

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Tese

**Padrões de uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada
Maranhense: alterações nos atributos físicos e químicos dos solos**

Valdenir Pereira Moraes

Pelotas, 2026

Valdenir Pereira Moraes

**Padrões de uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada
Maranhense: alterações nos atributos físicos e químicos dos solos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Dr^a. Edvania Aparecida. Corrêa Alves

Comitê de Orientação:

Dr^a Danielle de Almeida Bressiani

Dr^a Maria Cândida Moitinho Nunes

Pelotas, 2026

Ficha Catalográfica

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

M827p Moraes, Valdenir Pereira

Padrões de uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense [recurso eletrônico] : alterações nos atributos físicos e químicos dos solos / Valdenir Pereira Moraes ; Edvania Aparecida. Corrêa Alve, orientadora ; Danielle de Almeida Bressiani, Maria Cândida Moitinho Nunes, coorientadoras. — Pelotas, 2026.
170 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2026.

1. Dinâmica de uso da terra. 2. Zonas úmidas. 3. Serviços ecossistêmicos. 4. Carbono do solo. 5. Sítios Ramsar. I. Alve, Edvania Aparecida. Corrêa, orient. II. Bressiani, Danielle de Almeida, coorient. III. Nunes, Maria Cândida Moitinho, coorient. IV. Título.

CDD 631.6098121

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Valdenir Pereira Moraes

Padrões de uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada
Maranhense: alterações nos atributos físicos e químicos dos solos

**Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação
do Solo e da Água, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em
Ciências, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal
de Pelotas (UFPel).**

Data da defesa: 23 de fevereiro de 2026

Banca examinadora:

Profa. Dra. Edvânia Aparecida Corrêa Alves

Orientadora

Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista

Profa. Dra. Lizete Stumpf

Doutora em Agronomia - Solos pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Hilton Costa Louzeiro

Doutor em Química pela Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia pela BIONORTE

Agradecimentos

Meus imensos agradecimentos a Deus, por me conceder saúde, força, esperança e perseverança ao longo de toda esta experiência e jornada.

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel), por proporcionar um ambiente de aprendizado, pesquisa e desenvolvimento intelectual, contribuindo de forma significativa para a minha formação acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água (PPG MACSA), pelo suporte acadêmico, pela estrutura oferecida e pela oportunidade de formação científica de excelência, da qual muito me orgulho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa.

Minha profunda gratidão à minha orientadora e às minhas coorientadoras, Edivania Aparecida, Maria Cândida Nunes e Danielle Bressiani, pela confiança, dedicação, ensinamentos e valiosas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho. A orientação competente, o rigor científico e a constante disponibilidade foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos professores, em especial ao professor Hilton Louzeiro, pelas contribuições, ensinamentos e apoio ao longo da minha formação.

À minha família, pelo amor incondicional, apoio contínuo, paciência e incentivo em todos os momentos. Vocês foram a base que me sustentou emocionalmente e me motivou a seguir em frente, mesmo diante das dificuldades, em especial minha avó Aldenora Andreina, meu avô Pedro Alves. Aos meus pais Lucilene da Silva e Valmir Pinheiro Moraes. Aos meus irmãos Débora Moraes e Idenilson Moraes. Ao meu companheiro, Lucas Aguiar, com quem sempre pude contar, deixo meu agradecimento especial.

Aos meus familiares que vieram do Maranhão estudar comigo no Sul, na expectativa de mudar de vida por meio da educação: Adriele Rodrigues, Elizangela Pereira, João Guilherme e Maria Tereza. Obrigado pela confiança!

Aos amigos e colegas do PPG MACSA, pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento, pelo apoio mútuo e pelos momentos de incentivo ao longo desta caminhada. A convivência tornou o percurso mais leve e enriquecedor, em especial: Dayane Aparecida, Francini Vicentini, Maico Danúbio, Melory Fernandes, Angélica e Andrea Colman.

À juventude negra que estuda, resiste e constrói novos caminhos por meio do conhecimento: Carlucia Alves, Theo Rodrigues, Kethelin Bierhals, Lucas Victor, Bruno Silva, Hugo Leonardo, Vitor Trindade, Fábio Sandro e Wiliames Lazzaro.

Aos meus amigos da graduação, que continuam comigo mesmo com a distância: Samuel Pontes, Joseane Barbosa, Sâmia Matos, Ildilene Moraes, Maiane Rodrigues e Maiara Rodrigues.

Resumo

MORAIS, Valdenir Pereira. **Padrões de uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense: alterações nos atributos físicos e químicos dos solos**. Orientadora: Dr^a. Edvania Ap. Corrêa Alves. 2026. 168p. Tese (Doutorado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2026.

A Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense (APA), reconhecida como sítio Ramsar, caracteriza-se pela interface entre o bioma amazônico e os ambientes costeiro e marinho, desempenhando papel estratégico na conservação da biodiversidade, na regulação hidrológica e no sequestro de carbono. Entretanto, a intensificação das atividades agropecuárias, a expansão urbana e outras pressões antrópicas têm promovido desmatamento, queimadas, conversão de áreas alagáveis e degradação dos solos e dos recursos hídricos, comprometendo a capacidade de armazenamento de carbono e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar os cenários de uso e ocupação do solo e seus impactos na conservação do solo e nos estoques de carbono na APA da Baixada Maranhense. Para isso, utilizaram-se dados de geoprocessamento para avaliar as mudanças espaço-temporais na cobertura da terra, integrados à caracterização dos solos predominantes e à análise dos atributos físico-químicos e do carbono orgânico em áreas sob diferentes usos. Os resultados indicam que as áreas florestais, que em 1985 ocupavam 63% da área, passaram a 35,13% em 2022, resultando na fragmentação das áreas florestais em virtude da expansão de pastagens e áreas urbanizadas. Observou-se declínio da fertilidade dos solos agrícolas, com redução da matéria orgânica, das bases trocáveis e da capacidade de troca catiônica, além do aumento da acidez. Solos argilosos e hidromórficos apresentaram maior estabilidade do carbono, enquanto solos arenosos mostraram maior vulnerabilidade à degradação. Os estoques de carbono apresentaram valores médios mínimos de $16,20 \text{ t ha}^{-1}$ em áreas agrícolas, enquanto nas áreas preservadas os valores máximos atingiram $44,40 \text{ t ha}^{-1}$, ainda inferiores aos valores médios reportados para a Amazônia. Diante desse cenário, o ordenamento territorial e a adoção de práticas conservacionistas são essenciais para conciliar produção e conservação, assegurando a manutenção da fertilidade dos solos, dos estoques de carbono e da sustentabilidade socioambiental da APA.

Palavras-chave: Sítio Ramsar; zonas úmidas; dinâmica de uso da terra; geoprocessamento; carbono do solo.

Abstract

MORAIS, Valdenir Pereira. **Land use and land cover patterns in the Baixada Maranhense Environmental Protection Area: changes in the physical and chemical attributes of the soils.** Advisor: Dr. Edvania Ap. Corrêa Alves. 2026. 168p. Thesis (PhD in Soil and Water Management and Conservation) – Eliseu Maciel School of Agronomy, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2026.

The Environmental Protection Area of the Baixada Maranhense (EPA), recognized as a Ramsar site, is characterized by the interface between the Amazon biome and coastal and marine environments, playing a strategic role in biodiversity conservation, hydrological regulation, and carbon sequestration. However, the intensification of agricultural activities, urban expansion, and other anthropogenic pressures have led to deforestation, burning, conversion of wetlands, and degradation of soils and water resources, compromising carbon storage capacity and the maintenance of ecosystem services. In this context, the present study aimed to analyze land use and land cover scenarios and their impacts on soil conservation and carbon stocks in the Baixada Maranhense EPA. To this end, geoprocessing data were used to assess spatiotemporal changes in land cover, integrated with the characterization of predominant soils and the analysis of chemical attributes and organic carbon in areas under different land uses. The results indicate that forest areas, which covered 63% of the region in 1985, decreased to 35.13% in 2022, resulting in forest fragmentation due to the expansion of pastures and urbanized areas. A decline in the fertility of agricultural soils was observed, with reductions in organic matter, exchangeable bases, and cation exchange capacity, along with increased acidity. Clayey and hydromorphic soils showed greater carbon stability, while sandy soils were more vulnerable to degradation. Carbon stocks showed minimum average values of 16.20 t ha^{-1} in agricultural areas, whereas in preserved areas maximum values reached 44.40 t ha^{-1} , still lower than the average values reported for the Amazon. Given this scenario, land-use planning and the adoption of conservation practices are essential to reconcile production and conservation, ensuring the maintenance of soil fertility, carbon stocks, and the socio-environmental sustainability of the EPA.

Keywords: Ramsar Site; wetlands; land-use dynamics; geoprocessing; soil carbon.

DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Declaro, para os devidos fins, que foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial generativa, de forma exclusivamente auxiliar, com os seguintes propósitos:

Ferramenta IA	Versão	Finalidade no Trabalho
ChatGPT	GPT-5.5	Apoio na revisão linguística, gramatical e na redação científica
Scite		Auxílio na busca, interpretação e complementação de referências científicas
Consensus		Apoio na verificação de artigos e referências
Skywork AI		Apoio na análise e interpretação de dados, bem como na elaboração de gráficos e tabelas

Ressalto que a seleção e avaliação das referências, as análises, interpretações, conclusões e a versão final do trabalho são de responsabilidade e autoria da pesquisadora, tendo as ferramentas de IA sido utilizadas como recursos auxiliares durante o processo de elaboração.

Esta declaração tem por objetivo garantir transparência e integridade acadêmica, em conformidade com as recomendações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sobre o uso responsável de tecnologias de Inteligência Artificial na pesquisa científica.

Pelotas, RS, fevereiro de 2026.

Valdenir Moraes
Autor do trabalho

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 HIPÓTESES	18
4 REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1 Conflitos de usos da terra em áreas úmidas de importância ecológica internacional	19
4.2 Legislação ambiental brasileira e a criação de Unidades de Conservação: impactos na conservação dos solos e da água	21
4.3 Mudanças climáticas globais: importância da conservação dos solos na absorção de carbono frente aos processos de usos dinâmicos e intensos da terra	28
4.4 Desafios ao desenvolvimento agrícola em áreas protegidas e frente às mudanças climáticas globais	32
4.5 A unidade Conservação da Baixada Maranhense sob o ponto de vista ecológico e como Sítio Ramsar	35
4.6 Principais impactos das ações antrópicas de cunho agropecuário na Zona úmida da Baixada Maranhense	38
4.7 Caracterização da APA da Baixada Maranhense	43
4.7.1 Aspectos climáticos	43
4.7.2 Litologia e hidrografia	44
5 CAPÍTULO I - Dinâmicas de uso e cobertura da terra em área úmida da Amazônia legal: Estudo de caso em sítio Ramsar no nordeste do Brasil	53
5.1 Introdução	53
5.2 Metodologia	55
5.3 Resultados e Discussão	56
5.3.1 Uso e cobertura da terra	56
5.3.2 Carbono Orgânico do Solo (COS)	64
5.3.3 Conflitos de uso da terra	67
5.3.4 Conflitos agrários	68

5.4 Conclusão	69
6 CAPÍTULO II - Conversão de zonas úmidas em áreas agrícolas e seus impactos na fertilidade e na condição física dos solos em um Sítio Ramsar no nordeste do Brasil	71
6.1 Introdução	71
6.2 Metodologia	73
6.2.1 Aquisição e elaboração de Mapas temáticos	73
6.2.2 Determinação dos coleta de solos	73
6.2.3 Amostragem e análises	77
6.2.4 Análises estatísticas	83
6.3 Resultados e Discussão	84
6.3.1 Granulometria	84
6.3.2 Frações de Areia	85
6.3.3 Química e Fertilidade do Solo	86
6.3.4 Impactos do uso agropecuário na química e fertilidade	95
6.3.5 Estabilidade de Agregados	95
6.3.6 Densidade do solo	98
6.3.7 Porosidade do solo	101
6.3.8 Estoques de Carbono	104
6.4 Integração de Dados	107
6.5 Práticas Conservacionistas para Melhoria da Química e Fertilidade	110
7 Conclusão	111
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE	112
9 REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense (Figura 1), é uma Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável e está localizada na região Nordeste do Brasil, destacando-se por sua rica biodiversidade e importância ecológica (Maranhão, 1991). É também contemplada pelo bioma Amazônico, com ambientes Costeiro e Marinho (Rodrigues *et al.*, 2022). O chamado Pantanal Maranhense abriga ecossistemas únicos e sensíveis, classificada como sítio Ramsar, por sua importância como zona úmida para o mundo (Ramsar, 2020; Brasil, 2021). A região é composta por uma variedade de ecossistemas, incluindo manguezais, florestas, restingas (Chaves *et al.*, 2016), campos naturais inundáveis com grandes lagos e extensas áreas pantanosas que são um refúgio para aves aquáticas na região nordeste do Brasil (Imesc, 2013; Marques, 2021; Pinheiro; Souza, 2022). Essas biogeocenoses abrigam diversas espécies animais e vegetais, alguns endêmicos (Maranhão, 2023; Limeira-Filho *et al.*, 2023; Dias *et al.*, 2023).

Fonte: Autor, 2026.



A APA desempenha um papel crucial na preservação dos estoques de carbono no solo, que auxiliam na regulação do clima global, haja visto que a área faz parte da Amazônia Legal (Ahlström *et al.*, 2017). Assim, a manutenção de estoques de carbono no solo contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Segundo Nahlik e Fennessy (2016), as áreas úmidas como pântanos e manguezais, desempenham um papel significativo no armazenamento de carbono. Áreas úmidas continentais armazenam grandes estoques de carbono, frequentemente muito superiores por área em relação a muitos ambientes terrestres, e, em conjunto com áreas úmidas costeiras, destacam-se pela sua importância na regulação climática (Tan *et al.*, 2020; Xia *et al.*, 2022).

O carbono orgânico do solo (COS) em áreas úmidas está majoritariamente armazenado nos sedimentos, sobretudo em condições anóxicas que reduzem a decomposição da matéria orgânica. Seu acúmulo ocorre via elevada produtividade biológica, que fornece aporte contínuo de resíduos orgânicos, e pelo soterramento decorrente da deposição sedimentar. Além disso, a precipitação de carbonatos contribui para a retenção de carbono no sistema. Esses processos, associados, conferem elevada capacidade de estocagem e estabilidade ao carbono nesses ambientes (Ali *et al.*, 2025; Hallberg *et al.*, 2026). Logo, a perda de áreas úmidas representa uma ameaça significativa para a liberação de carbono armazenado e para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (Wang *et al.*, 2023).

Ademais, a região da APA também é uma importante área de produção agrícola, sendo responsável por uma parcela significativa da produção de arroz, mandioca e outros produtos agrícolas. Produtos que servem como subsistência para as comunidades locais (Costa; Sousa; Mattos Junior, 2021). No entanto, a forte pressão antrópica, associada às práticas agrícolas insustentáveis e inadequadas às condições naturais da região, vem causando impactos significativos nos recursos naturais e biodiversidade (Bueno, Filho; 2016; Silva *et al.*, 2019). Dentre as principais práticas inadequadas destacam-se as queimadas e o desmatamento da vegetação nativa (Graça *et al.*, 2023), o avanço de áreas de pastagem (Bezerra *et al.*, 2018) e o estabelecimento da monocultura do arroz. O desmatamento e a queimada diminuem a cobertura vegetal, levando à redução dos estoques de carbono orgânico, contribuindo para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (França *et al.*, 2020; Gatti *et al.*, 2021). Tais ações também levam à degradação física e química do solo (Vieira *et al.*, 2023).

O avanço da pastagem sob mata nativa é outro entrave. Kroeger *et al.* (2020) citam que, a conversão de florestas tropicais em pastagens e áreas agrícolas tem o potencial de liberar grandes quantidades de carbono armazenado no solo. Além de contribuir para a erosão e degradação do solo e a perda de biodiversidade (Brizzi *et al.*, 2017). A preservação da cobertura vegetal é essencial para a manutenção dos estoques de carbono no solo e a conservação da biodiversidade (Barros *et al.*, 2021), sobretudo em áreas úmidas como a APA, que possui grande capacidade de armazenamento de COS.

Outrossim, o cultivo de monoculturas pode levar à compactação do solo, dificultando a infiltração da água, aumentando o risco de erosão hídrica, levando a problemas agrônômicos e ambientais (Denardin, 2018; Reis *et al.*, 2022), resultando em perda de fertilidade, redução da produtividade agrícola, assoreamento dos rios e alterações significativas nos ecossistemas (Carvalho *et al.*, 2019; Fiorese *et al.*, 2021).

Logo, a intensificação dos sistemas de uso e manejo do solo pode levar a alterações nos atributos do solo, afetando sua qualidade e produtividade (Silva *et al.*, 2010). A substituição de florestas por pastagens ou atividades agrícolas pode resultar na diminuição de nutrientes no solo, comprometendo os processos de ciclagem e afetando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Ferreira *et al.*, 2006). Além disso, a mudança no uso da terra pode influenciar a taxa de infiltração da água, a resistência mecânica à penetração e desencadear processos erosivos (Flach; Alves; Meurer 2020). Essas alterações podem levar a reações em cadeia, afetando uma série de componentes do ambiente (Alvarenga; Davide, 1999).

Além disso, a APA da Baixada Maranhense enfrenta problemas relacionados à poluição agrícola causada pela aplicação de agrotóxicos, fertilizantes e resíduos de animais que contaminam os rios e campos lacustres (Gomes, 2017; Theodosio, 2023) e levam à contaminação de lençóis freáticos (Silva, 2020; Souza Neto *et al.*, 2022). A construção de açudes e barragens na região causam redução do fluxo dos rios (Cantanhêde *et al.*, 2016), prejudicando a reprodução dos peixes e outros animais aquáticos, além de alterar os processos geomorfológicos fluviais de erosão e deposição (Nascimento, 2006; Funo; Pinheiro; Monteles, 2010), além de expor a fauna e a flora local a riscos de extinção (Maranhão, 2023).

