

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE LINGUAGEM, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E SOCIAIS APLICADAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ZOOTECNIA**

ANA CRYSTINA SOBRINHO DE OLIVEIRA

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS EM ÁREAS DE PASTAGENS NA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, CAMPUS DE PONTES E
LACERDA**

**PONTES E LACERDA – MT
JULHO/2025**

ANA CRYSTINA SOBRINHO DE OLIVEIRA

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS EM ÁREAS DE PASTAGENS NA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, CAMPUS DE PONTES E
LACERDA**

“Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ZOOTECNIA”.

Orientador (a): Prof. Dr. ^a Maria Aparecida Pereira Pierangeli

PONTES E LACERDA – MT
JULHO/2025

ANA CRYSTINA SOBRINHO DE OLIVEIRA

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS EM ÁREAS DE PASTAGENS NA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, CAMPUS DE PONTES E
LACERDA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Zootecnia da Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências para obtenção
do título de Bacharel em Zootecnia.

APROVADO EM: 26 de Junho de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **MARIA APARECIDA PEREIRA PIERANGELI**
Data: 05/07/2025 11:58:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Orientadora/UNEMAT-Pontes e Lacerda

Documento assinado digitalmente
 **ALINE BARROS DA SILVA MORENZ**
Data: 07/07/2025 08:55:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Aline Barros da Silva Morenz
Doutora em Ciência Animal

Documento assinado digitalmente
 **OSVALDO MARTINS DE SOUZA**
Data: 05/07/2025 08:44:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Osvaldo Martins da Sousa
Doutor em Zootecnia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles que me proporcionaram a oportunidade de viver experiências grandiosas e marcantes, a Deus, que é misericordioso, obrigada por ter me sustentado em cada etapa dessa caminhada, à minha família e aos meus amigos, por estarem sempre me encorajando a continuar lutando pelos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte de sabedoria e força, por me conduzir até aqui.

À minha família, em especial à minha irmã Fernanda Sobrinho de Oliveira, que além de ser minha melhor amiga, é como uma segunda mãe, obrigada por sempre acreditar em mim e por abrir meus olhos para o mundo. À minha mãe, Lucimone Sobrinho da Silva, por ser um exemplo de mulher, por nos encher de memórias felizes e gargalhadas gostosas, obrigada por sustentar nossa família com tanto amor e força. Ao meu irmão, Lucas Sobrinho de Oliveira, pelos momentos divertidos, pelos conselhos e pelo cuidado e proteção de sempre. Ao meu pai, Evanildo Dias de Oliveira, pelos esforços.

Às minhas avós, Maria Madalena e Francisca Custódio, pelo amor e pelas palavras de bênçãos. Ao Kelvin dos Santos Aquino, obrigada pelos momentos vividos. Aos meus cunhados e amigos, Robson Assoni e Débora Moraes, pela amizade e apoio.

Aos amigos e colegas que fiz ao longo desses anos, que tornaram essa jornada mais leve e significativa, com muitas histórias marcantes. Passamos por momentos de estresse, mas também por muitos episódios de riso até a barriga doer. Em especial, agradeço à Juliana Máximo (Maxiano), Raniele Jeniffer, Andressa Silva, Karina Moconho, Daiane Saucedo, Thais do Nascimento, Karen Layane, Bárbara Fernandes, Ana Beatriz, Lucas Ribeiro, Jordan Ferreira, José Venâncio, Mateus Silva, Esdras Amaral e Marcos Afonso.

À minha orientadora, Maria Aparecida, pela paciência e por ter me guiado com excelência nesta etapa final da graduação. Aos professores do curso de Zootecnia da UNEMAT e aos do curso Técnico em Agropecuária, que cursei no IFMT – Campus Cáceres – MT, por todo o conhecimento transmitido, pelas vivências e apoio ao longo dos anos de estudo.

Agradeço à Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus Pontes e Lacerda – MT, que foi meu lar (Casa do Estudante Universitário – CEU), meu espaço de formação e superação, ao projeto de Programa de Formação de Células Cooperativas e Solidárias - FOCCO e ao Núcleos de Estudos de Caprinos e Ovinos – NECOMAT, foi nesses projetos que descobri o quanto sou engajada e capaz de realizar tudo aquilo que almejo.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e me ajudaram a chegar até aqui, deixo minha mais sincera gratidão.

“Às vezes, parecia que Deus estava me enterrando, mas descobri que Ele estava me plantando.”

(Josemar Bessa)

RESUMO

O Brasil possui uma extensa área de pastagem, que se encontra em algum nível de degradação, estando relacionada ao manejo inadequado do solo ou da própria pastagem. Tal condição representa um problema no que diz respeito à emissão de CO₂ para a atmosfera e às suas consequências no efeito estufa, devido à baixa capacidade dessas áreas de armazenar o carbono no solo. No entanto, pastagens bem manejadas podem contribuir efetivamente para a redução de dióxido de carbono na atmosfera ao capturar o CO₂ e favorecer sua retenção no solo na forma de carbono orgânico (CO). Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os teores e estoque de CO sob pastagem e áreas de florestas nativas no Campus Universitário de Pontes e Lacerda, Mato Grosso. Para isso, foram realizadas coletas de amostras de solo para análise, sendo parte delas retiradas sem alteração da sua estrutura original, e outra parte coletada de forma solta e desestruturada para análises químicas, em cinco áreas, sendo quatro áreas de pastagem (P1, P2, P3 e P4) e uma de floresta nativa, com cinco repetições, totalizando 25 amostras de solo indeformadas. Para cada amostra foram feitas duplicatas, terminado com 50 amostras de solo. O estudo foi desenvolvido no período de agosto e setembro de 2024. Nessas amostras foram determinados os teores de CO pelos métodos do dicromato de potássio e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal. O estoque de carbono (ECO) foi calculado considerando a densidade do solo (Ds) média de todas as áreas. Nas amostras indeformadas foram determinadas a densidade do solo. Os estoques de CO foram de 21,19 g kg⁻¹ na área de mata nativa e variaram de 9,26 a 10,99 g kg⁻¹ nas áreas de pastagens e a Ds foi de 1,58 Mg m⁻³ na mata e 1,50 Mg m⁻³ nas pastagens. Dessa forma, o ECO foi de 64,5 Mg ha⁻¹ na área de mata e 31,08 Mg ha⁻¹ nas áreas de pastagens. Esses resultados mostram as pastagens avaliadas apresentam menores teores de CO em relação à área de referência evidenciando manejo inadequado, fato que pode resultar na degradação dessas áreas.

Palavras-chave: Carbono orgânico. Forragem. Matéria orgânica do solo. Sustentabilidade. Uso e manejo do solo.

ABSTRACT

Brazil has an extensive area of pastureland that is in some degree of degradation, whether related to inadequate management of the soil or the pasture itself. This condition represents a problem in terms of the emission of CO₂ into the atmosphere and its consequences for the greenhouse effect, due to the low capacity of these areas to store carbon in the soil. However, well-managed pastures can effectively contribute to reducing carbon dioxide in the atmosphere by capturing CO₂ and promoting its retention in the soil in the form of organic carbon (OC). The aim of this study was to assess the levels and stock of OC in pastures and native forest areas on the Pontes e Lacerda University Campus, Mato Grosso. To this end, soil samples were collected for analysis, part of which were taken without altering their original structure, and another part collected in a loose and unstructured form for chemical analysis, in five areas, four of which were pasture areas (P1, P2, P3 and P4) and one of native forest, with five repetitions, totaling 25 undeformed soil samples. Duplicates were made for each sample, ending up with 50 soil samples. The study was carried out in August and September 2024. The CO content of these samples was determined using the potassium dichromate method and subsequent titration with ammoniacal ferrous sulphate. The carbon stock (ECO) was calculated using the average soil density (Ds) of all the areas. Soil density was determined on the undeformed samples. The CO stocks were 21.19 g kg⁻¹ in the native forest area and ranged from 9.26 to 10.99 g kg⁻¹ in the pasture areas and the Ds was 1.58 Mg m⁻³ in the forest and 1.50 Mg m⁻³ in the pasture. The ECO was 64.5 Mg ha⁻¹ in the forest area and 31.08 Mg ha⁻¹ in the pasture areas. These results show that the pastures evaluated have lower CO levels compared to the reference area, demonstrating inadequate management, which can result in the degradation of these areas.

