são entendidas como as bases da produção do espaço.

Essa gradativa subdivisão esteve acompanhada da geração de impactos ambientais cada vez mais significativos, que comprometem a própria sobrevivência humana no planeta, como é o caso do aquecimento global advindo do aumento no teor atmosférico de gases de efeito estufa (GEE) e das mudanças no uso da terra, como o desmatamento e as queimadas, que alteram a estrutura das plantas e do solo e, portanto, o estoque de carbono, como destacado por Ribeiro *et al.* (2017).

O principal agente causador do aquecimento global é o dióxido de carbono (CO₂), principal composto do ciclo do carbono e elemento químico indispensável para a manutenção da vida no planeta. De acordo com Martins *et al.* (2003), as trocas de dióxido de carbono entre a atmosfera e a biosfera terrestre garantem que parte do CO₂ fique armazenado na forma de biomassa, nas folhas, caules e raízes. Ou seja, as plantas absorvem CO₂ da atmosfera e o armazenam como biomassa, a qual é

consumida pelos organismos heterotróficos e depois, parcialmente, reconvertida a CO₂, inicialmente pela respiração e, posteriormente, pela decomposição da matéria orgânica.

Uma alternativa para a remoção do carbono presente na atmosfera e, com isso, a redução das concentrações de GEE, é a sua estocagem nos solos (ROSA; SANO; ROSENDO, 2014), especialmente na forma de matéria orgânica. A gênese do solo envolve um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem entre a rocha matriz e a matéria orgânica derivada da decomposição de plantas e animais. Assim, ao depender da quantidade depositada, o conteúdo de matéria orgânica pode variar muito entre um lugar e outro, como apontado por Chig *et al.*, 2008 (apud SANTANA *et al.*, 2013). Dessa forma, a matéria orgânica é essencial para incrementar o potencial produtivo dos solos (RESENDE, 2011).

Paralelamente, a matéria orgânica do solo contém o maior estoque de carbono na maioria dos ecossistemas terrestres (MENEZES *et al.*, 2010). Os solos estocam aproximadamente 4,5 vezes mais carbono do que a biomassa terrestre e 3,3 vezes a quantidade de carbono estocada na atmosfera (BRUCE *et al.*, 1999 apud MENDES, 2015).

Assim, autores como Campbell (2000), Machado (2005) e Oliveira (2016) destacam que os grandes reservatórios de carbono são: os oceanos, na forma de carbonatos dissolvidos nas águas oceânicas; as formações geológicas que contém combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural; os ecossistemas terrestres (biota + solo); e a atmosfera. Portanto, pequenas mudanças nestes reservatórios podem causar grandes efeitos na concentração atmosférica de compostos de carbono.

Desta forma, o aumento dos estoques de carbono nos solos (de conjunto com o controle das emissões de GEE) é uma alternativa para enfrentar o impacto das mudanças climáticas planetárias, como aponta Almeida (2005); porém, essa estocagem é influenciada pela modalidade de uso antrópico do solo, razão pela qual resulta essencial o desenvolvimento de alternativas de uso da terra que promovam o sequestro de CO₂ (JOOS *et al.*, 2001; PANOSSO *et al.*, 2009) e, conseqüentemente, a estocagem do carbono no solo.

Resulta relevante o papel dos solos na estocagem de carbono, principalmente daqueles solos onde a cobertura vegetal natural está conservada, pois neles o

carbono orgânico mantém teores quase constantes ao longo do tempo, ou seja, está em equilíbrio dinâmico, como afirma Stevenson (1994 apud D'ANDRÉA *et al.*, 2004).

Porém, a liberação desse carbono começa quando a vegetação nativa é derrubada, e em seguida, queimada em muitas ocasiões, para implantar cultivos após o preparo da terra. Apenas a substituição da cobertura vegetal nativa por cultivos pode liberar entre 25 e 30% do carbono orgânico estocado na camada superficial do solo, segundo Nogueira (2013).

Assim, ao se tratar das concentrações de GEE emitidas no ambiente, o último relatório do IPCC (MASSON-DELMOTTE *et al.* 2021, p. 4) destaca que desde 2011 elas têm continuado a crescer na atmosfera, “[...] alcançando médias anuais de 10 ppm de dióxido de carbono (CO₂), 1866 ppb de metano (CH₄) e 332 ppb de Óxido nitroso (N₂O) em 2019”. Isso tem levado a que “Cada uma das últimas quatro décadas [fosse] sucessivamente mais quente do que qualquer década que a precedeu desde 1850” (MASSON-DELMOTTE *et al.* 2021, p. 4).

Nisso, o potencial do Brasil como sumidouro de CO₂ é muito elevado, tendo em vista as suas grandes áreas de florestas, bem como o crescimento das superfícies reflorestadas, dos sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta-ILPF, das pastagens bem manejadas e das lavouras cultivadas sob sistema de plantio direto, todos os quais contribuem para um expressivo aumento da remoção do CO₂ da atmosfera, que de acordo com o balanço realizado em 2020 pelo Sistema de Estimativa de Emissões de gases de efeito estufa – SEEG (POTENZA *et al.*, 2021), resultou em uma remoção (líquida) estimada em 150,1 milhões de toneladas de CO₂, comparado com o ano de 2019.

Diante do exposto, e considerando que os estudos sobre o estoque de carbono em solos do bioma Pantanal ainda são poucos, se torna importante conhecer a estocagem de carbono em solos sob diferentes tipos de usos tendo em vista que, dependendo das suas propriedades, do uso e manejo e da vegetação, o solo possui grande potencial para estocar carbono. Dessa forma, os resultados do estudo poderiam constituir um subsídio para o aperfeiçoamento da sustentabilidade ambiental em um contexto onde o carbono estocado resulta na mitigação dos efeitos do aquecimento global causante das mudanças climáticas.

Neste sentido, a presente pesquisa teve como **objetivo geral** estimar o estoque de carbono em solos do bioma Pantanal submetidos a diferentes tipos de uso no município mato-grossense de Cáceres. Como **objetivos específicos** foram definidos os seguintes: (1) Identificar, através da revisão bibliográfica, os fundamentos teóricos e metodológicos que sustentam a investigação; (2) Realizar a caracterização geoambiental do perímetro estudado; (3) Identificar propriedades físicas dos solos amostrados através da análise granulométrica e da densidade; (4) Quantificar os teores de carbono orgânico total estocados nos solos sob diferentes tipos de uso; e (5) Comparar os resultados da pesquisa com aqueles obtidos em outras regiões do estado de Mato Grosso.

O texto desta dissertação está dividido em capítulos. No primeiro capítulo se apresenta o contexto e objetivos da investigação, após uma breve contextualização das alterações climáticas advindas da interferência humana. O segundo capítulo aborda o referencial teórico, construído com base na revisão bibliográfica sobre a categoria geográfica paisagem, mudanças climáticas, alternativas de mitigação dos gases do efeito estufa, ciclo do carbono, e o papel do solo como reservatório de carbono. No terceiro capítulo (Materiais e Métodos) se mostra a área de estudo e se descrevem os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa. Finalmente, no quarto capítulo se apresentam os resultados obtidos na pesquisa, dentre eles: a caracterização geoambiental da área de estudo; as propriedades físicas do solo; os teores de carbono e estoque do carbono em solos sob diferentes tipos de uso; bem como a sua correlação com resultados obtidos em trabalhos realizados em diferentes tipos de uso da terra no estado de Mato Grosso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A categoria paisagem e o seu tratamento pela Geografia

Autores como Mendonça (1997) e Strachulski (2015) destacam que o conceito de paisagem é um dos mais antigos da Geografia, inicialmente orientado ao estudo do meio natural. Mesmo assim, a origem da palavra “paisagem” está no vocábulo francês *paysage*, surgido na Idade Média para se referir a um recorte do espaço geográfico ocupado por um grupo humano (DANTAS, *et al.* 2015 apud MARANHOLI, 2017).

Desse modo, foi a partir da obra de Alexander von Humboldt, no início do século XIX, que a noção de paisagem como categoria de análise geográfica adquiriu relevância dentro da Geografia (MARANHOLI, 2017). Inicialmente, o conceito aparece ligado à paisagem natural (inter-relação entre elementos naturais como clima, vegetação, relevo, solo e outros) nos geógrafos alemães, influenciados pelo pensamento empírico (método de observação) (COSTA; ROCHA, 2010; SILVEIRA, 2012; VELAZQUEZ; LEVI, 2015). No século XIX, o Determinismo de Ratzel (a região natural como a base territorial dos gêneros de vida) constitui um exemplo disto.

Porém, foi na teoria dos solos de Dokoutchaev que ficou mais expressa cientificamente a compreensão da paisagem como síntese natural através dos conceitos de Geosfera e Complexo Territorial Natural (MARANHOLI, 2017). Posteriormente, a “Landschaftovédénie” russa assumiu a paisagem como um conjunto de componentes naturais inter-relacionados (GONZÁLEZ, 2021).

Também no século XIX se desenvolveram estudos sobre a paisagem humanizada, compreendida como o resultado das relações homem/natureza (COSTA; ROCHA, 2010). É o caso do alemão Karl Ritter e, posteriormente, do francês Paul Vidal de La Blache (contemporâneo de Ratzel), que concebeu a paisagem como o produto da ação humana sobre a natureza de uma região, usando técnicas que permitiam aproveitar as possibilidades que o meio natural oferece ao homem (Possibilismo) (STRACHULSKI, 2015; VELÁZQUEZ; LEVI, 2015).

No século XX, Ferdinand Von Richtofen trata da interação da litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera na superfície terrestre (coincidindo com Dokoutchaev, mesmo sem falar de Geosfera). Porém, o primeiro a utilizar o termo “geografia da paisagem” foi Siegfried Passarge, quem desde 1913 também começou a fazer referência à “ciência da paisagem” (MOURA; SIMÕES, 2010; SCHIER, 2003).

Na primeira metade do século XX, K. Sauer considera a paisagem como aquela associação de formas físicas e culturais interdependentes no tempo, que possui determinada estrutura e função, e que pode ser apreendido pela análise morfológica, ou seja, a materialização das ações humanas sobre um suporte físico-material. Portanto, a paisagem pode ser entendida a partir da interação entre os elementos naturais e antrópicos, pois ela é o elo integrador entre fatores naturais e sociais (CORRÊA, 2014).

Na década de 1930, Karl Troll desenvolve a “Landschaftsökologie” ou Ecologia da Paisagem, que analisa os elementos da paisagem desde uma perspectiva ecológica (SCHIER, 2003). Segundo Gonzalez (2021, p. 11) “... a *Human ecology* norte-americana definiu igualmente toda paisagem como um sistema ecológico”.

Essa noção da paisagem como recorte do espaço geográfico ocupado por um grupo humano está na base do conceito de G. Berthand, para quem a paisagem resulta da interação dinâmica e instável de atributos físicos, biológicos e antrópicos no espaço que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem dela um conjunto único e indissociável. E entender essas interações é um dos princípios fundamentais para entender as transformações espaciais no contexto da evolução da sociedade (OLIVEIRA; CAVALCANTE, 2020).

Assim, a paisagem não seria apenas “natural”, mas sim o resultado das implicações da ação antrópica (BERTRAND, 1971). Ou seja, da transformação da paisagem natural pelo homem, que representa um elemento fundamental na sua formação (SCHIER, 2003).

Após o biólogo Ludwing Von Bertalanfy elaborar a Teoria Geral de Sistemas nos anos 1950, a abordagem sistêmica fortaleceu os estudos da paisagem e da dinâmica entre os elementos da natureza (MACIEL; LIMA, 2011).

Com base nessa teoria, V. B. Sochava propõe o conceito de geossistema como o espaço terrestre de todas as dimensões onde os componentes individuais da

natureza mantêm uma relação sistêmica, uns com os outros, que define a sua integridade – além de interagir com a esfera cósmica e com a sociedade humana –, sendo a expressão do conjunto de componentes, processos e relações dos sistemas integrantes do meio ambiente (GONZÁLEZ, 2003). Dessa forma, o geossistema é um sistema natural, complexo e integrado onde há circulação de energia e matéria e onde ocorre exploração biológica, inclusive àquela praticada pelo homem (TROPPEMAIR; GALINA, 2006).

Para Christofletti (1979), no contexto da crise ambiental, tanto a valorização do quadro natural como a difusão das perspectivas sistêmicas e das técnicas de análise multivariada diante da preocupação em fornecer bases científicas ao planejamento socioeconômico, contribuem para caracterizar a estrutura e a dinâmica das paisagens naturais. Assim, a categoria paisagem é uma ferramenta qualificada para a análise crítica do espaço geográfico a partir da inter-relação entre seus componentes, associados às interferências positivas ou negativas das comunidades ou sociedades humanas (MORAIS-JUNIOR; PIMENTEL, 2020).

Uma interpretação da paisagem como produto da inter-relação entre homem e natureza é a de Santos (2003) quando afirma que a paisagem constitui aquela porção da superfície terrestre que é possível abarcar com a visão, onde um conjunto de formas – atuais ou herdadas de épocas passadas – expressam as inter-relações entre os elementos naturais e artificiais numa determinada área. Nota-se que, mesmo sendo uma acepção estética do termo ao afirmar que a paisagem é aquela porção da superfície que é possível abarcar com a visão, reconhece a sua origem como resultado da inter-relação entre homem e natureza.

Autores como Metzger (2001) e Nakashima *et al.* (2017) ressaltam que apesar das diversas interpretações, o termo paisagem tem uma característica fundamental: trata-se de uma dada unidade espacial que abriga diversas escalas temporais e espaciais; ou seja, ser um mosaico heterogêneo onde a interação existente entre os componentes ocorre de maneira diferenciada no tempo e no espaço.

Para Magnoli (2006), essa interação da sociedade com o seu suporte físico no espaço geográfico se dá através de adaptações, transformações, readaptações e novas transformações das sucessivas formas encontradas, elaboradas e reelaboradas. Então, a paisagem nos remete a uma compreensão das relações no contexto espacial, refletidas nas diversas transformações de cunho social, político,

econômico e ambiental que ocorrem a partir das relações humanas com a natureza (NUNES-FILHO; SALVADOR, 2020; OLIVEIRA; CAVALCANTE, 2020).

Romero e Jimenez (2002) destacam que a paisagem “adverte” sobre os tipos e intensidades do uso do solo, das consequências das atividades humanas sobre o sistema natural e da intensidade dos impactos ambientais, e também sobre a necessidade de proteção. Então, o estudo da paisagem torna-se um instrumento importante para a implantação de uma gestão ambiental que realmente contribua para a preservação dos recursos naturais (LIMA; BRITO, FARIAS, 2021).

2.2 Mudanças climáticas: paisagens em transformação

Com o advento do capitalismo e das sucessivas revoluções industriais, o aumento expressivo da população mundial e da demanda por alimentos, de conjunto com a constante alteração nos padrões de consumo, promoveram uma exploração desenfreada dos recursos naturais que tem posto em xeque a própria sobrevivência da humanidade, pois o consumismo é conflitante com o meio ambiente, ocasionando degradação ecológica e, via de regra, social (ARAÚJO; ARRUDA, 2010).

A crise ecológica mundial advinda da crença no progresso ilimitado, sustentado na ideia de que os conhecimentos da ciência permitiriam ao sistema capitalista revolucionar cada vez mais os meios de produção, aumentando a riqueza, tem-se tornado um dos maiores desafios da humanidade. Logo, a questão ecológica implica uma interdependência entre ser humano e natureza, segundo o projeto da modernidade (FREY, 2001).

Ao considerar os problemas ambientais como de interesse global, Stiglitz (2007) afirma que esses problemas afetam do mesmo modo tanto os países desenvolvidos como os subdesenvolvidos. Um desses problemas é a atual crise climática provocada pela perda do equilíbrio do sistema climático do planeta, considerada uma das ameaças mais relevantes ao meio ambiente mundial, pois afeta a sustentabilidade do crescimento econômico e acirra as desigualdades sociais (CONCEIÇÃO; MENDES; MUNIZ, 2015).

A mudança do clima associa-se ao aumento da temperatura média do planeta (aquecimento global) provocado pelo aumento do teor de GEE na atmosfera, associado às atividades antrópicas como: queima de combustíveis fósseis, matriz energética para o rápido crescimento demográfico, urbanização e industrialização dos últimos dois séculos; desmatamento de florestas; uso inadequado da terra e outras atividades que também degradam as paisagens e os seus recursos naturais (AREVALO; ALEGRE; VILCAHUAMAN, 2002; BARCELLOS; MONTEIRO; CORVALÁN, 2009). Sobre o desmatamento em particular, Ramankutty *et al.* (2001 apud MACHADO, 2005) destacam que a implementação de atividades agrícolas em áreas desmatadas tem gerado o aumento da emissão de GEE para a atmosfera, sendo uma das maiores mudanças ocorridas durante os últimos 300 anos.

Vale ressaltar que o efeito estufa natural mantém a temperatura média da superfície terrestre adequada à vida, porém, a sua intensificação (efeito estufa antropogênico) tem levado ao aumento da temperatura planetária, provocando uma crise climática que se reflete tanto no ambiente físico como na produção de alimentos, na saúde, no bem-estar das populações humanas e em outros muitos aspectos elencados por autores como Mendonça (2003), Nunes (2008), Santos *et al.* (2013a), Conceição, Mendes e Muniz (2015), Loureiro (2019), Nunes e Santos (2019) e Cenci e Lorenzo (2020).

Grande parte do calor resultante do efeito estufa é absorvido pelas águas oceânicas e essa absorção amortece o aumento das temperaturas globais, mas isso também vem afetando o sistema climático da Terra em vários aspectos (BARCELLOS; MONTEIRO; CORVALÁN, 2009; SANTOS *et al.*, 2013a). Assim, o aumento da temperatura da água marinha provoca o derretimento das calotas polares e o aumento do nível médio do mar, associado à expansão térmica da água e; a inundação de cidades litorâneas e pequenos estados insulares, bem como a diminuição da solubilidade do CO₂ nos oceanos (PACHAURI; MEYER, 2014).

Outras consequências do desequilíbrio do sistema climático têm sido destacadas pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, o CGEE (2008), a saber: aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas, por causa das alterações no regime hidrológico; expansão de vetores de doenças endêmicas; maior incidência de doenças tropicais; desertificação de algumas áreas e; aumento da frequência e intensidade de furacões. Algumas delas impactam e impactarão negativamente na

capacidade de geração hidrelétrica, a agricultura e os ecossistemas, com perdas da biodiversidade (SANTOS *et al.*, 2013a).

Pinto, Moutinho e Rodrigues (2008) alertam que as mudanças na temperatura e no regime de chuvas nas regiões subtropicais e tropicais poderão trazer consequências como a alteração da vocação agrícola de uma região, levando à migração de culturas e zonas agrícolas; a redução da produção de alimentos pela perda de produtividade agrícola e; o incremento na incidência de pragas/doenças.

Tudo isso explica a necessidade de ações de conservação e, principalmente, de recuperação, que garantam tanto a manutenção de serviços ambientais essenciais para a melhoria da qualidade de vida da população, como biodiversidade, água, condições climáticas e outros (RIBEIRO *et al.*, 2009), como o bom funcionamento dos ecossistemas e agroecossistemas (CARVALHO, 2009). Dessa forma, para manter as condições climáticas apropriadas à vida é preciso compensar as emissões de GEE mediante a remoção do carbono da atmosfera e a sua estocagem na biosfera vegetal (SILVA; FERNANDES; BRITO, 2015), bem como no solo, o qual possui grande capacidade para estocar carbono.

A preocupação mundial com o meio ambiente em geral e as mudanças climáticas, em particular, têm promovido ações internacionais como: a elaboração do relatório “Nosso Futuro Comum”, em 1987, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento; a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aprovada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada na cidade de Rio de Janeiro em 1992; e as Conferências das Partes – órgão supremo da Convenção – que se realizam anualmente desde 1995.

Com base nas mudanças climáticas, a Política Nacional sobre Mudança do Clima no Brasil foi instituída através da Lei nº 12.187/2009 (BRASIL, 2009a), cujo Art. 2º traz alguns conceitos básicos importantes para esta pesquisa como: a) considerar a mudança do clima como aquela “que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis”; b) conceituar os efeitos adversos da mudança do clima como “mudanças no meio físico ou biota resultantes da mudança do clima que tenham efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de

ecossistemas naturais e manejados, sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos ou sobre a saúde e o bem-estar humanos” e; c) define o sumidouro como “processo, atividade ou mecanismo que remova da atmosfera os gases de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa”.

2.2.1 Alternativas de mitigação e adaptação diante das mudanças climáticas

De acordo com o próprio Art. 2º (item VII) da citada Lei nº 12.187/2009 (BRASIL, 2009a) que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima do Brasil, a mitigação consiste em: “mudanças e substituições tecnológicas que reduzam o uso de recursos e as emissões por unidade de produção, bem como a implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros”. Ou seja, constitui mitigação toda ação que vise reduzir as emissões de GEE, substituindo o tipo de fonte energética utilizada, e/ou aumentar os sumidouros – sequestro/remoção – com propósito de limitar futuras mudanças climáticas (PACHAURI; MEYER, 2014).