Outra problemática relevante na APA refere-se à ausência ou deficiência de sistemas de tratamento de esgoto na maioria dos municípios da região. Nesses

locais, os efluentes domésticos são frequentemente destinados a fossas rudimentares ou lançados diretamente nos campos alagados. Essa prática contribui para a contaminação dos recursos hídricos, comprometendo a qualidade da água e os serviços ecossistêmicos associados.

A região também enfrenta eventos climáticos extremos, sobretudo por ser naturalmente suscetível à sazonalidade das chuvas, com constantes ciclos de secas e inundações (Zonta *et al.*, 2020; Nunes *et al.*, 2022), que têm se agravado em decorrência das evidências das mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2016). Nesse sentido, as ações antrópicas como relacionadas às práticas agrícolas geram pressão sobre os recursos hídricos (Souza Neto *et al.*, 2022), edáficos e florestais (Cunha Neto *et al.*, 2021; Graça *et al.*, 2023) que podem comprometer a capacidade da região de continuar a ser uma área protegida voltada à conservação de espécies e seus habitats naturais (Maranhão, 2023) e de apoiar comunidades tradicionais que dependem desses recursos.

Neste contexto, a APA Baixada Maranhense é uma região com poucos recursos financeiros para a gestão ambiental e não possui um plano de manejo (Silva *et al.*, 2018), mesmo sendo um documento obrigatório para uma unidade de conservação – UC (Brasil, 2000). O plano de manejo é a principal ferramenta de planejamento e gestão para conservação, pois orienta e ordena as atividades humanas na UC (Firmino, 2019). Isso dificulta a implementação de medidas para mitigar os impactos das atividades agropecuárias nos recursos naturais.

A busca pelo equilíbrio entre o desenvolvimento agrícola e a preservação dos recursos naturais é uma questão complexa e de grande importância, visto que as atividades agropecuárias contribuem, quando realizadas de maneira inadequada e insustentáveis, para a degradação ambiental global ao mesmo tempo em que se verifica a necessidade cada vez maior de alimentos devido ao crescimento populacional global (Clark; Tilman, 2017).

Neste contexto, é fundamental a gestão humana para o uso adequado da terra e conservação dos recursos naturais dessa APA (Nunes *et al.*, 2022). Melhorar a eficiência da utilização dos recursos agrícolas disponíveis é uma forma importante de alcançar o desenvolvimento agrícola sustentável (Fu *et al.*, 2022).

Diante desse contexto, torna-se fundamental a realização de estudos voltados à análise dos padrões de uso e cobertura da terra na APA, com ênfase nas alterações dos atributos físicos e químicos dos solos. Essa abordagem permite

compreender os efeitos das mudanças antrópicas sobre a dinâmica e a qualidade do solo. Além disso, contribui para subsidiar estratégias de manejo que promovam a conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade ambiental da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar os padrões da dinâmica de uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, com ênfase nas alterações dos atributos físicos e químicos dos solos, comparando ambientes preservados e antropizados em cinco diferentes unidades dentro do sítio Ramsar.

2.2 Objetivos específicos

- I. Avaliar as condições químicas e físicas dos solos presentes em áreas preservadas com vegetação nativa e áreas com atividades agropecuárias, visando identificar processos de degradação dos solos;
- II. Quantificar o carbono orgânico total do solo até a profundidade de 30 cm, em áreas com vegetação nativa e sob diferentes usos agropecuários, visando avaliar os estoques de carbono no solo e identificar possíveis impactos do uso e manejo do solo;
- III. Propor medidas abrangentes de recuperação e conservação de áreas degradadas ou para evitar que ocorra a degradação dessas áreas, levando em consideração os resultados detalhados das análises e levantamentos realizados, contribuindo para a construção futura de um plano de manejo para a Unidade de Conservação em estudo.

3 HIPÓTESES

A análise temporal da dinâmica dos usos e coberturas da terra da APA da Baixada Maranhense possui complexa relação entre o desmatamento na Unidade de Conservação e as atividades agropecuárias, culminando em áreas com solo degradado e com a redução dos estoques de carbono do solo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Conflitos de usos da terra em áreas úmidas de importância ecológica internacional

A Convenção de Ramsar, adotada em 1971, constitui um marco para a proteção e uso sustentável das áreas úmidas no mundo, promovendo a designação de Sítios Ramsar (Silva *et al.*, 2021). As áreas úmidas, conforme definido pela Convenção de Ramsar, englobam uma variedade de ecossistemas, como pântanos, brejos, turfeiras e áreas marinhas, que podem ser de água doce, salina ou salobra (Gris *et al.*, 2020). Estas áreas desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade e na regulação dos recursos hídricos e suporte à subsistência humana, sendo considerados ecossistemas de significância ecológica de âmbito internacional (Silva *et al.*, 2021).

No Brasil, as áreas úmidas estão presentes em diversos biomas (Alves *et al.*, 2019). Desde a adesão do país a convenção, já foram incluídos vinte e sete (27) Sítios na Lista de Ramsar, sendo vinte e quatro (24) correspondentes às Unidades de Conservação, ou parte delas, e três (3) Sítios Ramsar Regionais formados por Unidades de Conservação, Terras Indígenas e áreas de preservação permanente (APP) (Brasil, 2021).

Áreas úmidas são um dos ecossistemas de maior importância, mas que estão submetidas a forte pressão antrópica como desmatamento, queimadas e processos naturais como os incêndios (Silva *et al.*, 2021). Além disso, essas áreas enfrentam diversos desafios, como conflitos de uso da terra que tendem a exceder a sua capacidade de uso.

A Metodologia de Capacidade de Uso das Terras (CUT) avalia a adequação das terras para diferentes usos, considerando características físicas, químicas e biológicas do solo. Por meio da classificação em classes e subclasses, a CUT indica o potencial e as limitações das áreas para atividades agrícolas, pastoris e florestais, sendo uma ferramenta importante para o uso sustentável do solo, a prevenção da degradação e a conservação ambiental (Filho; Campos, 2008; Servidoni *et al.*, 2019).

Um dos principais produtos da CUT são os mapas de capacidade de uso das terras, elaborados com base em dados geoespaciais e atributos do solo, como textura, profundidade e declividade (Filho; Campos, 2008; Silva, 2024). A metodologia também se destaca na análise de bacias hidrográficas e regiões vulneráveis, especialmente quando integrada a geotecnologias e Sistemas de

Informação Geográfica (SIG), contribuindo para o planejamento territorial e preservação da vegetação nativa (Campos *et al.*, 2002; Campos *et al.*, 2016; Servidoni *et al.*, 2019; Braz *et al.*, 2020).

Estudos relataram conflitos de uso da terra em áreas de importância ecológica internacional, destacando a manipulação do solo e da água como consequências significativas, excedendo a sua CUT (Costa *et al.*, 2013; Aires *et al.*, 2017; Tavares *et al.*, 2020). A identificação de conflitos é o estágio primordial para a implementação de estratégias de conservação e uso sustentável, visando atenuar os efeitos adversos já manifestos sobre as propriedades agrícolas e bacias hidrográficas (Tavares *et al.*, 2020).

O uso inadequado de solos, seja excedendo sua capacidade agrícola ou cultivando culturas inapropriadas, pode levar à infertilidade e danos como erosão. A falta de planejamento adequado da terra e o uso inadequado levam a perdas anuais de produtividade em milhões de hectares de terras agrícolas em todo o mundo (Guidolini *et al.*, 2020).

No contexto internacional, a pressão antrópica, incluindo queimadas e processos naturais como incêndios, tem exercido forte impacto sobre as áreas úmidas, resultando em danos nos recursos naturais (Silva *et al.*, 2021). A necessidade de cumprir as diretrizes da Convenção Ramsar tem sido destacada, no mundo inteiro, sendo orientações para o planejamento de inventário, a avaliação e o monitoramento de áreas úmidas utilizando dados remotos e SIG (Gonçalves *et al.*, 2019).

No Brasil, estudos relataram conflitos entre APPs e o uso e ocupação da terra, em oposição à legislação ambiental (Ribeiro *et al.*, 2014). Estes conflitos são frequentemente resultado da pressão exercida pelo avanço humano sobre essas áreas sensíveis (Kraeski *et al.*, 2022). Além disso, a gestão de zonas úmidas em unidades de conservação tem sido associada a conflitos sociais, evidenciando a complexidade das questões envolvidas na preservação dessas áreas (Mendonça Neto *et al.*, 2011; Mardeni *et al.*, 2023).

A destruição ou conservação de áreas úmidas muitas vezes se baseia em suposições, como o tamanho das áreas e sua capacidade de sustentar biodiversidade (Snodgrass *et al.* 2000). No entanto, a falta de uma política nacional coesa para o manejo sustentável dessas áreas no Brasil tem sido evidenciada, apesar da assinatura da Convenção de Ramsar em 1993 (Junk *et al.*, 2013).