Keywords: Forage. Organic carbon. Soil organic matter. Soil use and management. Sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 CARBONO	12
2.2 AGRICULTURA COMO FONTE E DRENO DE CARBONO	15
2.3 ESTOQUE DE CARBONO EM SOLO DE PASTAGEM.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
6 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm afetando o mundo de forma significativa, com o aumento da temperatura média do ar e dos oceanos, evidenciando a necessidade urgente de se reduzir os efeitos antrópicos, especialmente as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024), os principais setores responsáveis pelas emissões dos GEEs no Brasil são a mudança do uso da terra, desmatamentos e o setor agropecuário, no qual o estado de Mato Grosso ocupou o segundo lugar no ranking dos estados brasileiros, com a emissão anual de 298,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO_{2e}).

Segundo Nascimento (2024) e SEEG (2024), nacionalmente, o Brasil emitiu 2,29 Gt CO_{2e} em 2023, registrando uma queda de aproximadamente 12 % em relação a 2022 (2,6 Gt CO_{2e}), o que constituiu a maior redução anual desde 2009; cerca de 46 % dessas emissões são atribuídas às mudanças no uso da terra, especialmente o desmatamento na Amazônia, e em escala global, o Brasil foi o 6º maior emissor de GEE em 2023, com 2,38 Gt CO_{2e} (mais de 4 % do total mundial); os principais países emissores foram China (11,2 Gt CO₂), EUA (4,64 Gt, em redução), e Índia (2,8 Gt, em crescimento).

A atividade agropecuária, frequentemente associada à degradação dos recursos naturais, especialmente do solo, é em grande parte conduzida sem práticas conservacionistas. Diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de sustentabilidade, observa-se a implementação de tecnologias de mitigação, visando tornar a produção agropecuária mais sustentável (Guimarães *et al.*, 2023). Nesse sentido, políticas públicas têm incentivado práticas de manejo mais sustentáveis, tais como o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC e ABC+) (MAPA, 2023).

O solo atua como um dos principais reservatórios de carbono orgânico; no entanto, suas propriedades são frequentemente alteradas por atividades antrópicas, comprometendo sua capacidade de armazenamento de carbono. A quantidade de carbono armazenado no solo está diretamente relacionada ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que cerca de 58% da MOS é constituída de carbono (Teixeira *et al.*, 2017). A MOS desempenha funções essenciais no solo, como a agregação do solo, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e a ciclagem de nutrientes, prevenindo processos de degradação e a consequente perda de carbono (Santos, 2017).

Guimarães *et al.* (2023) enfatizam que práticas de manejo sustentável, como a preservação de florestas nativas, a adoção de sistemas integrados de lavoura-pecuária, manejo adequado de pastagens e áreas agrícolas, são fundamentais para a mitigação das emissões de GEE.

Atualmente, o Brasil possui cerca de 164.574.837 milhões de hectares (Mha) de áreas destinadas à pastagem, configurando-se como a principal forma de uso do solo, dessa área, cerca de 64%, aproximadamente 105 milhões de hectares apresentam algum nível de degradação (MAPBIOMAS, 2023). Após o desmatamento, a implantação de forragens estabelece uma nova condição de equilíbrio de carbono no solo, influenciada pelas práticas de uso e manejo (Carvalho, 2023), podendo culminar na perda ou acúmulo de CO no solo, dependendo do manejo da pastagem.

Pastagens de baixa produtividade, sem adequada cobertura vegetal, tendem a apresentar déficit no estoque de carbono em relação à vegetação florestal original. Em contrapartida, pastagens bem manejadas podem, em algumas condições, superar os níveis de carbono estocados pela vegetação nativa (Segnini *et al.*, 2020).

De maneira geral, a literatura indica que solos sob vegetação nativa tendem a apresentar maiores estoques de carbono em comparação a áreas de pastagem (Silva *et al.*, 2024). No entanto, Rosa, Sano e Rosendo (2014), observaram que solos de pastagens manejadas corretamente podem contribuir significativamente para o sequestro de carbono no solo, com até 15% mais carbono em comparação a áreas nativas, destacando o efeito positivo do manejo rotacionado, da adubação equilibrada e da introdução de leguminosas forrageiras sobre a matéria orgânica.

Vários fatores podem contribuir para a retenção do CO no solo, tais como o tipo de solo e o clima, sendo importante estudos que quantifiquem localmente seus teores e estoque, a fim de gerar dados que possam contribuir para a adoção de práticas de manejo alinhadas com a sustentabilidade da agropecuária.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar os teores e o estoque de CO em solos sob pastagem e sob floresta nativa no Campus Universitário de Pontes e Lacerda, Mato Grosso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As atividades antrópicas, embora sejam essenciais, provocam diversos impactos negativos, entre os quais se destacam o aumento dos gases do efeito estufa e a alteração dos ciclos biogeoquímicos, como o ciclo do carbono (Pierangeli *et al.*, 2021).

A pesquisa para embasamento teórico foi realizada por meio de levantamento bibliográfico em plataformas acadêmicas, fundamentado em literatura científica mais atualizada. Para o desenvolvimento deste estudo, foi necessária uma ampla pesquisa sobre a dinâmica do carbono no solo e o processo de sequestro de carbono. Ademais, enfatizou-se a importância da adoção de práticas de manejo sustentáveis, capazes de conservar os recursos ambientais, melhorar as condições do solo e aumentar a qualidade da forragem.

2.1 CARBONO

O carbono é um elemento químico fundamental para a vida, presente em todos os seres vivos e envolvido em importantes processos bioquímicos. No universo, o carbono é considerado o quarto elemento mais abundante em termos de fração em massa, ficando atrás apenas do hidrogênio, hélio e oxigênio (Terra; Magalhães, 2023).

Contudo, na atmosfera terrestre, o nitrogênio é o elemento mais abundante, representando cerca de 78% em volume do ar seco, seguido pelo oxigênio. Já na crosta terrestre, os elementos como oxigênio, silício, alumínio e ferro são mais abundantes, sendo o carbono e o nitrogênio encontrados em concentrações muito menores. Ainda assim, o carbono exerce papel essencial nos sistemas terrestres, compondo substâncias orgânicas e inorgânicas, estando presente na atmosfera, nos oceanos, nos seres vivos e principalmente no solo, sob a forma de carbono orgânico (Rodrigues; Silva, 2020).

O carbono presente no CO₂ atmosférico é utilizado na síntese de compostos orgânicos essenciais à vida, por meio de processos como a fotossíntese, originando proteínas, lipídeos, ceras, entre outros (Azevedo, 2022).

O ciclo biogeoquímico do carbono garante sua reciclagem e sua interação com a atmosfera, a água, o solo e os seres vivos, sendo fundamental para a regulação climática do planeta. A degradação do carbono sedimentar é um processo lento. Quando a biomassa e o

carbonatados afundam nos oceanos, a ausência de luz favorece a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, tornando o carbono novamente disponível no ciclo, retornando ao ambiente (Nunes; Rezende, 2022).

