









Intensificação das práticas agropecuárias e impactos no sequestro de carbono no solo na região sudeste de Mato Grosso

Intensification of agricultural practices and impacts on soil carbon sequestration in the southeastern region of Mato Grosso

1. Luís Otávio Bau Macedo  <https://orcid.org/0000-0002-2002-5366>
1 Universidade Federal de Rondonópolis  Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil
- 2 Moabe Alves da Costa  <https://orcid.org/0000-0002-0034-5901>
2 Secretária de educação do estado de Mato Grosso  Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil
- 3 Iolanda Lopes de Oliveira  <https://orcid.org/0000-0002-0062-5540>
3 Universidade Federal de Rondonópolis  Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil
- 4 José Adolfo Iriam Sturza  <https://orcid.org/0000-0002-9929-3549>
4 Universidade Federal de Rondonópolis  Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil

Autor de correspondência: luis.otavio@ufr.edu.br

RESUMO

O estudo examinou a transformação do uso do solo conjugado ao armazenamento de carbono no Sudeste de Mato Grosso, entre 2012 e 2021. Utilizou-se a combinação de dados do Mapbiomas para avaliar a evolução do desmatamento e do estoque de carbono solo, e da Pesquisa Agrícola Municipal, do IBGE, para verificar os indicadores de produção agropecuária. Identificou-se uma tendência de retração em 62% na área de desmatamento anual, entre 2012 e 2021, conjugada com a intensificação produtiva da cultura da soja, com incremento do rendimento médio por hectare de 356 kg (+11%), e de elevação da produtividade da pecuária de corte bovina, mediante crescimento da lotação média animal para 1,4 cabeças por hectare (+19%). Por outro lado, houve a conversão das áreas de pastagens que reduziram, em 72,1 mil hectares, para a agricultura que aumentou, em 83,5 mil hectares. Por fim, o estoque de carbono no solo teve elevação, em 0,8%, representando um acréscimo de 3,97 milhões de toneladas de estoque de carbono durante o período, principalmente, em virtude da melhoria das práticas agropecuárias de manejo do solo.

Palavras-chave: Sistemas de produção agropecuários, captura de carbono no solo, Mato Grosso.

ABSTRACT

The study examined the transformation of land use combined with carbon storage in Southeast Mato Grosso between 2012 and 2021. Data combination from Mapbiomas was used to evaluate the evolution of deforestation and soil carbon stock, and the Municipal Agricultural Survey, from IBGE, to check agricultural production indicators. A 62% downward trend was identified in the area of annual deforestation, between 2012 and 2021, combined with the productive intensification of soybean cultivation, with an increase in the average yield per hectare of 356 kg (+11%), and an increase of beef cattle

productivity, through an increase in the average animal capacity to 1.4 heads per hectare (+19%). On the other hand, there was the conversion of pasture areas, which reduced by 72.1 thousand hectares to agriculture that increased by 83.5 thousand hectares. Finally, the carbon stock in the soil expanded by 0.8%, representing 3.97 million tons of carbon stock accumulation during the period, mainly due to the improvement in agricultural soil management practices.

Keywords: Agricultural production systems, carbon capture in the soil, Mato Grosso

INTRODUÇÃO

Os biomas brasileiros representam uma parcela significativa da biodiversidade global, caracterizados por uma elevada riqueza e endemismo. No entanto, essa riqueza natural enfrenta crescentes ameaças devido aos altos níveis de devastação ambiental e às pressões provenientes de atividades humanas, como a conversão de áreas naturais em terras para produção agropecuária (Pinhoa, 2020). É crucial destacar que, além das mudanças nas paisagens naturais, as mudanças climáticas em curso representam um segundo fator de ameaça à biodiversidade dos biomas brasileiros, o que constitui uma preocupação ambiental significativa.

As emissões de gases de efeito estufa são provenientes de diversas fontes, como queima de combustíveis fósseis, indústria, desmatamento e certas práticas agrícolas, contribuem para o aumento da concentração desses gases na atmosfera, resultando no fenômeno do aquecimento global e nas consequentes mudanças climáticas (Zanin et al., 2018).

Ademais, as mudanças climáticas afetam diretamente tanto as áreas urbanas quanto as rurais, com o aumento das temperaturas, ondas de calor mais frequentes, chuvas intensas e eventos climáticos extremos, como tempestades e enchentes, resultando em desastres naturais e impactos socioeconômicos significativos (Capoane, 2022).

É essencial ressaltar que as mudanças climáticas são um desafio global que exige ações tanto em nível local quanto global para mitigar seus efeitos. Estratégias como a redução das emissões de gases de efeito estufa, promoção da eficiência energética, adoção de energias renováveis e planejamento urbano sustentável são fundamentais para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e reduzir seu impacto sobre o meio ambiente e a sociedade (Nikinmaa, 2020). A colaboração entre governos, organizações não governamentais, empresas e a sociedade civil é crucial para promover ações conjuntas e eficazes nesse sentido.

O Estado de Mato Grosso destaca-se nessa conjuntura, pois engloba três biomas em seu território: Amazônia, Cerrado e Pantanal. A Amazônia abrange a maior extensão territorial, ocupando a porção norte do estado, caracterizada por sua vegetação

predominantemente florestal, enquanto o Cerrado está localizado nas regiões Central e Sudeste, composto por diversas formações arbóreas de alta complexidade. Por sua vez, o Pantanal abarca a região Sudoeste, sendo o bioma de menor representatividade em área estadual (Carvalho, 2019). Vale ressaltar que Mato Grosso está situado em uma das fronteiras com alta atividade de desmatamento, contribuindo para a segunda maior taxa de desmatamento na Amazônia, ficando atrás apenas do Pará (Capoane, 2022).

Portanto, é imperativo que a atividade agropecuária mato-grossense seja conduzida de maneira sustentável, adotando práticas que promovam a conservação dos recursos naturais e a mitigação das mudanças climáticas, visando garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico. Mato Grosso corresponde a aproximadamente 10,6% das emissões nacionais de gases de efeito estufa, com medidas em vigor visando preservar 60% da vegetação nativa e eliminar o desmatamento ilegal. O governo estadual comprometeu-se a alcançar emissões líquidas de carbono zeradas até 2050 (Heck, 2021).

O Sudeste mato-grossense caracteriza-se por ser pioneira na introdução da agricultura moderna na região Centro-Oeste brasileira, destacando-se o município de Rondonópolis, devido ao fluxo migratório sulista e sua localização estratégica. Essa região atraiu significativos investimentos para explorar os recursos disponíveis, moldando as tendências subsequentes do agronegócio estadual (Tesoro et al. 1993). A região Sudeste foi o ponto de partida da modernização agropecuária do estado de Mato Grosso, resultando em altos índices de produtividade em monoculturas e a adoção de pacotes tecnológicos, intensivos em fertilizantes e agrotóxicos (Pereira; Mendes, 2002).

Adicionalmente, a escolha da região Sudeste mato-grossense como objeto de estudo, foi decorrente da consolidação do setor agropecuário que sinaliza tendências para as demais regiões mato-grossenses, ainda caracterizadas como fronteiras agrícolas. Para tanto, optou-se por uma pesquisa do tipo quanti-qualitativa. A pesquisa quanti-qualitativa é uma abordagem metodológica que combina elementos da pesquisa quantitativa e da pesquisa qualitativa com o objetivo de enriquecer a análise e a interpretação dos dados. Essa combinação busca superar as limitações de cada abordagem isolada, permitindo uma compreensão mais abrangente e detalhada dos fenômenos estudados (Creswell, 2014).

Nessa perspectiva, o estudo tem por objetivo analisar a perda de cobertura vegetal nativa no Sudeste mato-grossense, em relação à evolução do uso do solo e os efeitos sobre o estoque de carbono no solo, entre os anos de 2012 e 2021. Destaque-se a partir da vigência do Novo Código Ambiental, ocorreu um intenso ciclo expansivo de *commodities* agropecuárias, voltado ao atendimento da demanda internacional.

Desse modo, a contribuição está estruturada a partir da presente introdução, com a discussão acerca da literatura da relação entre a intensificação da produção agropecuária e o sequestro de carbono no solo, em seguida, se realiza a apresentação

dos procedimentos metodológicos e discutem-se os resultados empíricos obtidos, por fim, são emitidas as conclusões finais.

REVISÃO DE LITERATURA

Intensificação Produtiva e o Sequestro de Carbono no Solo

A importância das práticas agrícolas ao sequestro de carbono no solo é uma linha de pesquisa de crescente importância frente a crise climática contemporânea. Várias estratégias agronômicas e zootécnicas podem incrementar os níveis de carbono no solo, favorecendo as suas propriedades orgânicas e, adicionalmente, a produtividade agropecuária (Ogle; Breidt; Paustian, 2005). A adoção do plantio direto em solos tropicais, os sistemas de produção agrofloretais e a agricultura regenerativa são alternativas promissoras para a ampliação dos indicadores de sequestro de carbono e o combate ao aquecimento global (Yang et al. 2019). Portanto, a adoção de modelos de produção agropecuária que patrocinam a ampliação do estoque de carbono, concomitantemente ao da produtividade da terra atua pela mitigação das emissões de gases de efeito estufa, em convergência com a segurança alimentar (Johnson et al. 2014).