A manipulação de solos em áreas úmidas tem sido objeto de estudo, por Lima Marques *et al.*, (2015) por exemplo, no trabalho sobre a correlações com a degradação de solos nos brejos de altitude da Paraíba e destacaram a importância do manejo adequado do solo para a preservação desses ecossistemas. Outrossim, a análise de conflitos de uso e cobertura do terreno em áreas de preservação permanente têm evidenciado a necessidade de medidas efetivas para a proteção do solo e da água nessas áreas como no estudo de Brizolari; Pisani, (2022) no município de Araraquara-SP, no qual eles destacam que a pastagem é a que entra mais em conflito com as APPs.

É importante ressaltar que, o uso de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, tem se mostrado eficaz na identificação e classificação das áreas úmidas, contribuindo para a sua gestão e conservação (Silva *et al.*, 2020). Além disso, a análise da dinâmica espacial da ocupação das terras tem sido fundamental na determinação dos conflitos de uso dos recursos naturais ressaltado por Pedron *et al.*, (2006) em trabalhos realizados no município de São João do Polêsine – RS, evidenciando a relevância da avaliação e monitoramento das condições ambientais das áreas úmidas

A preservação de ecossistemas requer a implementação de medidas eficazes de conservação e manejo sustentável, melhorando a proteção dos recursos naturais e a manutenção da biodiversidade (Anjinho *et al.*, 2018; Sonoda *et al.*, 2021). No entanto, apesar de sua relevância, estima-se que mais de 70% das áreas úmidas globais tenham sido destruídas ou comprometidas desde 1900, ressaltando a necessidade de ações efetivas para proteger e restaurar esses ecossistemas ecológicos (Silva *et al.*, 2020) e a restauração ecológica baseada em evidências científicas é fundamental para a preservação das áreas úmidas (Oliveira; Engel, 2011).

4.2 Legislação ambiental brasileira e a criação de Unidades de Conservação: impactos na conservação dos solos e da água

A gestão ambiental no Brasil é marcada por uma legislação robusta e abrangente, que começou a se consolidar na década de 1980, com a criação da Política Nacional do Meio Ambiente em 1981. Desde então, o país desenvolveu um arcabouço jurídico complexo que busca equilibrar o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o

Ministério do Meio Ambiente, criados em 1989, desempenham papéis centrais na regulamentação e supervisão das políticas ambientais. Essa estrutura é complementada por órgãos estaduais e municipais, garantindo a aplicação das normas em todo o território nacional.

Logo, a gestão ambiental no Brasil segue uma hierarquia jurídica e institucional que envolve diferentes níveis de governança conforme o Quadro 1.

É importante ressaltar que legislação ambiental frequentemente se inter-relaciona com a gestão de terras no Brasil. A primeira visa proteger recursos naturais, enquanto a segunda regula o uso do solo. A legislação ambiental geralmente têm prioridade na proteção de áreas, a gestão de terras adapta e implementa práticas respeitando diretrizes ambientais.

A integração entre ambas é crucial para um desenvolvimento sustentável e a proteção dos recursos naturais. As principais instituições e suas funções no arcabouço jurídico do uso da terra podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 1 - Hierarquia das principais instâncias de gestão jurídica ambiental no Brasil e os tipos de áreas gerenciadas.

Nível de Gestão	Entidade Responsável	Função	Áreas de Gestão	Competências
Federal	CONAMA	Consultivo e deliberativo	Normas gerais ambientais, resolução de conflitos	Elabora resoluções aplicáveis em todas as esferas
Federal	Ministério do Meio Ambiente (MMA)	Formulação de políticas nacionais	APP, APA, Unidades de Conservação	Planejamento e execução de políticas ambientais
Federal	IBAMA	Licenciamento e fiscalização ambiental	APP, APA, Reservas Extrativistas, Parques Nacionais	Controle e aplicação de penalidades ambientais
Federal	ICMBio	Gestão de Unidades de Conservação	Parques Nacionais, Florestas Nacionais, APA	Monitoramento e proteção de áreas protegidas
Estadual	Órgãos Estaduais de Meio Ambiente	Implementação de políticas ambientais estaduais	Parques Estaduais, RPPN	Licenciamento e fiscalização estadual
Municipal	Órgãos Municipais de Meio Ambiente	Gestão local, planejamento urbano	Áreas urbanas, rurais, preservação local	Licenciamento de atividades de impacto local

Fonte: Autor, 2026.

Quadro 2 - Hierarquia das principais instâncias de gestão jurídica de terras no Brasil e os tipos de áreas gerenciadas.

Nível de Gestão	Entidade Responsável	Função	Áreas de Gestão
Nacional	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)	Fórmula políticas agrícolas e de uso da terra, promovendo a produção agrícola sustentável	Terras agrícolas, pastagens, áreas rurais
Nacional	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)	Implementa políticas de reforma agrária, regularização fundiária e assentamento rural	Terras devolutas, áreas de assentamento rural, propriedades rurais cadastradas
Nacional	Fundação Nacional do Índio (FUNAI)	Proteção e demarcação das terras indígenas	Terras indígenas
Estadual	Secretarias Estaduais de Agricultura e Reforma Agrária	Execução das políticas agrícolas e de uso da terra no âmbito estadual, apoio à agricultura local	Terras agrícolas estaduais, pastagens, áreas rurais estaduais
Municipal	Secretarias Municipais de Agricultura	Gestão local de terras e apoio à agricultura familiar e pequenas propriedades	Terras rurais e urbanas de pequeno porte, agricultura familiar

Fonte: Autor, 2026.

Outrossim, a legislação ambiental brasileira sofreu alterações significativas desde a década de 1930, promovendo a conservação e preservação dos recursos naturais, através de instrumentos como a criação de Unidades de Conservação. A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída em 1981, lançou as bases para a proteção ambiental no Brasil (Pinto, 2021) e posteriormente em 2000, tem-se a criação dos Sistema de Unidades de Conservação (SNUC, 2000).

Posteriormente, o Código Florestal de 2012 introduziu melhorias em diversas áreas, incluindo a regulamentação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs), visando proteger os recursos hídricos e a conservação do solo (Mascarenhas *et al.* 2009; Gomes *et al.* 2018). É importante ressaltar que as APPs e RLs já haviam sido estabelecidas no Código Florestal de 1965, sendo posteriormente avaliadas e aprimoradas na legislação de 2012 (Marques; Ranieri, 2012). Esses marcos legais levaram a uma reorganização dos remanescentes florestais e dos recursos hídricos, com foco na recuperação de áreas florestais e na proteção da vegetação natural nos ecossistemas ribeirinhos (Gomes *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2021) como as APPs e APAs.

É importante ressaltar que, conforme definição da Lei n. 12.651/2012, APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, preservando os recursos hídricos, a paisagem e a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico de fauna e flora, protegendo o solo e assegurando o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012). Logo, são locais intactos proibidos intervenções humanas sem autorização legal (Kohl, 2023).

Porém, a Lei Nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021, trouxe uma nova perspectiva sobre as APPs, permitindo que estados e municípios alterem os limites de proteção ao redor de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas, algo que contrasta com a rigidez das definições anteriores (Brasil, 2021).

Já as APAs são categorias de Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável e que visam conservar os recursos ambientais de maneira socialmente justa e economicamente viável, sujeitas a um plano de manejo e um Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) específico, permitindo certo grau de ocupação humana (Florestal, 2017; Goes, 2019).

O ZEE é um instrumento de planejamento e ordenamento territorial que visa a sustentabilidade ecológica, econômica e social, dividindo o território em zonas de

acordo com as necessidades de proteção, conservação, recuperação dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável (Rovani; Viera, 2016).

A criação de Unidades de Conservação, conforme determina o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) tem sido fundamental para preservar os diversos ecossistemas do Brasil (Brito *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022). Estas unidades têm contribuído para a proteção da biodiversidade e a conservação dos recursos naturais, alinhando-se com as metas internacionais para a conservação de biomas específicos (Brito *et al.*, 2020).

A implementação destas unidades facilitou o mapeamento e monitoramento de espécies ameaçadas, contribuindo para uma melhor compreensão da sua distribuição e requisitos de habitat (Torrecilha *et al.*, 2017). A legislação influenciou a gestão das Unidades de Conservação, enfatizando a importância do uso sustentável e do acesso público em algumas áreas de proteção integral (Pires *et al.*, 2012; Bertolin, 2020).

A integração dos meios de subsistência tradicionais, como as reservas extrativistas, proporcionou uma abordagem sustentável à conservação, particularmente em territórios onde as comunidades tradicionais dependem de recursos naturais (Foppa *et al.*, 2018) para a sua subsistência como indígenas, quilombolas, ribeirinhos, extrativistas, povos da floresta e quebradeiras de coco babaçu.

Ademais, o impacto das medidas legislativas não se limitou à criação de Unidades de Conservação. Também influenciou as práticas de gestão ambiental corporativa, com as empresas adaptando suas estratégias para cumprir as rigorosas regulamentações ambientais (Alperstedt *et al.*, 2013; Junior; Crisóstomo, 2017). A legislação tem incentivado as empresas a investirem em medidas preventivas e a divulgarem mais informações sobre o seu impacto ambiental, refletindo uma mudança para uma maior responsabilidade ambiental (Crisóstomo *et al.*, 2012; Junior; Crisóstomo, 2017). O que pode agregar valor aos seus produtos.