Constituem exemplos de medidas de mitigação: a) a substituição do combustível fóssil por renovável (diesel por biodiesel; carvão mineral por energia solar, eólica e hídrica na geração de eletricidade); b) dos lixões por aterros sanitários e; c) a expansão da cobertura florestal e outras (CONCEIÇÃO; MENDES; MUNIZ, 2015).

Desse modo, o debate sobre as mudanças climáticas e as medidas mitigadoras ganha cada vez mais relevância em eventos internacionais que objetivam buscar alternativas para a redução das emissões de GEE na atmosfera. Essas medidas se refletem em documentos como: Declaração de Estocolmo de 1976; Relatório Brundtland de 1987; Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio'92); Protocolo de Quioto de 1997; Declaração de Johannesburgo de 2002 (Rio+10) e; Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20).

Com base no Protocolo de Quioto, o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi proposto visando a implementação de projetos nos países em desenvolvimento que permitissem reduzir as emissões de GEE ou aumentar a

remoção de CO₂, utilizando alternativas como: a) uso de tecnologias mais eficientes; b) substituição de fontes de energia fósseis por renováveis; c) racionalização do uso da energia e; d) expansão da cobertura florestal (reflorestamento), entre outras (LOPES, 2002).

Através do MDL, países em desenvolvimento podem certificar projetos de redução de emissões e vender as suas reduções certificadas de emissões (RCEs) a países desenvolvidos que não consigam cumprir suas metas quantificadas de redução de GEE (CONCEIÇÃO; MENDES; MUNIZ, 2015), tornando assim o MDL um marco para a comercialização dos créditos de carbono.

Em relação às Conferências das Partes das Nações Unidas sobre a mudança do clima, o Acordo de Paris em 2015, realizado durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), visou a redução dos GEE e, conseqüentemente, o combate à crise climática mundial. A principal meta era manter a redução da temperatura do planeta em até 2º C, ou seja, aos níveis pré-industriais.

Recentemente, em 2021, durante a realização da 26ª Conferência das Partes (COP26) em Glasgow (Escócia), as tratativas do Acordo de Paris ficaram em evidência, sendo necessário reafirmar as metas, que são: neutralizar as emissões dos GEE e manter a temperatura do planeta em 1,5º C até o ano de 2050. Para tanto, os países precisam de reduções rápidas e sustentadas das emissões globais de CO₂ em 45% até o ano de 2030, em relação ao nível de 2010, e zero líquido em 2050. Além disso, é importante destacar o avanço para o mercado de carbono internacional – créditos de carbono advindos do MDL – com a aprovação das regras do artigo sexto do Acordo de Paris já acordadas e revistas durante a COP26 (UNFCCC, 2021).

Em relação às emissões de GEE no Brasil, o país envia Comunicações Nacionais e Relatórios de Atualização Bienal (BUR), à Convenção do Clima (UNFCCC) com as informações atualizadas sobre as suas emissões. Vale ressaltar que o Brasil por sua vez assumiu o compromisso durante a COP26 de mitigar 50% das emissões de GEE até o ano de 2030.

Visando conscientizar e mobilizar a sociedade em relação aos problemas decorrentes da mudança do clima, foi criado no ano 2000 o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC). Outros instrumentos que o país possui para o cumprimento dos compromissos internacionais de mitigação e adaptação são: a) a

Estratégia do Brasil para o Fundo Verde do Clima (GCF); b) o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE); c) as Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa e; d) os Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação climática, como o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).

Paralelamente, o país também tem desenvolvido pesquisas interdisciplinares no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC) sediado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual está vinculado a outras redes de pesquisa no tema, como a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (Rede CLIMA).

Dentre as bases legais relacionadas com a mudança do clima disponíveis no país se destacam: a) o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2008); b) o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima criado pela Lei nº 12.114 de 9 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009b); c) o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima criado pelo Decreto nº 10.145, de 28 de novembro de 2019 (BRASIL, 2019) e; d) a citada Lei nº 12.187/2009 (BRASIL, 2009a).

Vale ressaltar que, com base nesta lei, o Decreto nº 9.578/2018 (BRASIL, 2018) estipulava, no seu Art. 18, que: “A projeção das emissões nacionais de gases do efeito estufa para o ano de 2020, seria de 3.236 milhões toneladas de dióxido de carbono equivalente”. Porém, no ano de projeção da citada lei, o país lançou na atmosfera 2,16 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente, contra 1,97 bilhão em 2019, ou seja, 9,6% de aumento das emissões brutas, sendo o maior desde o ano de 2006 (POTENZA *et al.*, 2021).

De acordo com o levantamento realizado pelo sistema de estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil (SEEG), no ano de 2020, os principais setores responsáveis pelas emissões brutas de CO₂ no país foram: a) agropecuária com 27% do total (pela fermentação entérica do gado, manejo de dejetos animais, solos agrícolas, cultivo de arroz e queima de resíduos agrícolas); b) energia com 18% (pela queima de combustíveis fósseis) e; c) as mudanças no uso da terra com 46%, pelas emissões advindas das variações da quantidade de carbono na biomassa vegetal e no solo). Ressalta-se que, no caso das emissões de metano (CH₄), o setor da agropecuária registrou um aumento de 1,5%, em relação ao ano de 2019, sendo responsável por 65% das emissões totais desse setor (POTENZA *et al.*, 2021).

O anteriormente exposto indica que, mesmo com medidas de mitigação, as mudanças climáticas estão em andamento. Portanto, a compreensão de que as medidas de mitigação não seriam suficientes para conter o ritmo e o alcance dos impactos das mudanças climáticas levou a um crescente interesse pelas ações orientadas à adaptação (MAY; VINHA, 2012). É por isso que, nas últimas décadas, as pesquisas sobre adaptação, como processo sistêmico e não apenas um resultado, têm aumentado em volume e relevância (EAKIN; PATT, 2011).

No Brasil, o Art. 2º da Política Nacional de Mudanças Climáticas (BRASIL, 2009a) define a adaptação como o conjunto de “iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima”. O país, também, dispõe de um Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (BRASIL, 2015).

Desse modo, a adaptação implica gerenciar os riscos e reduzir a vulnerabilidade advinda da exposição aos impactos climáticos e à baixa capacidade adaptativa (MAROUN, 2007). Ou seja, a adaptação implica reajustar a vida à realidade local, de acordo com as necessidades específicas da região afetada (MARGULIS, 2017), sendo que essas necessidades estão muito relacionadas com a vulnerabilidade e com a resiliência socioambiental.

Segundo Berghäll *et al.* (2007), um sistema é vulnerável quando apresenta susceptibilidade para lidar com os efeitos da variabilidade climática natural, os eventos meteorológicos extremos e a própria mudança de clima. Para Cutter (1996), a vulnerabilidade advém da interação entre o risco existente em um determinado lugar e as características e grau de exposição da população residente nesse lugar.

No caso específico da vulnerabilidade diante das mudanças climáticas, o terceiro relatório de avaliação do IPCC (JOOS *et al.*, 2001) a considerou como uma função da exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação. Isto foi ratificado no quarto relatório (PACHAURI; REISINGER, 2007) ao afirmar que ela depende do grau de exposição do território dos impactos dessas mudanças, dos fatores intrínsecos que a tornam mais sensível a esses impactos e da sua capacidade para enfrentar os efeitos negativos das variações do clima e aproveitar as oportunidades associadas a eles.

Igual posicionamento encontra-se em Berghäll *et al.* (2007) quando afirmam que a vulnerabilidade depende de: a) caráter, magnitude e taxa de variação do clima à qual o sistema está exposto; b) sensibilidade do sistema e; c) sua capacidade de adaptação.

Desse modo, a vulnerabilidade implica a presença de três elementos ou componentes: exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco (MOSER, 1998). Nesse sentido, a partir de reconhecer a vulnerabilidade da sociedade diante dos riscos advindos das mudanças climáticas presentes e futuras, Adger *et al.* (2003) alertavam sobre a necessidade de aumentar a capacidade adaptativa para enfrentá-las.

Assim, autores como Blank (2015), Souza e Corazza (2017), Pinheiro, Cavalcanti e Barros (2018) e Aguiar (2020) coincidem quanto às ações e decisões políticas e econômico-financeiras, bem como o desenvolvimento e transferência de tecnologias e a construção de cenários utilizando modelos climáticos, fortalecem a capacidade adaptativa.

A capacidade de adaptação é entendida como a habilidade de um sistema para se adaptar às mudanças de clima, lidando com as suas consequências, reduzir os seus danos potenciais e aproveitar as oportunidades que essas mudanças oferecem (BERGHÄLL *et al.*, 2007).

Dessa forma, é possível construir uma resiliência socioambiental, entendida como a capacidade dos sistemas socioambientais para lidar com determinado evento, absorver seus impactos, reorganizar-se, recuperar-se e apreender com ele (CUTTER *et al.*, 2008 apud OBERMAIER; ROSA, 2013).

Isso implica implementar estratégias de adaptação com base nos ecossistemas, uso dos serviços ecossistêmicos locais, no contexto das políticas de desenvolvimento socioeconômico sustentável (DIAS; TOLENTINO-JUNIOR; BOSCO, 2020; SCARANO, 2017). Para tanto, integrar o agronegócio com as necessidades socioambientais seria uma alternativa, segundo Sambuichi *et al.* (2014) e Foguesatto, Borges e Machado (2019).

Em resumo, mitigação e adaptação são estratégias complementares para gerenciar os riscos das mudanças climáticas, estando orientadas a reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e

esperados da mudança do clima (BRASIL, 2015). Nos sistemas humanos a vulnerabilidade está muito relacionada com as iniquidades sociais e as práticas ambientais insustentáveis, como apontaram Obermaier e Rosa (2013).

2.3 O ciclo do carbono e sua importância no ambiente

Autores como Campbell (2000), Machado (2005) e Oliveira (2016) destacam que os grandes reservatórios de carbono, um elemento químico indispensável para a manutenção da vida no planeta pela sua participação na fotossíntese e a respiração dos seres vivos, são: os oceanos (na forma de carbonatos dissolvidos nas águas oceânicas); as formações geológicas que contêm combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural); os ecossistemas terrestres (biota + solo) e; a atmosfera. Portanto, pequenas mudanças nestes reservatórios podem causar grandes efeitos na concentração atmosférica de compostos de carbono.

Para autores como Bruce *et al.* (1999) e Swift (2001), o compartimento de carbono do solo é o maior nos ecossistemas terrestres, cerca de duas vezes a quantidade de carbono presente na atmosfera e na biomassa vegetal, o que indica que o solo faz uma grande estocagem. Assim, isso explica a grande importância do solo no ciclo biogeoquímico do carbono (FIDALGO *et al.*, 2007).

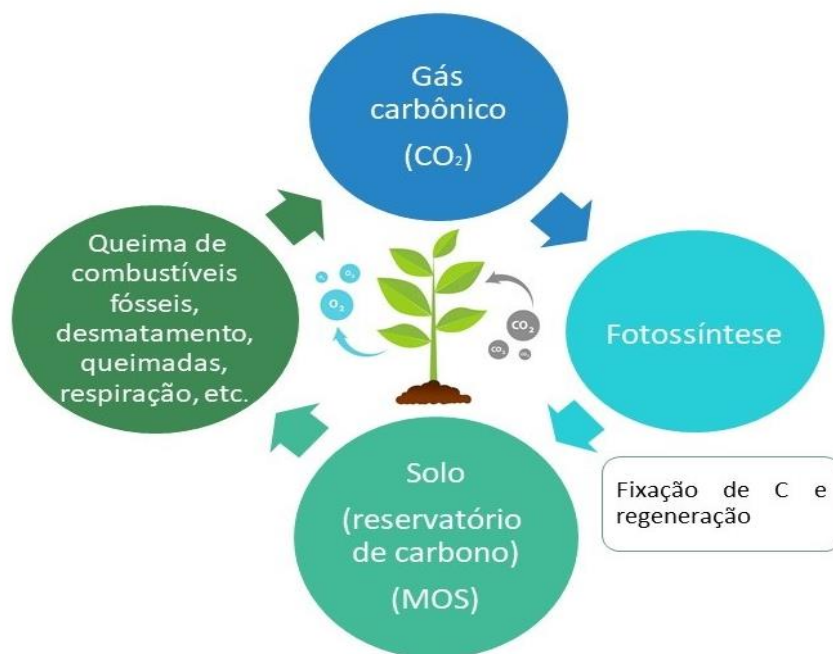
O ciclo biogeoquímico do carbono envolve o conjunto de processos responsáveis por retirar carbono de um determinado reservatório, fazê-lo participar de compostos e reações em outros reservatórios e, após algum tempo, devolvê-lo ao reservatório de origem (CARDOSO; ANDREOTE, 2016; PACHECO; HELENE, 1990). Nesse ciclo global do carbono existe uma grande variedade de compostos envolvidos, sendo os principais: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), hidrocarbonetos não metânicos (HCNM) e monóxido de carbono (CO) (MARTINS *et al.*, 2003).

De acordo com Korn *et al.* (2007, p. 80-81), no ciclo de carbono ocorre uma notável variabilidade interanual do conteúdo de CO_2 atmosférico, “[...] com a taxa anual de crescimento variando até ± 2 [Gigatoneladas de carbono]”, e isso se relaciona com as “[...] mudanças na absorção e liberação de carbono na biosfera terrestre [associadas à] variações na fotossíntese, respiração e queimadas [...]”.

O carbono removido da atmosfera sob a forma de CO_2 é incorporado à biomassa das plantas, tanto na parte aérea quanto nas raízes, e ao solo, sob forma orgânica (PALM *et al.*, 2004). Neste último, a fração do carbono do solo que pode ser utilizada na nutrição dos organismos que moram nele se apresenta principalmente sob a forma de carbono orgânico cujo os teores são originados inicialmente pela fotossíntese, e depois incorporados à matéria orgânica do solo (MOS) (Figura 1) (CAMPBELL, 2000). Desse modo, isso indica que a MOS é essencial no ciclo global do carbono, pelo seu papel crucial em armazená-lo (STEVENSON, 1994).

Houghton e Woodwell (1989 apud PACHECO; HELENE, 1990) explicaram como as plantas terrestres constroem seus tecidos a partir do CO_2 atmosférico captado durante a fotossíntese diurna, que retira anualmente cerca de 100 Gigatoneladas de carbono da atmosfera, e no período noturno liberam CO_2 para a atmosfera através da respiração. Assim, uma floresta em crescimento contribui na redução do efeito estufa mediante a 'fixação ou armazenamento de carbono' (NOBRE; NOBRE, 2002).

Figura 1 – Esquema do ciclo do carbono no solo



Fonte: Modificado pela autora (2022) a partir da imagem disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/ciclo-carbono.html>.

Nesse metabolismo vegetal influenciam diversos fatores, dentre eles: luminosidade, temperatura, umidade, e as estações do ano; pois durante a primavera e o verão as temperaturas mais quentes favorecem a produção vegetal e uma maior absorção de CO₂, e enquanto no outono há maior liberação, como elencado por Pacheco e Helene (1990).

Dessa forma, os ecossistemas têm a capacidade de emitir e estocar carbono atmosférico através de uma variedade de processos físico-químicos e bióticos que atuam em direções e intensidades diferentes, o que nos permite afirmar que os estudos do fluxo de carbono podem contribuir para avaliar o impacto das mudanças climáticas com base nas alterações que elas possam vir a provocar, tanto em determinado ecossistema natural quanto nos seus componentes.

2.4 O solo como reservatório de carbono

Um dos componentes da paisagem natural que tem sofrido uma forte degradação associada à perda da cobertura florestal protetora é o solo, cujo os problemas de erosão induzida, compactação, contaminação, perda de nutrientes e redução da fertilidade, comprometeram a sua qualidade e funções.

Segundo a definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), o solo é constituído por partes sólidas (materiais minerais e orgânicos), líquidas e gasosas. Como sistema biológico dinâmico, o solo é o principal reservatório da diversidade biológica, com um conjunto de inter-relações entre os organismos que resulta essencial para manter o equilíbrio ecológico (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

A partir da superfície, o solo pode ser examinado em camadas ou horizontes que se diferenciam da rocha matriz original por causa dos múltiplos processos que ocorreram ao longo do tempo sob a influência de fatores como o relevo, o clima e os organismos; por isso, os horizontes refletem os processos pedogenéticos que o solo tem experimentado durante a sua formação (EMBRAPA, 2018).

As funções que o solo desempenha são muito diversificadas. Algumas das mais importantes são: a) armazenamento e ciclagem de nutrientes; b) suporte para a

vegetação e a produção de alimentos, fibras e combustíveis; c) retenção de sedimentos; d) provisão de habitat; e) retenção e filtração de água; f) regulação dos fluxos hidrológicos; g) regulação de pragas, patogênicos e doenças; h) fonte de recursos genéticos e farmacêuticos; i) regulação do clima e; j) sequestro de carbono (PRADO *et al.*, 2016).

Segundo Stevenson (1994), a matéria orgânica do solo (MOS) é uma mistura de compostos em vários estágios de decomposição, advindos da degradação biológica de resíduos de plantas e animais, bem como da atividade sintética dos microrganismos, que resulta essencial na preservação de qualidade do solo e na manutenção de suas funções ecológicas. Os principais componentes da MOS são o carbono e o nitrogênio, sendo que o seu teor é determinado principalmente pela temperatura, umidade e tipo de solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Apesar de representar apenas 0,5 a 5% em relação à fração mineral, a matéria orgânica exerce forte influência nas propriedades do solo, particularmente na disponibilidade de nutrientes, e regula a ciclagem do carbono e sua estabilização, como explicado anteriormente. Desse modo, a redução do conteúdo de matéria orgânica afeta a função nutricional do solo e, com isso, a diversidade microbiana (RASCHE; CADISH, 2013).

Segundo Jesus (2017), a matéria orgânica é imprescindível para a qualidade e produtividade dos solos nos trópicos, pois representa a principal reserva de nitrogênio, enxofre e fósforo para as plantas, além de influenciar diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos do solo.

De acordo com a revisão bibliográfica realizada por Jesus (2017), os principais fatores que determinam o estoque de MOS são: a) a textura e mineralogia do solo; b) o clima, de maneira particular a relação entre temperatura média anual e precipitação anual e; c) o uso e cobertura da terra, salientando que o uso agropecuário geralmente leva ao incremento da taxa de oxidação da matéria orgânica do solo, favorecendo as emissões de CO₂. Sendo assim, o seu papel é crucial para o estoque do carbono no solo (CIDIN, 2016).

De acordo com Machado (2005), o carbono no solo aparece sob a forma de carbono orgânico (MOS) e carbono inorgânico (carbonatos). Na composição da MOS o carbono representa quase 58% (SILVA; MENDONÇA, 2007); isso explica que os

organismos do solo utilizem os compostos orgânicos da MOS como fonte de energia e nutrientes para a mineralização, imobilização e formação de substâncias húmicas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

No interior do solo, as transformações do carbono ocorrem essencialmente em duas etapas (fixação do CO₂ atmosférico e regeneração): as plantas, algas e bactérias autotróficas fixam o CO₂ e sintetizam compostos hidrocarbonados que retornam ao solo na forma de resíduos vegetais, sendo utilizados pelos microrganismos do solo que regeneram o CO₂ durante a decomposição das substâncias carbonadas, principalmente os resíduos da biomassa aérea e radicular das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Conforme Paula e Valle (2007), os processos de transformação do carbono são fortemente influenciados por fatores como: temperatura do ar, chuvas, tipo de vegetação, e fertilidade do solo.

Dessa forma, o estoque de carbono orgânico no solo constitui um dos principais indicadores da sua qualidade (REEVES, 1997). Por isso, o conhecimento da sua variabilidade e distribuição espacial é essencial para caracterizar e monitorar determinada área em relação à qualidade do seu solo (OLIVEIRA; REATTO; ROIG, 2015).

2.4.1 O uso do solo e sua relação com a estocagem de carbono

A quantidade de carbono orgânico estocado no solo depende da quantidade e qualidade da matéria orgânica que entra nele, bem como da taxa de decomposição. Estes fatores são determinados pela interação entre clima, atributos do solo, e histórico de uso e manejo (FIDALGO *et al.*, 2007).

Assim, técnicas inadequadas de manejo podem ocasionar processos erosivos e gerar grandes perdas de matéria orgânica e outros nutrientes, alterando as características físico-químicas do solo, reduzindo sua produtividade e aumentando as suas emissões de carbono para a atmosfera (OLIVEIRA, 2016). Portanto, o aumento dos estoques de carbono no solo poderia reduzir os efeitos negativos das mudanças climáticas (PARRON; RACHWAL; FREITAS, 2015).

Isto é, especialmente, é importante para o Brasil, onde as atividades agropecuárias respondem por um quarto das emissões nacionais brutas de GEE (GOUVELLO, 2010) através de processos como: fermentação entérica nos ruminantes, dejetos de animais, cultivo de arroz inundado, queima de resíduos agrícolas e uso de fertilizantes nitrogenados. Dentre os gases emitidos destacam-se: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (LIMA, 2002).