A maior parte do carbono da Terra está distribuída na litosfera, compostas por rochas sedimentares (carbonatos), contém a vasta maioria do carbono da Terra, com aproximadamente 100 milhões de gigatoneladas de carbono (GtC), esse carbono não circula rapidamente no ciclo do carbono. No Combustível fósseis oriundo de decomposição da matéria orgânica ao longo de milhões de anos, contém uma reserva com cerca de 4.000 – 5.000 GtC. O oceano é o segundo maior reservatório de carbono, com aproximadamente 38.000 GtC, sendo que a maioria desse carbono se encontra nos oceanos e na vida marinha. Na atmosfera a quantidade de carbono é pequena, comparada com os oceanos e a litosfera, com aproximadamente 870 GtC em CO₂ e CH₄. Embora seja em quantidade menor, o C na atmosfera é fundamental para o ciclo da vida na Terra, pois é a principal fonte de C para a fotossíntese. A biosfera é composta por todos os conjuntos dos ecossistemas da Terra, formadas por toda a matéria orgânica viva e morta presente no solo, na biosfera terrestre apresenta cerca de 2.000 – 3.000 GtC, na forma de C orgânica e a biosfera marinha, com aproximadamente 3 GtC. No solo a quantidade de C orgânico no solo depende de qual ecossistema faz parte e qual é a profundidade analisada, em média é estimada de 1.500 – 2.400 GtC segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013), conforme ilustrado na Figura 1.

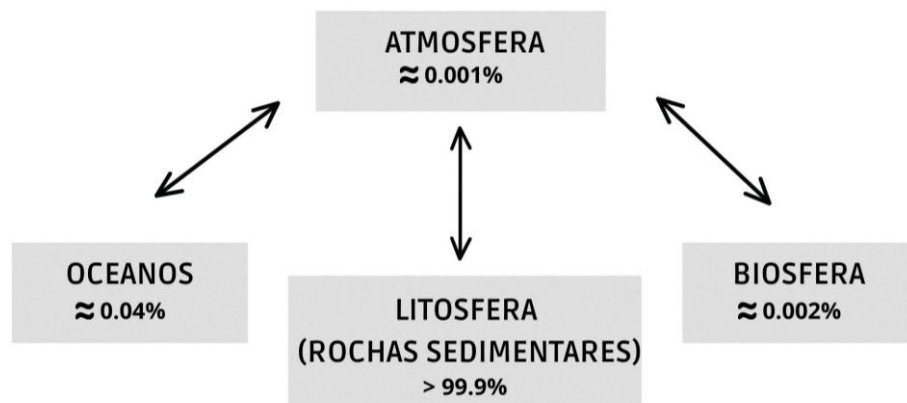


Figura 1. Distribuição Percentual Aproximada do Carbono na Terra.

Fonte: Adaptado de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013.

No entanto, o acúmulo excessivo de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera está diretamente relacionado a efeitos adversos, como o aquecimento global, o derretimento de calotas polares, a elevação do nível do mar e o aumento de eventos climáticos extremos, como

secas severas, afetando negativamente os ciclos biogeoquímicos (Gianetti, 2023). Por sua vez, esses efeitos adversos estão relacionados tanto a causas naturais, quanto por ações antrópicas, como emissões industriais, queima de combustíveis fósseis e atividades agrícolas. Sabe-se que o solo desempenha um papel fundamental no ciclo do carbono, podendo atuar tanto como fonte ou armazém de carbono, tendo, portanto, um papel relevante no controle das emissões de CO₂ para a atmosfera.

Nesse contexto, torna-se imprescindível a adoção de métodos de manejo conservacionista que visem mitigar a emissão de CO₂ para a atmosfera, como o plantio direto, rotação de culturas, recuperação de pastagens e integração lavoura-pecuária-floresta, conforme consta nas metas do Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC e ABC+), proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2021).

A partir de 2020, foi lançado o Plano ABC+, com vigência até 2030, dando continuidade e ampliando as metas, como a recuperação de 30 milhões de hectares de pastagens degradadas, a ampliação dos sistemas de plantio direto em 12,5 milhões de hectares, a adoção de sistemas de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em 4 milhões de hectares e a mitigação de aproximadamente 1,1 bilhão de toneladas de CO₂ equivalente. Dessa forma, o setor agropecuário tem buscado práticas de baixo impacto ambiental, voltadas para a sustentabilidade e produtividade, atendendo às exigências do mercado e da sociedade (BRASIL, 2021).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma técnica de cultivo conservacionista, no qual o uso de implementos para o revolvimento do solo é dispensado, evitando-se a aração e gradagem, o solo nesse sistema apresenta cobertura morta ou palhada oriundas da rotação de culturas. A técnica evita perda de matéria orgânica, reduz erosão e perdas de nutrientes, proporcionando a manutenção do carbono no sistema solo-planta. O SPD, contribui com uma remoção de aproximadamente 60,16 milhões de toneladas de CO₂ equivalente por ano, considerando a área total onde o SPD foi adotado no Brasil (Assad *et al.*, 2014).

A recuperação de pastagens degradadas é fundamental para a sustentabilidade do meio ambiente pecuário, potencializando o sequestro de carbono no solo. As pastagens apresentam uma função essencial da produção de alimentos e na conservação da biodiversidade. Práticas de recuperação de pastagens garante um solo mais saudável, consequentemente aumentam estoques de carbono, reduzindo a concentração de dióxido de carbono, garantindo uma produção agrícola mais sustentável (Marini, 2024).

No sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, são feitas integrações de plantios florestais, combinada com a pecuária e/ou cultivos agrícolas, otimizando áreas de uso agropecuários, sendo que essas práticas são realizadas em uma mesma área, podendo ser de

forma paralela ou em uma ordem cronológica. As vantagens que esse sistema exerce são diversas, entre elas, melhora do uso e conservação do solo, recuperação de áreas em degradação, conforto térmico animal, e ciclagem de nutrientes. O componente florestal, assim como as demais plantas do sistema, sequestra o carbono mitigando a emissão de gases de efeito estufa, apresentando assim mais um método de manejo sustentável (Rizzon *et al.*, 2024).

Desde 2009, o Brasil assumiu o compromisso de adotar medidas de redução dos gases de efeito estufa, instituindo a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Em 2010, foi criado o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como Plano ABC, com vigência até 2020. Seu objetivo era incentivar o uso de tecnologias conservacionistas, como a fixação biológica de nitrogênio, tratamento de dejetos animais, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), recuperação de pastagens, entre outras (BRASIL, 2012).

As adoções das tecnologias do Plano ABC atingiram cerca de 154% da meta, e a mitigação de CO₂, correspondente a 113% da meta. Contudo, o tratamento de dejetos de animais e a recuperação de pastagens em estado de degradação, se destacaram como dois principais problemas no que se refere a agricultura de baixa emissão de carbono no país (Telles *et al.*, 2021). É fundamental aumentar medidas de investimentos nessas duas práticas. Todavia, o Brasil vem buscando cada vez mais uma agropecuária sustentável e produtiva, preservando recursos naturais.

2.2 AGRICULTURA COMO FONTE E DRENO DE CARBONO

Para que o solo desempenhe sua função como reservatório de carbono, é necessário que o ecossistema esteja em equilíbrio com o uso a que se destina. O sequestro de carbono no solo depende de condições favoráveis, como cobertura vegetal adequada, práticas de manejo sustentáveis e características físicas do solo (Carvalho, 2023).

Apesar da importância do tema e dos inúmeros estudos e iniciativas tanto por parte do governo, órgãos de pesquisa e universidades ainda não se tem dados precisos sobre o estoque de carbono nos solos brasileiros, abrangendo todas as regiões do país. Como exemplo, para criação dos mapas de estoque de carbono no solo pelo MapBiomas, foram utilizadas 9.650 amostras de solo, disponibilizadas no repositório SoilData (MAPBIOMAS, 2024).