A legislação brasileira relativa às zonas úmidas e sítios Ramsar, particularmente as regulamentações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), desempenha um papel crucial na proteção e gestão sustentável desses ecossistemas. Embora o Brasil tenha assinado a Convenção de Ramsar em 1993, o país ainda carece de uma política nacional coerente para a gestão sustentável e proteção de zonas úmidas (Junk *et al.*, 2013).

As ações do CONAMA são essenciais no estabelecimento de diretrizes e normas que visam à conservação desses ambientes, garantindo a preservação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas (Silva Costa *et al.*, 2021). Por exemplo, a Resolução CONAMA nº 369/2006 padroniza critérios para exceções no licenciamento ambiental em áreas de preservação permanente, incluindo áreas úmidas (Silva; Filho, 2020).

Por outro lado, a legislação ambiental brasileira tem sido questionada quanto à sua eficácia na conservação de áreas úmidas, levantando dúvidas sobre a adequação dos termos e definições existentes para representar e identificar adequadamente esses ecossistemas (Maltchik *et al.*, 2017). A falta de uma classificação nacional de áreas úmidas que considere aspectos regionais e ecológicos tem sido apontada como uma lacuna na política ambiental brasileira (Guimarães *et al.*, 2023).

A importância das áreas úmidas no sul do Brasil é destacada pela alta produtividade e diversidade biológica que apresentam (Stenert; Maltchik, 2007). No entanto, estima-se que cerca de 90% das áreas úmidas tenham desaparecido nessa região, ressaltando a urgência de ações efetivas de conservação (Rolon; Maltchik, 2010).

A legislação ambiental brasileira apresenta desafios significativos que comprometem a efetiva proteção do meio ambiente. Apesar da existência de leis robustas, como o Código Florestal, a implementação e fiscalização muitas vezes falham, permitindo a degradação ambiental e o desmatamento ilegal (Silva Rios, 2024).

A criação de unidades de conservação, como o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), por vezes não leva em consideração adequadamente os pontos de maior biodiversidade ou a formação de corredores ecológicos (Soares-Filho *et al.*, 2014). Isso pode resultar em áreas protegidas que não abrangem completamente a diversidade dos ecossistemas (Dryflor *et al.*, 2016). Além disso, a pressão política por flexibilização das proteções ambientais pode comprometer ainda mais a eficácia das leis existentes (Soterroni *et al.*, 2018).

Para reverter esse cenário, é fundamental fortalecer a legislação ambiental, garantir a proteção efetiva dos ecossistemas e promover a implementação rigorosa das normas vigentes (Franco *et al.*, 2021). A proteção dos biomas brasileiros, como o Cerrado, deve ser priorizada, considerando a importância das áreas protegidas

tanto públicas quanto privadas (Cabral *et al.*, 2017). A revisão e aprimoramento contínuo das leis ambientais são essenciais para assegurar a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos recursos naturais no Brasil.

Contudo, a legislação ambiental brasileira, incluindo a Política Nacional do Meio Ambiente, o Código Florestal de 2012 e o estabelecimento de Unidades de Conservação e as diretrizes do CONAMA tem contribuído significativamente para a conservação dos recursos naturais. Estes quadros jurídicos levaram a melhorias em diversas áreas, incluindo a proteção dos recursos hídricos, do solo, os esforços de reflorestamento e a integração dos meios de subsistência tradicionais nas práticas de conservação.

4.3 Mudanças climáticas globais: importância da conservação dos solos na absorção de carbono frente aos processos de usos dinâmicos e intensos da terra

As mudanças climáticas globais continuam a representar um desafio significativo para o planeta, a conservação dos solos desempenha um papel crucial na absorção de carbono, especialmente diante dos processos de usos dinâmicos e intensos da terra. Estudos como o de Batjes (2014) destacam que uma quantidade substancial de carbono está armazenada nos solos do mundo, ressaltando a importância dos solos como reservatórios de carbono.

A matéria orgânica do solo (MOS) possui, em média, 58% de carbono, sendo o principal reservatório desse elemento na superfície terrestre (Solohumics, 2022). O processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica (MO) no solo envolve a produção e incorporação de carbono, sua decomposição, alteração e mineralização, de acordo com as condições ambientais (Nascimento *et al.*, 2010).

A transformação da MO em carbono orgânico do solo resulta no sequestro de carbono da atmosfera, sendo os solos capazes de armazenar significativamente mais carbono do que a atmosfera e a vegetação juntas (Souza; Pérez, 2022). Logo, o teor de carbono orgânico no solo oferece uma estimativa da quantidade de matéria orgânica presente (Azevedo, 2022).

A pesquisa de Post e Kwon (2000) enfatiza que o sequestro de carbono no solo é influenciado por fatores como mudanças no uso da terra, destacando a relevância de práticas de manejo adequadas para aumentar a quantidade de

carbono retida. O solo desempenha um importante papel na absorção e liberação de carbono (Fontana, 2017).

A influência do uso da terra na dinâmica da matéria orgânica do solo é evidenciada por Silva *et al.* (2023), que ressaltam a importância de compreender como diferentes usos da terra afetam a matéria orgânica do solo, essencial para a restauração de ecossistemas degradados. Ainda, de acordo com esses autores, em solos tropicais intemperizados, as características pedoclimáticas inerentes fortalecem o papel dos reservatórios de matéria orgânica do solo no ciclo do carbono, tanto para os ecossistemas florestais como agrícolas. A rápida renovação da MOS e o clima úmido aceleram o impacto do uso da terra e enfatizam a importância da matéria orgânica do solo (Silva *et al.*, 2023).

O carbono orgânico do solo desempenha um papel crucial na saúde dos ecossistemas terrestres e na mitigação das mudanças climáticas (Bessa, 2017). Tendo importante relação com áreas de proteção ambiental, especialmente em zonas úmidas, como os Sítios Ramsar. Haja visto, que o solo atua como um sumidouro de carbono, capturando o gás carbônico da atmosfera e armazenando-o.

O processo de sequestro de carbono no solo e a manutenção dos estoques de carbono no solo estão intimamente ligados à dinâmica dos usos da terra. O sequestro de carbono no solo ocorre principalmente através da transferência de carbono da atmosfera para o solo por meio de processos como a fotossíntese, a respiração, a decomposição e a combustão (Prakash; Shimrah, 2023). A mudança no uso da terra, como desmatamento para criação de áreas abertas, pode resultar na liberação de grandes quantidades de carbono atmosférico, afetando os estoques de carbono no solo (Mugagga, 2015).

Estudos demonstram que o manejo adequado da terra pode contribuir significativamente para compensar as emissões globais de carbono (Ghimire, 2023). Além disso, a escolha de espécies vegetais adequadas, práticas agrícolas sustentáveis e a restauração de terras degradadas podem aumentar os estoques de carbono no solo, auxiliando na mitigação das mudanças climáticas (Soboka; Yimer, 2022).

A interação complexa entre processos biogeoquímicos e hidroclimáticos, como a dinâmica da umidade do solo, insolação e temperatura, influencia diretamente os estoques de carbono no solo (Kunkel; Wells, 2015). Portanto, compreender esses processos é essencial para estimar com precisão as mudanças

nos estoques de carbono com a alteração do uso da terra e implementar políticas eficazes de redução de emissões de gases de efeito estufa (Powers *et al.*, 2011).

Alguns estudos quantificaram o carbono orgânico do solo em áreas úmidas, principalmente na região amazônica. Quesada *et al.* (2019) focaram na Bacia Amazônica, analisando propriedades do solo e densidades de carbono em solos florestais. Franco *et al.* (2018) quantificaram o conteúdo e a distribuição de carbono orgânico do solo em áreas minimamente antrópicas. Maia *et al.* (2010) estudaram as mudanças no estoque de carbono orgânico do solo devido às atividades de uso da terra no sudoeste da Amazônia. Tais estudos destacam a importância de quantificar o carbono orgânico do solo em áreas úmidas como a Amazônia para compreender a dinâmica do carbono e informar os esforços de conservação.

A degradação dos estoques de carbono do solo decorrente do manejo inadequado compromete os esforços destinados a conter o aumento da temperatura global e prevenir a intensificação de eventos climáticos adversos, como inundações, secas e outros impactos decorrentes das mudanças climáticas (Lefèvre, 2017). Potter *et al.* (2009) previam aumento das emissões de carbono devido ao desmatamento na Amazônia brasileira.

Através de técnicas como o plantio direto, com a cobertura permanente do solo com resíduos de culturas, rotação de culturas e a redução da intensidade de revolvimento do solo, tem-se que tais práticas contribuem significativamente para a retenção de carbono no ambiente agrícola (Carvalho *et al.*, 2010; Guareschi *et al.*, 2012; Guidoboni *et al.*, 2023). Tais ações contribuem para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para a melhoria da qualidade do solo (Stanojevic, 2021), aprimorando a resiliência dos ecossistemas agrícolas às mudanças climáticas e promovendo a sustentabilidade a longo prazo da agricultura (Pawlowski *et al.*, 2017).