De acordo com Gasques, Bacchi e Bastos (2018), no período entre 1975 e 2016, a produção agropecuária brasileira cresceu mais de quatro vezes, se destacando a produção de grãos e a produção pecuária. Esta última convive com o fenômeno da degradação das pastagens, atribuída por Dias-Filho (2014) a causas como: práticas inadequadas de manejo; ausência de adubações periódicas; e o ataque de insetos-praga.

Para Rosa, Sano e Rosendo (2014), a degradação da pastagem provoca perda de matéria orgânica do solo e emissão de CO_2 , razão pela qual um manejo adequado das pastagens pode contribuir significativamente no combate ao aumento do efeito estufa, potencializando a armazenagem de carbono no solo.

Paralelamente, diversas práticas agrícolas, como reflorestamento, manutenção da biomassa vegetal *in situ* após a colheita, plantio direto, plantação de culturas perenes, uso de adubos orgânicos, manejo adequado das pastagens, uso agroflorestal e outras, recompõem o reservatório de carbono orgânico no solo e restauram a sua capacidade para estocar carbono (LIMA, 2002).

Para Balbino *et al.* (2011) e Vilela, Martha-Júnior e Marchão (2012), uma boa prática para o sequestro de carbono é o sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais na mesma área, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema mediante a rotação, sucessão e consórcio, entre culturas de grãos, forrageiras e espécies arbóreas, para produzir grãos, carne e/ou leite, bem como produtos madeireiros e não madeireiros na mesma área ao longo do ano todo.

Dentre os benefícios do sistema ILPF, Oliveira *et al.* (2017 apud SOUZA *et al.*, 2019) destacam o incremento da produtividade e a sua contribuição tanto para a redução de emissões de GEE, como para alcançar um balanço positivo de carbono.

Isso indica que a implementação do sistema ajuda na recuperação de áreas degradadas pela reconstituição da cobertura florestal, além de reduzir a pressão sobre a vegetação nativa.

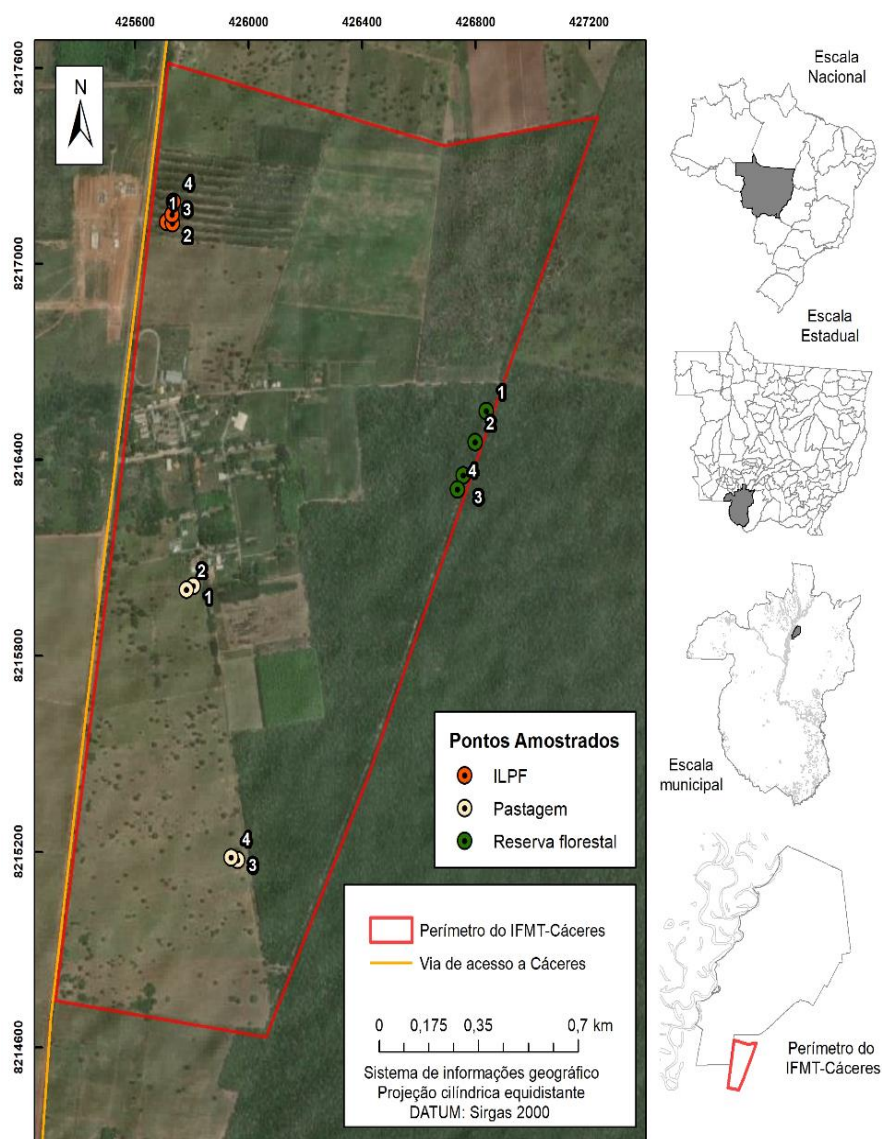
Tratando sobre o papel do sistema ILPF na recuperação de áreas degradadas, autores como Szott e Melendez (2001) e Rodrigues (2013), destacam a sua contribuição para reabilitar as qualidades de atributos físico-químicos e microbiológicos de solos degradados, pois os resíduos das árvores aumentam o seu estoque de matéria orgânica, permitindo recuperar a fertilidade e a produtividade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Para o estudo do estoque de carbono, as amostragens de solos foram coletadas em diferentes tipos de uso (Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF, Pastagem e Reserva Florestal), no perímetro correspondente ao Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de localização do perímetro do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo



Legenda: ILPF-Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Fonte: Organizado pela autora (2022).

A escolha desse perímetro justifica-se pelo fato do campus do IFMT em Cáceres fazer parte do campo experimental de uma das Unidades de Referência Tecnológica (URT) acompanhada pela Embrapa Mato Grosso, que tem como objetivo fomentar a difusão de novas tecnologias e sistemas sustentáveis de produção no qual deve validar ou não o sistema como unidade comparativa, possibilitando a expansão do modelo para outros municípios e estados brasileiros. Essa difusão acontece através de evento realizado *in loco*, denominado de Dia de Campo, onde a temática aborda a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Agricultura de Baixa Emissão de Carbono no Bioma Pantanal Mato-grossense (IFMT, 2020).

O IFMT foi criado pela Lei nº 11.892/2008, que integrou o Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, o Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá e a Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, que tinha sido fundada em 17 de agosto de 1980 (IFMT, 2014). Atua no desenvolvimento da educação tecnológica e profissionalizante em todos os níveis de formação, cursos de formação inicial e continuada voltados para a formação de jovens e adultos das séries iniciais, até cursos técnicos com formação integrada ao ensino médio, pós-médio, graduação e pós-graduação (IFMT, 2020).

O IFMT Campus Cáceres possui uma área de aproximadamente 320 hectares e está localizado no extremo norte do Pantanal, à margem esquerda do rio Paraguai, na cidade mato-grossense de Cáceres (IFMT, 2020). Segundo dados do IBGE (2021), o município de Cáceres possui uma extensão territorial de 24.538,591 km² e em 2020 a sua população estimada era de 94.861 habitantes (crescimento de 6.919 habitantes com relação ao censo de 2010). A distância entre Cáceres e Cuiabá (capital mato-grossense) é de 209,7 km e a altitude média do município é de 118 metros sobre o nível do mar (FERREIRA, 2001).

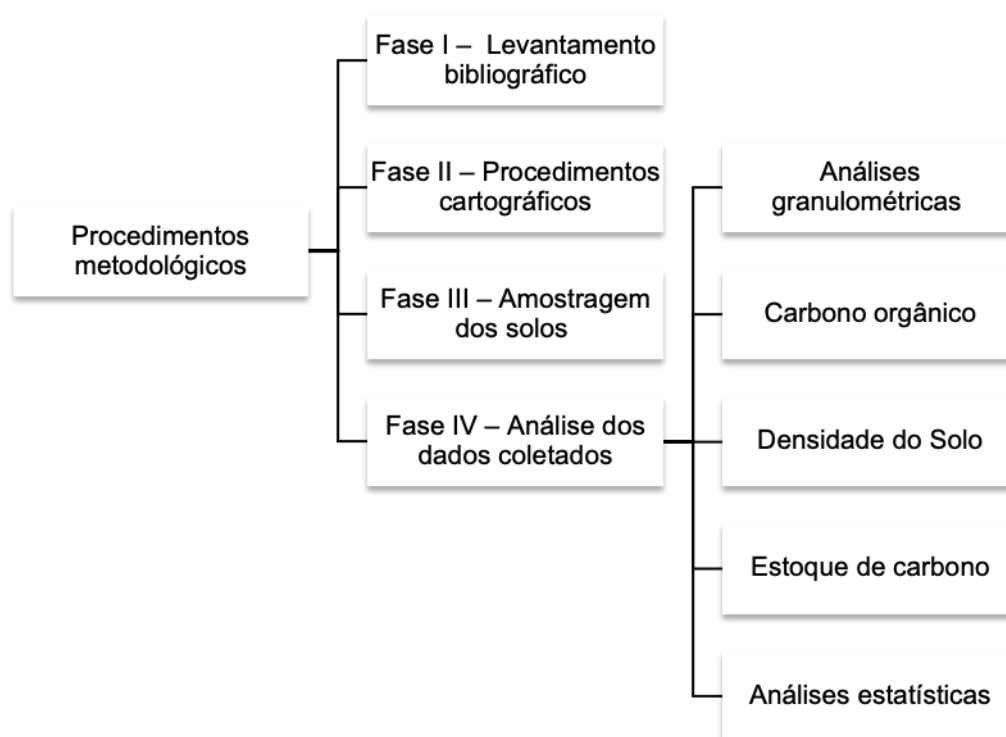
A cidade de Cáceres está situada no setor sudoeste do Estado de Mato Grosso, pertencente à mesorregião Centro Sul Mato-grossense e à Microrregião Alto Pantanal (RODRIGUES, 2012). Encontra-se na sub-região identificada por Silva e Abdon (1998) como: Corixo Grande-Jauru-Paraguai (Pantanal de Cáceres), pertencente a uma das onze sub-regiões que compõem o bioma Pantanal, ocupando aproximadamente 9,01% da área pantaneira. O bioma Pantanal ocupa uma superfície de aproximadamente 140.000 km² dentro do território do Brasil, distribuídos nos

estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, constituindo a maior planície alagada contínua do mundo (SOUZA; LANI; SOUSA, 2006).

3.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos da pesquisa foram estruturados em fases, como mostrado na Figura 3:

Figura 3 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.2.1 Fase I - Levantamento bibliográfico

A revisão bibliográfica realizada em livros, revistas, teses, dissertações, anais de eventos e outras fontes, forneceu o embasamento teórico e metodológico para a pesquisa, com ênfase naqueles aspectos relacionados com as mudanças climáticas e a estocagem de carbono nos solos.

Também foi realizada a análise de documentos relacionados com as

características do município de Cáceres e da área de estudo, o IFMT - Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo, em particular.

3.2.2 Fase II – Procedimentos cartográficos

Para a confecção do mapa de localização foram coletadas as coordenadas com GPS Garmin Etrex 10, com acurácia de 4 metros. Posteriormente, essas coordenadas foram introduzidas na versão 10.6 do Sistema de Informação Geográfica-SIG ArcGis. Foram adicionados ao mapa de localização vetores para a localização por pontos de referência e toponímias e legendas para identificação das mesmas. No mapa foi utilizada a projeção cilíndrica equidistante e o datum SIRGAS 2000.

Os mapas temáticos – geomorfologia, solos e uso e cobertura – também foram confeccionados a partir de diversas fontes preexistentes – bibliográficas e cartográficas –, bem como levantamentos de campo. Para elaborar o mapa geomorfológico da área do estudo utilizaram-se a base de dados Geociências (IBGE, 2019) e levantamento de campo, enquanto que o mapa de solo foi confeccionado a partir da utilização de levantamentos de solos já existentes para a área estudada, elaborando um croqui da ocorrência pedológica que posteriormente foi digitalizado, importado para o SIG e georreferenciado, antes da vetorização e classificação dos solos.

O mapa de uso e cobertura foi confeccionado pela extração dos dados disponíveis no portal MapBiomas Brasil, coleção 5 (1985-2019) publicado em escala de 1:250.000 (<https://mapbiomas.org/>). A paleta de cores RGB de cada classe da legenda foi aplicada conforme orientação do portal para a melhor leitura e interpretação das classes.

Não foram confeccionados mapas temáticos de geologia, hidrografia e clima pelo fato de a reduzida área de estudo não apresentar expressivas diferenciações para esses tipos de mapeamentos na escala detalhada.

3.2.3 Fase III - Amostragem dos solos

As coletas de amostras de solos sob diferentes tipos de uso foram realizadas no mês de março de 2021 durante levantamentos de campo no perímetro do IFMT-Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo, nas áreas de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Pastagem e Reserva florestal.

O sistema ILPF (Figura 4) ocupa uma área de aproximadamente 14 hectares e foi implantado no ano de 2011, estando composto por componentes arbóreos das espécies: Eucalipto (*Eucaliptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clone H13)), Acacia (*Acacia mangium* Willd.), Mogno (*Khaya ivorensis* A. Chev.), Ipê-roxo [*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos], Ipê-amarelo [*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose] e Aroeira (*Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.).

Figura 4 - Área do sistema ILPF (esquerda) e um dos seus pontos de amostragem de solo (direita)



Fonte: Autora (2022).

Os cultivos foram plantados nas safras de 2011/2012 (feijão/braquiária); 2012/2013 (milho silagem/braquiária), 2013/2014 (soja/braquiária) e 2014/2015 (também com soja/braquiária). Após a colheita da soja foi implantada a pastagem definitiva com *Brachiaria brizantha* - BRS Piatã, iniciando o pastejo em outubro de

2015 com bovinos adultos de leite e corte, cujo manejo considera a altura de entrada dos animais de 0,35 m e altura de saída de 0,20 m.

A Pastagem (Figura 5) compreende uma área total de aproximadamente 144 hectares; porém, para as amostragens do solo delimitaram-se 77 ha. Essa área está ocupada pela gramínea *Brachiaria brizantha*, que serve de pastejo, mas que também contribui para um maior acúmulo de matéria orgânica no solo, ajudando assim na ciclagem de nutrientes. A semeadura do pasto foi realizada há mais de 12 anos, podendo considerar essa pastagem como não degradada, em função do seu manejo, que compreendeu o preparo convencional e a semeadura direta. Na área não há superlotação de rebanho, favorecendo assim o pouco pisoteio do gado na pastagem. Devido ao tipo de manejo ser convencional, não há relatos de revolvimento do solo, considerando-se assim as pressões antrópicas extremamente baixas, nestes casos, o tempo e a qualidade do manejo da pastagem podem influenciar na resposta da vegetação presente, bem como nos atributos do solo.

Figura 5 - Área de Pastagem (esquerda) e um dos seus pontos de amostragem de solo (direita)



Fonte: Autora (2022).

A Reserva florestal, compreende uma área de aproximadamente 65 hectares, estando constituída por vegetação nativa, representada por um fragmento de Cerradão (Figura 6).

Autores como Bridgewater *et al.* (2004), Bueno *et al.* (2013) e Verly *et al.* (2020) salientam que a vegetação do Cerrado é muito heterogênea, estando constituída por fitofisionomias diversas, desde formações campestres até florestais. Dentre estas últimas se destacam o Cerradão (formação florestal composta por espécies de mata de galeria) e o Cerrado *stricto sensu* de aspecto xeromórfico, com presença de estrato arbustivo e herbáceo, e altura média do estrato arbóreo entre 8 e 15 m (RIBEIRO; WALTER, 2008; VERLY *et al.*, 2020).

Figura 6 - Área de Reserva florestal (esquerda) e um dos seus pontos de amostragem de solo (direita)



Fonte: Autora (2022).

Verly *et al.* (2020) descrevem a vegetação da Reserva florestal, apontando a família *Fabaceae* como a de maior riqueza de espécies; ela, de conjunto com *Apocynaceae* e *Vochysiaceae* são as mais significativas para o fragmento de Cerradão desde o ponto de vista fitossociológico. Entretanto, apontaram que *Aspidosperma cylindrocarpon*, *Callisthene fasciculata*, *Platypodium elegans*, *Pseudobombax tomentosum* e *Astronium urundeuva* são as espécies mais importantes estruturalmente.

Para a amostragem dos solos foram abertas em cada tipo de uso (ILPF, Pastagem e Reserva Florestal), quatro mini-trincheiras de tamanho 50 × 50 × 40 cm, com delineamento inteiramente casualizado. Foram coletadas amostras deformadas

e indeformadas de solo, nas camadas de 0-10, 10-20, e 20-40 cm, totalizando 72 amostras (36 deformadas e 36 indeformadas).

As amostras deformadas de solo coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas de acordo com cada ponto de amostragem, parte do solo foi separada para análise do carbono e parte para análise granulométrica. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos com a finalidade de determinar a densidade do solo para posteriormente estimar o estoque de carbono do solo.

3.2.4 Fase IV - Análises dos dados coletados

As amostras de solos coletadas foram analisadas no Laboratório de Solos do IFMT- Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo, sendo a metodologia utilizada para as análises granulométrica, da densidade do solo e do conteúdo de carbono orgânico, as estabelecidas pela EMBRAPA (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

3.2.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica do solo (dispersão total), ocorreu do seguinte modo:

As amostras foram secas ao ar (forma natural) e posteriormente destorroadas e passadas na peneira de malha de 2 mm, sendo as amostras menores que 2 mm chamadas de Terra Fina Seca no Ar (TFSA).

Após a secagem, 20 g de amostra de cada ponto de coleta foram postas em béqueres de 250 ml (já pesados), contendo 10 ml de solução dispersante de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L⁻¹ e água destilada (100 ml). Em seguida, o conteúdo dos béqueres foi agitado com um bastão de vidro, tampado e deixado em repouso.

Passado o período de repouso, as amostras foram transferidas para garrafas de Stohlmann e agitadas durante 16 horas mecanicamente no agitador tipo Wagner (TE-160). Na sequência, o material foi lavado em uma peneira de 20 cm de diâmetro e de malha de 0,053 (nº 270), o silte e a argila foram colocados na proveta de 1.000

ml e completado o volume até o limite, e a areia retida na peneira foi colocada em béquer.

O material da proveta foi agitado com um bastão de vidro e deixado em repouso conforme tabela de temperatura e tempo de sedimentação. Transcorrido este tempo, foi introduzida uma pipeta no interior da proveta até a profundidade de 5 cm, sendo aspirada a suspensão (fração argila).

Tanto as suspensões coletadas da pipeta, quanto da peneira, foram transferidas para béqueres identificados de acordo com o ponto de coleta e peso conhecidos e levados à estufa a 105°C. Depois de secas, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas no dessecador. Em seguida, foram pesados com aproximação de 0,0001 g, determinando a argila.

Depois de seca, foram pesadas e calculadas as frações de areia e argila de cada amostra. O valor de silte foi obtido através da soma das areias mais argila e subtraídas pelas 20 g iniciais.

3.2.4.2 Carbono Orgânico

Para a quantificação do teor de carbono orgânico, o procedimento foi determinado pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, utilizando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico, gerado por uma fonte externa (placa aquecedora). O excesso de dicromato de potássio após esse processo, foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (WALKLEY; BLACK, 1934 apud TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Para isso, o procedimento ocorreu do seguinte modo:

Foram tomados aproximadamente 20 g de solo, sendo triturados e passados em peneira de 80 mesh. A seguir, foram pesados 0,5 g do solo peneirado e colocado em erlenmeyer de 250 ml; foram adicionados 10,0ml (pipetados) da solução de dicromato de potássio 0,0667 mol L⁻¹, incluindo uma amostra em branco com 10,00 ml da solução de dicromato de potássio e anotado o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto para determinar a amostra inicial da titulação.

Foi colocado um tubo de ensaio de 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura cheio de água na boca do erlenmeyer, para funcionar como condensador, sendo aquecido durante 5 minutos em placa elétrica até a fervura branda.

Após esfriar, foram colocados 80 ml de água destilada, medida com proveta, 2 ml de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina; quantificando com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L⁻¹ até que a cor azul desaparecesse, cedendo lugar à verde; sendo anotados assim o número de mililitros gastos.

Finalmente, foi calculada a concentração de carbono orgânico no solo, utilizando a equação recomendada por Teixeira *et al.* (2017):

$$C = (0,003.V_d.(40-V_a).40/V_b.10)/m$$

Onde:

C = concentração de carbono orgânico total no solo (g kg⁻¹);

V_d = volume total da solução de dicromato de potássio (ml);

V_a = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra (ml);

V_b = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal da titulação do branco aquecido (ml);

Valor 0,003 = miliequivalente da massa de carbono;

Valor 10 = transformação de % para g kg⁻¹;

m = massa da amostra de solo (g).