Embora seja um número considerável de amostras de solo, há necessidade de mais estudos, haja vista que o Brasil tem 8.510.417,771 km² de área, considerando não só a grande diversidade ambiental do país, que abrange seis biomas com características distintas, dificultando a uniformização das informações, como também a mudanças constantes no uso da terra, além de diferentes abordagens em relação à profundidade do solo investigada e de metodologias de determinação.

Isso reforça a importância de estudos locais, com dados dos teores de CO e da densidade do solo, os quais podem abastecer um banco de dados utilizados em mapeamentos visando a tomada de decisões para mitigação da emissão de CO₂ para a atmosfera (Teodoro *et al.*, 2024).

Segundo Carvalho (2023), os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo são indicadores importantes da sustentabilidade das práticas agropecuárias. O carbono orgânico do solo representa a principal fração da matéria orgânica do solo, sendo essencial para estabilidade estrutural, retenção de água, formação de agregados e como fonte de energia para os microrganismos (Teixeira *et al.*, 2017). Já o nitrogênio é um macronutriente fundamental para o crescimento vegetal, presente na composição de proteínas, enzimas e clorofila (Santos, 2017).

A relação carbono-nitrogênio (C:N) é amplamente utilizada como indicador da qualidade da matéria orgânica e da eficiência da decomposição no solo. Relação C:N equilibrada, está entre 10:1 e 12:1, favorecem a mineralização controlada da matéria orgânica, resultando na liberação gradual dos nutrientes e mantendo a fertilidade do solo (Teixeira *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2023). Na agropecuária, essa relação impacta diretamente a produção de forragem e o desempenho animal, uma vez que influencia a ciclagem de nutrientes e a capacidade do solo em sustentar sistemas mais produtivos de maneira sustentável.

A pegada de carbono é uma medida, onde estima a quantidade total de gases de efeito estufa emitido direta ou indiretamente pelas atividades humanas, expressa em toneladas de CO₂ equivalente. Na agropecuária, ela considera desde o uso de fertilizantes, manejo do solo, fermentação entérica, até o transporte e comercialização. Práticas inadequadas, como desmatamento e manejo incorreto das pastagens, aumentam significativamente essa pegada. A inclusão da pegada de carbono como indicador de sustentabilidade tem ganhado destaque nas políticas públicas e no mercado internacional, sendo uma ferramenta essencial para monitorar e orientar sistemas produtivos rumo à neutralidade climática (Gianetti, 2023; SEEG, 2024).

A Figura 2 ilustra a dinâmica do estoque de carbono orgânico no solo entre os anos de 1985 e 2021, totalizando aproximadamente 37,5 Gt de carbono orgânico no solo brasileiro, conforme dados do MapBiomas (2023).

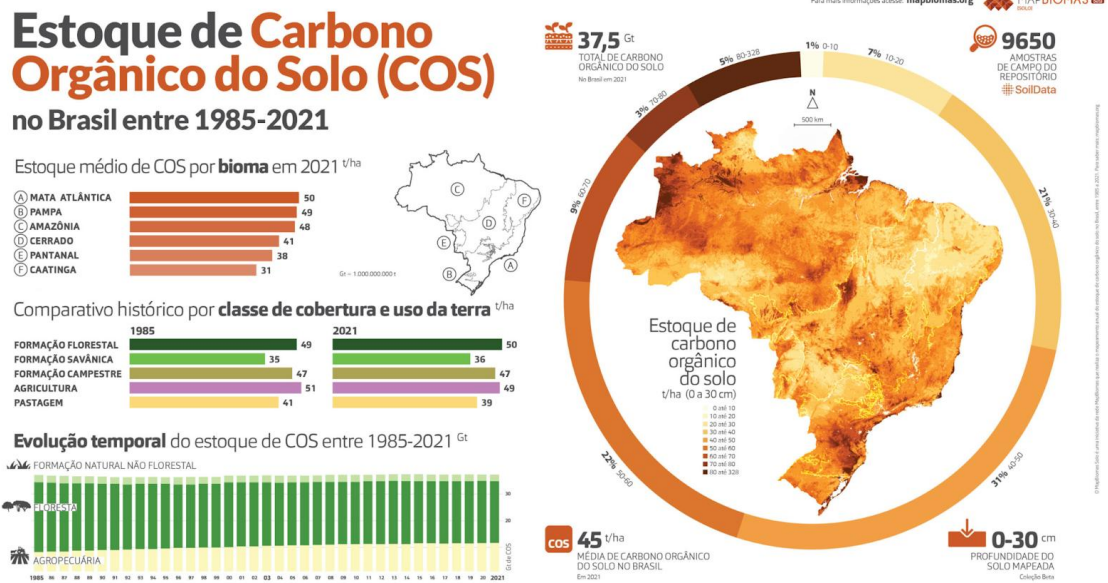


Figura 2. Infográfico ilustrando o estoque de carbono orgânico do solo brasileiro entre 1985-2021, na profundidade de 0-30 cm.

Fonte: MAPBIOMAS (2021).

2.3 ESTOQUE DE CARBONO EM SOLO DE PASTAGEM

As plantas, por meio da fotossíntese, produzem moléculas orgânicas essenciais ao seu desenvolvimento e manutenção. Nesse processo, absorvem dióxido de carbono da atmosfera e utilizam a energia solar para formar ligações entre átomos de carbono. Nesse processo o CO_2 é “fixado” conforme explicado: A energia luminosa do sol é capturada pela clorofila (o pigmento verde nas plantas) e convertida em energia química. Essa energia é então utilizada para fixar o carbono do CO_2 , formando ligações covalentes entre os átomos de carbono, criando as cadeias carbônicas que constituem as moléculas orgânicas (Lawson; Hofmann, 2022; TPC, 2016).

Durante os estágios de crescimento vegetal, especialmente na fase de senescência, parte do carbono absorvido pelas plantas é transferida ao solo, principalmente através da queda das folhas (Guimarães *et al.*, 2023). Esse processo contribui significativamente para o sequestro de carbono, pois ao se decompor são formadas substâncias húmicas e não húmicas, com longas cadeias de carbono que se associam aos argilominerais, criando agregados estáveis que protegem o carbono da rápida decomposição e o armazenam por períodos mais longos, contribuindo para o sequestro de carbono a longo prazo (Kang *et al.*, 2024).

A área destinada a pastagens no Brasil é de aproximadamente 180 milhões de hectares (Mha), sendo que cerca de 64 Mha apresentam algum nível de degradação, classificada como moderada ou severa (Oliveira *et al.*, 2022). Diante dessa grande extensão, há um crescente interesse na recuperação dessas áreas, tanto pela sua relevância econômica quanto pelo seu potencial de contribuição para o sequestro de carbono.

Estima-se que o estoque global de carbono em pastagens seja de aproximadamente 343 pentagramas (Pg) no primeiro um metro de profundidade, um valor 50% superior ao carbono armazenado em florestas, porém o uso inadequado das pastagens tem levado à sua degradação, o que compromete essa capacidade de retenção (Soares *et al.*, 2023).

A degradação das pastagens ocorre, entre outros fatores, devido à superlotação animal, uso de espécies forrageiras não adaptadas às condições edafoclimáticas, ausência de adubação e falta de controle do manejo, como a altura de entrada e saída dos animais. Tais fatores favorecem o ataque de pragas, a perda da cobertura vegetal e a redução da matéria orgânica, afetando diretamente a produtividade animal (Gianetti, 2023).

A degradação é classificada em quatro níveis: leve e moderada, quando ainda é possível a recuperação com práticas adequadas, forte e muito forte, quando a pastagem já está bastante comprometida, com perda significativa da capacidade de suporte e presença escassa de forragem (Soares *et al.*, 2023).