Isso é possível porque o incremento no estoque de carbono está relacionado com o manejo adequado que ocorre nos solos, através da melhoria das suas propriedades, e da criação de um ambiente mais vantajoso para o desenvolvimento das plantas (Souza et al. 2013). Por outro lado, de maneira semelhante, a bovinocultura de corte quando emprega pastagens com manejo adequado e bem formadas, também, proporciona a transformação de carbono em matéria orgânica estável no solo mitigando emissões de gases de efeito estufa (Salton; Tomazi, 2014; Embrapa, 2018).

Entretanto, uma grande quantidade de fatores, incluindo o tipo de solo predominante, as condições climáticas locais e as práticas agrícolas adotadas nas fazendas, desempenham papéis cruciais na determinação da taxa de sequestro de carbono oriunda do modelo agropecuário de produção. A estabilidade da matéria orgânica presente no solo é um fator crucial para assegurar o êxito a longo prazo do sequestro de carbono. A estabilidade refere-se à capacidade da matéria orgânica de persistir no solo ao longo do tempo, resistindo aos processos de decomposição e mineralização. Solos com uma alta taxa de estabilidade orgânica, não apenas mantêm o carbono capturado por períodos prolongados, mas também podem contribuir substancialmente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Smith et al., 2008).

Nesse ponto, uma das características mais notáveis do Cerrado é sua capacidade de armazenar grandes quantidades de carbono no solo. Esse fenômeno ocorre em virtude de um intrincado ciclo de vida vegetal adaptado às condições de estresse hídrico sazonal. As plantas do Cerrado, com suas raízes profundas e sistemas de adaptação à seca, contribuem para o acúmulo de matéria orgânica no solo. A decomposição lenta desses resíduos vegetais, junto com a atividade de microrganismos do solo, forma um processo biogeoquímico que estoca carbono a longo prazo, indicando a importância da

preservação da vegetação nativa do bioma Cerrado. Isso indica que a conservação de vegetação natural, em consonância com os requerimentos da legislação ambiental, é primordial para a conservação dos recursos hídricos disponíveis e a estabilidade do ecossistema (Silva et al., 2014).

Por outro lado, os sistemas de produção agropecuário, também, podem contribuir com o incremento na quantidade de compostos orgânicos no solo, aumentando os estoques de carbono no solo, gerando, assim, serviços ambientais (Stavi; Lal, 2013). Os sistemas agroflorestais, por serem mais complexos, apresentam maior semelhança com os sistemas naturais, sendo aptos para incrementar a produtividade e a disponibilidade de compostos orgânicos no solo (Salton et al., 2014; Torres, 2015).

Destaque-se que os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), no bioma do Cerrado, promovem aumento nas taxas de carbono na camada superficial do solo, indicando uma capacidade de sequestro relevante. A combinação de diferentes usos do solo, de maneira sinérgica, apresenta potencial significativo para otimizar as propriedades bioquímicas, promovendo a produtividade agropecuária e maior sustentabilidade ambiental (Conceição et al 2017; Bieluczyk et al., 2020). Portanto, pode ser vislumbrado uma complementaridade profícua entre a conservação da vegetação nativa, existente nas reservas legais e nas áreas de proteção permanente, e o emprego de modelos agropecuários mais sustentáveis e produtivos para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa.

Legislação Florestal Brasileira e a Fiscalização da Mudança do Uso do Solo

O Código Florestal estabelece normas e critérios para a proteção e uso sustentável do solo, mediante a previsão da obrigatoriedade da reserva legal e das áreas de preservação permanente. Essa legislação define que no bioma Cerrado, do Estado de Mato Grosso que faz parte da Amazônia legal, se estabelece o percentual de reserva legal correspondente a 35% das unidades rurais. Entretanto, nas unidades rurais com fitotipologia de floresta, mesmo que incidentes no bioma Cerrado, o percentual corresponde a 80%, incorporando tanto áreas de preservação permanente (APPs) como de reservas legais (Chaves et al., 2023).

As mudanças realizadas no Código Florestal, em 2012, têm sido alvo de críticas por diversos setores da sociedade, incluindo organizações ambientalistas e pesquisadores. A nova lei flexibilizou as regras para a recuperação de áreas degradadas, reduziu as áreas de preservação permanente em determinadas situações, e alterou as exigências para a recomposição de áreas de reserva legal, podendo ter impactos negativos na proteção da cobertura florestal e, por sua vez, no estoque de carbono no solo (Soterrani et al., 2018).

Evidenciou-se que, após a entrada em vigência do Código Florestal de 2012, houve o surgimento de diversos entraves em sua implementação, oriundos da falta de uma jurisprudência consolidada, ocasionando atrasos recorrentes na aplicação dos Cadastros Ambientais Rurais (CAR) e dos Planos de Recuperação de Área Degradada (PRAD). Por

outro lado, incentivos econômicos estabelecidos no código, ao pagamento por serviços ambientais, tais como a Cota de Reserva Ambiental (CRA) e a compensação ambiental em terras de terceiros, ainda não foram devidamente regulamentados no Estado de Mato Grosso (Soares Filho et al., 2014; Brock et al., 2021)

Neste cenário, monitoramento em tempo real da cobertura nativa do solo tornou-se fundamental para a proteção das florestas e a avaliação dos impactos ambientais. Imagens de satélite são uma das ferramentas mais utilizadas, pois permitem a observação de grandes áreas com alta resolução espacial e temporal. Os dados georreferenciados são captados em diferentes comprimentos de onda, permitindo a identificação de diferentes tipos de vegetação e a distinção entre áreas de floresta e outros tipos de cobertura (Finer et al., 2018).

Essas informações são processadas por softwares especializados, que realizam a classificação da cobertura florestal e possibilitam o monitoramento de sua evolução ao longo do tempo. De acordo com , o uso de imagens de satélite para o monitoramento da cobertura florestal tem se mostrado eficaz e econômico em comparação com outras técnicas (Popkin, 2016).

Porém, apesar de sua precisão e facilidade de acesso, os dados georreferenciados não são sempre capazes de detectar todos os tipos de mudanças na cobertura florestal. Segundo Borlido et al. (2024), as imagens podem não conseguir captar com precisão a dinâmica da cobertura florestal em áreas de floresta densa, onde a vegetação é muito fechada e o sinal captado pelo satélite é atenuado pela folhagem. Nesses casos, é necessário utilizar outras técnicas complementares, como levantamentos de campo.

Os levantamentos de campo são uma ferramenta importante para a coleta de dados sobre a qualidade ambiental, como o estado da vegetação, o uso da terra e da água. Esses dados são importantes para o monitoramento da perda de cobertura florestal, pois permitem a verificação das mudanças na cobertura florestal e das atividades humanas que contribuem para essas mudanças. Além disso, os levantamentos de campo podem fornecer informações mais detalhadas sobre as espécies de plantas e animais presentes na floresta, bem como sobre a qualidade do solo e da água (Andrade e Romeiro, 2011).

Outra técnica que tem se mostrado promissora para o monitoramento da perda de cobertura florestal é o uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina. Segundo Gaveau et al. (2016), o uso de algoritmos de machine learning permite a identificação automatizada de mudanças na cobertura florestal a partir de imagens de satélite, o que reduz o tempo e o custo da análise. Além disso, esses algoritmos podem ser treinados a partir de dados de levantamentos de campo, aumentando a precisão e a confiabilidade das informações obtidas.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

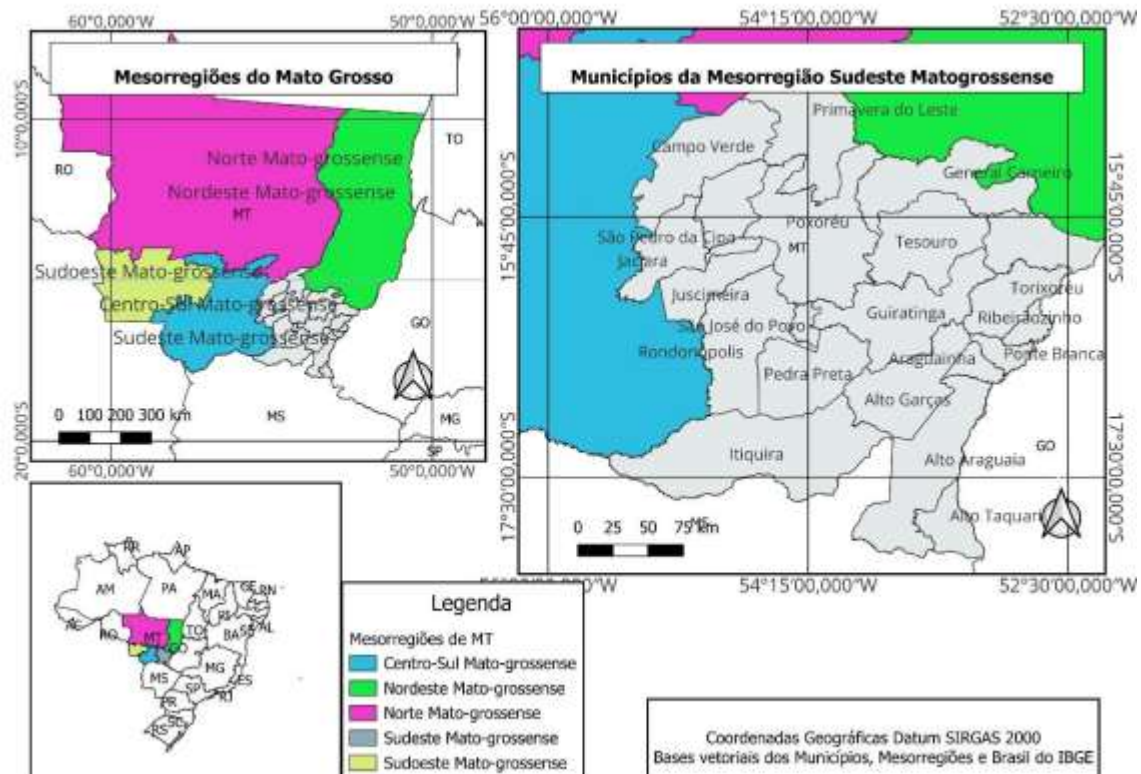
A área de estudo se concentrou na região Sudeste Mato-grossense, composta por quatro microrregiões contendo no total 22 municípios. Estes municípios estão