Existem diversos desafios em manter o carbono orgânico no solo, como os relacionados às práticas agrícolas intensivas, como aração e revolvimento excessivo do solo que reduzem o carbono orgânico e que aceleram a decomposição da matéria orgânica (Carvalho, 2010).

Desmatamento e urbanização, que convertem áreas florestais em terras agrícolas ou urbanas resultam na perda de carbono orgânico do solo (Bessa, 2017; Pichelli, 2020), sendo que a erosão, compactação e degradação do solo diminuem a quantidade de carbono orgânico e a qualidade do solo. Segundo a FAO (2018), cerca de 33% dos solos do mundo estão degradados, o que ressalta a importância

da conservação do solo para a sobrevivência da humanidade, especialmente considerando que 95% dos alimentos provêm da terra. A degradação do solo está diretamente relacionada à perda de carbono orgânico do solo, o que pode comprometer a fertilidade e a capacidade produtiva das terras agrícolas.

Estudos indicam que a conversão de áreas florestais em áreas agrícolas, juntamente com práticas de cultivo convencional por longos períodos, é uma das principais causas da perda de carbono orgânico do solo (Oliveira *et al.*, 2020). A remoção da vegetação nativa e a introdução de práticas agrícolas podem aumentar a decomposição da matéria orgânica do solo, levando a perdas significativas nos estoques de carbono e nitrogênio do solo (Silva *et al.*, 2021).

A análise de Wang *et al.* (2019) sobre a erosão do solo em regiões de erosão por água e vento na China ressalta como as mudanças no uso da terra podem impactar diretamente a erosão do solo, afetando a capacidade do solo de reter carbono. Além disso, estudos como o de Malik *et al.* (2018) demonstram como as mudanças no pH do solo devido ao uso da terra podem influenciar os processos de ciclagem de carbono microbiano, evidenciando a interconexão entre práticas de uso da terra e a dinâmica do carbono no solo.

Sales *et al.* (2018) em estudos sobre carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal observaram como o manejo adequado pode contribuir para o desenvolvimento e implementação de estratégias promovendo a conservação do solo e a redução das emissões de carbono.

A importância da conservação do solo na mitigação das mudanças climáticas é reforçada também, por pesquisas como a de He *et al.* (2016), que ressaltam a dinâmica do carbono orgânico no solo e os fatores que a impulsionam, fornecendo insights valiosos para o manejo sustentável do carbono no solo.

Em sítios Ramsares, o carbono orgânico do solo é vital para a biodiversidade, a filtragem de água e a estabilidade desses ecossistemas, diversos compostos por ambientes que incluem pântanos, lagos, rios e áreas costeiras (National Geographic; Brasil, 2024). Nesse contexto, a preservação e a restauração do carbono orgânico do solo em Ramsares é essencial para manter a saúde desses ecossistemas úmidos e enfrentar os desafios das mudanças climáticas (Ecodebate, 2023; Brasil, 2024).

4.4 Desafios ao desenvolvimento agrícola em áreas protegidas e frente às mudanças climáticas globais

O desenvolvimento agrícola em áreas protegidas enfrenta desafios significativos, especialmente diante das mudanças climáticas globais. A necessidade de conciliar a produção agrícola, a conservação dos solos, da água e as práticas tradicionais de comunidades locais em áreas protegidas requer uma abordagem cuidadosa e integrada.

A maioria dos países em desenvolvimento depende fortemente da agricultura, haja visto que a maioria da população pobre vive nas áreas rurais destes países, e a agricultura é a principal fonte de subsistência destas pessoas (Gameiro; Martins, 2018). O aumento da produtividade agrícola não só contribui para o crescimento económico, mas também desempenha um papel crucial na distribuição mais equitativa do rendimento, o que é essencial para melhorar o bem-estar da população (Lopes, 2023). A agricultura é considerada o motor do crescimento económico e da redução da pobreza nos países em desenvolvimento, especialmente na África Subsaariana (Come, 2021).

Os efeitos do aquecimento global nas terras agrícolas produtivas são susceptíveis de ameaçar tanto o bem-estar da população como o desenvolvimento económico dos países. A devastação ambiental resultante da agricultura insustentável pode influenciar as alterações climáticas e o aquecimento global, afetando diretamente as terras agrícolas e a produção de alimentos (Santos *et al.*, 2022)

As regiões tropicais do mundo em desenvolvimento são particularmente vulneráveis a danos potenciais decorrentes de alterações ambientais porque os solos pobres que cobrem grandes áreas dessas regiões já tornaram parte da terra inutilizável para a agricultura (Mendelsohn; Dinar, 1999). Bem como em países desenvolvidos.

Muitas espécies e ecossistemas de interesse de conservação dependem do manejo agrícola, mas estão sofrendo declínio contínuo, destacando a importância de estratégias que integrem a agricultura e a conservação (Batáry *et al.*, 2015). Estudos como o de Attanasio *et al.* (2013) ressaltam a importância das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica do uso da terra, demonstrando a relevância de considerar diferentes cenários de planejamento agrícola para garantir a adequação do uso do solo.

A pressão sobre as áreas protegidas para atividades agrícolas, como culturas agroindustriais, pode resultar na redução ou até mesmo na redução da biodiversidade dessas áreas, conforme apontado por Lambin *et al.*, (2014). Nesse sentido, a falta de planejamento de longo prazo pode comprometer a integridade das áreas protegidas, evidenciando a necessidade de políticas eficazes de governança do uso da terra.

O impacto das mudanças climáticas na produção agrícola é uma preocupação central, com a necessidade de adaptação sendo destacada como crucial para garantir a segurança alimentar (Mendelsohn; Dinar 1999). Neste sentido, a adaptação da agricultura às mudanças climáticas é um desafio importante que os países em desenvolvimento enfrentam, especialmente considerando a necessidade de lidar com eventos climáticos extremos e alterações nos padrões de temperatura e precipitação (Hertel; Lobell, 2014). Nesse contexto, entra a agricultura climaticamente inteligente.

A agricultura climaticamente inteligente é uma abordagem que visa aumentar a produção sustentável de alimentos, adaptar-se às mudanças climáticas, promover a resiliência e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Nascimento *et al.*, 2021). Essa prática envolve a utilização de tecnologias que auxiliam os agricultores a implementarem práticas mais eficientes, protegendo os recursos ambientais e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Martínez; Mesías, 2021). Ela é parte de um conjunto de estratégias, como a agricultura de conservação e o uso de variedades de espécies melhoradas, que buscam reorientar o desenvolvimento agrícola diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas (Rosales-Martínez *et al.*, 2020).

Visam aumentar a eficiência na produção agrícola contribuindo para a mitigação dos riscos associados às mudanças climáticas, oferecendo respostas mais rápidas e eficazes para garantir a qualidade e a segurança alimentar. Se baseia em princípios como a intensificação sustentável, a agricultura de zero emissões, a agricultura regenerativa e outras práticas que visam uma produção agrícola mais sustentável e adaptada às condições climáticas em constante mudança (Giraldo; Rosset, 2021), ao mesmo tempo que implementa práticas inovadoras de mitigação dos impactos ao solo e a água (Swami, 2023).

Outrossim, a agricultura comercial é vista como uma via importante para a redução da pobreza em muitos países, mas os pequenos agricultores, que são a

base da produção agrícola, são os mais afetados pelas mudanças climáticas (Newsham *et al.*, 2022). Ademais, uma alternativa simples e viável para a conservação da biodiversidade, conforme abordado por Silva (2015), é conciliar os saberes tradicionais com a ciência para promover a proteção ambiental eficaz.

A avaliação da aptidão de uso da terra é essencial para o planejamento sustentável dos recursos naturais, destacando a importância da análise ambiental integrada para garantir a conservação dos solos e a promoção da agricultura sustentável (Pedron *et al.*, 2006).

A integração de diferentes abordagens, como a avaliação da aptidão agrícola, melhoria do ordenamento territorial, a gestão efetiva das unidades de conservação e a promoção de práticas sustentáveis na agricultura, são fundamentais para garantir o desenvolvimento agrícola (Figueiroa *et al.*, 2016; Brasil; Carvalho; 2021), em áreas protegidas de forma a conciliar a produção agrícola, a conservação dos solos e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas.

A atuação de órgãos públicos estaduais e federais é fundamental nesse contexto, visando adequar os usos da terra de forma sustentável. Parcerias entre órgãos ambientais e a iniciativa privada têm se mostrado eficazes no apoio à prestação de serviços de apoio ao turismo em áreas protegidas. Melhorando a experiência dos visitantes, e garantindo a conservação dos recursos naturais e culturais presentes nessas áreas (Rodrigues; Abrucio, 2020).

Por outro lado, estudos como o de Opuchkevitch *et al.* (2020) evidenciam que o crédito rural pode ser uma ferramenta importante para promover uma produção agrícola mais sustentável, ressaltando a relevância de políticas financeiras adequadas, principalmente frente às mudanças climáticas.