3.2.4.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, com amostras indeformadas, coletada através de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno de 100 cm³. Para cada ponto amostrado, foi anotado o volume do anel contendo a amostra de solo, sendo pesado o conjunto e anotada a massa. Posteriormente, os anéis foram colocados na estufa a 105°C para secagem; após 48 horas foram retirados e, depois de esfriar, pesados novamente. Para calcular a densidade do solo foi utilizada a seguinte equação (TEIXEIRA *et al.*, 2017):

$$D_s = m/v$$

Onde:

D_s = densidade do solo (g cm^3);

m = massa de solo seco (g);

v = volume do anel (cm^3).

3.2.4.4 Estoque do Carbono

Para calcular o estoque de carbono utilizou-se o método da camada equivalente (VELDKAMP, 1994, apud FERNANDES; FERNANDES, 2009) com base na seguinte equação:

$$EC = (CO \times D_s \times e) / 10$$

Onde:

EC = estoque de carbono orgânico (Mg ha^{-1});

CO = carbono orgânico (g kg^{-1});

D_s = densidade do solo (kg dm^3);

e = espessura da camada (cm).

3.2.4.5 Análises estatísticas

Os resultados obtidos para os teores de carbono, de suas associações com a granulometria do solo e de seus estoques foram submetidos às análises estatísticas no teste de normalidade e homogeneidade de variância; porém, os dados não atenderam o pressuposto da normalidade, e para isso foi aplicado o teste Kruskal Wallis (ANOVA não paramétrica) para comparar os tratamentos e o Teste de Dunn (Teste T não paramétrico) para comparar a diferença entre eles.

Para verificar a correlação entre as variáveis: granulometria, densidade, carbono orgânico, estoque de carbono e a profundidade, foi aplicado a correlação de Spearman para os dados obtidos conforme as análises. Para a aplicação dos testes foi utilizado um software do R Development Core Team (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização geoambiental

4.1.1 Clima

Segundo o Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Mato Grosso, a cidade de Cáceres se localiza na subunidade climática Tropical Megatérmico Sub-úmido. Com base na classificação de Köppen, autores como Maitelli (2005) e Rosestolato Filho (2006) apontam que o clima de Cáceres é Tropical com estação seca (Aw).

O volume anual de precipitações, geralmente de origem convectiva, na região de Cáceres varia entre 1.200 e 1.400 mm (CAMARGO, 2011). O regime pluviométrico apresenta uma notável sazonalidade, pois as chuvas se concentram entre os meses de outubro e março, quando se registra entre 70 e 80% do total anual, enquanto o período seco ocorre entre abril e setembro. Leandro (2015) destaca que as precipitações na região têm mostrado significativas oscilações interanuais desde a década de 1970.

Em relação às temperaturas, mesmo que a média anual seja de 22,6°C, as máximas podem atingir entre 35° e 40°C em setembro e outubro, enquanto a temperatura mínima pode chegar a 16°C no mês de julho devido à influência da massa de ar polar atlântica (MATOS, 2018; MORENO; HIGA, 2005).

4.1.2 Geologia

Considerando os diferentes níveis identificados por Figueiredo e Olivati (1974 apud SOUZA; LANI; SOUSA, 2006) na Formação do Pantanal, a maior parte da área de estudo se encontra no nível topograficamente mais elevado, onde predominam depósitos de cobertura detrítico-lateríticos constituídos por depósitos de areias quartzosas inconsolidadas, intercaladas por materiais siltico-argilosos. Entretanto, um

pequeno setor dessa área corresponde ao segundo nível, formado por silte, argila e areia fina, em terraços aluviais.

4.1.3 Geomorfologia

Em relação ao relevo, as principais unidades geomorfológicas identificadas na região são: a Província Serrana; a Depressão do Rio Paraguai, extensa área drenada pelo alto curso do rio homônimo e seus afluentes; e dentro dela, os Pantanaís Mato-grossenses.

A Província Serrana, que tem fornecido parte dos sedimentos acumulados na área estudada, apresenta relevo do tipo apalachiano (sinclinais alçadas e anticlinais escavadas), esculpido em estruturas dobradas pré-cambrianas. Todavia, tanto a Depressão do Rio Paraguai quanto a planície ocupada pelo Pantanal se relacionam geneticamente com abatimentos tectônicos ocorridos durante a orogênese Andina (ROSS, 2016).

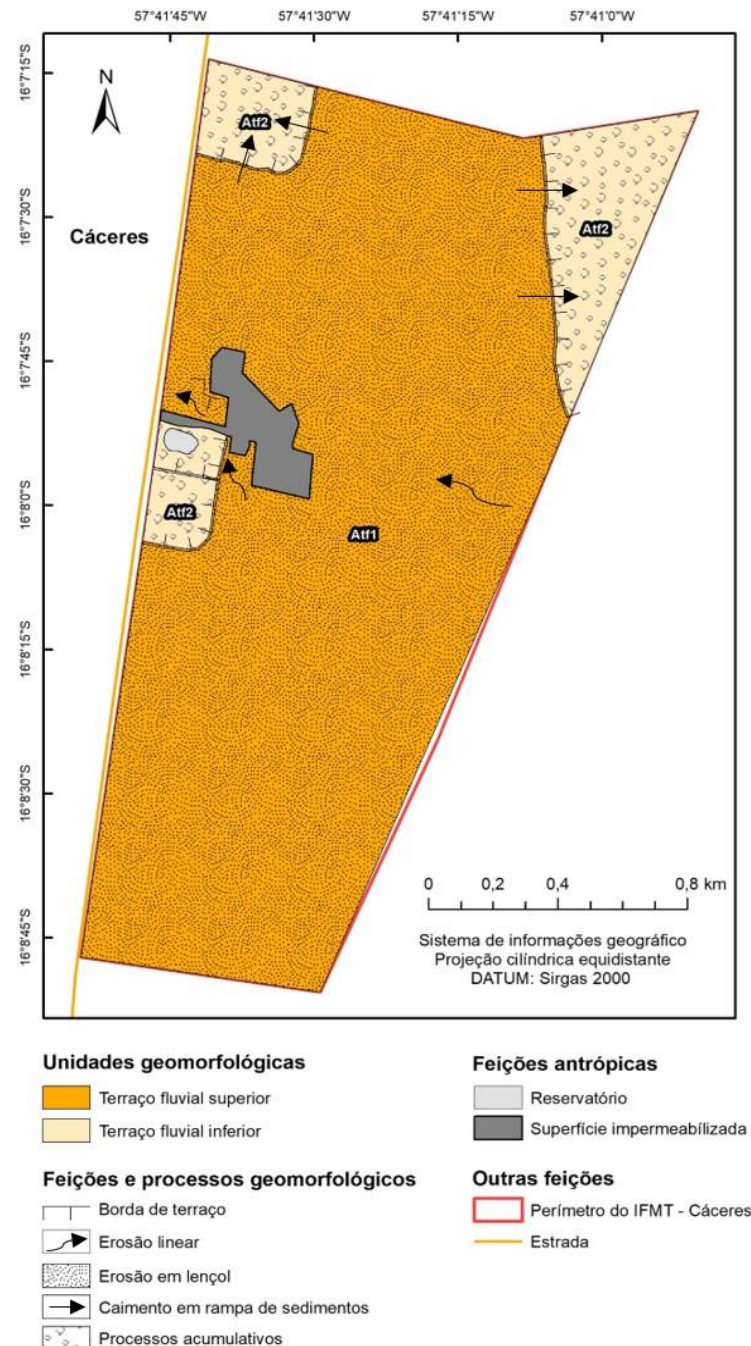
Na citada depressão, o relevo é pouco dissecado e aplainado, com vales pouco entalhados onde têm se formado planícies fluviais nas margens dos rios, como elencado por Ross e Santos (1982) e pelo relatório do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997).

O contexto local (área estudada) corresponde ao setor não inundável da planície pantaneira, que se apresenta, segundo Moraes (2010), como uma superfície acumulativa de terraços fluviais muito pouco inclinados (declividade de 0 a 3 graus) e pouco dissecados (amplitude de topo de 2 a 20 metros). Observações de campo permitiram conferir a existência de uma única subunidade geomorfológica constituída por dois terraços fluviais de gênese acumulativa, sendo que uma rampa inclinada marca a transição do terraço superior para o inferior, e também a lenta movimentação dos sedimentos na direção do terraço inferior (Figura 7).

Na superfície (plana a muito pouco inclinada) do terraço superior predomina a erosão laminar como processo exógeno. No entanto, nela tem se formado microformas do relevo de gênese erosiva na forma de talvegues pouco encaixados. Entretanto, na superfície do terraço inferior predomina o processo acumulativo.

Finalmente, a construção de um pequeno reservatório na entrada da instituição levou à criação de microformas do relevo de origem antrópica, terraplanagem na borda e escavação no leito do mesmo.

Figura 7 - Geomorfologia do perímetro do IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo



Fonte: Organizado pela autora (2022).

4.1.4 Hidrografia

Em relação à hidrografia, as observações de campo permitiram constatar que o escoamento das águas advindas das precipitações na área de estudo ocorre essencialmente de maneira superficial (através de lâminas de água que se formam durante eventos de chuvas). No entanto, também existem talvegues erosivos advindos da erosão linear, como mostrado na Figura 7, bem como pequenos sulcos que se formam pelo escoamento da água na rampa que separa os dois níveis de terraços.

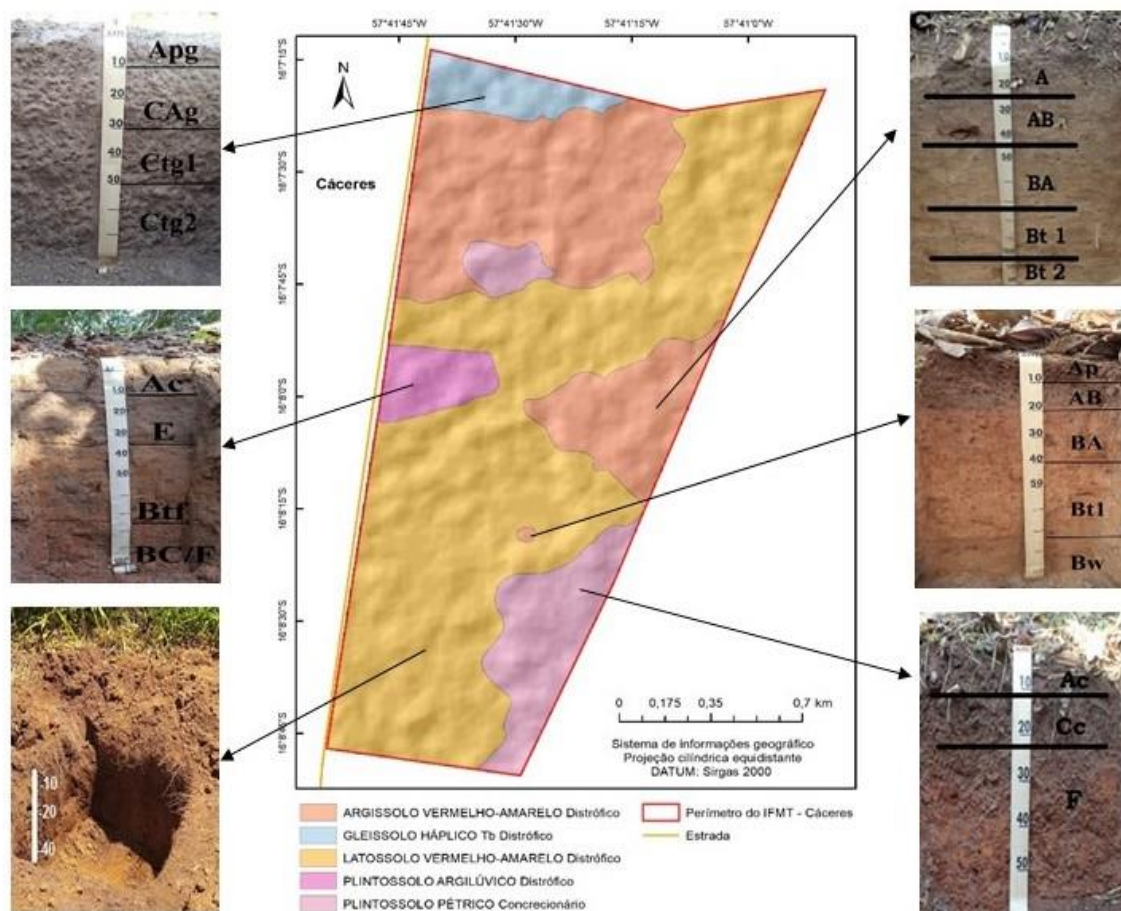
4.1.5 Solos

Dependendo das características naturais do ambiente, tais como o material de origem, clima, organismos vivos, relevo (altitude, declividade e curvatura do terreno), tempo e localização, os solos podem apresentar distintas características quanto à sua composição química, física e mineralógica. Neste sentido, é fundamental o conhecimento e mapeamento dos solos para que se possam adotar práticas adequadas de manejo e uso, considerando suas potencialidades e fragilidades naturais.

Na tentativa de espacializar os solos presentes na área de estudo, a caracterização pedológica partiu do conhecimento de campo e de pesquisas já realizadas pelos autores como Luiz *et al.* (2015), Arruda (2016) e Rodrigues (2016). Desse modo, elaborou-se um mapa temático com a espacialização das classes de solos representativas do perímetro do IFMT Campus Cáceres.

As classes de solos foram descritas como: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd); GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (GXbd); LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd); PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico (FFc); e PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário (FTd), conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Classes de solos representativas no perímetro do IFMT - Campus Cáceres
Prof. Olegário Baldo



Fonte: Organizado pela autora (2022) a partir de Arruda (2016) e Rodrigues (2016).

Com a definição das unidades de classes de solos, observa-se que o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico representou o maior delineamento de solo para o perímetro, com aproximadamente 54,71% da área e a menor representação foi o PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico, com 3,36% da área (Tabela 1).

Tabela 1 - Classe de solos representativas para o perímetro estudado

Sigla	Classes de solo	Área* (ha)	%
PVAd	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico	91,09	28,24
GXbd	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico	12,46	3,86
LVAd	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico	176,45	54,71
FTd	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico	10,83	3,36
FFc	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário	31,69	9,83

*Área total aproximada em 320 ha. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Sendo assim, ao realizar o levantamento dos tipos de solo presentes na área, observa-se que nos pontos amostrados no sistema ILPF e na Reserva florestal há o predomínio do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, enquanto que na área de Pastagem o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Tabela 2).

Quadro 1 - Classes de solos encontrados nos pontos amostrados (ILPF, Pastagem e Reserva florestal)

Uso do solo	Classes de solo	Sigla
ILPF	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico	PVAd
Pastagem	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico	LVAd
Reserva	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico	PVAd

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os solos representados como Argissolos são descritos pela EMBRAPA (2018) como solos constituídos por material mineral, apresentando um horizonte B textural logo abaixo do horizonte A ou E, com baixa atividade de argila, que quando associada à saturação de bases baixas ou com presença alumínica na maior parte do horizonte B, a atividade pode ser alta. Adicionalmente, Arruda (2016), ao caracterizar o Argissolo da área estudada, observa a presença da mudança textural abrupta, na qual influencia uma menor infiltração de água no solo nos horizontes mais profundos e mais argilosos, ocasionando o aumento do fluxo lateral de água e contribuindo desse modo aos processos erosivos.

Já os Gleissolos são solos que podem estar constituídos por material mineral apresentando horizonte glei, que se inicia nos primeiros 50 cm da superfície do solo, podendo se encontrar permanente ou periodicamente saturados por água, sendo considerados mal drenados em condições naturais (EMBRAPA, 2018). Desse modo, Rodrigues (2016) indica para a área analisada uma alta elevação do lençol freático, ocasionando dessa forma uma maior remoção dos óxidos de ferro do sistema onde ele está inserido, o que pode proporcionar o processo de gleização ao longo do perfil e a translocação de argila para a subsuperfície.

Para os Latossolos, a EMBRAPA (2018) descreve que esses solos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A. Apresentam atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização), resultando em intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e mesmos secundários menos resistentes.

Os latossolos apresentam uniformidade na cor e textura nos horizontes subsuperficiais, podendo ser bem profundos e bem drenados. E, geralmente, apresentam baixa fertilidade e podem ser fortemente ácidos e com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (EMBRAPA, 2018). No entanto, observa-se que o Latossolo presente na área de estudo percorre as áreas antropizadas do IFMT, o que indica que as modificações da paisagem ocorridas nesse ambiente, em virtude da ação antrópica, além do intemperismo, podem interferir nos atributos dos solos, bem como no seu comportamento.

Os solos caracterizados como Plintossolos são solos que apresentam horizontes plínticos, litoplíntico ou concrecionário dentro de 40 cm das superfícies ou dentro de 200 cm da superfície quando precedidos dos horizontes A e E. Estes também ocorrem em outros horizontes com cores pálidas, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante (EMBRAPA, 2018).

Os Plintossolos Argilúvicos possuem como características, horizonte plíntico e horizonte B textural ou caráter argilúvico. Enquanto que os Plintossolos Pétricos são solos que apresentam horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico, menos quando precedido por horizonte plíntico (EMBRAPA, 2018). Desse modo, Arruda (2016) e Rodrigues (2016) encontraram para esses solos a presença de formação de nódulos e concreções, translocação de argila e laterização com concentração dos óxidos de ferro em forma de petroplintita, o que pode limitar as práticas de manejo por apresentar pouco volume de solo disponível para as plantas.

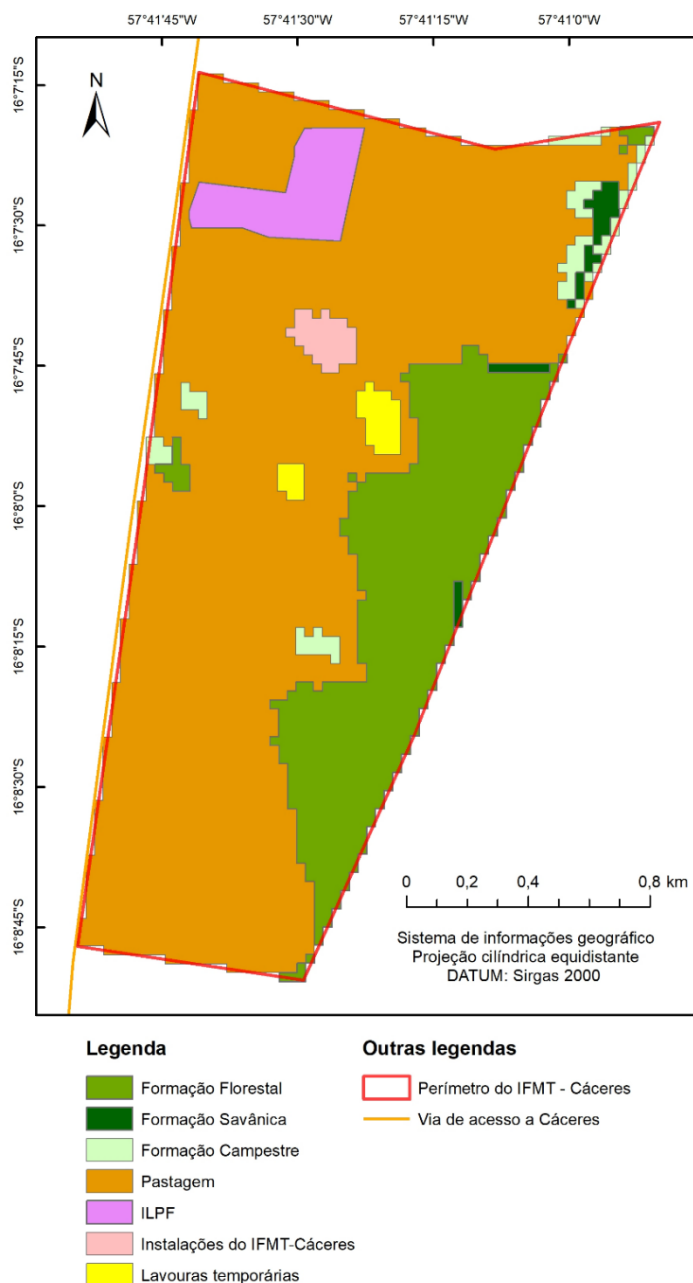
Assim, a distribuição das diferentes classes de solos para área de estudo pode ser entendida pela heterogeneidade presente, a qual pode ser conferida pela avaliação das propriedades dos solos.

4.1.6 Vegetação

A vegetação nativa do perímetro estudado está constituída pelas seguintes formações: Formação Florestal (a qual ocupa 22,64% da área estudada); Formação Campestre (1,93%); e Formação Savânica (com apenas 0,95%). O restante da superfície está ocupado por Pastagens (cobrindo 72,51% da área total); Lavouras

temporárias (0,99%) e; Infraestrutura urbana (instalações institucionais que ocupam 0,98% da área total) (Figura 9).

Figura 9 – Uso e cobertura no perímetro do IFMT Campus Cáceres Prof. Olegário Baldo



Fonte: Organizado pela autora (2022).