distribuídos na Microrregião do Alto Araguaia, Microrregião Primavera do Leste, Microrregião Rondonópolis e Microrregião Tesouro (mapa 1). A população urbana concentra-se principalmente nos municípios de maior porte, como Rondonópolis, Primavera do Leste e Jaciara. Essas áreas urbanas geralmente possuem infraestrutura mais desenvolvida, incluindo serviços básicos, comércio e indústria, ocupando uma área de 72.545 km² e com uma população de 571.309 habitantes, segundo dados do IBGE (2022).

O Sudeste Mato-grossense é caracterizado pela presença de importantes bacias hidrográficas. Dentre elas, destaca-se a Bacia do Rio Araguaia, que abrange parte dos municípios da microrregião de Alto Araguaia e Tesouro. O Rio Araguaia é um dos maiores rios do Brasil e desempenha um papel fundamental no abastecimento de água, no transporte fluvial e no suporte à atividade econômica da região. Outras bacias hidrográficas presentes na região incluem a Bacia do Rio das Mortes, que engloba parte dos municípios da microrregião de Rondonópolis, e a Bacia do Rio Cuiabá, que abrange parte dos municípios da microrregião de Primavera do Leste. Essas bacias hidrográficas desempenham um papel vital na disponibilidade de recursos hídricos para as atividades humanas, bem como na preservação do meio ambiente e dos ecossistemas locais. O bioma Cerrado é predominante, sendo caracterizado como uma área de transição ao bioma do Pantanal, como território de Mato Grosso, a região faz parte da Amazônia Legal.

Para a condução da pesquisa foram utilizados dados da coleção 7, de 1985 a 2021, da plataforma MapBiomas. A plataforma disponibiliza arquivos raster anuais contendo classificações de uso e ocupação da terra do Brasil em uma escala de 30 metros por pixel. Os mapas de cobertura e uso da terra do MapBiomas são gerados por meio da classificação de imagens provenientes do conjunto de satélites Landsat. A plataforma MapBiomas oferece uma gama de categorias, incluindo florestas, vegetação natural não-florestal, áreas agrícolas, pastagens, áreas urbanas e infraestrutura, corpos d'água, entre outras, permitindo uma análise detalhada da cobertura e uso da terra (MapBiomas, 2023).

Mapa 1: Localização e municípios da região Sudeste Mato-grossense



Fonte: Elaborado pelos autores com o software QGIS 3.16 Hannover.

Considerando que grande parte da região é constituída pelo bioma Cerrado, os dados coletados do MapBiomas consideram porções da região savânica como floresta. Isso ocorre devido à presença de vegetações arbustivas espalhadas sobre vegetação de gramíneas. Para análise de desmatamento, essas formações de savanas do Cerrado são classificadas como vegetação primária florestal. O processamento dos dados foi realizado por meio de algoritmos de machine learning na plataforma Google Earth Engine.

Para identificar o desmatamento acumulado no Sudeste Mato-grossense, e de mudança de uso do solo no período entre 2012 e 2021, foram utilizados os arquivos raster disponibilizados na plataforma MapBiomas, filtrando os dados dos anos de 2012 a 2021. A escolha desse período decorre do início da vigência do Novo Código Ambiental, em 2012, e a evolução do ciclo de *commodities* agropecuárias com a pandemia da Covid19, em 2021.

Em seguida, os arquivos raster foram convertidos em shapefile utilizando a ferramenta "poligonizar" do software Quantum GIS 3.16 Hannover. Essa conversão permitiu calcular a área desmatada anual e acumulada da região Sudeste Mato-grossense, durante o período de estudo e as mudanças de uso do solo, assim como levantar os

dados de desmatamento por município utilizando a calculadora de campo do software Quantum GIS 3.16.

Os arquivos raster utilizados para composição dos mapas e obtenção dos dados foram extraídos da base de dados nível Beta do MAPBIOMAS, disponível no Google Earth Engine, para os anos de 2012 e 2021. Cada arquivo informa a quantidade (t/ha) de carbono orgânico no solo nos primeiros 30 cm de profundidade, com uma resolução espacial de 30 metros. Esse banco de dados congrega amostras de solo do Repositório de Dados de Solo (SoilData), complementados por informações ambientais e técnicas de modelagem espaço-temporal.

Posteriormente, os arquivos raster foram convertidos em arquivos shapefile, sendo assim possível calcular a quantidade de carbono estocado por município para cada ano analisado. Na análise e discussão dos dados, utilizou-se ferramentas de tabulação como o uso de gráficos e tabelas que permitiram a análise comparativa das estatísticas apresentadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação da evolução do uso do solo no Sudeste mato-grossense foi desenvolvida em três etapas, partindo primeiro da identificação dos indicadores de desmatamento e, posteriormente, caracterizando a dinâmica da produção agropecuária, finalizando com a aferição da captura de carbono no solo, ao longo do período de 2012 a 2021.

Desmatamento

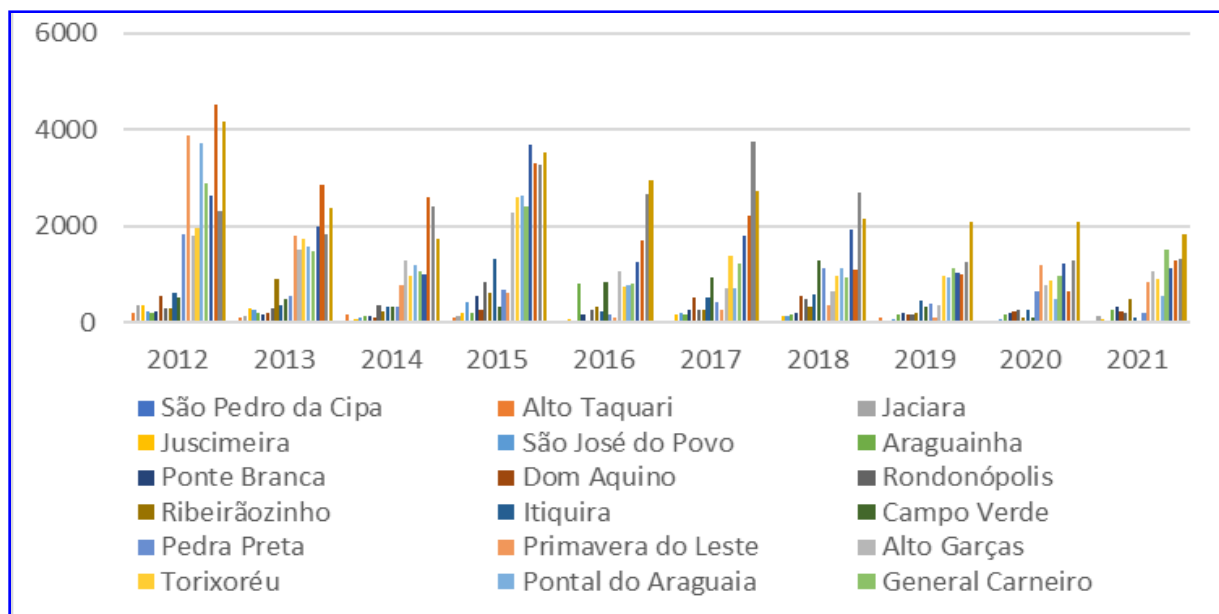
Ao analisar a taxa de desmatamento acumulado no Sudeste Mato-grossense entre 2012 e 2021, observou-se uma variação significativa ao longo desse período. Os anos de 2012 e 2015 apresentaram os maiores índices, com 18,01% e 16,10% do desmatamento total, respectivamente. Em contraste, 2019, 2020 e 2021 tiveram as menores taxas, registrando 6,05%, 6,29% e 6,73%, respectivamente. Essa variação aponta uma tendência de queda a partir de 2018, com uma redução anual de 62% nas áreas desmatadas em comparação a 2012 (Gráfico 1).

Ao considerar os 22 municípios, observa-se que os municípios de Alto Araguaia, Poxoréu e Tesouro apresentaram as maiores taxas de desmatamento acumulados em relação à área municipal, com 11,35%, 12,22% e 13,73%, respectivamente. Esses municípios têm suas economias baseadas na pecuária de corte bovina. A expansão da bovinocultura tem sido apontada como uma das causas do desmatamento no Cerrado, conforme destacado por Messias et al. (2021).