Em suma, a degradação das pastagens compromete o papel das plantas no sequestro de carbono via fotossíntese, bem como desfavorece seu armazenamento no solo. Nesse sentido, o teor de carbono orgânico no solo é um indicador sensível e importante para avaliar a condição de uma pastagem. Níveis elevados de COS geralmente indicam uma pastagem não degradada, com boa produtividade, cobertura vegetal adequada e manejo conservacionista, que contribui para o sequestro de carbono e a saúde do ecossistema. Por outro lado, baixos teores de COS são frequentemente associados à degradação da pastagem, com implicações negativas para a fertilidade do solo, a produção animal e o ciclo global do carbono (Silva; Ribon; Backes, 2023).

Assim, torna-se essencial avaliar as condições do solo e da vegetação para aplicar o manejo mais adequado a cada situação, promovendo a recuperação da área e a sustentabilidade do sistema produtivo.

Estudos apontam que pastagens bem manejadas apresentam maior capacidade de armazenamento de carbono no solo. Em uma profundidade de 0 a 30 cm, essas áreas podem acumular até 15% mais carbono em comparação às pastagens em processo de degradação. Esse acúmulo ocorre devido à maior retirada de carbono da atmosfera, que é posteriormente fixado

e armazenado no solo, contribuindo significativamente para a mitigação do aquecimento global (Rosa; Sano; Rosendo, 2014).

Para estimular os produtores a realizar recuperação de pastagens o mercado de carbono surge como uma alternativa viável para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e gerar renda aos produtores rurais. No Brasil, cerca de 80% dos projetos de carbono estão ligados à restauração de pastagens degradadas, com potencial de capturar até 1,5 GtCO₂eq em 85 milhões de hectares até 2030, considerando um preço médio de 30 dólares por tonelada. Isso torna a adoção de práticas sustentáveis, como manejo rotacionado, adubação e integração lavoura-pecuária, sendo uma oportunidade econômica e ambiental. No entanto ainda existem desafios relacionados à regularização, monitoramento e certificação desses créditos (BRASILAGRO, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade do Estado de Mato Grosso (Figura 3), localizada nas coordenadas 15°19'26.3"s e 59°13'56.8", situada no município de Pontes e Lacerda, estado de Mato Grosso, zona rural, rodovia BR-174, km 209 (Google Maps, 2025).



Figura 3. Localização da área de estudo: Universidade do Estado do Mato Grosso, Campus de Pontes e Lacerda.

Fonte: Google Earth (2025).

O clima do município é classificado como Tropical de Savana (AW), segundo a classificação climática de Koppen-Giger. Esse tipo de clima é caracterizado por temperaturas elevadas durante todo o ano e com a estação de seca bem definida no inverno (Araújo; Nascimento, 2024). A estação das águas é bem definida nos períodos de outubro a abril, com concentração de chuvas em dezembro e fevereiro. A precipitação média anual é cerca de 1.500 mm, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025). De acordo com a AccuWeather (2025), a temperatura média anual em Pontes e Lacerda é de aproximadamente 26 °C, com temperatura máxima média anual próximo de 32 °C e temperatura mínima é de 20 °C.

Foram realizadas análises físicas e químicas do solo sob diferentes tratamentos, com destaque na densidade do solo (Ds), no teor de carbono orgânico (CO), na matéria orgânica do solo e no estoque de carbono orgânico (ECO). Os tratamentos avaliados incluíram uma área de mata nativa e quatro áreas sob pastagem com diferentes formas de uso antrópico, identificadas como, P1, P2, P3 e P4, permitindo assim estudar e medir o impacto da utilização do solo na dinâmica do carbono.

O pasto 1 (P1) era constituído pelo capim Massai, uma cultivar híbrida resultante do cruzamento entre *Megathyrsus maximus* e *Panicum infestum* (EMBRAPA, 2001). O pasto 2 (P2) era formado pelo capim Zuri, cultivar de *Megathyrsus maximus* (EMBRAPA, 2014). Já os pastos 3 e 4 (P3 e P4) eram formados pelo capim Mavuno, uma cultivar híbrida proveniente do cruzamento entre *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis* (Pedreira, 2020). As áreas são manejadas sob sistemas de pastejo rotacionado e utilizadas para aulas práticas e estudos acadêmicos na universidade (Figura 4). No momento das coletas, observou-se a presença de solo exposto e infestação por plantas daninhas em alguns trechos.

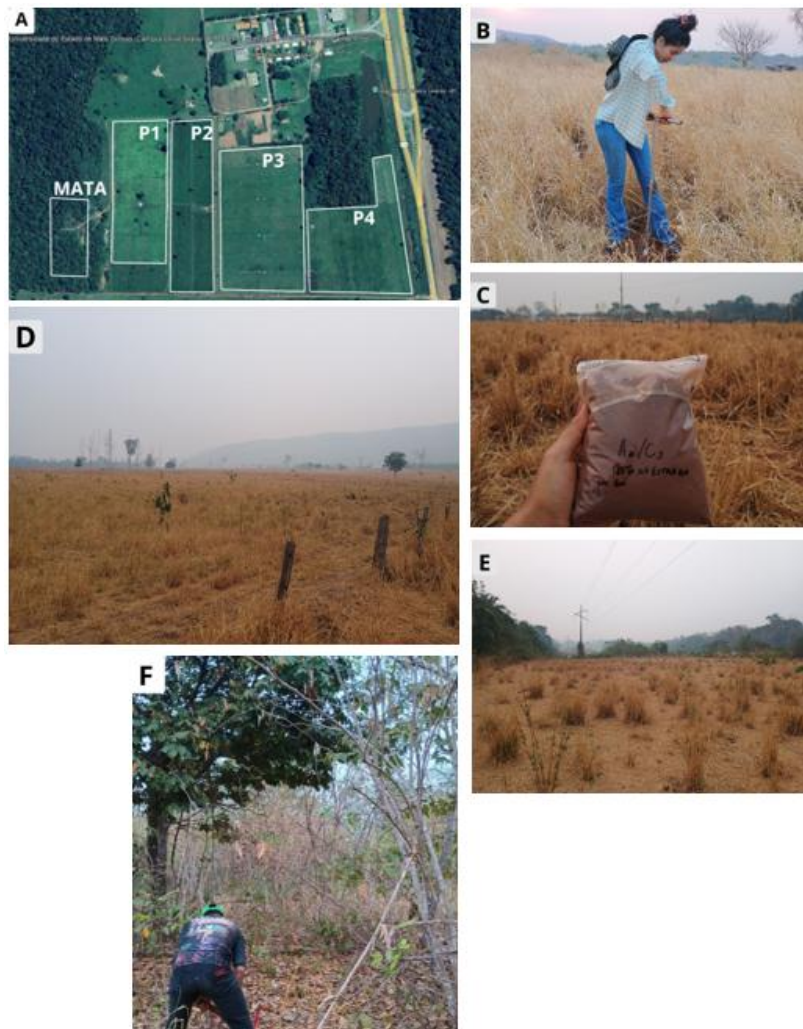


Figura 4: Mapa de localização da área de estudo e dos locais de amostragem (A); Coleta de solo sob capim Massai (B); Amostra deformada, área de capim BRS Zuri (C); Área de capim Mavuno (D); Área do pasto P4, capim Mavuno (E) e Coleta de solo na área da mata nativa (F).
Fonte: arquivo pessoal.

As coletas das amostras de solo foram feitas entre os meses de agosto e setembro de 2024, um período que corresponde a fase mais crítica da estação seca. Para as coletas de amostras de solo, foram selecionados cinco pontos em cada área de pastagem cultivadas e sob área de floresta nativa. Em cada área de pasto ou tratamento, foram realizadas cinco repetições. Em cada ponto de coleta foi aberta uma pequena trincheira com profundidades de 0,00-0,20 m, com o auxílio do trado holandês, foram coletadas oito amostras simples por gleba com aproximadamente 300 g, as quais foram misturadas e homogeneizadas para fazer uma amostra composta (Figura 5). Para determinar a densidade foram utilizados anéis volumétricos de alumínio com volume conhecido para a coleta de amostras de solo indeformadas. Após a coleta, os anéis foram acondicionados em capsulas de alumino identificadas, garantindo a preservação da amostra para análises laboratoriais posteriores.