Segundo o IBGE (2013), a Formação Florestal corresponde a formações arbóreas com porte superior a 5 m, incluindo as fisionomias da Floresta Densa, estrutura florestal com dossel contínuo, enquanto que a Formação Savânica é o Cerradão, com fitofisionomia florestal e um nível de cobertura do dossel que favorece

a entrada da luminosidade necessária para o desenvolvimento de estratos arbustivo e herbáceo, segundo Ribeiro e Walter (2008 apud CASELLA, 2014).

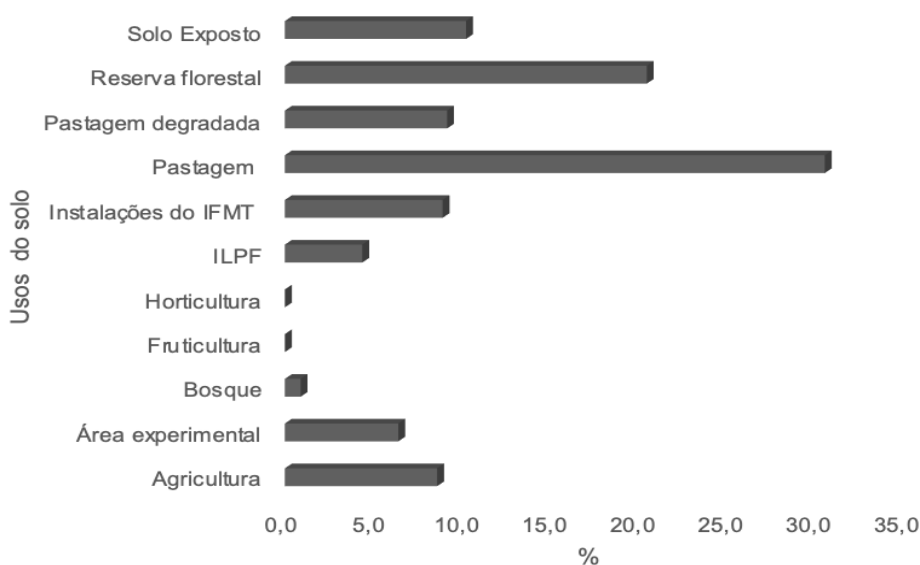
Na Formação Campestre se incluem diferentes categorias de vegetação caracterizadas por um estrato arbustivo predominante que se distribui esparsamente sobre um tapete gramíneo-lenhoso (IBGE, 2013).

A infraestrutura urbana compreende o prédio central do Campus e outras estruturas necessárias para o funcionamento da instituição, como salas de aula, laboratórios, refeitório, etc. Segundo o IBGE (2013), esta classe compreende áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas.

A classe de outras lavouras temporárias corresponde, segundo o IBGE (2013), as pastagens naturais e plantadas, bem como matas e florestas (naturais e plantadas). Na realidade do Instituto Federal de Mato Grosso, em Cáceres, ocorre a utilização destas áreas para fins experimentais dos cursos de agropecuária e engenharia florestal.

As modalidades de uso atuais da área são diversas, sendo as de maiores porcentagens as de pastagens, reserva florestal, solo exposto, e instalações institucionais (Figura 10).

Figura 10 - Usos do solo no perímetro do IFMT Cáceres Prof. Olegário Baldo



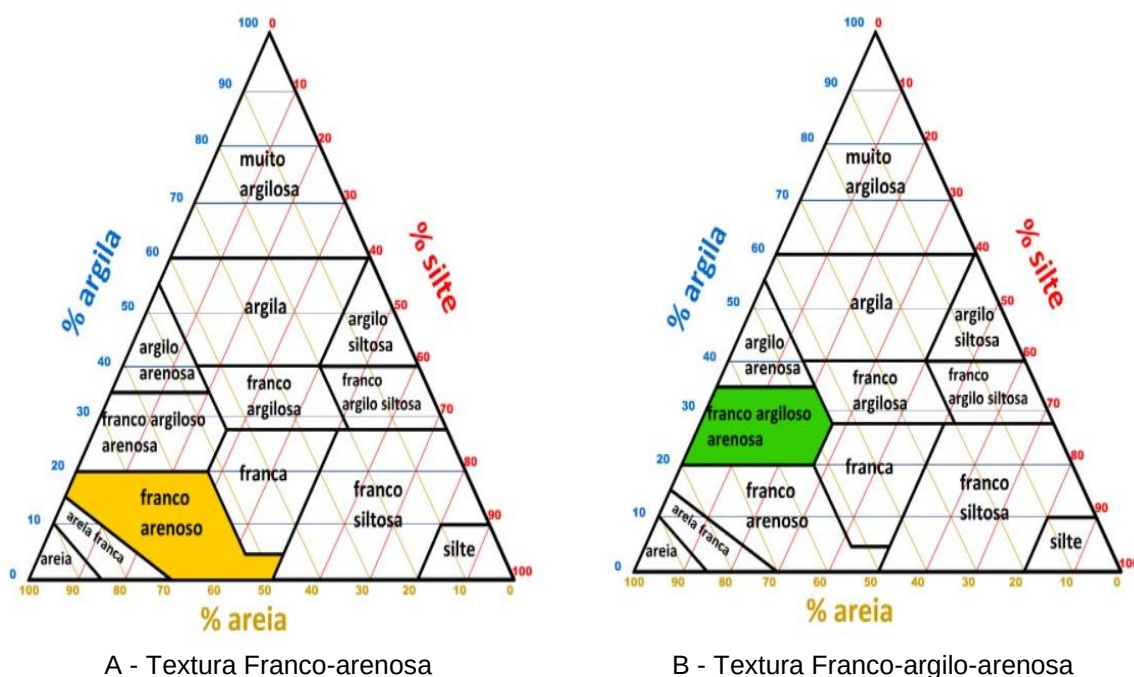
Fonte: Adaptado de Leseux (2019).

4.2 Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas do solo, como densidade, resistência à penetração, compactação e susceptibilidade aos processos erosivos, facilitam a compreensão do seu comportamento mecânico (SUZUKI *et al.*, 2008). Por isso, Alexandre, Silva e Ferreira (2001) consideram a composição granulométrica ou textura como uma das mais importantes características físicas do solo, devido a sua influência no regime hídrico, regime térmico, comportamento de nutrientes no solo, bem como na capacidade do solo para estocar carbono.

Diante disso, partindo da classificação textural, os valores obtidos na análise granulométrica do solo foram lançados no triângulo textural (QUOOS, 2021), onde a definição das classes presentes nos solos amostrados nos diferentes tipos de uso (ILPF, Pastagem e Reserva florestal) se deu a partir da intersecção dos valores das frações de areia, silte e argila. As classes texturais para o conjunto das áreas estudadas apresentaram uma variação entre franco-arenosa (FrAr) e franco-argilo-arenosa (FrAAr) (Figura 11).

Figura 11 – Variação das classes texturais presentes no conjunto da área de estudo, representadas pelos triângulos texturais



Legenda: A) Textura Franco-arenosa (presente em 83,3% do total de profundidades amostradas). B) Textura Franco-argilo-arenosa (presente apenas na camada de 20-40 cm, em 16,7% das profundidades amostradas). Fonte: Adaptado de Quoos (2021).

As propriedades físicas dos solos analisadas nos tipos de uso (ILPF, Pastagem e Reserva florestal) e profundidade (0-10, 10-20 e 20-40 cm) podem ser observadas na Tabela 2, onde os valores apresentados indicam as frações granulométricas (areia, silte e argila), densidade do solo e a classe textural de todos os pontos amostrados.

Tabela 2 - Propriedades físicas dos solos analisados nos tipos de uso: ILPF, Pastagem e Reserva florestal

Usos do solo	Pontos amostrados	Prof.	Areia	Silte	Argila	Ds	Classe textural
		cm	dag Kg ⁻¹			g cm ⁻³	
ILPF	P1	0-10	74,08	12,34	13,58	1,73	Franco-arenosa
	P1	10-20	72,64	13,22	14,14	1,69	Franco-arenosa
	P1	20-40	65,59	14,53	19,88	1,73	Franco-argilo-arenosa
	P2	0-10	73,78	12,48	13,74	1,72	Franco-arenosa
	P2	10-20	71,26	13,01	15,73	1,76	Franco-arenosa
	P2	20-40	65,57	14,47	19,96	1,71	Franco-argilo-arenosa
	P3	0-10	73,52	12,18	14,30	1,73	Franco-arenosa
	P3	10-20	71,65	11,57	16,78	1,70	Franco-arenosa
	P3	20-40	68,50	12,86	18,64	1,67	Franco-arenosa
	P4	0-10	71,13	14,16	14,71	1,58	Franco-arenosa
	P4	10-20	72,80	13,30	13,90	1,76	Franco-arenosa
	P4	20-40	71,18	13,67	15,15	1,55	Franco-arenosa
Pastagem	P1	0-10	74,23	12,28	13,49	1,66	Franco-arenosa
	P1	10-20	74,44	12,72	12,84	1,72	Franco-arenosa
	P1	20-40	73,18	13,04	13,78	1,80	Franco-arenosa
	P2	0-10	78,73	11,13	10,14	1,72	Franco-arenosa
	P2	10-20	77,84	11,23	10,93	1,69	Franco-arenosa
	P2	20-40	74,75	12,36	12,89	1,72	Franco-arenosa
	P3	0-10	73,39	11,77	14,84	1,60	Franco-arenosa
	P3	10-20	70,28	12,39	17,33	1,54	Franco-arenosa
	P3	20-40	59,63	15,13	25,24	1,54	Franco-argilo-arenosa
	P4	0-10	67,60	14,22	18,18	1,66	Franco-arenosa
	P4	10-20	68,25	13,58	18,17	1,67	Franco-arenosa
	P4	20-40	59,30	14,09	26,61	1,61	Franco-argilo-arenosa
Reserva florestal	P1	0-10	76,99	10,26	12,75	1,27	Franco-arenosa
	P1	10-20	75,35	10,06	14,59	1,43	Franco-arenosa
	P1	20-40	68,76	11,44	19,80	1,53	Franco-argilo-arenosa
	P2	0-10	74,21	11,67	14,12	1,50	Franco-arenosa
	P2	10-20	73,37	10,30	16,33	1,50	Franco-arenosa
	P2	20-40	70,36	10,99	18,65	1,53	Franco-arenosa
	P3	0-10	73,81	12,74	13,45	1,47	Franco-arenosa
	P3	10-20	74,88	10,93	14,19	1,50	Franco-arenosa
	P3	20-40	68,94	11,83	19,23	1,58	Franco-arenosa
	P4	0-10	75,56	10,90	13,54	1,45	Franco-arenosa
	P4	10-20	74,18	10,34	15,48	1,57	Franco-arenosa
	P4	20-40	67,15	11,93	20,92	1,63	Franco-argilo-arenosa

Legenda: Prof. – Profundidade; Ds – Densidade do solo. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A classe textural franco-argilo-arenosa (FrAAr) é observada na profundidade de 20-40 cm nos pontos amostrados, com exceção apenas no ILPF (P3, P4), Pastagem (P1, P2) e Reserva florestal (P2, P3). A ocorrência dessa textura nessas camadas deve-se à presença de argila, que mesmo sendo considerada baixa, pode ter sido translocada das camadas superficiais para as subsuperfícies.

Diante das texturas analisadas, verifica-se que as classes texturais variaram entre franco-arenosa (FrAr) e franco-argilo-arenosa (FrAAr); porém, a textura predominante na maioria dos pontos amostrados foi a franco-arenosa (FrAr). A textura franca, também conhecida como textura média, pode ser definida como proporção semelhante de partículas de areia, silte e argila, que neste caso pode ser considerada moderadamente grosseira, tornando os solos que apresentam essa textura com boa drenagem e capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade, conforme apontam Centeno *et al.* (2017).

Assim, com o predomínio da textura franco-arenosa, é possível dizer que os solos dos tratamentos amostrados apresentam maior concentração de areia (partículas minerais grosseiras) e baixo teor de argila. Desse modo, Santos *et al.* (2012) ressaltam que esse predomínio da fração de areia pode apresentar uma pequena ação dos processos pedogenéticos, sendo insuficiente para provocar alterações expressivas do material de origem da área de estudo, em razão da sua resistência ao intemperismo.

Além disso, a textura do solo pode ser considerada uma característica importante para os resultados desta pesquisa, pois há pouca variação desta ao longo do tempo e o tamanho das partículas interfere diretamente nas propriedades dos solos. Logo, o conhecimento das frações granulométricas também se torna indispensável para o estudo e a classificação do solo, pois os atributos físicos auxiliam no seu preparo e conservação, na irrigação, drenagem, armazenamento, crescimento de plantas, capacidade de estocar carbono, entre outros, visando assim produções mais sustentáveis e melhor desenvolvimento de um plano de recuperação de áreas degradadas (CAMPOS; JESUS; NUNES, 2017; REINERT; REICHERT, 2006).

Ao relacionar o tipo de solo e o carbono no solo, Lal (2007) afirma que os solos mais arenosos podem apresentar menor concentração de carbono, o que pode ser explicado pela baixa atividade das argilas, menor agregação das partículas do solo e pela maior lixiviação; já nos solos com maior concentração de argila e textura fina ocorre normalmente um aumento de carbono, apresentando maiores valores de estoque (BODDEY; ALVES; URQUIAGA, 2004).

Desse modo, autores como Belizário (2008), Mello *et al.* (2015) e Santos *et al.* (2020) mostram que existe uma correlação positiva entre a argila e o carbono no solo,

onde seus estudos indicam que o teor de argila influencia na promoção do teor de carbono no solo.

No entanto, ao analisar a correlação do carbono orgânico total e as variáveis da granulometria (areia, silte e argila) para o conjunto da área de estudo (tipos de uso do solo e profundidade total), nota-se que essa correlação se mostra contrária aos autores citados, pois a correlação encontrada para o teor de carbono no solo e a argila é significativa e negativa (Tabela 3), presumindo, que o teor de argila não favoreceu o aumento de carbono no solo para a área estudada. Esse efeito (inverso), também foi descrito pelos autores Melo *et al.* (2008).

Embora, que neste caso, ainda exista a baixa atividade de argila nas camadas subsuperficiais (como demonstrado através da presença da textura franco-argilo-arenosa), é importante destacar que ao analisar a correlação das variáveis (carbono orgânico total e argila) entre as camadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm) para a área de estudo, verifica-se que a correlação permanece negativa nas camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm), enquanto para a camada de 20-40 cm, é possível observar uma tendência de correlação positiva entre e o teor de carbono orgânico total e a argila (Tabela 4).

Quanto à correlação existente entre a variável areia e o teor de carbono no solo para o conjunto da área de estudo (tipos de uso do solo e profundidade total), observa-se uma correlação significativa e positiva, o que indica que os teores de areia se sobressaem aos teores de argila (Tabela 3). Sendo assim, em estudos realizados com a mesma temática, Saiz *et al.* (2012) observaram que em solos mais arenosos, o teor de areia melhora a estimativa do estoque de carbono no solo, sendo influenciados por uma pequena ação do carbono no solo. Já Petter *et al.* (2017) verificaram que os teores de areia foram mais determinantes do que a argila para o carbono no solo, deixando de ser um fator condicionante para o incremento de carbono no solo.

Quando realizada a correlação das variáveis carbono orgânico total e areia entre as camadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm) para a área de estudo, esta apresentou correlação positiva nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, sendo significativa apenas na camada de 0-10 cm, e negativa na camada de 20-40 cm.

Todo esse efeito encontrado para área estudada pode ser justificado pela influência de fatores como: características do ambiente, tipo de vegetação, tipo de

solo, uso e manejo, condições climáticas e outros fatores como a existência de outras propriedades do solo (variáveis) influenciando na dinâmica do carbono do solo, sugerindo assim, estudos mais específicos para avaliar essa variação. Já para o teor de silte não houve contribuição significativa com o carbono no solo da área estudada.

Tabela 3 - Correlação de Sperman entre o carbono orgânico total (COT) e as variáveis da granulometria para o conjunto geral da área de estudo e camadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm)

Variáveis	COT (Geral)	COT 0 – 10 cm	COT 10 – 20 cm	COT 20 – 40 cm
Areia	0,54*	0,64*	0,27	-0,11
Silte	-0,26	-0,55	0,03	-0,12
Argila	-0,58*	-0,55	-0,22	0,29

Legenda: *Correlação significativa ao nível de 5%. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Além da classificação textural, outro fator importante para avaliar o teor de carbono no solo é a presença de matéria orgânica (MO). Centeno *et al.* (2017) relatam que solos com textura arenosa podem apresentar deficiência de matéria orgânica e que necessitam de mais cuidados durante seu manejo quando comparados aos solos de textura argilosa, o que pode influenciar na capacidade de estocar carbono. Desse modo, os solos amostrados apresentaram uma tendência de maior quantidade de MO na superfície, o qual foi observado nas camadas superficiais de todos os tratamentos (ILPF, Pastagem e Reserva florestal).

Assim, a tendência de maior quantidade de MO na superfície, apresentada na área de estudo, pode ter favorecido o incremento do estoque do carbono no solo, pois o estoque de carbono de um solo com vegetação representa o balanço dinâmico entre a adição e a perda da matéria orgânica pela decomposição ou mineralização (MACHADO, 2005).

Vale ainda destacar, que em alguns pontos amostrados nas áreas de Pastagem e Reserva florestal verificou-se também a ocorrência de MO nas camadas de 20-40 cm, o que se deve ao tipo de vegetação presente, como as raízes das plantas e o aporte da biomassa depositada no solo, o que contribui para a ciclagem de nutrientes e a manutenção da qualidade do solo. Isso indica que a presença da MO nessas camadas pode ser um fator condicionante na estruturação do solo e na sua estabilidade (MADARI *et al.*, 2009; ROMÃO, 2012), sendo importante para a avaliação

das suas propriedades físicas, bem como as suas alterações. Então, a MO pode constituir um indicador dos efeitos do manejo e uso do solo na regulação do carbono nele, bem como no seu estoque (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2009; CONCEIÇÃO, 2006; SANTOS *et al.*, 2013b).

Assim, a ocorrência de MO atua na regulação da ciclagem do carbono e sua estabilização, enquanto que a sua redução pode afetar a diversidade dos microrganismos no solo, conforme apontam Rasche e Cadish (2013). Em virtude disso, o efeito de práticas de uso e manejo do solo nestes componentes da paisagem necessitam de melhor entendimento, visto que o estudo do estoque de carbono pode contribuir também para o controle da mitigação dos gases do efeito estufa e do aquecimento global (COSTA *et al.*, 2008; ROMÃO, 2012), pelo papel do solo como grande reservatório de carbono.

Paralelamente, além da matéria orgânica, verificou-se a ocorrência de erosão laminar ou em lençol (conforme mencionado anteriormente na figura 7), o que provavelmente deve-se ao predomínio da areia, visto que os solos arenosos possuem maior tendência aos processos erosivos. Esse efeito pode ocasionar o empobrecimento do solo, onde a força das águas das chuvas transporta as partículas de solo e os nutrientes necessários à vegetação, processo que pode ocorrer naturalmente de forma lenta e gradual, mas que pode ser intensificado por ações antrópicas como desmatamento, queimadas, atividades agropecuárias e manejo inadequado do solo, como afirmam Merritt, Letcher e Jakeman (2003), Descroix *et al.* (2008) e Nunes, Almeida e Coelho (2011).

Ao se tratar da densidade do solo como propriedade física essencial para calcular o estoque de carbono, autores como Figueiredo *et al.* (2009) afirmam que a densidade consiste na massa do solo relacionada com o volume da área estudada, sendo importante para avaliar o nível de compactação, umidade, porosidade, bem como para determinar o estoque de carbono no solo.

Ao calcular a densidade do solo considerando os tipos de uso (ILPF, Pastagem e Reserva florestal) e a profundidade (0-10, 10-20 e 20-40 cm), foi observada uma variação dos valores entre 1,27 e 1,8 g cm⁻³ (Tabela 2), o que corrobora com os valores de densidade citados por Marcolin (2006), cujos solos com maiores teores de areia tendem a apresentar densidade superior em relação aos solos argilosos (BUENO; VILAR, 1998; LIBARDI, 2005). Assim, além de possuir baixa capacidade de

retenção de água, altas taxas de percolação e infiltração, são bem drenados e aerados, quando comparados com os solos de textura fina (FAGERIA; STONE, 2006).

Sendo assim, o menor valor da densidade ocorreu na Reserva florestal (P1) na profundidade de 0-10 cm, e o maior na Pastagem (P1) na profundidade de 20-40 cm (Tabela 2), o que indica que a menor densidade observada para a Reserva florestal associa-se à vegetação presente, pois a biomassa depositada no solo exerce influência nas suas propriedades físicas e químicas, e à baixa ação antrópica que ocasiona compactação adicional do solo, maior porosidade e, conseqüentemente, uma densidade menor.