A introdução de novas tecnologias e o aumento dos preços das commodities, especialmente da soja, contribuíram para a expansão das áreas de produção agrícola, demandando a abertura de novas áreas agrícolas e, conseqüentemente, o desmatamento. O incentivo econômico a essas práticas gerou capitalização para os agropecuaristas no período de estudo, quando Mato Grosso ampliou a produção de

diversas culturas agrícolas, conforme relatado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022).

Gráfico 1: Desmatamento municipal (ha) no Sudeste Mato-grossense de 2012 a 2021.



Fonte: Elaborado pelos Autores com dados do Mapbiomas

Apesar da queda no desmatamento observado a partir de 2018, os anos anteriores, especialmente 2012 e 2015, apresentaram a expansão das áreas produtivas, através da abertura de novas áreas de cultivo. O Cerrado, entretanto, apresenta um alto grau de endemismo e a fragmentação de seus ambientes naturais impacta negativamente na biodiversidade local (Oliveira, 2015). Em termos legais, a implementação de políticas ambientais, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Programa de Regularização Ambiental (PRA), em 2012, apresentam lenta efetivação, requerendo fiscalização mais eficaz (Rubscheinsky et al., 2023).

Por outro lado, embora o Poder Judiciário ainda apresente baixa efetividade na penalização dos infratores de crimes ambientais, a ampliação da articulação por parte do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Secretaria de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA), Polícia Militar Ambiental e o Ministério Público Estadual tem sido positiva para coibir o desmatamento. Destaca-se o emprego de sistemas de informação geográfica, mediante imagens por satélite, que oportunizou maior eficácia na autuação dos crimes ambientais e na produção de evidências, em tempo quase que real dos ilícitos cometidos, conforme relatado pelo Projeto “Olhos da Mata” desenvolvido no município de Itiquira (Gonzaga et. al. 2024).

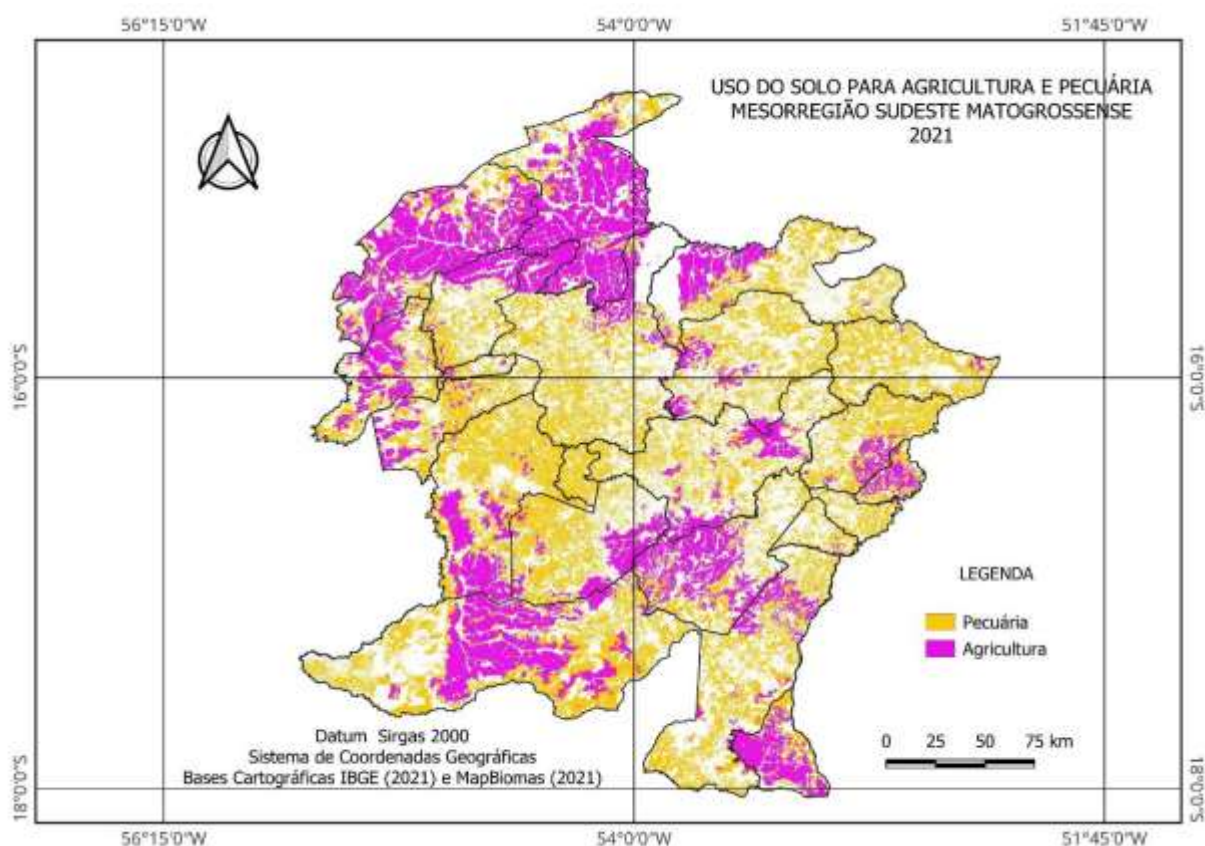
Adicionalmente, a crescente pressão do mercado internacional no concernente aos critérios de responsabilidade social e ambiental, como no caso da Moratória da Soja, e os padrões impostos para a pecuária bovina, como os requeridos pela China e a União

Europeia, contribuíram para a desaceleração da perda de vegetação nativa e o incentivo ao incremento da produtividade (Borges, 2024).

Uso e cobertura do Solo

Mato Grosso destaca-se como um dos principais produtores agropecuários do Brasil, e na região Sudeste, os municípios de Primavera do Leste e de Campo Verde sobressaem-se devido à produção voltada à agricultura de grãos (Mapa 2). Durante o período de análise, os incentivos econômicos, tais como a tendência altista dos preços, de valorização das terras, e o incremento do crédito agrícola público e privado, têm patrocinado o avanço das atividades agrícolas, acarretando conversões de áreas de pastagens para a agricultura, apesar que de maneira decrescente no período.

Mapa 2: Uso do solo com Agricultura e Pecuária na Mesorregião do Sudeste em 2021

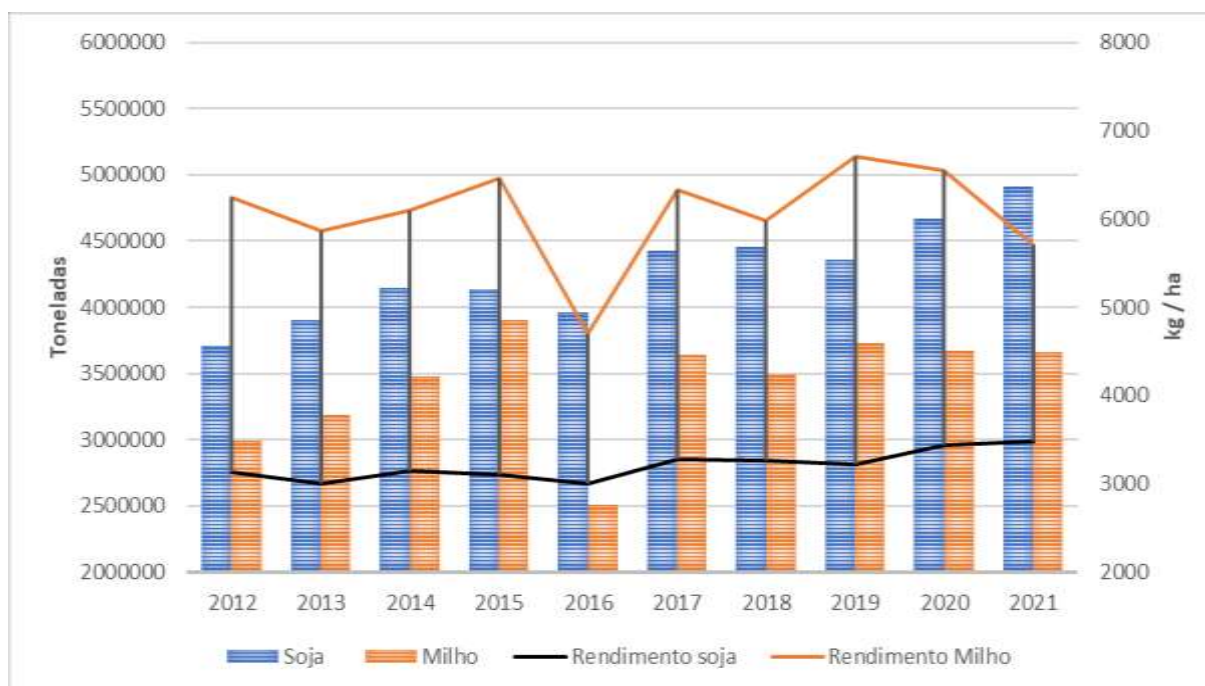


Fonte: Elaborado pelos Autores com dados do MapBiomas.

Nesse cenário, o Sudeste Mato-grossense apresentou incremento nas áreas de cultivo, sendo que a cultura de milho, principalmente, na segunda safra, o que patrocina maior produtividade agrícola por hectare de área (Gráfico 2). Ao longo do período de 2012 a 2021, o cultivo da soja apresentou evolução positiva, saltando de 3,71 para 4,92 milhões de toneladas, equivalente a um incremento de 32,4%, que foi acompanhado do concomitante aumento do rendimento por hectare de 3,13 toneladas para 3,47 toneladas, equivalente a 11,4%.