Figura 5: A) amostra deformada, com sua devida identificação; B) amostra indeformada, utilizando anel volumétrico, devidamente identificado.

Fonte: arquivo pessoal.

Assim, considerou-se cinco tratamentos (4 pastos e uma área de referência, constituída de vegetação nativa), sendo cada área subdividida em 5 talhões configurando cinco repetições, totalizando 25 amostras de solo indeformadas. Para cada amostra foram feitas duplicatas,

totalizando, portanto, 50 amostras, considerando todos os pontos de amostragem. Em seguida as amostras foram conduzidas ao laboratório, secas ao ar e peneirada em malha de 2 mm para as análises.

O método para quantificar os teores de carbono orgânico no solo foi utilizando o dicromato de potássio para a queima da matéria orgânica e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal, a determinação da densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico (Teixeira *et al*; 2017). O estoque de CO (ECO) foi calculado usando-se a equação:

$$ECO = \frac{CO \times Ds \times E \times A}{1000}$$

Em que: ECO - estoque de carbono orgânico (Mg ha⁻¹); CO - teor de carbono orgânico (g kg⁻¹); Ds - densidade do solo (Mg m⁻³); E - espessura da camada do solo (m); A - área de um ha (m²); e F - fator de conversão de kg para Mg (1.000), conforme Santos (2017). Para fins de cálculo considerou-se a Ds média de todas as áreas, evitando-se assim a influência da Ds no ECO.

Para realizar a interpretação das variáveis estudadas foi utilizada o delineamento inteiramente casualizado, utilizando o *software* estatístico Sisvar, Versão 5.8. Com nível de confiança de 95%, foi possível rejeitar a hipótese nula (H0), indicando que ao menos um dos tratamentos diferiu estatisticamente dos demais, e as diferenças entre as médias dos tratamentos foram determinadas pelo teste de Tukey considerando uma margem de erro de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as variáveis estudadas houve diferença estatística significativa para o carbono orgânico no solo ($P < 0,005$), conseqüentemente para a matéria orgânica e estoque de carbono orgânico ECO. Para a densidade do solo, não houve diferença estatística.

Comparando-se a média das áreas de pastagem P1, P2, P3 e P4 (Tabela 1), nota-se uma redução acentuada nos teores de CO, MOS e ECO nas áreas de pastagem, isso evidencia o impacto do uso e manejo do solo sobre o estoque de carbono, respectivamente.

Tabela 1 - Densidade (Ds); Carbono orgânico (CO); Matéria Orgânica do Solo (MOS) e Estoque de Carbono Orgânico (ECO), em solos sob pastagens e mata nativa em Pontes e Lacerda-Mato Grosso.

Tratamentos	Ds (Mg m^{-3})	CO (g kg^{-1})	MOS (g kg^{-1})	ECO (Mg ha^{-1})
Mata	1,58	21,19a	36,53a	64,48a
P1	1,49	10,58b	18,24b	32,20b
P2	1,45	10,01b	17,26b	30,47b
P3	1,53	10,99b	18,96b	33,46b
P4	1,55	9,26b	15,97b	28,19b
Média	1,52	12,41	21,39	38,02

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade do solo (Ds) variou de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ (P2) a $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$ (mata nativa), com média de $1,52 \text{ Mg m}^{-3}$. Apesar das variações, os valores indicam um solo de densidade moderada, não ultrapassando limites críticos para o desenvolvimento radicular, uma vez que os solos estudados apresentaram textura média. Segundo Tavares Filho *et al.* (2023), solos de textura média, a densidade crítica varia entre $1,4$ e $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ e, valores acima desse intervalo é caracterizado em estado de compactação.

A mata nativa apresentou o teor de carbono orgânico (CO) significativamente maior, com $21,19 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto as áreas com atividade antrópica das pastagens apresentaram valores menores, entre $9,26 \text{ g kg}^{-1}$ (P4) e $10,99 \text{ g kg}^{-1}$ (P3). Isso evidencia a importância da cobertura vegetal permanente na manutenção dos níveis de carbono do solo, uma vez que a decomposição de resíduos orgânicos é maior e continua em áreas de conservação.

Os teores de matéria orgânica no solo (MOS) se diferiram considerando entre as áreas estudadas, sendo a maior concentração observada na amostra com valor de 36,53 g kg⁻¹, correspondente a mata nativa. Resultado esse compatível com a classificação de muito alto segundo os critérios de Sousa e Lobato (2002), que consideram teores acima de 4% como indicativo de solos com boa fertilidade e estrutura estável. Por outro lado, os valores nas áreas de pastagem foram significativamente menores, variando de 15,97 g kg⁻¹ a 18,96 g kg⁻¹ classificados como baixos, o que pode estar associado ao tipo de manejo adotado e ao pisoteio animal, fatores esses que contribuem para a degradação da matéria orgânica. Esses dados reforçam a importância da vegetação nativa na manutenção da qualidade do solo, especialmente em relação à capacidade de estoque de carbono e conservação da estrutura física do solo. No entanto, estudos realizados por Durks *et al.* (2014) no norte de Mato Grosso observaram que a adoção do manejo das pastagens de forma adequadas pode influenciar positivamente os estoques de carbono no solo, principalmente quando incluem práticas como adubação, controle de pastejo, manejo rotacionado e controle de plantas daninhas. Gregolin *et al.* (2016) também destacaram que o manejo adequado das pastagens na Amazônia mato-grossense contribui para o aumento dos estoques de carbono, com até 10 Mg há⁻¹ no.

Os valores de estoque de carbono orgânico (ECO) variaram de 28,19 Mg ha⁻¹ a 64,48 Mg ha⁻¹, sendo o maior valor observado na área de mata nativa. Esse valor demonstra o potencial do solo em armazenar carbono em áreas sob vegetação natural, valor próximo ao intervalo citado na literatura para solos em estado de conservação. Em contrapartida, as áreas de pastagem apresentaram menores estoques, variando de 28 a 33 Mg ha⁻¹, o que reflete a perda de carbono orgânico devido ao manejo inadequado e a degradação da cobertura vegetal (Silva *et al.*, 2024). Esses dados afirmam que a conversão da mata nativa em pastagens, sem considerar o uso adequado dos manejos de pastagem e sem a conservação do solo, resulta em significativa redução da qualidade e do estoque de carbono do sistema solo.

Por outro lado, Fernandes *et al.* (2007) indicam que a implantação de pastagens pode alterar as características da matéria orgânica do solo. Esses dados reforçam a importância do manejo adequado (adubação, controle do pastejo, e recuperação de áreas degradadas) das pastagens para a conservação e aumento dos estoques de carbono no solo. Conforme mostrado por Silva *et al.* (2024) em estudos com pastagens no sul da Amazônia, o aumento de apenas 5 g/kg de MOS resulta num incremento de 1,1 cmol/dm⁻³ de TCC e 5 Mg/ha de ECO. A diferença nos estoques de carbono observada entre as áreas de pastagem e mata nativa evidencia o impacto do uso da terra sobre a dinâmica do carbono no solo. A área de mata nativa apresentou um estoque de 64,48 Mg ha⁻¹, enquanto as áreas de pastagem variaram entre 28,19 e 33,46 Mg

ha⁻¹, isso corresponde a uma redução de aproximadamente 50% nos estoques de carbono quando comparadas à vegetação nativa. Isso indica que a conversão de áreas naturais para sistemas de pastagem, especialmente quando não realizada com boas práticas de manejo, compromete significativamente a capacidade do solo atuar como sumidouro de carbono.