Já para a maior densidade observada (na Pastagem), o fato de o tipo de uso ter permanecido estável ao longo dos anos pode ter favorecido uma maior compactação do solo, sendo necessário uma análise do tempo e da qualidade do manejo, pois estes fatores podem também influenciar nos atributos físicos do solo. Logo, ao correlacionar a densidade do solo e o teor de carbono para o conjunto da área de estudo (ILPF, Pastagem e Reserva Florestal), observou-se uma correlação significativa e negativa (Tabela 4), um fato encontrado também na pesquisa de Frozzi (2017). Presumivelmente, o aumento da densidade do solo proporciona uma diminuição do teor de carbono orgânico total, que neste caso mostrou-se não ser um fator condicionante para o incremento de carbono no solo, visto que a sua correlação foi considerada baixa, necessitando de mais estudos para avaliar esta relação.

Tabela 4 - Correlação de Sperman entre a densidade do solo e carbono orgânico total (COT) para o conjunto da área amostrada

Variável	COT
Densidade do solo	-0,32*

Legenda: *Correlação significativa ao nível de 5%. Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Por fim, de maneira geral, ao relacionar as propriedades físicas do solo e o teor de carbono orgânico para o conjunto das áreas estudadas, pode-se dizer que os mesmos se encontram intimamente ligados, pois os atributos físicos se ligam diretamente à estabilidade estrutural do solo, e os químicos, como a matéria orgânica e o carbono orgânico, são utilizados, dentre outros fatores, para estudar os impactos ocasionados pelas práticas de uso e manejo, na qualidade física e química do solo, bem como os impactos associados às mudanças climáticas no ambiente e a sua

modificação na paisagem (KELLER; HÅKANSSON, 2010; REICHERT *et al.*, 2009; STONE; SILVEIRA, 2001 ;VIANA *et al.*, 2011).

4.3 O Carbono e a estimativa do estoque de carbono no solo em diferentes tipos de uso

Como explicado anteriormente, o carbono é fonte de nutrientes e energia para os microrganismos do solo, sendo que a sua presença nesse âmbito depende de fatores como: textura, práticas de uso e manejo, e tipo de vegetação.

Para estimar o estoque do carbono no solo (ECS) sob diferentes tipos de uso foi necessário verificar a densidade e o carbono orgânico total, relacionado com a espessura da camada de cada ponto amostrado.

A quantificação do teor de carbono orgânico total (COT) armazenado em solos sob diferentes tipos de uso (ILPF, Pastagem e Reserva florestal) mostrou uma variação significativa de acordo com a profundidade (0-10, 10-20 e 20-40 cm) e o tipo de uso.

Essa variação, mostrada na Tabela 5, pode ser associada ao acúmulo da matéria orgânica nas camadas superficiais dos solos amostrados cuja presença auxilia na ciclagem de nutrientes do solo e na estocagem de carbono.

Essa dinâmica do carbono, conforme Wink *et al.* (2010), pode estar associada ao uso e manejo do solo, bem como às suas características intrínsecas que atuam na função de proteger ou expor o material orgânico a condições favoráveis de decomposição, podendo assim alterar o teor e estoque de carbono nos solos.

Tabela 5 - Teores de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono no solo (ECS) dos solos analisados nos tipos de uso: ILPF, Pastagem e Reserva florestal

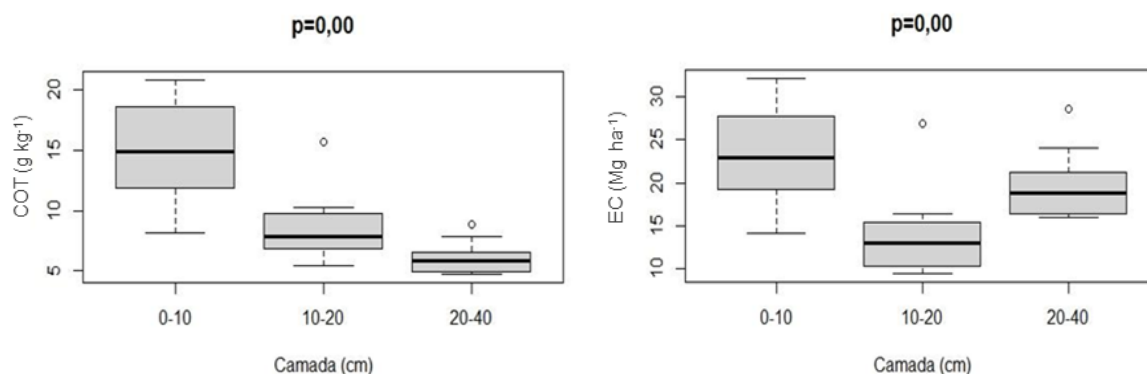
Usos do solo	Pontos amostrados	Profundidade	COT	ECS
		cm	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹
ILPF	P1	0-10	10,23	17,68
	P1	10-20	6,86	11,61
	P1	20-40	4,71	16,35
	P2	0-10	9,25	15,95
	P2	10-20	5,39	9,46
	P2	20-40	4,78	16,36
	P3	0-10	8,20	14,20
	P3	10-20	6,00	10,20
	P3	20-40	4,78	15,97
	P4	0-10	18,61	29,33
	P4	10-20	8,08	14,24
	P4	20-40	5,82	18,07
Pastagem	P1	0-10	17,14	28,48
	P1	10-20	15,67	26,89
	P1	20-40	6,06	21,82
	P2	0-10	18,67	32,20
	P2	10-20	9,49	16,05
	P2	20-40	5,45	18,79
	P3	0-10	13,59	21,74
	P3	10-20	9,67	14,93
	P3	20-40	7,83	24,06
	P4	0-10	13,53	22,42
	P4	10-20	9,86	16,44
	P4	20-40	8,88	28,58
Reserva florestal	P1	0-10	20,88	26,62
	P1	10-20	10,29	14,73
	P1	20-40	6,25	19,07
	P2	0-10	15,73	23,55
	P2	10-20	6,85	10,30
	P2	20-40	6,73	20,55
	P3	0-10	14,14	20,73
	P3	10-20	6,92	10,35
	P3	20-40	5,14	16,29
	P4	0-10	18,74	27,16
	P4	10-20	7,59	11,89
	P4	20-40	5,82	18,91

Legenda: ILPF - Integração Lavoura Pecuária Floresta. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Verifica-se que os valores médios obtidos para o carbono orgânico total (COT) nos diferentes tipos de uso do solo apresentaram uma variação de 7,72 g kg⁻¹ no ILPF, 11,32 g kg⁻¹ na Pastagem e 10,42 g kg⁻¹ na Reserva florestal. Enquanto que o estoque médio de carbono no solo (ECS) essa variação foi de 15,78 Mg ha⁻¹ no ILPF, 22,70 Mg ha⁻¹ na Pastagem e 18,34 Mg ha⁻¹ na Reserva florestal.

Sendo assim, os resultados obtidos para o COT e o ECS foram submetidos ao teste de Kruskal Wallis e as diferenças encontradas entre os teores de carbono foram significativas, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Variação do carbono orgânico total (COT) e o estoque de carbono (EC) entre os usos do solo: ILPF, Pastagem e Reserva florestal na profundidade total (40cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Desse modo, os valores obtidos para COT e EC, considerando os tipos de usos e a profundidade total analisada (40 cm), foram submetidos ao teste posterior de Dunn. Com isso, observa-se que para COT (g kg^{-1}), os tratamentos são semelhantes, enquanto que EC a Pastagem e a Reserva florestal formam um grupo único, segregado de ILPF com os menores valores para EC (Mg ha^{-1}) (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparação entre os usos do solo para carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC) na profundidade total (40cm).

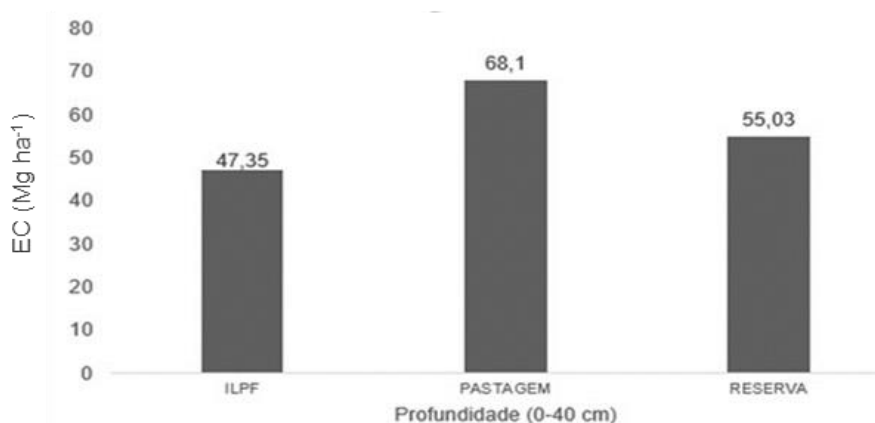
Usos do solo	COT	EC	
	g Kg^{-1}	Mg ha^{-1}	
ILPF	7,72 a	15,78	a
Pastagem	11,32 a	22,70	b
Reserva	10,42 a	18,34	ab

Nota: Valores numéricos indicam médias. Letras iguais, indicam que os tratamentos em relação ao carbono são semelhantes, na coluna; letras diferentes indicam que eles diferem, segundo o teste de Dunn. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Assim, é possível verificar que a Pastagem e Reserva florestal foram os tratamentos que propiciaram os maiores valores de estoque de carbono, ao considerar a espessura total da camada (40 cm); na Figura 13 é possível perceber que o estoque de carbono no solo promovido pela Pastagem atinge um valor de $68,10 \text{ Mg ha}^{-1}$, ou seja, uma quantidade maior do que a encontrada na área de Reserva florestal ($55,03$

Mg ha⁻¹) e no ILPF (47,35 Mg ha⁻¹). Este resultado coincide com aquele obtido por Belizário (2008) quando, ao estudar a região do Pantanal, verificou-se que a pastagem apresentou um estoque de carbono no solo maior do que a vegetação nativa.

Figura 13 - Estoque de carbono (EC) nos diferentes tipos de usos do solo (ILPF, Pastagem, e Reserva florestal) na profundidade total da camada (40 cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Esse efeito deve-se, provavelmente, ao fato de a Pastagem ser considerada não degradada e ter permanecido por um tempo prolongado sob esse tipo de uso, com um sistema de manejo que implica uma baixa densidade de animais presentes na área. Assim, esses fatores podem ter influenciado nos atributos físico-químicos do solo e, conseqüentemente, na estabilização do teor de carbono.

Desse modo, as pastagens podem ser consideradas eficientes na manutenção dos teores de carbono devido à ciclagem rápida e constante renovação do sistema radicular das gramíneas, desenvolvido e bem distribuído, e à composição do material aportado, que pode garantir maior permanência do carbono no sistema, como apontado por Salton *et al.* (2011) e Gregolin *et al.* (2016).

Assim, as gramíneas contribuem com grande quantidade de biomassa (aporte de matéria orgânica) ocasionando um aumento da persistência da cobertura do solo e o acúmulo de carbono nele (CARDOSO *et al.*, 2010; MATOS *et al.* 2019; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Ainda sobre o estoque de carbono nas Pastagens, autores como Salimon *et al.* (2007 apud ARAÚJO *et al.*, 2011) e Romão (2012) apontam que os estoques podem diminuir nos primeiros anos da implantação, mas posteriormente podem aumentar até

atingir valores próximos ou superiores aos existentes antes da conversão. Desse modo, esse fator pode ter atuado na área estudada, devido às alterações da paisagem ocorridas ao longo de décadas passadas pela mudança do uso da terra.

É importante ressaltar, que mesmo que a Pastagem tenha apresentando maior estoque de carbono no solo em relação as outras modalidades de uso, esse fato deve ser interpretado apenas com um estudo da estimativa do carbono no solo, não servindo como alternativa para a mudança de uso da terra. Para isso, existem outras alternativas que promovam o aumento do carbono no solo, como as superfícies reflorestadas, os sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta-ILPF, as lavouras cultivadas sob sistema de plantio direto, todos os quais contribuem para um expressivo aumento da remoção do CO₂ da atmosfera (POTENZA *et al.*, 2021) e, consequentemente, o aumento do estoque de carbono no solo.

Quanto ao estoque de carbono na Reserva florestal, era esperado que o mesmo apresentasse valores superiores aos obtidos na pastagem, tendo em vista que a área de Reserva florestal possui potencial para concentração de carbono, em decorrência do maior aporte global de matéria orgânica proveniente da deposição contínua e variada de substratos orgânicos (CARDOSO *et al.*, 2010). No entanto, Carvalho *et al.* (2010) relatam que a concentração de carbono do solo de uma vegetação depende dos impactos gerados pelas atividades antrópicas nele, e das práticas de manejo implementadas, todo o qual pode interferir na redução ou aumento do estoque de carbono do solo; sendo assim, mesmo que na Reserva florestal os impactos hoje sejam mínimos, é necessário novos estudos para buscar as possíveis causas do fato encontrado.

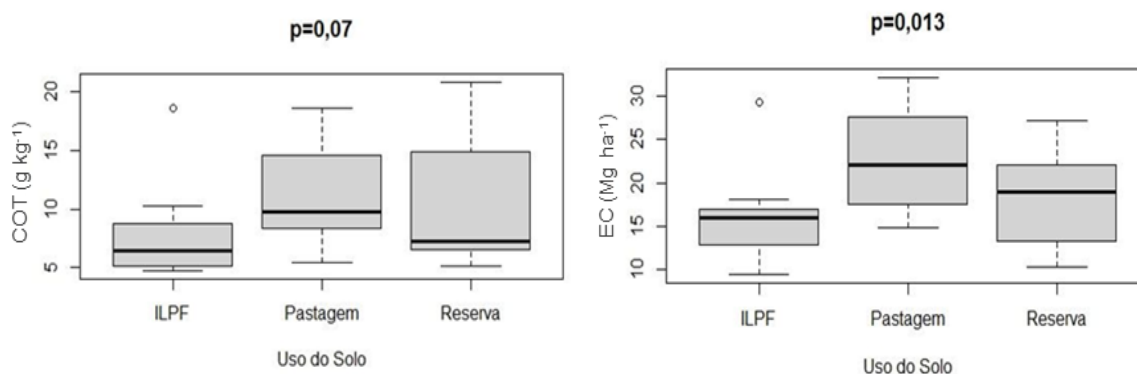
Quando comparado o sistema ILPF com a Pastagem, esperava-se que o primeiro apresentasse maiores valores do estoque de carbono; porém, o efeito do consórcio da pastagem e a lavoura com o componente florestal não demonstrou um efetivo incremento do carbono. Isso pode estar relacionado às pressões antrópicas sofridas no ambiente em decorrência da mudança do uso da terra e ao tempo de implantação do sistema ILPF, o qual aconteceu no ano de 2011, ocorrendo cultivos entre safras nos anos seguintes, bem como a entrada de animais.

Em relação à comparação entre os teores de carbono e a profundidade, em todos os tratamentos encontraram-se diferenças: na Figura 14 é possível observar que os maiores teores de carbono estão nas camadas superficiais (0-10 cm), tanto

para COT quanto para ECS, as quais evidenciam uma maior variação de carbono em comparação com as profundidades de 10-20 e 20-40 cm.

Esse fato, como mencionado anteriormente, pode estar relacionado com o acúmulo da matéria orgânica presente nas camadas superficiais, que atua na regulação da ciclagem do carbono e sua estabilização.

Figura 14 - Variação do carbono orgânico total (COT) e o estoque de carbono (EC) entre as camadas (0-10, 10-20 e 20-40 cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Segundo o teste posteriori de Dunn, na comparação entre as camadas dos pontos amostrados, os grupos são completamente distintos para COT (g kg⁻¹); porém, em EC (Mg ha⁻¹) as camadas 0-10 e 20-40 cm são semelhantes entre si (Tabela 7).

Tabela 7 - Comparação entre profundidades para carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC)

Profundidade	COT	EC
0-10 cm	a	a
10-20 cm	b	b
20-40 cm	c	a

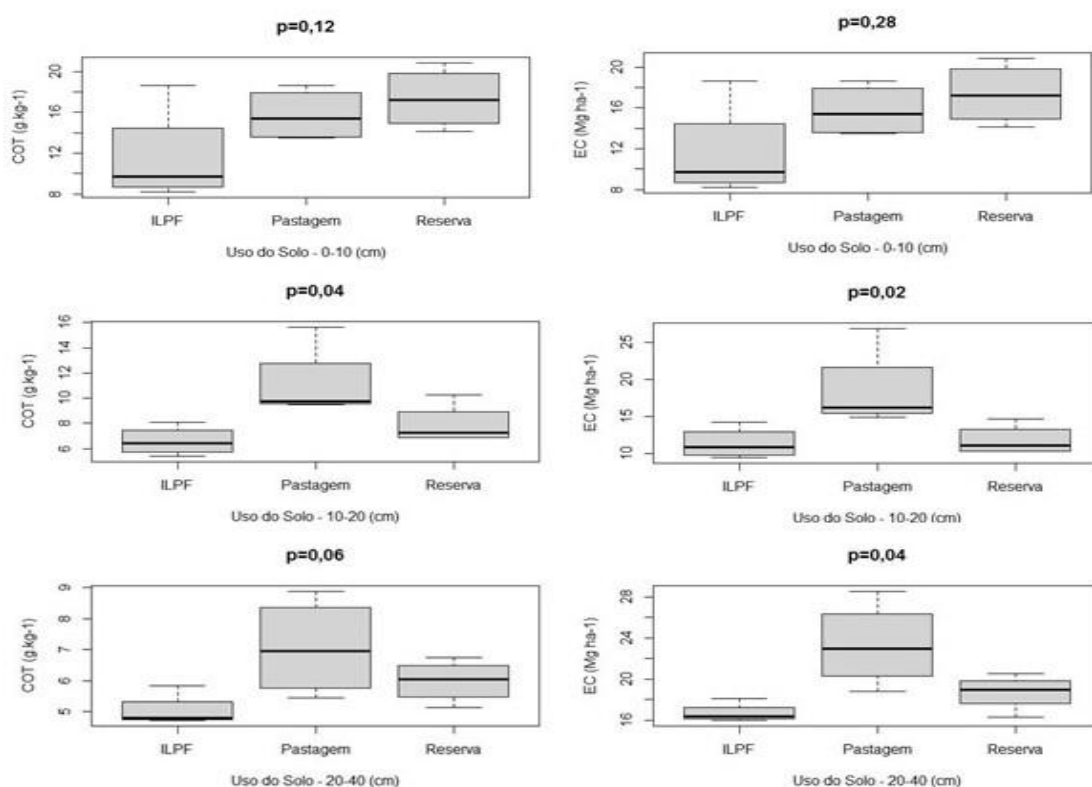
Nota: Letras iguais, indicam que as profundidades em relação ao carbono são semelhantes, na coluna; letras diferentes indicam que diferem, segundo o teste de Dunn. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nesse sentido, quanto às concentrações de carbono ao longo das profundidades amostradas, os maiores valores foram identificados na camada de 0-10 cm, ou seja, na camada mais superficial do solo. Esses resultados corroboram o encontrado por autores como Costa *et al.* (2009), Rangel e Silva (2007) Powlson *et al.* (2016) e Severiano *et al.* (2021), no sentido de que, na superfície do solo, os maiores teores de carbono são atribuídos ao maior aporte de resíduos orgânicos na sua camada superficial, que são principalmente oriundos da decomposição das raízes das

pastagens e das árvores, favorecendo um maior acúmulo de matéria orgânica e, conseqüentemente, de carbono no solo.

Ao analisar os teores de carbono em relação à profundidade, foram verificadas diferenças significativas entre os usos do solo (Figura 15), sendo possível observar que para a quantidade de COT e EC, o tratamento ILPF apresentou apenas maior variação dos dados em 0-10 cm, em comparação com as outras profundidades. A Pastagem e Reserva florestal apresentaram maiores teores de carbono e semelhança entre os tratamentos e profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm), ainda que a pastagem se sobressaia em 10-20 e 20-40 cm.