O diferencial entre o crescimento da produção, em relação ao incremento do rendimento por hectare, foi decorrente da adição de 224 mil hectares de área para o plantio de soja na região Sudeste Mato-grossense. Já na cultura do milho, identificou-se aumento da produção de 2,99 para 3,66 milhões de toneladas, equivalente a 22,4%, com grande oscilação do rendimento por hectare, sem evidência de incremento de produtividade (Gráfico 2).

Gráfico 2: Evolução da produção e rendimento das culturas de soja e milho, no Sudeste Mato-grossense, no período 2012 a 2021.



Fonte: Elaborado com dados da Pesquisa Agrícola Municipal – IBGE

Segundo os dados da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE, em 2016, houve forte retração na colheita da cultura do milho devido à falta de chuvas, principalmente, durante a safrinha nos meses de abril e junho. Ao contrário da soja, no caso do milho, o incremento produtivo foi quase exclusivamente consequência da adição de novas áreas de plantio de segunda safra, no montante de 669 mil hectares.

Como o cultivo ocorre quase que unicamente durante a safrinha, portanto, posterior à colheita da soja, essa expansão não pode ser vinculada ao desmatamento de áreas de vegetação nativa. A intensificação produtiva da agricultura pode ser evidenciada pelo incremento de sua área utilizada em 83,6 mil hectares, equivalente ao acréscimo de 5,2% de área, frente ao expressivo crescimento da produção conjugada de soja e milho em 28%, equivalente a adição de 1,89 milhão de toneladas de grãos à safra regional (Tabela1).

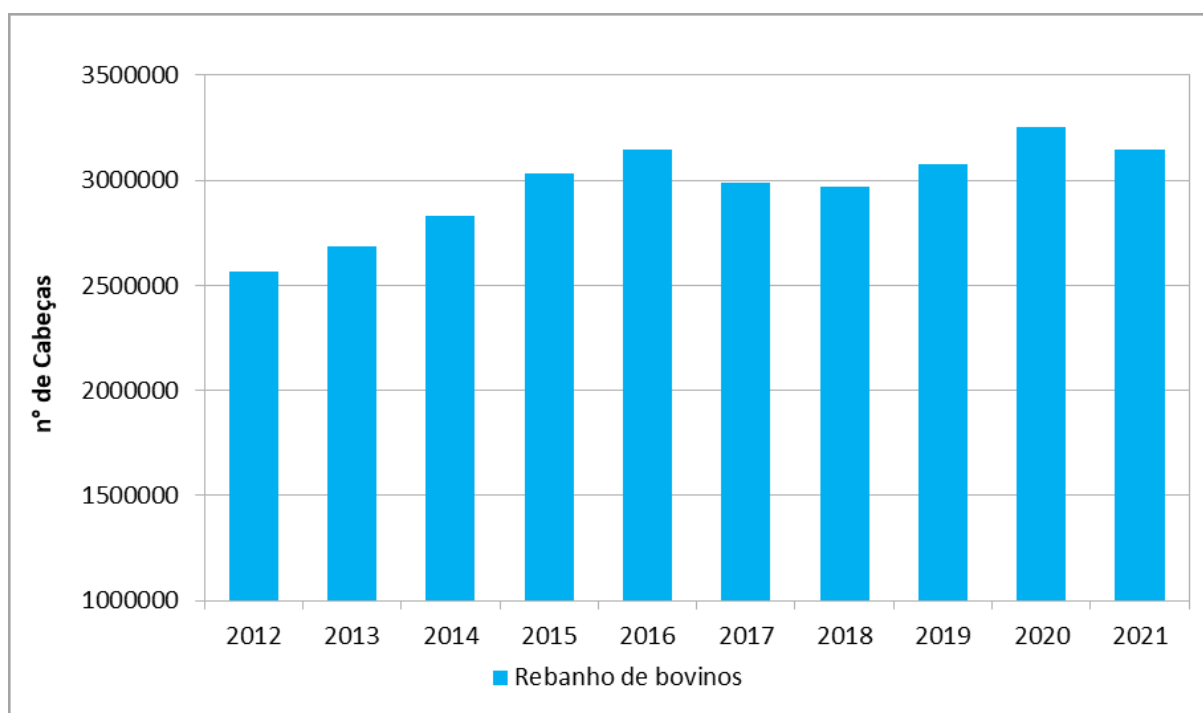
Tabela 1: Uso do solo com Agricultura e Pecuária na Mesorregião do Sudeste Mato-grossense em 2021.

MUNICÍPIO	PECUÁRIA	AGRICULTURA
Alto Araguaia	199363,02	44480,9
Alto Garças	86691,68	128365,88
Alto Taquari	19569,16	79779,74
Araguainha	25207,28	927,45
Campo Verde	46267,41	272012,81
Dom Aquino	57799,51	45531,33
General Carneiro	138111,09	74056,99
Guiratinga	146253,09	64081,11
Itiquira	237752,72	229998,12
Jaciara	57488,49	68122,5
Juscimeira	86687,95	36403,58
Pedra Preta	144712,09	63020,68
Pontal do Araguaia	128917,93	2476,78
Ponte Branca	29371,91	245,78
Poxoréu	226468,08	74807,91
Primavera do Leste	54836,12	316628,55
Ribeirãozinho	19972,57	19239,06
Rondonópolis	201761,94	106379,78
São José do Povo	35108,26	547,43
São Pedro da Cipa	14748,57	2884,96
Tesouro	152591,88	38962,24

Fonte: Elaborado com dados da Pesquisa Agrícola Municipal – IBGE

A evolução da bovinocultura, também, apresentou incrementos expressivos na lotação de animais por área de pastagem. No período analisado, o rebanho bovino obteve crescimento de 22,6%, equivalente a 579 mil cabeças (Gráfico 3), por outro lado, a área de pastagens diminuiu em 18,4%, sendo retiradas 72,2 mil hectares para uso dessa atividade. Comparando-se os dados da evolução da área de pastagens, através do Mapbiomas, com os dados do rebanho bovino, obtidos pela Pesquisa Pecuária Municipal, do IBGE, estimou-se o aumento de 1,19 para 1,42 cabeças por hectare, equivalente ao incremento em 19% na lotação de bovinos por área de pastagem.

Gráfico 3: Evolução do rebanho bovino no Sudeste Mato-grossense, no período 2012 a 2021, em cabeças.



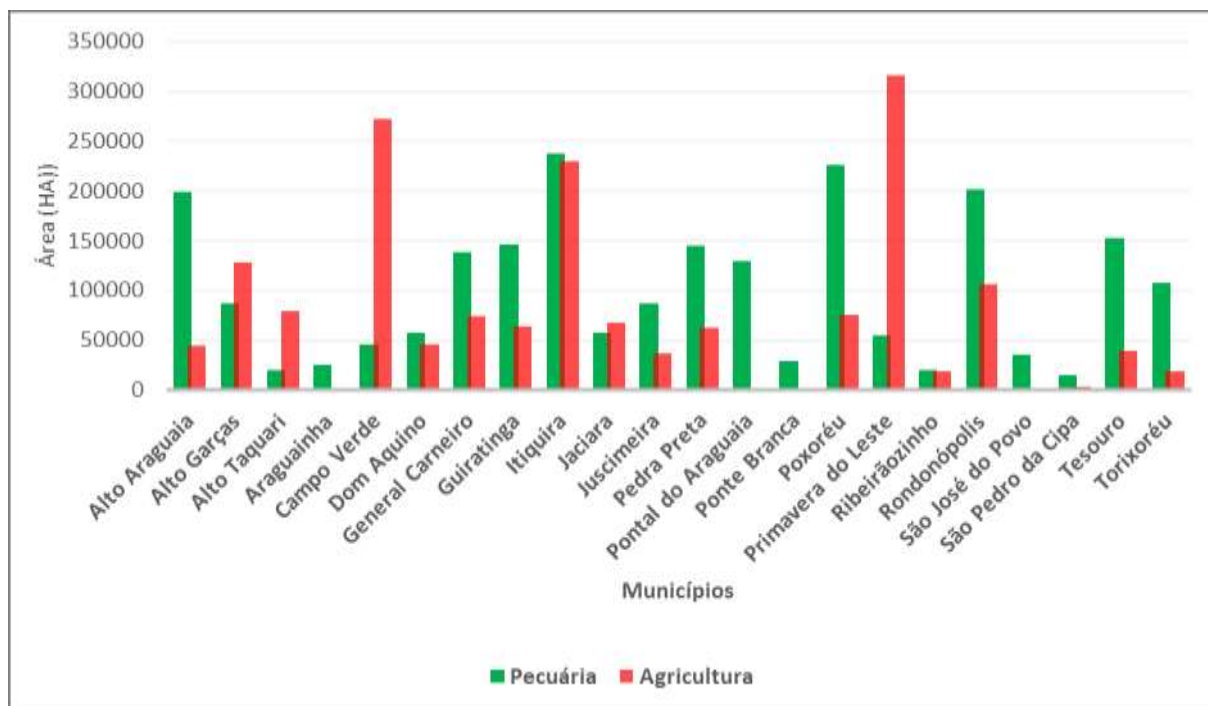
Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Pesquisa Pecuária Municipal – IBGE.