Segundo Segnini *et al.* (2020), áreas de pastagens mal manejadas podem perder entre 30% e 70% do carbono originalmente presente no solo, isso dependerá do nível de degradação. Por outro lado, pastagens bem conduzidas, com pastejo rotacionado, controle de plantas daninhas e adubação correta, têm demonstrado ótimos resultados no acúmulo de carbono. Rosa; Sano; Rosendo (2014) identificaram aumento de até 15% no carbono do solo em pastagens manejadas, na profundidade de 0-30 cm, comparando as áreas em processo de degradação.

Vale ressaltar que os valores de densidade do solo observados neste estudo (média de 1,52 g cm⁻³) não ultrapassaram os limites críticos para compactação em solos de textura média (1,4-1,6 g cm⁻³), conforme Tavares Filho *et al.* (2023). No entanto, compactação leve, pode estar associada ao pisoteio animal, pode estar contribuindo para a menor incorporação de agregados estáveis e o armazenamento de carbono.

Além disso, a presença de plantas daninhas e de trechos com solo exposto em algumas áreas de pastagem avaliadas reforça a hipótese de degradação, mesmo que parcial, o que compromete o acúmulo de matéria orgânica e consequentemente a de carbono. Isso sugere que, mesmo sob pastejo rotacionado, o manejo dessas áreas precisa ser revisto para garantir a cobertura vegetal adequada ao longo do ano, podendo garantir melhores condições para o sequestro de carbono pelas forragens.

A baixa concentração de carbono orgânico e de matéria orgânica nas pastagens analisadas reforça a necessidade de adoção de práticas conservacionistas que recuperem a qualidade do solo e promovam o equilíbrio ecológico. A recuperação de pastagens degradadas não só melhora a produtividade pecuária, como também representa uma estratégia efetiva para mitigar as mudanças climáticas, ao aumentar a capacidade do solo de estocar carbono.

No contexto das mudanças climáticas, o mercado de carbono se apresenta com uma alternativa promissora na atividade agrícola conforme dados da BrasilAgro (2022), cerca de 80% dos projetos brasileiros no mercado voluntário de carbono estão ligados à restauração de pastagens degradadas, com potencial de sequestrar até 1,5 GtCO_{2eq} em 85 milhões de hectares até o ano de 2030. O valor estimado de US\$ 30 por tonelada de CO₂ removido pode incentivar economicamente produtores rurais a adotar práticas como adubação verde, manejo rotacionado, consórcios de forrageiras e integração lavoura-pecuária.

Além disso, os dados obtidos neste estudo são de suma importância, pois traz evidências de informações locais, de solos da região de Pontes e Lacerda, com condições edafoclimáticas próprias do sudoeste mato-grossense. Esses dados contribuem para o mapeamento regional do carbono no solo, como sugerido por Teodoro *et al.* (2024), que defendem a importância de estudos locais para alimentar bases de dados nacionais e embasar políticas públicas das emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, promover a recuperação das áreas degradadas por meio do manejo adequado das pastagens, bem como conservar os remanescentes de vegetação nativa, são medidas essenciais para o aumento do estoque de carbono no solo, a sustentabilidade da atividade agropecuária e a mitigação dos efeitos causados pelas mudanças climáticas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um cenário de crescente preocupação com as mudanças climáticas e a sustentabilidade da agropecuária, os dados obtidos neste estudo reforçam o papel importante do solo como reservatório de carbono e a relevância da recuperação de áreas degradadas para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Fica evidente que o uso de boas práticas de manejo, como adubação, consórcio com leguminosas e sistemas integrados, como a Integração Lavoura Pecuária-Floresta (ILPF), resulta em taxas mais elevadas de sequestro de carbono no solo. Isso demonstra um potencial positivo para a recuperação do carbono perdido em decorrência da mudança do uso da terra, além de indicar que, em determinadas condições, é possível até superar os estoques de carbono observados em áreas de vegetação nativa.

Desta forma, ressalta-se a importância da disseminação do conhecimento científico relacionando à conservação dos solos, estimulando a adoção de práticas sustentáveis por parte dos produtores rurais. Dessa forma, torna-se possível promover uma agropecuária mais equilibrada, baseada em informações técnicas e reais, evitando a propagação de informações equivocadas frequentemente divulgadas por alguns meios de comunicação.

6 CONCLUSÃO

O estudo revelou que os solos sob floresta nativa no Campus Universitário de Pontes e Lacerda apresentaram maiores teores ($21,19 \text{ g kg}^{-1}$) e estoque de carbono orgânico ($64,48 \text{ Mg ha}^{-1}$) em comparação às áreas de pastagem, que variaram entre $9,26$ e $10,99 \text{ g kg}^{-1}$ e $28,19$ a $33,46 \text{ Mg ha}^{-1}$. Isso está diretamente relacionado ao uso e manejo inadequado das pastagens reduzem a capacidade do solo de armazenar carbono, enquanto a vegetação nativa contribui significativamente para sua conversão. Portanto, práticas de manejo conservacionistas são essenciais para a recuperação de áreas degradadas e consequentemente aumentando os estoques de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

ACCUWEATHER. **Previsão do tempo para Pontes e Lacerda**, MT. Disponível em: <https://www.accuweather.com/pt/br/pontes-e-lacerda/38714/weather-forecast/38714>. Acesso em: 5 maio. 2025.

ARAÚJO, A. R.; NASCIMENTO, D. T. F. Variabilidade pluviométrica na região sudoeste de Mato Grosso entre anos-padrão habitual e excepcionais. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 2024. Anais [...]. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV2_06_MD1_ID269_TB347_10082024192319.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.

ASSAD, E. D.; ASSAD, M. L. R. C. L. Zoneamento agrícola e balanço de carbono. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; GONZALEZ MIGUEZ, J. D. (Ed.). **Mudanças climáticas e agricultura tropical. Anais. Sinop: Embrapa-CPAC**; Embrapa-SPI, 2014. p. 100–110.

AZEVEDO, E. B. Ciclos biogeoquímicos. In: SILVA, J. A.; SOUSA, R. F. (org.). **O solo: estrutura e composição**. São Paulo: Editora Terra, 2022. p. 45–68.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura – Plano ABC. Brasília: MAPA, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>. Acesso em: 24 maio 2025.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária – Plano ABC+: 2020–2030. Brasília: MAPA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais>. Acesso em: 24 maio 2025.

BRASILAGRO. Mercado voluntário de carbono tem potencial gigantesco no Brasil. **BrasilAgro**, 16 jun. 2022. Disponível em: <https://brasilagro.com.br/noticias/mercado-voluntario-de-carbono-tem-potencial-gigantesco-no-brasil/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

CARVALHO, T. A. Estoque de carbono e solo de pastagem: fatores para mudança de uso da terra e melhoria do manejo. 2023. **Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

DURKS, J. M.; SOUZA, L. H C; MATOS, E. S.; OLINI, R. M. CASTRO, B. S.; RODRIGUES, R. A. R. Estoques de carbono no solo sob pastagem manejada e não manejada no norte de Mato Grosso. In: **semana acadêmica do ifmt – campus sinop**, 1., 2014, Sinop. Resumos. Sinop: IFMT, 2014. p. 137. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1013319/1/cpamt2014Resumos1semanaacademicasinop137.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

EMBRAPA. **Panicum maximum - BRS Zuri**. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1309/panicum-maximum-brs-zuri>. Acesso em: 5 maio 2025.

EMBRAPA. *Panicum maximum* – Massai. 2001. Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/875/panicum-maximum-massai>. Acesso em: 12 maio 2025.

FALCÃO, V. F.; MARTINS, P. Q.; SILVA, R. S. Carbon-fixing reactions of photosynthesis. *The Plant Cell*, v. 28, n. 7, p. 1234–1245, 2016.