Por fim, é importante ressaltar que, ferramentas essenciais para apoiar o desenvolvimento agrícola em áreas protegidas são o sensoriamento remoto e o geoprocessamento. O uso dessas tecnologias permite uma análise detalhada do território, auxiliando na tomada de decisões para o manejo adequado da terra e dos recursos naturais (Pandolfo *et al.*, 2021).

A detecção remota contribui para o desenvolvimento agrícola, fornecendo estimativas de biomassa e rendimento, monitoramento do vigor da vegetação, avaliação do desenvolvimento fenológico das culturas, estimativa da área cultivada e mapeamento de perturbações e alterações no uso/cobertura da terra, a rentabilidade e a sustentabilidade (Atzberger, 2013; Khanal, *et al.*, 2020).

4.5 A unidade Conservação da Baixada Maranhense sob o ponto de vista ecológico e como Sítio Ramsar

A UC da Baixada Maranhense configura-se como uma das regiões ecológicas mais complexas do Brasil, em razão da transição entre diferentes biomas. Essa condição resulta em um mosaico de ecossistemas que inclui manguezais, babaçuais, campos abertos e inundáveis, sistemas lacustres e lagunares, além de matas ciliares, conferindo elevada relevância ambiental, biológica e científica à área (Brasil, 2016).

A APA situa-se na porção oriental da Amazônia e integra o Centro de Endemismo Belém (CEB), um dos principais centros de endemismo da região amazônica. Esse contexto explica a ocorrência de conjuntos singulares de espécies da fauna e da flora, associados a processos evolutivos de longa duração e ao isolamento geográfico (Braz; Pereira; Ferreira, 2016; Dias *et al.*, 2023).

A vegetação nativa apresenta variação conforme os regimes de inundação, a sazonalidade climática e as zonas hidroecológicas. Áreas permanentemente alagadas são dominadas por formações herbáceas e aquáticas, enquanto os tesos e margens mais elevadas concentram florestas ribeirinhas e babaçuais. Destacam-se espécies como castanheiras, gameleiras, embaúbas, cedros e o babaçu, além das matas ciliares, fundamentais para a regulação hidrológica e a conectividade ecológica (Pinheiro *et al.*, 2022; Porro *et al.*, 2023).

Devido à sua extensão e à conexão física entre ambientes aquáticos e terrestres, atua como um importante corredor ecológico para múltiplos grupos biológicos, favorecendo a movimentação, alimentação e reprodução de espécies migratórias e residentes. Esse corredor permite trocas gênicas entre populações e manutenção de cadeias tróficas, sendo fundamental para a sobrevivência de aves aquáticas, peixes, répteis, mamíferos e plantas adaptadas a habitats de água doce e salobra (Convention on Wetlands, 2020).

Dada a sua significativa importância e peculiaridades, no ano de 2000 a APA da Baixada Maranhense, foi reconhecida como Sítio RAMSAR, se tornando 1 dos 27 sítios brasileiros que compõem a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional conhecida como Convenção de RAMSAR (Brasil, 2021; Spinelli; Soares, 2011). Realizada pela primeira vez na cidade de Ramsar no Irã em 1971, a convenção busca a conservação e o uso consciente das áreas úmidas, por meio de

ações nacionais e cooperação de caráter internacional (Wetlands, 2022), e entrou na da estrutura jurídica do país por meio do decreto nº 1.905/96 (BRASIL, 2024).

A classificação como sítio RAMSAR é dada às áreas que desempenham importantes papéis em termos ecológicos, sociais, econômicos, culturais, científicos, recreativos e até mesmo religiosos. São áreas naturais selecionadas com base na significância internacional em termos ambientais, levando em consideração a ecologia, a botânica, a zoologia, a limnologia e a hidrologia (Brasil, 2000; Cunha; Albuquerque; Martinazzo, 2023).

Os Sítios RAMSAR desempenham um papel fundamental na preservação da biodiversidade global, pois promovem a regulação da sedimentação e erosão, o gerenciamento de enchentes, a preservação da qualidade da água, a depuração da poluição, a renovação das águas superficiais e subterrâneas e a conservação dos recursos pesqueiros (Anzevino, 2004; Sadeleer, 2004). Além disso, estudos demonstram que os Sítios Ramsar possuem a capacidade de armazenar grandes quantidades de carbono, atuando como sumidouros naturais de carbono e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa (Bernal; Mitsch, 2012).

A Convenção e a criação de sítios RAMSAR tem como finalidade promover a conservação e o uso racional de zonas úmidas no mundo e os objetivos definidos são estratégicos e focam no combate aos processos de degradação ambiental e proteção à biodiversidade (Silva; Fontgalland, 2021; Brasil, 2024, Brasil, 2026). Contribuindo para os serviços ecossistêmicos, como o sequestro de carbono, essenciais para a saúde do planeta (Davidson *et al.*, 2019).

Mas, a convenção RAMSAR busca garantir não apenas a preservação desses ecossistemas, mas também o bem-estar das populações humanas que dependem deles (Pires *et al.*, 2020). Sob o status de Sítio RAMSAR, a APA da Baixada Maranhense, passou a ser objeto de compromissos a serem cumpridos pelo país, para preservar suas características ecológicas, abrangendo tanto os elementos da biodiversidade como os processos físico-químicos que os mantêm (Brasil, 2021).

Dentre os benefícios do reconhecimento como Sítio RAMSAR pode-se destacar: posicionamento político a respeito da conservação de relevantes áreas úmidas, dimensão estratégica sublinhando a relevância do Brasil na região Neotropical. Além da captação de recursos para projetos de financiadores nacionais

e internacionais, inserção do Brasil nas visões modernas de desenvolvimento e ampliação das oportunidades de atividades econômicas sustentáveis gerando produtos e serviços de valor agregado (Conceição Neto *et al.*, 2023; Brasil, 2021).

A região passou a apresentar indicativos de uso sustentável das espécies vegetais ciliares em construções rurais, o que demonstra uma abordagem mais equilibrada em relação ao ambiente (Pinheiro; Souza, 2022). Além disso, o conhecimento tradicional sobre o uso de tartarugas na área protegida da Baixada Maranhense propôs medidas de conservação que respeitam práticas ancestrais e contribuem para a preservação da biodiversidade local (Medeiros *et al.*, 2023).

Contudo, uma das maiores dificuldades do Sítio RAMSAR é a compatibilização entre uma legislação protetiva de Biomas de Áreas Úmidas com a complexa legislação ambiental referente às áreas protegidas (Vitalli, 2009; Brasil, 2021), no qual os Sítios RAMSAR podem estar inseridos. Estas incluem uma variedade de categorias, como Unidades de Conservação, Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Reserva Legal, terras indígenas, entre outras.

A falta de clareza nas competências e responsabilidades dos envolvidos nessas áreas pode resultar em problemas como falta de recursos financeiros e humanos para a gestão adequada, falta de fiscalização ambiental, dificuldades e conflitos com comunidades locais, baixa participação popular na criação e gestão das áreas protegidas, e a necessidade de envolver a sociedade de forma mais abrangente na conservação ambiental (Barbieri *et al.*, 2019).

Outrossim, Mao *et al.* (2021), ressaltam ainda, que mesmo após a designação como Sítios RAMSAR, algumas áreas úmidas ainda enfrentam ameaças, como a expansão de atividades agrícolas e a urbanização, o que pode comprometer sua capacidade de sequestro de carbono. Situação que não difere muito da APA da Baixada Maranhense.

A carência de estudos na região da Baixada Maranhense, especialmente no âmbito do sítio Ramsar, pode ter impactos significativos como a menor compreensão da funcionalidade dos ecossistemas locais, resultando em políticas de conservação inadequadas, ameaçando a biodiversidade e a sustentabilidade ambiental. Logo, o desenvolvimento de pesquisas que levem em consideração as peculiaridades da APA como zona úmida importante para o mundo e a proposição de modelos adequados e sustentáveis de desenvolvimento agrícola se fazem necessários (Sousa *et al.*, 2022).

4.6 Principais impactos das ações antrópicas de cunho agropecuário na Zona úmida da Baixada Maranhense

Como a maioria dos ecossistemas, a APA da Baixada Maranhense sofre com a pressão antrópica da exploração de seus recursos naturais, que geram estresses ou desequilíbrios ambientais. De acordo com a literatura, os principais são: o desmatamento de vegetação nativa, incêndios e queimadas, a construção de barragens e diques de contenção, a ocupação desordenada, a agricultura, a pecuária e pecuária extensiva comprometem a integridade da área (Brasil, 2000; Santos, 2020).

O desmatamento de vegetação nativa e vegetação secundária leva à fragmentação e à perda dos habitats naturais (Maranhão, 2023). Fato que se agrava pelo baixo índice de informações levantadas sobre a riqueza biológica e dos recursos naturais maranhenses (Maranhão, 2023).

Os incêndios e queimadas são processos distintos que acometem a Unidade de Conservação. O primeiro é definido como fogo sem controle de origem natural ou antrópica, enquanto o segundo constitui o uso de fogo de forma controlada (Cunha Neto *et al.*, 2021).