As evidências, desse modo, confirmam que as principais alterações do uso do solo foram vinculadas à redução da área de pastagens e elevação na área destinada à agricultura (Gráfico 4). Entre os fatores responsáveis por essa tendência podem ser listados: (i) a conjuntura altista, especialmente no período pandêmico, dos preços de comercialização da soja e do milho; (ii) os custos crescentes de suplementação e reposição dos bovinos e; (iii) a ampliação da adoção de sistemas de produção de integração lavoura e pecuária.

A resposta dos pecuaristas à opção pela intensificação produtiva, por outro lado, foi impulsionada pela crescente demanda, especialmente a chinesa, pela carne bovina

brasileira. A ampliação vertiginosa de importações pela China, de proteína animal de origem bovina do Brasil, por outro lado, realizou-se através de critérios de conformação das carcaças de animais jovens de até 30 meses. Esse conjunto de fatores induziu o crescimento da área agrícola e a redução das pastagens (Sano et al., 2023; Machado et al., 2023, Nannini, 2024).

Gráfico 4: Evolução do uso de áreas para pastagens e agricultura no Sudeste Mato-grossense, de 2012 a 2021, em hectares.



Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE) e Mapbiomas.

Adicionalmente, evidenciou-se uma tendência acedente dos preços das terras voltadas à agricultura em relação das voltadas às pastagens. A região do Sudeste Mato-grossense apresentou os preços mais elevados por hectare de terras aptas à agricultura, com VTN – Valor da Terra Nua de R\$ 92 mil por hectare, frente ao VTN de R\$ 15,5 mil para a pecuária (INCRA, 2024). Essa relação de 5,9 vezes incentiva a conversão das áreas de pastagens, mesmo que degradadas, em áreas utilizadas pela agricultura. Os investimentos com a recuperação dos solos, apesar de dispendiosos, apresentaram viabilidade econômica no período analisado.

Dessa forma, de acordo com a análise do uso do solo, Primavera do Leste e Campo Verde destacaram-se como os municípios com maior área destinada à agricultura, enquanto Poxoréu e Rondonópolis foram os dois principais em pastagens, sendo que Itiquira apresentou relevância em ambos (Gráfico 4). Observou-se, através dos dados do Mapbiomas, uma redução no uso do solo no Sudeste mato-grossense em pastagens de 72 mil hectares (-18,4%), enquanto a destinação para agricultura apresentou acréscimo de 84 mil hectares (+5,2%). As mudanças no uso do solo têm implicações

importantes para a fauna e flora, os ciclos hidrológicos e o acúmulo de carbono, pois induzem a redução da vegetação nativa e sobrecarga (Lambin et al., 2006).

Estoque de carbono no solo

A vegetação nativa possui um papel fundamental no ciclo do carbono, com o solo sendo seu principal reservatório, portanto, deve desempenhar uma função central ao sequestro de carbono no solo. Esse processo é afetado pelo desmatamento e pelas práticas de manejo adotadas pela agricultura e a pecuária (Medonça, 2015). Nesse sentido, o estoque de carbono no solo é um indicador importante a ser analisado para a avaliação da sustentabilidade das práticas agropecuárias e à gestão ambiental (Cerri et al., 2008).

A pesquisa mostrou que o carbono acumulado na região Sudeste Mato-grossense aumentou de 509.132.820 toneladas em 2012 para 513.106.006 toneladas em 2021, um incremento de 0,8%. Cinco municípios, incluindo Primavera do Leste, Campo Verde, Jaciara, Alto Taquari e Itiquira, registraram redução no volume de carbono estocado no solo, todos com solos destinados à agropecuária. (Tabela 2).

Tabela 2: Estoque de Carbono no Solo no Sudeste Mato-grossense, entre 2012 e 2021, em toneladas.

MUNICÍPIO	2012	2021	DIFERENÇA	%
Alto Araguaia	39.405.634	39.862.030	456.396	1,2%
Alto Garças	28.966.138	29.829.001	862.863	3,0%
Alto Taquari	14.672.425	14.425.524	-246.901	-1,7%
Araguainha	4.954.718	5.087.097	132.379	2,7%
Campo Verde	39.926.362	38.623.926	-1.302.436	-3,3%
Dom Aquino	15.733.956	15.853.228	119.272	0,8%
General Carneiro	26.440.585	27.123.383	682.798	2,6%
Guiratinga	38.668.011	39.721.713	1.053.702	2,7%
Itiquira	36.047.588	35.990.223	-57.365	-0,2%
Jaciara	15.860.503	15.352.518	-507.985	-3,2%
Juscimeira	12.961.659	13.036.957	75.298	0,6%

Pedra Preta	29.891.702	30.332.412	440.710	1,5%
Pontal do Araguaia	16.662.260	17.313.953	651.693	3,9%
Ponte Branca	4.870.823	5.053.899	183.076	3,8%
Poxoréu	46.934.498	46.955.928	21.430	0,0%
Primavera do Leste	56.037.114	53.992.045	-2.045.069	-3,6%
Ribeirãozinho	4.087.632	4.480.673	393.041	9,6%
Rondonópolis	24.050.113	24.598.709	548.596	2,3%
São José do Povo	2.757.716	2.759.985	2.269	0,1%
São Pedro da Cipa	2.380.514	2.420.576	40.062	1,7%
Tesouro	30.736.349	32.083.511	1.347.162	4,4%
Torixoréu	17.086.520	18.208.715	1.122.195	6,6%
Total	509.134.832	513.106.006	3.973.186	0,8%

Fonte: Elaborado pelos autores com dados do Mapbiomas.

Esse cenário ressalta a importância das práticas de manejo para a conservação do carbono no solo, portanto, para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A captura do carbono no solo em pastagens, em virtude de sua maior extensão territorial, depende da recuperação de áreas degradadas com o propósito de intensificação da lotação de animais por hectare (Campanha et al., 2009).

Destaque-se que a conversão da vegetação savânica nativa para sistemas agrícolas pode inicialmente reduzir os estoques de carbono no solo. Todavia, as práticas de manejo conseguem estabilizar e, eventualmente, expandir esses estoques a partir do incremento da fixação do nitrogênio e a absorção de micro-organismos aos solos do bioma Cerrado (Freitas et. al. 2022).

Desse modo, a adoção de práticas agropecuárias baseadas no plantio direto permite a ampliação do estoque de carbono em 52,4%, quando analisados níveis de profundidade entre 0-100 cm, em relação à formação nativa. Infere-se, portanto, que os resultados obtidos da evolução do estoque de carbono no solo na região Sudeste Mato-grossense corroboram com pesquisas empíricas que indicam que a intensificação das práticas de produção podem contribuir para a mitigação dos gases de efeito estufa (Carvalho et al., 2023).

Ressalte-se que a mensuração realizada na presente pesquisa se refere ao estoque abaixo do solo, a partir dos dados do Mapbiomas, podendo haver divergência nos resultados líquidos de aferições “in situ”, quando considerada a supressão de vegetação nativa acima do solo.

Adicionalmente, as evidências apontam para o potencial, ainda pouco explorado, de comercialização de créditos de carbono gerados a partir da intensificação produtiva. Essa discussão, todavia, ainda é um tema controverso. A literatura indica que os padrões de aferição do carbono no solo, seguidos pelas principais certificadoras de créditos de carbono, apresentam metodologias que não são consolidadas.

As objeções direcionam-se aos critérios de adicionalidade, ou seja, de que o crédito de carbono remunera um incremento efetivo de sequestro de gases de efeito estufa, e quanto à durabilidade dessa estocagem (Oldfield et al. 2022; Dupla et al., 2024).

Essas incertezas justificam a adoção de critérios de precaução, com requerimentos de seletividade aos valores mitigados, e de descontos sobre a adicionalidade da estocagem de carbono no solo remunerada por esses créditos. Como resultado, apesar de sua potencialidade, os mercados que precificam a geração de créditos de carbono durante a produção de commodities agropecuárias ainda apresentam caráter incipiente (Lokuge, 2022).

CONCLUSÃO

Os resultados destacaram não apenas a dinâmica das transformações no mercado agropecuário, mas também a importância das abordagens sustentáveis na gestão dos recursos naturais. A compreensão da interação entre fatores socioeconômicos, ambientais e produtivos revelou um cenário em evolução, onde o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental requer critérios científicos de avaliação.

O desenvolvimento do setor agropecuário, embora crucial para a economia regional, precisa ser conduzido de forma sustentável, considerando o manejo adequado do solo e a conservação dos recursos naturais. O crescimento das exportações de grãos e a crescente demanda chinesa por carne bovina foi acompanhada pela valorização das terras, em Mato Grosso, que incentivou a intensificação das práticas de manejo do solo e a recuperação de pastagens degradadas.

Em termos agregados, identificou-se que as áreas dedicadas à agricultura apresentaram crescimento em 83 mil hectares, enquanto as pastagens decresceram em 72 mil hectares. A produção agrícola concentrou-se nas culturas da soja e do milho, com destaque aos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste. Por outro lado, a pecuária de corte bovina apresentou maior presença nos municípios de Poxoréu e Alta Araguaia, enquanto que Itiquira se destacou em ambas modalidades.