Figura 15 - Variação do carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC) do solo entre as profundidades, segundo o tipo de uso



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Desse modo, conforme o teste posteriori de Dunn, verifica-se que para o COT nas profundidades de 0-10 e 20-40 cm, os tratamentos são semelhantes para os usos do solo (ILPF, Pastagem e Reserva florestal), enquanto para 10-20 cm se mostram diferentes, principalmente entre ILPF e Pastagem. E para EC, apenas em 0-10 cm os tratamentos demonstram semelhanças entre si em profundidade e usos do solo (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparação entre as profundidades e usos do solo para carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EC)

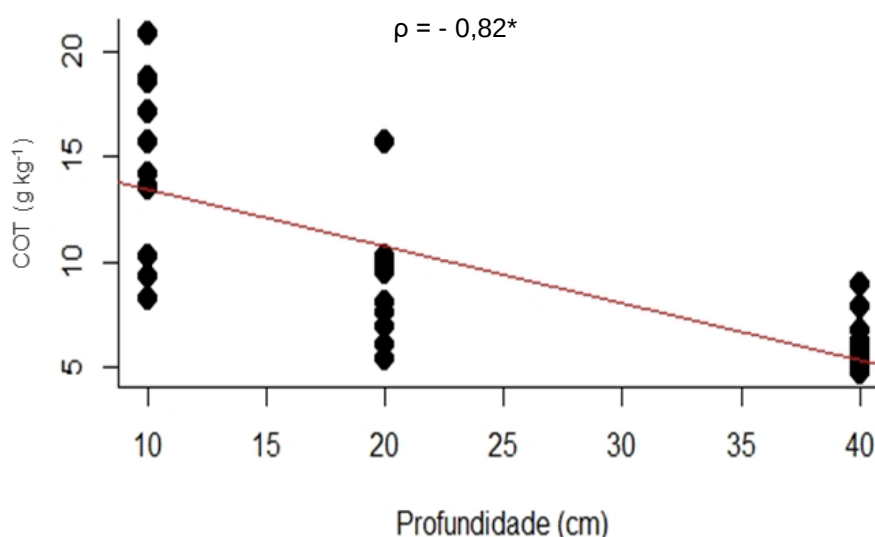
Usos do solo	0-10 cm		10-20 cm		20-40 cm	
	COT g Kg ⁻¹	EC Mg ha ⁻¹	COT g Kg ⁻¹	EC Mg ha ⁻¹	COT g Kg ⁻¹	EC Mg ha ⁻¹
ILPF	11,57 a	19,29 a	6,58 a	11,38 a	5,02 a	16,69 a
Pastagem	15,73 a	26,21 a	11,17 b	18,58 b	7,05 a	23,31 b
Reserva	17,37 a	24,51 a	7,91 ab	11,82 ab	5,98 a	18,70 ab

Nota: Valores numéricos indicam médias. Letras iguais, indicam que os tratamentos são semelhantes, na coluna; letras diferentes indicam que eles se diferem, segundo o teste de Dunn.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Como mostrado na Tabela 8, existe uma tendência de maior estoque de carbono na Pastagem, em todas as profundidades, quando comparado a outros usos do solo. Quando realizada a correlação entre o teor de carbono do solo e a variável profundidade para o conjunto das áreas estudadas, verifica-se que existe uma forte correlação entre o carbono e a profundidade (Figura 16), onde a correlação existente se mostra significativa e negativa, indicando que ocorre a redução do carbono no solo com o aumento da profundidade ou vice-versa.

Figura 16 - Correlação de Spearman entre o teor de carbono orgânico total (COT) e a profundidade do solo para o conjunto da área de estudo



Legenda: p - coeficiente de Spearman, *Correlação significativa ao nível de 5%. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Resultados similares foram obtidos por Rodrigues (2016) e Luiz *et al.* (2015), que ao avaliarem essa correlação em solos próximos a área estudada, verificaram que os teores de carbono orgânico total também diminuiriam em profundidade.

Com isso, os resultados obtidos para o carbono e o estoque deste nesta pesquisa indicam que a manutenção do carbono no solo ao longo das profundidades analisadas pode ajudar na estabilização dos agregados do solo, na infiltração de água, na redução da erosão, no aumento da fertilidade e na ciclagem de nutrientes no solo, dentre outros benefícios elencados por pesquisadores como Baldock (2007), Powlson, Whitmore e Goulding (2011) e Bento (2018).

Assim, esses resultados indicam que as diferenças locais dos teores de carbono no solo em relação aos tipos de usos podem estar associadas ao fato de serem cenários diferentes bem como das diferentes escalas de profundidades analisadas.

4.3.1 Estoques de carbono no solo sob diferentes tipos de uso da terra no estado de Mato Grosso

Tendo em vista que o estoque de carbono no solo é afetado pela conversão de ecossistemas nativos em áreas de pastagem e terras agrícolas com base no desmatamento e as queimadas, contribuindo para o aumento dos gases do efeito estufa e o aquecimento global, foram comparados os estoques de carbono sob diferentes tipos de usos da terra identificados na presente pesquisa com outros trabalhos desenvolvidos nos biomas presentes no estado de Mato Grosso: Amazônia, Cerrado e Pantanal (Tabela 9).

O resultado evidenciou que as mudanças no uso da terra têm causado a redução dos estoques de carbono do solo, principalmente devido ao manejo inadequado, nos biomas Amazônia e Cerrado, fundamentalmente, pelo fato de as suas áreas serem as mais utilizadas pela agropecuária.

Na região amazônica, Matos *et al.* (2016) encontraram em solos utilizados em sistemas agroflorestais valores bem próximos ao encontrado para florestas nativas. Os mesmos resultados, encontraram Matos, Antonio e Rodrigues (2019) no estudo de solos onde foi implementada a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o que indica que esses sistemas têm sido uma alternativa sustentável para o aumento do sequestro de carbono em substituição aos sistemas convencionais e de monoculturas,

pois os sistemas agroflorestais e de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) apresentam valores significativos de estoque de carbono no solo.

Além disso, em áreas de pastagem foram encontrados valores relevantes de estoques de carbono, o que não era esperado pelas implicações significativas ocasionadas pelas alterações do solo pelo manejo de pastagens no carbono global. Entretanto, é visto que nas áreas da região amazônica e de transição com o Cerrado, os diversos usos da terra têm impactado na redução dos estoques de carbono orgânico total no solo (ISERNHAGEN *et al.*, 2017).

Em outra pesquisa, Gregolin *et al.* (2016) avaliaram os estoques de carbono em diferentes profundidades em áreas de pastagem em uma região da Amazônia mato-grossense durante os anos de 2014 e 2015, encontrando uma média de 103,75 Mg ha⁻¹ e 97,78 Mg ha⁻¹ para áreas manejadas e não manejadas, respectivamente.

Quanto ao Cerrado, ao analisar os estudos realizados nesse bioma, é possível verificar que a conversão de vegetação nativa em pastagem e agricultura resultam em modificações nos estoques de carbono do solo, o que já foi demonstrado em vários estudos (CARVALHO *et al.*, 2010; FRAZÃO *et al.*, 2010; SANTOS *et al.* 2020; WANTZEN *et al.*, 2012). Carvalho *et al.* (2010) indicaram que áreas utilizadas para pastagem e culturas apresentaram perda do acúmulo de carbono; em contrapartida, os sistemas de integração lavoura-pecuária tiveram taxas de acumulação anual variando de 1,03 a 1,35 Mg ha⁻¹.

Em estudos realizados no Pantanal Mato-grossense, autores como Dias *et al.* (2015) e Siqueira, Vieira e Coringa (2015), demonstraram que as áreas úmidas são grandes estocadoras de carbono no solo em comparação a outros biomas, sendo importantes ecossistemas naturais que atuam na regulação da emissão de CO₂. Por outro lado, Mello *et al.* (2015), verificaram que o estoque de carbono no solo está condicionado a fatores sazonais e à fitofisionomia local.

Tabela 9 - Estoques de carbono no solo em diferentes usos da terra no estado de Mato Grosso

Bioma	Região	Usos da terra	EC*	Referência
			Mg ha ⁻¹	
Amazônia	Juruena	Floresta nativa	59,74	Novaes-Filho <i>et al.</i> (2007)
	Ecorregião Alto Xingu	Pastagem	88,12	
		Floresta nativa	97,48	
		Terra cultivada	57,97	
	Ecorregião: Nordeste do Mato Grosso	Pastagem	73,98	Mello (2007); Maia <i>et al.</i> (2009;2010); Belizário (2008)
		Floresta nativa	76,91	
	Ecorregião: Norte de Mato Grosso	Pastagem	87,87	
		Floresta nativa	89,82	
		Terra cultivada	45,95	
	Rio Crespo	Pastagem	44,56	Maia <i>et al.</i> (2010)
		Floresta nativa	38,93	
	Pontes e Lacerda	Terra cultivada	44,46	Matos <i>et al.</i> (2016) Matos <i>et al.</i> (2016) Petter <i>et al.</i> (2017) Petter <i>et al.</i> (2017)
	Sinop	Sistema agroflorestais	99,45	
		Floresta nativa	75	
		Cultivo (milho e soja)	41,15	
Amazônia/ Cerrado	Norte Mato-Grossense	Pastagem	100,76	Gregolin <i>et al.</i> (2016)
	Mesoregião Norte Mato-Grossense	Cultivo (soja)	49,5	Nogueira <i>et al.</i> (2011)
	Sinop	Lavoura-pecuária-floresta	70	Matos <i>et al.</i> (2019)
		Pecuária	68,85	Isernhagen <i>et al.</i> (2017)
		Vegetação nativa	71	Matos <i>et al.</i> (2019)
	Vila Bela da Santíssima Trindade e Pontes e Lacerda	Vegetação nativa	88,2	Isernhagen <i>et al.</i> (2017)
		Pastagem cultivada	49,09	Santos <i>et al.</i> (2017)
		Pastagem nativa em uso	47,57	
	Pontes e Lacerda	Pastagem	39,63	
		Sistema plantio direto	275	Severiano <i>et al.</i> (2021)
	Ecorregião: Bacia do Paraná	Pastagem	75,06	Mello (2007); Maia <i>et al.</i> (2009;2010); Belizário (2008)
		Vegetação nativa	67,14	
		Terra cultivada	108,1	
	Ecorregião: Chapada dos Parecis	Pastagem	52,81	
		Vegetação nativa	65,34	
		Terra cultivada	28,36	
Cerrado	Ecorregião: Depressão do Araguaia	Pastagem	67,71	
		Vegetação nativa	73,70	
		Terra cultivada	69,80	
	Ecorregião: Depressão de Cuiabá	Pastagem	88,96	
		Vegetação nativa	91,29	
	Itiquira	Floresta - Seringueiras	153	Wauters <i>et al.</i> (2008)
	Comodoro	Pastagem	14,12	Frazão <i>et al.</i> (2008) Frazão <i>et al.</i> (2010)
		Vegetação nativa	16,46	
		Sistema agrícola	21,95	
	Santa Carmem	Vegetação nativa	74,10	Carvalho <i>et al.</i> (2010)
		Pastagem	55,70	
		Lavoura-pecuária	60,68	
	Jacara	Floresta de galeria	206,5	Wantzen <i>et al.</i> (2012)
		Cerrado	52,70	
		Vereda	142,4	
		Pastagem	52,70	
	Campo-verde	Sistemas de cultivo-pastagem	6,76	Magalhães <i>et al.</i> (2016)
Pantanal	Primavera do Leste e região	Cultivo (Algodão)	46,04	Santos <i>et al.</i> (2020)
		Pastagem	27,56	Maia <i>et al.</i> (2009)
	Cáceres	Vegetação nativa	25,56	Luiz <i>et al.</i> (2015)
		Floresta (<i>Tectona grandis</i>)	16,12	
		Vegetação Nativa	23,49	
	Poconé	Floresta nativa inundável	181,29	Dias <i>et al.</i> (2015)
			57,27	Pinto-Junior <i>et al.</i> (2018)
		Área inundável (rod. MT-370)	184,4	Siqueira <i>et al.</i> (2015)
	Barão do Melgaço	Vegetação nativa	26,3	Mello <i>et al.</i> (2015)

Legenda: EC* – Média do EC (Estoque de Carbono no solo). Fonte: Organizado pela autora (2022).

Dessa forma, com os resultados apresentados para o estoque de carbono em diferentes tipos de uso no solo nesta pesquisa, é possível citar outros estudos realizados no Pantanal Mato-grossense sobre a mesma temática, como: Dias *et al.* (2015), Mello *et al.* (2015), Siqueira, Vieira e Coringa (2015) e Pinto-Junior, Carvalho e Couto (2018).

Em outros estudos realizados no Pantanal de Cáceres (MT), destacam-se os resultados obtidos por Maia *et al.* (2009): em áreas de pastagem e vegetação nativa os estoques de carbono encontrados foram de 27,56 Mg ha⁻¹ e 25,56 Mg ha⁻¹, respectivamente. Já em áreas localizadas próximas às áreas estudadas, Luiz *et al.* (2015) encontraram em ambiente de floresta formada pelo componente arbóreo *Tectona grandis* e Vegetação nativa, estoques de carbono no solo de 16,12 Mg ha⁻¹ e 23,49 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Portanto, quando comparados os resultados obtidos nesta pesquisa com outros estudos realizados no estado de Mato Grosso, é possível constatar que os mesmos se encontram no mesmo intervalo ou acima dos encontrados em estudos anteriores, principalmente no bioma Pantanal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização geoambiental da área de estudo mostrou a existência de uma relativa heterogeneidade no relevo, especialmente nos processos exógenos atuantes e as microformas que têm criado, nos solos, pela presença das classes Argissolo, Gleissolo, Latossolo e Plintossolo, todos distróficos, e na vegetação, com formações Florestal, Campestre e Savânica, além de pastagens e lavouras temporárias.

A área estudada sofreu alteração na paisagem pelas mudanças do uso da terra ao longo do tempo, sendo que essa alteração se reflete nas propriedades do solo, onde a classe textural mostrou variação entre franco-arenosa (FrAr) e franco-argilo-arenosa (FrAAr), sendo a textura a franco-arenosa (FrAr) a predominante para a maioria dos pontos amostrados.

As variáveis da granulometria (areia, silte e argila) e os valores de carbono orgânico total (COT) para o conjunto da área de estudo foram correlacionados, apresentando uma correlação significativa e negativa entre a argila e o COT. Quanto à variável areia e o COT, observou-se uma correlação significativa e positiva, o que indica que os teores de areia se sobressaíram aos de argila. Já para o teor de silte não houve correlação estatisticamente significativa com o carbono no solo.

Os valores dos teores de carbono em relação à profundidade em todos os tratamentos amostrados, quando comparados, apresentaram diferenças significativas. Os maiores teores de carbono se mantêm nas camadas superficiais (0-10 cm), tanto para COT quanto para ECS, as quais evidenciaram uma maior variação do COT em comparação com as camadas de 10-20 e 20-40 cm. A correlação existente entre profundidade e COT mostrou-se significativa e negativa, indicando que com o aumento da profundidade há uma redução do carbono no solo, ou vice-versa.

Verificaram-se diferenças nos teores de carbono no solo entre as diferentes áreas e tipo de uso estudados, com destaque para a Pastagem onde esses teores foram maiores do que os encontrados na Reserva florestal e ILPF. As áreas de Pastagem e de Reserva florestal foram os tipos de uso que mostraram os maiores valores de estoque de carbono no solo, quando considerada a espessura total das camadas amostradas.

A comparação dos resultados desta pesquisa com os de outros estudos desenvolvidos nos biomas do estado de Mato Grosso, foi possível constatar semelhanças, notadamente com aqueles realizados no bioma Pantanal.

Com isso, pode-se dizer que o estudo do estoque do carbono no solo é de suma importância e necessário em todas as regiões, visto que os solos possuem potencial para estocar grandes quantidades de carbono, e desse modo, o conhecimento da sua variabilidade é muito importante na avaliação da qualidade do solo, bem como na mitigação das emissões dos gases do efeito estufa visando a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. *et al.* Adaptation to climate change in the developing world. **Progress in Development Studies**, v. 3, n. 3, p.179-195, 2003.
- AGUIAR, A. C. T. As limitações da aplicação da interdependência complexa no Regime Internacional de Mudança Climática (RIMC). **Revista Conjuntura Global**, v.9, n. 2, p. 109-126, 2020.
- ALEXANDRE, C.; SILVA, J. R. M; FERREIRA, A. G. Comparação de dois métodos de determinação da textura do solo: sedimentometria por raio x vs. método da pipeta. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 24, n. 3, p. 73-81, jul. 2001. Disponível em: www.conidis.com.br Acesso em: 12 abr. 2021.
- ALMEIDA, E. M. **Determinação do estoque de carbono em Teca (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.
- ARAÚJO, E. A. *et al.* Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica de carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 4, p. 103-114, 2011.
- ARAUJO, J. M.; ARRUDA, D. B. Desenvolvimento sustentável: políticas públicas e educação ambiental no combate a desertificação no Nordeste. **Revista Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 7, n. 13/14, p. 289-310, 2010.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17083/1/doc73.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2020.
- ARRUDA, P. J. R. **Caracterização morfológica, física, química e classificação de uma sequência de solos da reserva legal do IFMT - campus Cáceres**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cáceres, 2016.
- BALBINO, L. C. *et al.* Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.
- BALDOCK, J. A. Composition and Cycling of Organic Carbon in Soil. *In*: MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. **Soil Biology. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems**. Springer-Verlag, Berlin, 2007. p. 1-35.
- BARCELLOS, C. *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Revista Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 285-304, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BELIZÁRIO, M. H. **Mudança no estoque de carbono do solo devido ao uso agrícola da terra no Sudoeste da Amazônia**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BENTO, D. F. **Caracterização da variabilidade espacial do carbono orgânico e dos estoques de carbono em solos da região centro-oeste do Brasil**. 2018. Dissertação de Mestrado (Engenharia agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

BERGHÄLL, O. *et al.* **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, p. 55. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/975/1/Inter-rela%C3%A7oes%20entre%20biodiversidade%20emudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.pdf>. Acesso em: 7 set. 2019.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, **Cadernos de Ciências da Terra**, vol. 13, p. 1-27, 1971.

BLANCO-CANQUI, H. *et al.* No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 73, n. 6, p.1871-1879, 2009. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2008.0353>

BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015.

BODDEY, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. S. Sequestro de carbono em solos sob sistemas agropecuários produtivos. Boletim técnico. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2004. 4 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Brasília, 2015. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/arquivo/seguranca_alimentar/caisan/Publicacao/Caisan_Nacional/PlanoNacionaldeAdaptacaoMudancadoClima_Junho2015.pdf. Acesso em: 20 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília-DF, Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/sumrio_executivo_pnmc.pdf. Acesso em: 24 out. 2020.

BRASIL. Palácio do Planalto. **Decreto Nº 9.578 de 22 de novembro de 2018**. Brasília: Palácio do Planalto, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9578.htm Acesso em: 13 ago. 2019.

BRASIL. Palácio do Planalto. **Decreto nº 10.145, de 28 de novembro de 2019.** Dispõe sobre o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Brasília: Palácio do Planalto, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D10145.htm. Acesso em: 10 mar. 2021.

BRASIL. Palácio do Planalto. **Lei Nº 12.114 de 9 de dezembro de 2009.** Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 50 da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências. Brasília: Palácio do Planalto, 2009b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12114.htm Acesso em: 20 abr. 2019.

BRASIL. Palácio do planalto. **Lei Nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília: Palácio do Planalto, 2009a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm Acesso em: 10 mar. 2021.

BRIDGEWATER, S. *et al.* Biogeographic patterns, b-diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 2295-2318, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000047903.37608.4c>.

BRUCE, J. P. *et al.* Carbon sequestration in soils. **Journal Soil Water and Conservation**, v. 54, p. 382-389, 1999.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: USP/EESC, 1998.

BUENO, M. L. *et al.* A study in an area of transition between Seasonally Dry Tropical Forest and Mesotrophic Cerradão, in Mato Grosso do Sul, Southwestern Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 70, n. 3, p. 469-486, 2013. <https://doi.org/10.1017/S0960428613000164>.

CAMARGO, L. (org.). **Atlas de Mato Grosso: abordagem socioeconômico-ecológica**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011. 96 p.

CAMPBELL, M. K. **Bioquímica**. 3. ed. Tradução de H. B. Ferreira. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000. 751 p.

CAMPOS, G. M.; JESUS, I. S.; NUNES, F. M. S. Textura do solo: importância para análise granulométrica. II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. **[Anais...]** Campina Grande, 2017. Disponível em: http://editorarealize.com.br/editora/anais/conidis/2017/TRABALHO_EV074_MD4_SA1_ID633_01102017170224.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2016.

CARDOSO, E. L. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 45, n. 9, p.1028-1035, 2010.

CARVALHO, G. D. Agricultura e aquecimento global: efeitos e mitigação. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, Supl. Esp., v. 5, n. 8, 2009.

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 175-186, 2010.

CASELLA, F. M. **O Cerradão e o Cerrado sentido restrito no Parque Ecológico dos Pequizeiros, Distrito Federal**. 2014. 147 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2014.

CENCI, D. R.; LORENZO, C. A mudança climática e o impacto na produção de alimentos: alguns elementos de análise da realidade brasileira e argentina. **Direito em Debate**. Ano XXIX – n. 53, p. 32-43, 2020.

CENTENO, L. N. *et al.* Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4.1, p. 31-37, 2017.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. Brasília: CGEE, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec; Edusp, 1979.

CIDIN, A. C. M. **Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Meio Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8586/DissACMC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 maio 2019.

CONCEIÇÃO, M. S. da; MENDES, T. A.; MUNIZ, E. **Conceitos básicos sobre mudança do clima: causas, mitigação e adaptação**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2015. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/publication/16257/conceitos-basicos-sobre-mudanca-do-clima-causas-mitigacao-e-adaptacao> Acesso em: 5 abr. 2020.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. 2006. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CORRÊA, R. L. Carl Sauer e Denis Cosgrove: a Paisagem e o Passado. **Espaço Aberto**, v. 4, n. 1, p. 37-46, 2014.

COSTA, F. R.; ROCHA, M. M. Geografia: conceitos e paradigmas-apontamentos preliminares. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 1, n. 2, 2010.

COSTA, F. S. *et al.* Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, O. V. *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, n. 5, p. 1137-1145, 2009.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.

D'ANDRÉA, A. F. *et al.* Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DESCROIX, L. *et al.* Gully and sheet erosion on subtropical mountains slopes: Their respective roles and the scale effect. **Catena**, v. 72, p. 325-339, 2008.