FERNANDES, A. R. et al. ^{13}C e a dinâmica do carbono orgânico do solo em pastagem cultivada no Pantanal sul-mato-grossense. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 74). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/812530/1/BP74.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

GIANETTI, G. W. Impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas no Brasil. **Tese de Doutorado em ciências do solo** – Universidade Federal de Viçosa, p. 104, 2023.

GOOGLE MAPS. UNEMAT - Pontes e Lacerda. [S.l.]: Google, 2025. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/UNEMAT+-+Pontes+e+Lacerda>. Acesso em: 05 maio 2025.

GREGOLIN, J. A. et al. Estoques de carbono do solo sob recuperação de pastagens na Amazônia mato-grossense. **Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril**, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1060848/estoques-de-carbono-do-solo-sob-recuperacao-de-pastagens-na-amazonia-mato-grossense>. Acesso em: 5 jun. 2025.

GUIMARÃES, M. A. P.; CAPUCHO, R. A.; SENRA, J. F. B.; ALVES, F. L. Citros como alternativa à pastagem degradada para o Sul do estado do Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 13 e 14, p. 20-29, dez. 2023. DOI 10.54682/ier.v.13e14.p20.29.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **Brasília: INMET**, 2025. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 maio 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

KANG, J.; QU, C.; CHEN, W.; CAI, P.; CHEN, C.; HUANG, Q. Organo–organic interactions dominantly drive soil organic carbon accrual over multi-decadal timescales. **Global Change Biology**, v. 30, n. 3, p. 789-803, 2024.

LAWSON, T.; HOFMANN, T. A. Carbon fixation. In: **Photosynthesis in Action**. 2022.

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. **Agricultura de baixa emissão de carbono**. Publicado em 16 de ago. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/plano-abc/historico>. Acesso em: junho 2024.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual do estoque de carbono orgânico do solo no Brasil 1985-2021 (coleção beta)**. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/DHAYLZ>. Acesso em: abril 2024.

MARINI, J. A. Carbono no solo: práticas agrícolas para sequestro e mitigação. 2024. **Trabalho de Conclusão de Curso** – [s.l.]: [s.n.], 2024.

NASCIMENTO, L. Brasil reduz em 12 % emissões de gases do efeito estufa em 2023. **Agência Brasil**, 07 nov. 2024. Brasília. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/meio-ambiente/noticia/2024-11/brasil-reduz-em-12-emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-em-2023>>. Acesso em: jun. 2025.

NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. **O solo: estrutura e composição**. 1. ed. São Paulo: Cubo, 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA; SEEG – Relatório Analítico 12: Emissões estaduais brutas e per capita – 2023. Brasília: **SEEG/Observatório do Clima**, 2024. Disponível em: PDF SEEG. Acesso em: jun. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA; SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Gases do efeito estufa em 2023: redução histórica de 12 % em relação a 2022. Piracicaba: **SEEG/Observatório do Clima**, 2024. Disponível em: documento do SEEG. Acesso em: jun. 2025.

OLIVEIRA, D. C.; MAIA, S. M. F.; FREITAS, R. C. A.; CERRI, C. E. P. Changes in soil carbon and soil carbon sequestration potential under different types of pasture management in Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 22, n. 3, p. 87–105, 2022.

PEDREIRA, L. B. Comportamento germinativo do capim-mavuno (*B. brizantha* x *B. ruziziensis*). 2020. 34 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia)** – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina. Disponível em: <https://releia.ifserto-pe.edu.br/jspui/handle/123456789/797>. Acesso em: 6 maio 2025.

PIERANGELI, M. A. P.; SANTOS, N. S.; XAVIER, V. Soil organic carbon in no-tillage systems of different ages in southwest Mato Grosso, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.25, p.250 - 255, 2021

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

RIZZON, M. H. S.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A. Sequestro de Carbono por *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no 12º ano. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [S. l.], v. 4, pág. 543–547, 2024. DOI: 10.17921/1415-6938.2024v28n4p543-547. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaiociencia/article/view/13421>. Acesso em: 4 maio. 2025.

RODRIGUES, W.; SILVA, A. F. Geologia: fundamentos para engenharia e meio ambiente. 2. ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2020.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 333-351, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/tDgH4fv7TQqhBKjHGxbwHTz/?lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 333–351, maio/ago. 2014. DOI: 10.1590/1982-451320140210.

SANTOS, F. A. S.; Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de Murundus. **Revista Ciência Agrária**, vol. 18, nº. 2, p. 31-41, 2017.

SEEG - **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/>>. Acesso em: junho de 2024.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Relatório Analítico 12: Emissões estaduais brutas e per capita – 2023**. Brasília: SEEG/Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: jun. 2025.

SEGNINI, A.; XAVIER, A. A. P.; OTAVIANI J. P. L.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. F.; PRAES, M. F. F. M.; RODRIGUES, P. H. M.; MILORI, D. M. B. P. Estoques de carbono e humificação no solo em pastagens com diferentes níveis de intensificação no Brasil. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; COSTA, M. de S. N. (org.) **Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira**. Brasília, DF: MAPA: SENAR, 2020. p. 106–107.

SEVERIANO, R. M. Carbono no solo de áreas sob diferentes idades de plantio direto no Sudoeste de Mato Grosso, Brasil. **Artigo dissertação (Mestrado)**, p. 97, 2018.

SILVA, F. L., SILVA, M. H. M. E. S., OLIVEIRA, J. E., LÓPEZ, A. M., PIERANGELI M. A. P. Fertility and carbon stock in pasture and forest environments in the Southern Amazon. **Rev bras eng agríc ambient** [Internet]. 2024;28(1): e270888. Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n1e270888>.

SILVA, J. E. Estoque de carbono orgânico do solo em diferentes sistemas de uso da terra no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1–12, 2020.

SILVA, L. L.; RIBON, A. A.; BACKES, C. (2023) – **Revisão sistemática da matéria orgânica e carbono no solo em sistemas de produção de pastagens**.

SILVA, L. L.; RIBON, A. A.; BACKES, C. Soil carbon and organic matter in a pasture production management system: a systematic review with meta-analysis. **Agrarian Journal**, v. 16, n. 56, e17176, 2023.

SOARES, S. C.; SOUZA, W. S.; SANTOS, R. A. F.; BORRÉ, J. G.; MACHADO, N. P. O.; RODRIGUES, V. S.; RAMALHO, I. O.; MONTEIRO, E. C.; HOMEM, B. G. C. Fatores de degradação de pastagens que interferem na dinâmica de carbono no solo. **Ciência do Solo: o avanço da ciência no Brasil** - ISBN 978-65-5360-404-9 - Vol. 1 - Ano 2023 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.com.br.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. p. 147-168.

TAVARES FILHO, J.; GONÇALVES, N. S.; MORAES, J. G. de. Considerar apenas a textura é suficiente para definir a compactação a partir da densidade do solo. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, 2023. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/47637>. Acesso em: 03 jun. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 574, 2017.

TELLES, T. S.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; RIGHETTO, A. J.; RIBEIRO, M. R. Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil. **Texto para Discussão** (IPEA, Brasília), n. 2638, 2021.

TEODORO, P. E.; ROSSI, F. S.; TEODORO, L. P. R.; SANTANA, D. C.; RATKE, R. F.; OLIVEIRA, I. C.; DELLA SILVA, J. L.; OLIVEIRA, J. L. G.; SILVA, N. P.; BAIO, F. H. R.; TORRES, F. E.; DA SILVA JUNIOR, C. A. Soil CO₂ emissions under different land-use managements in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, p. 139983, 2024. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139983.

TERRA, André; MAGALHÃES, Alexandre. Alótropos do carbono. **Revista de Ciência Elementar**, 2023, 11.3. DOI <http://doi.org/10.24927/rce2023.033>.