Esses resultados indicam que a adoção de práticas agrícolas mais intensivas e sustentáveis pode contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e colaborar para a capacidade de suporte dos ecossistemas. Ressalte-se, entretanto, a importância do monitoramento contínuo e a adaptação de práticas agropecuárias para impedir efeitos deletérios do avanço sobre as áreas de vegetação nativa.

Apesar dessas preocupações, no período analisado, se verificou a ampliação do estoque de carbono no solo, em 0,8%, referentes ao acréscimo de 3.973.186 toneladas de carbono. Isso, adicionalmente, indica a potencialidade da oferta de serviços ambientais através da comercialização de créditos de carbono. A pesquisa ilustra a importância de uma abordagem integrada na gestão dos recursos naturais no Sudeste Mato-grossense que se caracteriza como um território de agropecuária em consolidação.

O estudo, também, aponta para a importância de uma coexistência profícua entre a produção agropecuária e a conservação ambiental. O potencial de receitas da venda de créditos de carbono, oriundos da intensificação da produção agropecuária e da conversão de pastagens degradadas para a agricultura, ainda requer consolidação e homogeneização dos critérios de validação adotados pelas certificadoras. Portanto, mais estudos são necessários para se entender os fatores que influenciam o estoque de carbono acima do solo, e para desenvolver estratégias eficazes de manejo que promovam maior resiliência ambiental.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, P. R.; PEREIRA, Z. V.; MAYER, T. D. S.; GONÇALVES, C. D.; PADOVAN, M. Arranjos de sistemas agroflorestais biodiversos para restauração de Áreas de Reserva Legal com viabilidade socioeconômica. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. 1-21, 2022.

ALVES, A. DA S.; DA SILVA ALVES, K. M. A.; D'AVILA, M. C. P.; NOBREGA, R. C.; ALBARRAN, D. O. Variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del Río Moxotó, Pernambuco, Brasil. *Diálogo Andino*, n. 58, p. 139-150, 2019.

ALVES, R. R.; NASCIMENTO, D. M.; OLIVEIRA, J. V. Pagamento por serviços ambientais na região sudeste de Mato Grosso: análise da efetividade. *Ambiente & Sociedade*, v. 21, e01833, 2018.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Degradação Ambiental e Teoria Econômica: Algumas Reflexões sobre uma "Economia dos Ecossistemas". *Economia*, v. 12, n. 1, p. 3-26, 2011.

ARAGÃO, L. E. O. C.; PIRES, G. F.; SANTOS, L. E.; COSTA, M. H. Desmatamento na Amazônia: Perspectivas para um futuro mais sustentável. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 4, p. 1466-1485, 2021.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013.

ASSIS, R. L.; SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, A. F. Dinâmica da cobertura vegetal em uma área de transição Cerrado-Amazônia no município de Paranatinga, Mato Grosso, Brasil. **Ambiência**, v. 8, n. 2, p. 231-244, 2012.

AZEVEDO, A.; RAJÃO, R.; COSTA, M.; STABILE, M.; MACEDO, M.; REIS, T.; ALENCAR, A., SOARES-FILHO, B.; PACHECO, R. Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, p. 7653-7658, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604768114>.

BALVANERA, P.; DERROIRE, G.; CASTELLANOS-CASTRO, C.; DECOCQ, G.; KENNARD, D. K.; LEBRIJA-TREJOS, E.; HEALEY, J. R. Resilience of tropical dry forests—a meta-analysis of changes in species diversity and composition during secondary succession. **Oikos**, v. 125, n. 10, p. 1386-1397, 2016.

BORGES, A. Os movimentos da China para reduzir o desmate da Amazônia. **Nexo**, São Paulo, 2 jun. 2024, Externo. <https://www.nexojornal.com.br/externo/2024/06/02/a-pressao-da-china-para-reduzir-o-desmate-da-amazonia>

BORLIDO, I.; BOUHID, E.; SUNDERMANN, V.; RESENDE, H.; FAZENDA, Á.; FARIA, F.; GUIMAR, S. How to Identify Good Superpixels for Deforestation Detection on Tropical Rainforests. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 21, p. 1-5, 2024. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2024.3454973>.

BRANDÃO, A. S. P. Preços elevados de commodities. **Revista de Política Agrícola**, v. 20, n. 1, p. 117-118, 2011.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MATO GROSSO – SR (MT)

BROCK, R.; ARNELL, A.; SIMONSON, W.; SOTERRONI, A.; MOSNIER, A.; RAMOS, F.; DE CARVALHO, A.; CÂMARA, G.; PIRKER, J.; OBERSTEINER, M.; KAPOs, V. Implementing Brazil's Forest Code: a vital contribution to securing forests and conserving biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, v. 30, p. 1621-1635, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02159-x>.

CAMPANHA, M. M.; NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; TEIXEIRA, A. S.; ROMERO, R. E. Teores e estoques de carbono no solo de sistemas agroflorestais e tradicionais no semiárido brasileiro. **EMBRAPA, Circular Técnica**, n. 42, 2009.

CAPOANE, V. Expansão da fronteira agrícola no estado de Mato Grosso entre os anos de 1988 e 2018. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 44, p. 73-98, 2022.

CARVALHO, A. M. de; JESUS, D. R. de; SOUSA, T. R. de; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C. de Figueiredo; OLIVEIRA, A. D. de; Marchão R. L.; DANTAS, R. D. A.; BORGES, L. D. A. B. Soil Carbon Stocks and Greenhouse Gas Mitigation of Agriculture in the Brazilian Cerrado - A Review. **Plants**, v. 12, n. 13, 2449, 2023.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 342-349, 2019.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo da Amazônia. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 654.

CHAVES, L.; NEVES, S.; PIERANGELI, M.; CASTRILLON, S.; KREITLOW, J. Change in the protection regime of Permanent Preservation Areas in the 2012 Forest Code. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, p. 1-26, 2023. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190211r2vu2023L10A>.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista da ANPEGE**, v. 2, n. 2, p. 81-87, 2005.

Covre, J., Clemente, F., & Lírio, V. (2017). NOVO CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO: MUDANÇAS E PERSPECTIVAS. . <https://doi.org/10.21452/RDE.V3I38.5044>.

DIEGUES, A. C. et al. A degradação ambiental e a perda de biodiversidade no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 49-62, 2017.

DUPLA, X.; BONVIN, E.; DELUZ, C.; LUGASSY, L.; VERRECCHIA, E.; BAVEYE, P.; GRAND, S., BOIVIN, P. (2024). Are soil carbon credits empty promises? Shortcomings of current soil carbon quantification methodologies and improvement avenues. **Soil Use and Management**, v. 40, n. 3, p. 1-17, 2024. <https://doi.org/10.1111/sum.13092>.

EMBRAPA. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 18 out. 2023.

FEARNSIDE, P. M. Impactos ambientais e sociais de barragens hidrelétricas na Amazônia brasileira: implicações para a indústria do alumínio. **Desenvolvimento Mundial**, v. 77, n. 2, p. 48-65, 2016.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's future. **Climatic Change**, v. 144, n. 2, p. 399-409, 2017.

FREITAS, I.C.D.; ALVES, M.A.; MAGALHÃES, J.R.; DIAS, R.F.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; FERREIRA, E.A.; FERNANDES, L.A.; PEGORARO, R.F.; FRAZÃO, L.A. Soil Carbon and Nitrogen Stocks under Agrosilvopastoral Systems with Different Arrangements in a Transition Area between Cerrado and Caatinga Biomes in Brazil. **Agronomy**, v. 12, n. 2926, 2012. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122926>

FINER, M.; NOVOA, S.; WEISSE, M.; PETERSEN, R.; MASCARO, J.; SOUTO, T.; STEARNS, F.; MARTINEZ, R. Combating deforestation: From satellite to intervention. **Science**, v. 360, p. 1303 – 1305, 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aat1203>.

GAVEAU, D. L.; SHEIL, D.; SALIM, M. A.; ARJASAKUSUMA, S.; ANCRENAZ, M.; PACHECO, P.; MEIJAARD, E. Rapid conversions and avoided deforestation: examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2016.

GATTI, L. V.; GLOOR, M.; MILLER, J. B.; DOUGHTY, C. E.; MALHI, Y.; DOMINGUES, L. G.; LLOYD, J. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. **Nature**, v. 506, n. 7486, p. 76-80, 2014.

GODECKE, M. V.; HUPFFER, H. M.; CHAVES, I. R. O futuro dos Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil a partir do novo Código Florestal. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 31, n. 2, p. 31-42, 2014.

GÓMEZ-ROMERO, M. et al. Governing REDD+: Global Frameworks and Mato Grosso's Experiences under Pioneer Programs. **World Bank Publications**, 2018.

GONZAGA, C. A. C.; ROQUETTE, J. G.; ANGEOLETTO, F.; SILGUEIRO, V. D. F.; MACEDO, L. O. B.; VALDIONES, A. P.; DA SILVA, N. M. The Public Prosecutor's Office's experience using Global Forest Watch to monitor and deter deforestation in the Cerrado. **Environmental Conservation**, p. 1-6, 2024.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, n. 2, p. 307-323, 2009.