DIAS, L. A.; TOLENTINO-JUNIOR, J. B.; BOSCO, L. C. Mudanças climáticas nos ecossistemas agrícolas e naturais: medidas de mitigação e adaptação. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 82-87, 2020.

DIAS, V. R. M. *et al.* Influência da inundação nas concentrações de carbono no solo de florestas no norte do Pantanal Mato-grossense. *In*: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, [Anais....] Natal: CBCS, 2015.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. 1. Ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014, 36 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Acesso em: 23 maio 2021.

EAKIN, H. C.; PATT, A. Are adaptation studies effective, and what can enhance their practical impact? **WIREs Climate Change**, v. 2, p.141-153, 2011.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., revisada e ampliada. Brasília-DF: Embrapa, 2018.

FAGERIA, N. K; STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**, EMBRAPA - Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/214941>. Acesso em: 11 jan. 2021.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/792567/1/COT69.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

FERREIRA, J. C. V. **Mato Grosso e seus municípios**. Cuiabá: Buriti, 2001.

FIDALGO, E. C. C. *et al.* **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Embrapa Solos: Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/216824>. Acesso em: 18 jul. 2020.

FIGUEIREDO, C. C. de *et al.* Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 146-151, 2009.

FOGUESATTO, C. R.; BORGES, J. A. R.; MACHADO, J. A. D. Farmers' typologies regarding environmental values and climate change: Evidence from southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v. 232, p. 400-407, 2019. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.275](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.275).

FRAZÃO, L. A. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.

FREY, K. A dimensão político-democrática nas teorias de desenvolvimento sustentável e suas implicações para a gestão local. **Revista Ambiente & Sociedade**, ano IV, n. 9, ed. 2º, 2001.

FROZZI, J. C. **Atributos físicos, carbono orgânico e dimensão fractal da textura em solos sob ambientes naturais e antropizados na região Sul do Amazonas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

GASQUES, J. G.; BACCHI, M. R. P.; BASTOS, E. T. **Crescimento e Produtividade da Agricultura Brasileira de 1975 a 2016**. Nota Técnica IV - Carta de Conjuntura n.38. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8326/1/cc38_nt_crescimento_e_producao_da_agricultura_brasileira_1975_a_2016.pdf. Acesso em: 12 jun. 2020.

GERALDINO, C. F. G. **O conceito de meio na Geografia**. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-31052011-090251/publico/2010_CarlosFranciscoGerencsezGeraldino.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

GONZÁLEZ, A. Z. D. **Análisis y diagnóstico geoecológico de los paisajes en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba**. 2003. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências Geográficas) – Universidade da Havana, Faculdade de Geografia, Havana, 2003.

GONZÁLEZ, A. Z. D. El concepto de paisaje. *In*: GONZÁLEZ, A. Z. D. (org.). **Génesis y transformación de los paisajes rurales en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba**. 1. ed. Cáceres: Layout Gráfica Digital, 2021.

GOUVELLO, C. **Estudo de baixo carbono para o Brasil**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2010. 278 p.

GREGOLIN, F.S. *et al.* Estoques de carbono do solo sob recuperação de pastagens na Amazônia mato-grossense. *In*: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 20, [Anais...] Foz do Iguaçu: RBMCSA, 2016.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cáceres-MT**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/caceres/panorama>. Acesso em: 5 jul. 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Geociência**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 14 mar. 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manuais Técnicos em Geociências, nº 7, **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2013. 171 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de geografia e Estatística). **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

IFMT (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cáceres). **Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio na Modalidade Presencial**. Cáceres: IFMT, 2014.

IFMT (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cáceres). **Perfil, vocação e áreas de atuação do Campus Cáceres**. Cáceres: IFMT, 2020. Disponível em: <http://cas.ifmt.edu.br/conteudo/pagina/perfil-vocacao-e-areas-de-atuacao-do-campus-caceres/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ISERNHAGEN, E. C. C. *et al.* Estoques de carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de Transição Cerrado/Amazônia. **Nativa**, Sinop, v. 5, esp. p. 515-521, 2017.

JESUS, K. N. **Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco**. 2017. 113 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/24849> Acesso em: 10 abr. 2019.

JOOS, F. *et al.* IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001.

KELLER, T.; HÅKANSSON, I. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. **Geoderma**, v. 154, p. 398-406, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.013>

KORN, H. *et al.* Opções de mitigação e de adaptação à mudança climática: conexões com a biodiversidade e impactos sobre a biodiversidade. *In*: BERGHÄLL, O.; CHUNG, I.; COTTER, J. *et al.* **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. p. 79-137. Disponível em:

<https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/975/1/Inter-rela%C3%A7oes%20entre%20biodiversidade%20e%20mudancas%20clim%C3%A1ticas.pdf> Acesso em: 7 set. 2019.

LAL, R. Carbon Management in Agricultural Soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 2, p. 303-322, fev. 2007.

LEANDRO, G. R. dos S. **Dinâmica ambiental e hidrossedimentológica no rio Paraguai entre a Volta do Angical e a cidade de Cáceres – MT**. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

LESEUX, V. **Classificação de imagens de satélite para elaboração de mapa de uso e ocupação do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cáceres, 2019.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2005.

LIMA, G. C.; BRITO, A. G. M.; FARIAS, J. F. Um resgate a obra de Georges Bertrand: contribuições teóricas e metodológicas na análise da paisagem. **Revista Verde Grande**, v. 3, n. 1, 2021. https://doi.org/10.46551/rvg2675239520211320_

LIMA, M. A. de. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p. 451-472, 2002.

LOPES, I. V. (coord.). **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002.

LOUREIRO, S. M. **Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa pela implementação de políticas públicas de resíduos sólidos e mudanças climáticas no Brasil e no estado e na cidade do Rio de Janeiro**. 2019. 259 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

LUIZ, L. D. *et al.* Avaliação do Estoque de Carbono Orgânico em Latossolo Vermelho Amarelo sob Povoamento de *Tectona grandis* L. f. em Diferentes Espaçamentos, IFMT – Campus Cáceres. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, [Anais...] Natal: CBCS, 2015.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026_

MACIEL, A. B. C.; LIMA, Z. M. C. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. **Sociedade e Território**, Natal, v. 23, n. 2, p. 159-177, 2011.

MADARI, B. E. *et al.* Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra preta de índio): Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do

solo. *In*: TEIXEIRA, W. G. *et al.* (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.

MAGNOLI, M. M. Ambiente, Espaço, Paisagem. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n. 21, p. 237-244, 2006.

MAIA, S. M. F. *et al.* Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, n. 1-2, p. 84-91, 2009.

MAITELLI, G. T. Interações atmosfera-superfície. *In*: MORENO, G.; HIGA, T. C. S. (org.). **Geografia de Mato Grosso**: território, sociedade, ambiente. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. p. 238-249.

MARANHOLI, H. N. G. **Influência da ilha de calor na fenologia de espécies arbóreas em Cuiabá-MT, Brasil**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2017.

MARCOLIN, C. D. **Propriedades físicas de Nitossolo e Latossolos argilosos sob plantio direto**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MARGULIS, S. **Guia de adaptação às mudanças do clima para entes federativos**. WWF-Brasil. Brasília-DF, 2017. Disponível em: https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/guia_adaptacao_wwf_iclei_revfinal_01dez_2.pdf. Acesso em: 7 maio 2020.

MAROUN, M. R. **Adaptação às mudanças climáticas**: uma proposta de documento de concepção de projeto (dcp) no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo (mdl). Rio de Janeiro: UFRJ. 2007. 24 p.

MARTINS, C. R. *et al.* Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância da química da atmosfera. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 5, 2003. Disponível em: http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/downloads/material/quimica_da_atmosfera.pdf . Acesso em: 10 maio 2019.

MARTINS, C. R. *et al.* Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância da química da atmosfera. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 5, 2003. Disponível em: http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/downloads/material/quimica_da_atmosfera.pdf Acesso em: 13 maio 2019.

MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (ed.). IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021: Summary for Policymakers. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. 151 p.

MATOS, E. S.; ANTONIO, D. B. A.; RODRIGUES, R. A. R. Estoques de carbono e nitrogênio do solo em área de SAF e floresta nativa. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 10, 2016 [**Anais...**] Cuiabá: CBSA, 2016.

MATOS, E. S. *et al.* Estoques de carbono do solo sob integração lavoura-pecuária-floresta. In: FARIAS-NETO *et al.* (org.). **Embrapa Agrossilvipastoril**: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 253-259.

MATOS, L. A. de. **Variabilidade climática e recursos hídricos no setor meridional da Província Serrana-MT, Brasil**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2018.

MAY, P. H.; VINHA, V. da. Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: o papel do investimento privado. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 229-245, 2012.

MELLO, J. M. *et al.* Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do pantanal norte mato-grossense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 2, p. 325-336, 2015.

MELO, R. O. *et al.* Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 12-17, dez. 2008 Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/342>. Acesso em: 7 maio 2020.

MENDES, T. J. **Estimativa da variação do estoque de carbono do solo em diferentes cenários de uso e manejo agropecuário no estado do Maranhão**. 2015. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/136088>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MENDONÇA, F. Discutindo a Geografia. In: MENDONÇA, F. de A. **Geografia Física: ciência humana?** São Paulo: Contexto, 1997, p. 11-26.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica - notas introdutórias. **Revista Terra Livre**, São Paulo, Ano 19, v. I, n. 20, p. 205-221, 2003.

MENEZES, C. E. G. *et al.* Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 439-452, 2010.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**. v. 18, p. 761-799, 2003.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1, 2001.

MORAES, J. M. (org.). **Geodiversidade do estado do Mato Grosso**. Goiânia: CPRM, 2010. 111 p.

MORAIS-JUNIOR, H. S.; PIMENTEL, M. A. S. Paisagem e Geossistema: Epistemologia, Método e Cartografia. **Geografia (Londrina)**, v. 29, n. 1, p. 25-44, 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras-MG: Ed. UFLA, 2006.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S. (org.). **Geografia de Mato Grosso**: território, sociedade, ambiente. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. 183 p.

MOSER, C. The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. **World Development**, New York, v. 26, n. 1, p. 1-19, 1998.

MOURA, D. V.; SIMÕES, C. da S. A evolução histórica do conceito de paisagem. **Ambiente & Educação**, v. 15, n. 1, p. 179-186, 2010.

NAKASHIMA, M. R. *et al.* Dos solos à paisagem: uma discussão teórico-metodológica. **Revista da ANPEGE**, v. 13, n. 20, p. 30-52, 2017.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O. Balanço de Carbono da Amazônia Brasileira. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 16, n. 46, p. 81-89, 2002.

NOGUEIRA, M. O. G. **Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação**. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

NUNES, A. N.; ALMEIDA, A. C.; COELHO, C. O. A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. **Applied Geography**, v. 31, p. 687-699, 2011.

NUNES, L. H. Mudanças climáticas: impactos físicos e socioeconômicos. **Plenarium**, Brasília, v. 5, n. 5, p. 66-82, 2008.

NUNES, L. M. S.; SANTOS, T. O. dos. Mudanças climáticas e seus impactos na dinâmica global. *In*: PINHEIRO L. S.; GORAYEB, A. (org.). **Geografia Física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019.

NUNES-FILHO, A. A.; SALVADOR, D. S. C. O. A paisagem e o território no ensino escolar de Geografia. **Geog Ens Pesq**, Santa Maria, v. 24, e34, 2020.

OBERMAIER, M; ROSA, L. P. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 78, 2013.

OLIVEIRA, A. D. de; CAVALCANTE, E. N. O estudo da paisagem como categoria de análise da geografia: Uma abordagem teórico-conceitual. *In*: OLIVEIRA, A.; LIMA, R.

B. de; BONIFÁCIO, M. I. G. C. (org.). **Saberes amazônicos: trajetórias e vivências educacionais do grupo Gescam**. Goiânia: Espaço Acadêmico, 2020. p. 120-136.

OLIVEIRA, C. V. de; **Estoque de carbono em solos sob floresta nativa, sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira e pasto no Sul da Bahia, Brasil**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2016. Disponível em: http://www2.uesb.br/ppg/ppgciflor/wp-content/uploads/2020/08/Camila_Vasconcelos_de_Oliveira.pdf. Acesso em: 13 maio 2020.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, 2015.

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.

PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (ed.). IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/> Acesso em: 15 maio 2020.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, 1990.

PALM, C. *et al.* Mitigating GHG emissions in the humid tropics: Case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). **Environ. Develop. Sustainab.**, v. 6, p. 145-162, 2004.

PANOSSO, A. R. *et al.* Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275-282, nov. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.09.008>

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; FREITAS, C. M. B. M.; **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília-DF: EMBRAPA, 2015.

PAULA, T. A. de; VALLE, C. M. do. Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica **[Anais...]**. João Pessoa, 2007.

PCBAP (Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai). **Projeto Pantanal**. Programa Nacional do Meio Ambiente, Brasília: PNMA, 1997.

PETTER, F. A. *et al.* Carbon stocks in oxisols under agriculture and forest in the southern Amazon of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 53-61, 2017.

PINHEIRO, J. Q.; CAVALCANTI, G. R. C.; BARROS, H. C. L. Mudanças climáticas globais: viés de percepção, tempo e espaço. **Estudos de Psicologia**, v. 23, n. 3, p. 282-292, 2018.

PINTO, E. P. P.; MOUTINHO, P.; RODRIGUES, L. **Perguntas e respostas sobre aquecimento global**. Belém: IPAM, 2008.

PINTO-JUNIOR, O. B.; CARVALHO, P. V.; COUTO, E. G. Study of CO₂ flux and soil carbon in northern Pantanal, Brazil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 5, p. 29-38, 2018.

POTENZA, R. F. *et al.* **Análise das emissões brasileiras de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970 – 2020 – SEEG 2021**. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 1 nov. 2021.

POWLSON, D. S. *et al.* Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 220, p. 164-174, 2016.

POWLSON, D. S.; WHITMORE, A. P.; GOULDING, K. W. T. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n. 1, p. 42–55, fev. 2011. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x>. Acesso em: 7 jan. 2022.

PRADO, R. B. *et al.* Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p.1021-1038, 2016.

QUOOS, J. H. **Gerador de Triângulo Textural**. 2021. Disponível em: <http://www.quoos.com.br/index.php/geografia/solos/4-triangulo-textural-solos-argila-areia-silte>. Acesso em: 7 jan. 2022.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Reference Index. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

RASCHE, F.; CADISCH, G. The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems. What do we know? **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, p. 251-262, 2013.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 1-2, p. 131-167, nov. 1997.

REICHERT, J. M. *et al.* Reference bulk density and critical degree-of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>.

REINERT, D. J; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

RESENDE, T. M. **Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos do solo e cobertura vegetal na bacia do ribeirão bom jardim no triângulo mineiro (MG)**. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M. *et al.* (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-212.

RIBEIRO, S. C. *et al.* Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de Carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, p. 917-926, 2009.

RIBEIRO, S. C. *et al.* Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a Brazilian Cerrado. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, e410506, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000500006>.

RODRIGUES, B. M. **Caracterização morfológica, física, química, mineralógica e classificação de solos do IFMT campus cáceres Professor Olegário Baldo**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Cáceres, 2016.

RODRIGUES, G. L. **A Comunidade do Lobo em Cáceres, Mato Grosso e sua Relação com os Recursos Vegetais, Percepção e Educação Ambiental**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2012.

RODRIGUES, M. **Sistemas de manejo e a dinâmica das formas de fósforo e da fertilidade em solos de Cerrado**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-05022014-090437/publico/Marcos_Rodrigues.pdf. Acesso em: 11 maio 2019.

ROMÃO, R. L. **Carbono orgânico em função do uso do solo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/88223>. Acesso em: 12 jan. 2020.

ROMERO, A. G.; JIMÉNEZ, J. M. **El paisaje en el Ámbito de la Geografía**. Cidade do México: Instituto de Geografía. 2002.

ROSA R.; SANO, E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 333-351, 2014. https://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140210_

ROSESTOLATO FILHO, A. **Geomorfologia aplicada ao saneamento básico na cidade de Cáceres, Mato Grosso**. 2006. 122 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, 2006.

ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro no contexto da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 21-58, jan./jun. 2016.

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. Geomorfologia. *In: Projeto RADAMBRASIL*. Folha SD, 21. Cuiabá: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia. Rio de Janeiro, 1982. p. 193-256.

SAIZ, G. *et al.* Variation in soil carbon stocks and their determinants across a precipitation gradient in West Africa. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1670-1683, maio 2012.

SALTON, J. C. *et al.* Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesq. Agropec. Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

SAMBUICHI, R. H. R. *et al.* **Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas**. Brasília-DF: IPEA, 2014.

SANTANA, O. A. *et al.* Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 783-794, Santa Maria, 2013.

SANTOS, A. dos *et al.* Cotton production systems in the Brazilian Cerrado: The impact of soil attributes on field-scale yield. **European Journal of Agronomy**, v. 118, 2020.

SANTOS, J. C. B. *et al.* Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 683-695, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300001_

SANTOS, J. O. *et al.* Os impactos produzidos pelas mudanças climáticas. **Revista Agropecuária Científica No Semiárido-ACSA**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 09-16, 2013a.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica, Razão e Emoção**. 3ª Edição. São Paulo: Edusp, 2003.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013b. 100 p.

SCARANO, F. R. Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, p. 65-73, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.003](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.003).

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na Geografia. **Revista RA'EGA**, n. 7, p. 79-85, Curitiba: Editora UFPR, 2003.

SEVERIANO, R. M. *et al.* Soil organic carbon in no-tillage systems of different ages in Southwest Mato Grosso, Brazil. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 250-255, 2021.

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. D. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R. F., *et al.* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa/ MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275–374.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, num. esp., p. 1703-1711, out. 1998.

SILVA, S. M. M. *et al.* Estoque de Carbono no componente arbustivo-arbóreo em sistemas de restauração ambiental na Região Sudeste do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2015.

SILVEIRA, R. W. D. da. **Filosofia, arte e ciência: a paisagem na Geografia de Alexander Von Humboldt**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2012.

SIQUEIRA, M. D.; VIEIRA, T. F. S.; CORINGA, E. A. O. Estoque e carbono orgânico associado às frações granulométricas de solos do Pantanal. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, [Anais...] Natal: CBCS, 2015.

SOUZA, C. A.; LANI, J. L.; SOUSA, J. B. Origem e evolução do Pantanal mato-grossense; *In*: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia [Anais...]. Goiânia-GO, 6 a 10 de setembro de 2006, 11 p.

SOUZA, K. W. de *et al.* **Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para compensação das emissões de gases de efeito estufa**. CIRCULAR TÉCNICA 39. Planaltina, DF Março, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110815/1/Circ39.pdf> Acesso em: 11 mar. 2021.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 52-80, 2017.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**: genesis, composition and reactions. 2. ed. New York: Willey & Sons Inc., 1994. 496 p.

STIGLITZ, J. E. **Globalização**: como dar certo. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

STRACHULSKI, J. O percurso do conceito de paisagem na ciência geográfica e perspectivas atuais. **Revista Sapiência**: sociedade, saberes e práticas educacionais. v. 4, n. 2, p. 03-33, 2015.

SUZUKI, L. E. A. S. *et al.* Estimativa da suscetibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, v. 32, p. 963-973, 2008.

SWIFT, R. S. Sequestration of C by soil. **Soil Science**, v. 166, p. 858-871, 2001.

SZOTT, L. T.; MELENDEZ, G. Phosphorus availability under annual cropping, alley cropping, and multistrata agroforestry systems. **Agrofor. Systems**, v. 53, p.1125-1132, 2001.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 574 p. Disponível em: [file:///C:/Users/Profissional/Downloads/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profissional/Downloads/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017%20(1).pdf). Acesso em: 3 mar. 2019.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 05, n. 10, p. 79-89, 2006.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement Third session Glasgow, 31 October to 12 November 2021- **Glasgow Climate Pact** Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L16_adv.pdf Acesso em: 26 jan. 2022.

VELÁZQUEZ, B. R. R.; LEVI, L. L. **Espacio, paisaje, región, territorio y lugar**: la diversidad en el pensamiento contemporáneo. México: Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2015. Disponível em: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/19/101/311-1>. Acesso em: 11 mar. 2021

VERLY, O. M. *et al.* Caracterização florística e fitossociologia de um fragmento de Cerradão em Cáceres, Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, 2020. DOI: 10.4336/2020.pfb.40e201801742.

VIANA, E. T. *et al.* Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo; **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VILELA, L.; MARTHA-JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. **Revista UFG**, Ano XIII, n. 13, p. 92-99, 2012.

WANTZEN, K. M. *et al.* Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. Agriculture. **Ecosystems and Environment**, v.151, p. 70-79, 2012.

WINK, C.; REINERT, S. F. R.; RODRIGUES, M. F.; REICHERT, J. M. Correlação das propriedades físicas com o teor e estoque de carbono do solo em florestas de Eucalipto. *In*: VI Simpósio De Pós-Graduação Em Ciências Florestais e II Simaderj. **[Anais....]** Rio de Janeiro: UFFRJ, 2010. Disponível em: http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Resumos/VISP_GCF1.pdf. Acesso em: 21 jan. 2021.