HECK, C. R. A expansão produtiva agropecuária no estado de Mato Grosso e seus impactos fundiários e ambientais a partir dos anos 2000. **GEPEC**, v. 25, n. 2, p. 62-84, 2021.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. **Tellus B: Chemical and Physical Meteorology**, v. 55, n. 2, p. 378-390, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Agrícola Municipal. Brasília, DF: IBGE, 2024.
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Relatório de Análise de Mercado de Terras Estado de Mato Grosso. Cuiabá, MT: INCRA, 2024.
https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/RAMT_SR_13_MT_2023.pdf

JACOSKI, C. A.; GISI, A. J.; BALBINOT, A.; LIMA, R. F. Valoração econômica de recursos naturais: Avaliação do desmatamento de uma área de Floresta Ombrófila Mista. **Estudos de Biologia**, v. 36, n. 86, p. 84-91, 2014.

JOHNSON, J.; RUNGE, C.; SENAUER, B.; FOLEY, J.; POLASKY, S. Global agriculture and carbon trade-offs. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, p. 12342-12347, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1412835111>.

JUNIOR, E. R. M.; TRENTIN, C. B.; DE SOUZA SILVA, I.; QUEIROZ, I. L. C.; TRENTIN, A. B. Monitoramento da degradação da pastagem e a incorporação de atividades agrícolas na microrregião do Médio Araguaia/MT. **Revista Geoaraguaia**, v. 10, n. 2, p. 160-174, 2020.

LOKUGE, N.; ANDERS, S. Carbon Credit Systems in Agriculture: A Review of Literature. **The School of Public Policy Publications**, Technical Paper, v. 15-12, p. 1-40, , 2022.
<https://doi.org/10.55016/ojs/sppp.v15i1.74591>.

MACHADO, M. V.; DA SILVA, M. C.; BINOTTO, E.; GANDRA, É. R. de S.; GARCIA, R. G. Abertura comercial e segurança alimentar na China: o papel das exportações brasileiras de proteína animal. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 25, p. e1850, 2023.
Disponível em: <https://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/1850>.
Acesso em: 4 out. 2024.

MAPA, S. R. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**. Brasil. Cadeia Produtiva da Agroenergia. Brasília: IICA, MAPA, SPA, 2022. Disponível em:
<https://sistemas.agricultura.gov.br/>.

MALHI, Y.; ARAGAO, L. E. O.; METCALFE, D. B.; PAIVA, R.; QUESADA, C. A.; ALMEIDA, S.; TEIXEIRA, L. M. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 15, n. 5, p. 1255-1274, 2009.

MENDONÇA, V. Z. D. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 183-193, 2015.

MESSIAS, C. G.; SILVA, D. E.; DA SILVA, M. B.; DE LIMA, T. C.; DE ALMEIDA, C. A. Análise das taxas de desmatamento e seus fatores associados na Amazônia Legal Brasileira nas últimas três décadas. **Ra'e Ga**, v. 52, n. 1, p. 18-42, 2021.

NEPSTAD, D. et al. A Bacia do Rio Amazonas e o desmatamento: um estudo de caso socioambiental. **Ecologia e Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 1-15, 2014.

NICOLLETTI, M.; LEFÈVRE, G. Precificação de carbono no Brasil: perspectivas e aprendizados a partir de uma simulação de mercado cap-and-trade. **Cadernos Adenauer**, v. XVII, n. 2, p. 145-169, 2016.

NIKINMAA, L.; LINDNER, M.; CANTARELLO, E.; JUMP, A. S.; SEIDL, R.; WINKEL, G.; MUYS, B. Reviewing the use of resilience concepts in forest sciences. **Current Forestry Reports**, v. 6, p. 61-80, 2020.

NOGUEIRA, C. B. C.; OSOEGAWA, D. K.; ALMEIDA, R. D. Políticas desenvolvimentistas na Amazônia: análise do desmatamento nos últimos dez anos (2009-2018). **Revista Culturas Jurídicas**, v. 6, n. 13, p. 145-169, 2019.

OGLE, S.; BREIDT, F.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, p. 87-121, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S10533-004-0360-2>.

OLDFIELD, E.; EAGLE, A.; RUBIN, R.; RUDEK, J., SANDERMAN, J.; GORDONG, D.. Crediting agricultural soil carbon sequestration. **Science**, v. 375, n. 6586, p. 1222-1225, 2022. <https://doi.org/10.1126/science.abl7991>.

OLIVEIRA, G. B. **O Novo Código Florestal e a Reserva Legal do Cerrado**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

OLIVEIRA, J. M.; GOLLANY, H. T.; POLUMSKY, R. W.; MADARI, B. E.; LEITE, L. F.; MACHADO, P. L.; CARVALHO, M. T. Predicting soil organic carbon dynamics of integrated crop-livestock system in Brazil using the CQESTR model. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 826786, 2022.

PACHECO, D. G. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo no município de Araçuaí, Minas Gerais por meio de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 2000 e 2019. **Cerrados**, v. 19, n. 2, p. 303-322, 2021.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; NYAKUENGAMA, J. G.; KHANNA, P. K. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, v. 168, n. 1-3, p. 241-257, 2002.

PEREIRA, B. D.; MENDES, C. M. A Modernização da agricultura de Mato Grosso. **Revista de Estudos Sociais**, v. 7, p. 61-76, 2002.

PINHOA, P. F.; ANJOSB, L. J.; RODRIGUES-FILHOC, S.; SANTOSD, D. V.; TOLEDOE, P. M. Projeções de resiliência dos biomas brasileiros e riscos socioambientais às mudanças climáticas. **Sustainability in Debate-Brasília**, v. 11, n. 3, p. 242-259, 2020.

PIRANI, Flávia Richelli. **Dinâmica e modelagem do estoque de carbono no fuste da vegetação arbustivo/arbórea de duas fitofisionomias do bioma Cerrado em Mato Grosso - Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

POPKIN, G. Satellite alerts track deforestation in real time. **Nature**, v. 530, p. 392-393, 2016. <https://doi.org/10.1038/530392a>.

RAMALHO, A. A.; LUIZ, A.; SILVA, J. N. F.; VASCONCELOS, M. J. C. S.; MACEDO, L. O. B. Valoração econômica das emissões de GEE oriundas de incêndios na terra indígena Tadarimana, MT. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 10, p. 639-654, 2021.

RIBEIRO, M. C. et al. **Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil**. New York: Springer, 2016.

RODRIGUES, A. do R.; MATAVELLI, C. J. As principais alterações do Código Florestal Brasileiro. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 9, n. 1, p. 28-35, 2020.

RUSCHEINSKY, A.; REINEHR, R.; RICHTER, M. F. Redes de cooperação na investigação e na formação para a aderência à sustentabilidade socioambiental. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 13, n. 37, p. 63-82, 2023.

SANTOS FERREIRA, A. dos; DEMARTELAERE, A. C. F.; SILVA, T. B. M.; PRESTON, H. A. F.; DOS SANTOS FEITOSA, S.; PRESTON, W.; DOS SANTOS, J. J. M. Estudo de caso: abordagem das principais dificuldades relatadas pelo homem do campo na realização do cadastro ambiental rural no nordeste paraense (Capanema-PA). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 85744-85755, 2020.

SANO, E. E.; BETTIOL, G. M.; MARTINS, E. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V. et al. Características gerais da paisagem do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (orgs.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 21-37.

SALVATIERRA, L. H. A. et al. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. **Biotropica**, v. 49, n. 5, p. 753-760, 2017.

SCHMITT, J. L.; ARAÚJO, G. M.; MENEZES, F. L.; ANDRADE, L. M. Avaliação da efetividade das unidades de conservação na região sudeste de Mato Grosso. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 222-232, 2020.

SILVA, M. J. P. Desmatamento e exploração madeireira ilegal na Amazônia brasileira. **Sensoriamento Remoto**, v. 11, n. 18, p. 1-17, 2019.

SILVA, J.; GARCIA, R. A.; FERREIRA, M. E. Dinâmica da perda de cobertura vegetal na região Sudeste de Mato Grosso, Brasil. **Geografia em Atos**, v. 2, n. 2, p. 56-69, 2020.

SOARES-FILHO, B. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

SOTERRONI, A.; MOSNIER, A.; CARVALHO, A., CÂMARA, G.; OBERSTEINER, M.; ANADRADE, P.; SOUZA, R.; BROCK, R.; PIRKER, J.; KRAXNER, F.; HAVLÍK, P.; KAPOS, V.; ERMGASSEN, E.; VALIN, H.; RAMOS, F. Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 7, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaccbb>.

STERN, N. The economics of climate change. **American Economic Review**, v. 98, n. 2, p. 1-37, 2008.

TESORO, L. L. L. M. **Rondonópolis - MT: um entroncamento de mão única; o processo de povoamento e de crescimento de Rondonópolis na visão pioneiros, 1902-1980.** 1993. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

YANG, Y.; TILMAN, D.; FUREY, G.; LEHMAN, C. Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. **Nature Communications**, v. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>.

ZANIN, G. D.; DA SILVA CARDOZO, F.; OLIVEIRA, G. A. M.; PEREIRA, G. P.; ROCHA, L. C.; FIGUEIREDO, M. D. A. F.; DA SILVA, V. V. Análise da distribuição de injeção de plumas de queimadas na atmosfera na América do Sul. **Revista Geografias**, v. 14, n. 1, p. 112-124, 2018.

Recebido: 14/11/2024 Publicado: 18/05/2025

Editor Geral: Dr. Eliseu Pereira de Brito