Apesar das queimadas serem uma prática secular para o preparo de terras agrícolas na baixada, visando limpeza de terrenos e floresta, renovação de pastagens, correção e adição de nutrientes ao solo para produção agrícola (Graça *et al.*, 2023), estes trazem impactos como a degradação das terras (Vieira *et al.*, 2023), suscetibilidade à erosão e desertificação, além de impactos negativos à dinâmica biológica (Rodrigues *et al.*, 2022).

Outrossim, a remoção da vegetação para atividades como agricultura e pecuária pode levar à degradação do solo, resultando em alterações nas propriedades físicas e químicas do mesmo, como densidade, porosidade, resistência à penetração e disponibilidade de água (Marchão *et al.*, 2007). Essas mudanças no solo podem reduzir a capacidade de infiltração de água, aumentando o risco de erosão, diminuindo a qualidade hídrica e a saúde dos ecossistemas aquáticos (Lanzanova *et al.*, 2007; Soares; Signor, 2021).

Os ecossistemas de água doce da APA enfrentam outras ameaças por contaminação, degradação, poluição (Souza Neto *et al.*, 2022), diminuição do fluxo

de água dos rios, assoreamento e represamento (Cantanhêde *et al.* 2016). A contaminação do solo e das águas subterrâneas por pesticidas e outros poluentes intensificam-se devido ao uso inadequado do solo e à contaminação dos aquíferos (Silva Anjinho *et al.*, 2018).

A construção de barragens para a prática da piscicultura e a construção de diques para dessedentação animal durante a estiagem (Ferreira; Farias Filho; Ferreira, 2023), transformam os campos inundáveis de um ambiente lótico em lântico. Ainda que nessa região de campos lacustres o fluxo dos rios seja caracterizado por fraca correnteza (Maranhão, 2023).

A expansão imobiliária acompanha o crescimento populacional, suprime os manguezais e coloca em risco todos os organismos desse ambiente (Ottoni *et al.*, 2021). Ademais, o aterramento, a grilagem de terras e o cercamentos dos campos naturais (Maciel; Masullo, 2023) geram conflitos sociais de terra, sobretudo disputas entre latifundiários e povos tradicionais como quilombolas, extrativistas e pescadores (Maciel; Masullo, 2023; Ferreira; Farias Filho; Ferreira, 2023).

Torna-se importante ressaltar que o Decreto Estadual nº 11.900 de 1991 designa limitações para o uso sustentável da APA, vedando atividades que causem mudanças significativas e efeitos prejudiciais nos campos naturais, áreas de bacias lacustres e ao meio ambiente como um todo (Maranhão, 1991). Logo, a prevalências desses tensores em campos ambientais podem levar a destruição ou degradação dos atributos ecológicos, e reduzem a viabilidade APA da Baixada Maranhense como Unidade de Conservação (Brasil, 2000).

A agricultura é uma prática fundamental para a economia dos municípios presentes dentro da APA da Baixada Maranhense. Garantindo não só prosperidade econômica às áreas urbanas, mas também sobrevivência das comunidades tradicionais como indígenas, quilombolas, ribeirinhos e extrativistas (Gonçalves *et al.*, 2019). De modo geral, os sistemas de produção na região são conduzidos ainda de maneira empírica e com baixo nível tecnológico, uma vez que a maioria da população é de baixa renda e se situam nas áreas rurais dos municípios (Menezes *et al.*, 2009).

O clima ainda é um fator determinante nos níveis de produção e a produtividade se baseia apenas no aproveitamento das áreas úmidas, logo é condicionada fundamentalmente pela variabilidade temporal e espacial das chuvas

(Lima *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2022). Muitas vezes com uso de cultivares inapropriadas e manejo inadequado das culturas (Zonta *et al.*, 2020).

Na agricultura, há a prevalência do sistema arcaico de roça no toco, como desmate e queima de áreas de vegetação para implementar os roçados (Costa; Sousa; Mattos Junior, 2021), e pousio do solo após as colheitas. O manejo do solo é realizado também de forma simples e, na maioria das vezes, sem uso de máquinas para qualquer atividade de preparo do solo, plantio e tratos culturais (Brasil, 2000).

Na região predomina a agricultura familiar, onde prevalece o cultivo de milho, feijão, melancia, cana-de-açúcar, arroz e mandioca. Sendo estas duas últimas responsáveis por mais da metade da área plantada e da quantidade produzida (Costa; Sousa; Mattos Junior, 2021). Ainda, segundo esses autores, a mandioca e o arroz com participação de 84,21% do total produzido e 68,83% da área plantada na microrregião da Baixada Maranhense (PAM/IBGE, 2019).

Os agricultores realizam o plantio de arroz nas áreas inundáveis pelas chuvas e sucedendo ao cultivo de outras culturas de ciclo curto, como o caupi aproveitando umidade no solo (Nunes, 2019; Zonta *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2022). Entre alternativas para a sucessão à cultura do arroz de sequeiro, há o cultivo da melancia como atividade geradora de emprego e renda. A produção dessa olerícola tende a ir para abastecimento dos mercados locais, sendo uma tradição dos agricultores familiares (Zonta *et al.*, 2020).

Em terrenos mais elevados é feita uma mistura de culturas em uma mesma área, que são plantadas todas juntas, atendendo seus diferentes ciclos. Lizarazo *et al.* (2020), pontuam que o cultivo misto é uma das formas mais antigas de produção agrícola sistematizada, envolvendo o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies ou cultivares no mesmo campo.

Contudo, a região da baixada possui mais de três terços de sua área destinada a cultivos de arroz inundável e mandioca. O cultivo da mandioca garante retorno, sendo uma cultura com alta adaptação edafoclimática com período de colheita flexível, sendo uma opção de cultivo de alta popularidade entre os agricultores familiares (Costa; Sousa; Mattos Junior, 2021).

O arroz é cultivado na técnica de policultura, destacando-se o consórcio com o milho e o feijão, sendo pouco frequente o cultivo isolado. Ele tem baixa utilização de insumos químicos, com uso de instrumentos simples e em pequenos estabelecimentos rurais (Costa; Sousa; Mattos Junior, 2021).

No entanto, em alguns municípios está havendo a criação e expansão de áreas para a monocultura do arroz em sistema vazante (Farias Filho, 2006), com maior nível tecnológico e uso de insumos, como é o caso das áreas mais alagadiças no município de Arari, próximo ao Rio Mearim (Lima *et al.*, 2020; Graça *et al.*, 2023) (Figura 3).

É importante ressaltar que os agricultores familiares são obrigados a adotarem o sistema consorciado/mistura de plantio ao invés do monocultivo por vários fatores, principalmente por conta da extensão de terreno disponível. São poucas as áreas de agricultura familiar, logo, os pequenos agricultores devem tirar o máximo proveito de culturas diversas (Costa; Sousa; Mattos Junior, 2021), para o consumo familiar e para a geração de renda (Pinheiro, 2019).

De modo geral, quanto menor o nível tecnológico do produtor maior é a diversidade de produção e uso intenso da terra, sendo que a diversificação da produção promove a sustentabilidade ambiental (Von Cossel, 2020) nas pequenas propriedades familiares.

Em muitas regiões há uma expansão das atividades pecuárias e antigas áreas de lavouras deixam de se transformar em capoeiras (vegetação campestre em recuperação) e se transformam em áreas de pasto. Muitos estudos destacaram a ligação direta entre a expansão da pecuária e o desmatamento na Amazônia Legal (Rivero 2009; Kohler *et al.*, 2021; Amaral *et al.*, 2022).

A pecuária na Baixada Maranhense é diversificada, envolvendo a criação de aves, suínos, caprinos, ovinos e bovinos. A criação de pequenos ruminantes, aves e suínos é realizada, predominantemente, na agricultura familiar (Silva, 2023).

A região é propícia para a criação de bubalinos para corte (Santos *et al.*, 2016) e a criação desse tipo de animal foi uma alternativa, pois os mesmos se adaptaram às mudanças climáticas da área (Abate *et al.*, 2018). Contudo, não há muitos dados na literatura sobre a criação desses animais em propriedades familiares no estado (Silva, 2023).

Assim como em todo o estado, a pecuária enfrenta desafios, como a necessidade de investimentos em infraestrutura produtiva e tecnologias, bem como a conscientização dos produtores sobre os benefícios da adoção de práticas tecnológicas (Dantas *et al.*, 2018).

A pecuária extensiva, com a criação de bubalinos, bovinos, caprinos, aves e suínos é atividade típica do sistema produtivo dessa região (Silva, 2023). A criação

de búfalos, por exemplo, leva à degradação do solo e vegetação devido ao seu peso e hábito herbívoro. Tendo como efeitos a remoção do relvado, compactação do solo (Finlayson *et al.*, 1997). Além disso, há a contaminação da água pelas fezes e urina, o que reduz a qualidade dos sistemas hídricos (Finlayson *et al.*, 1997; Santos, 2015, Silva, 2020).

Segundo Tavares Filho *et al.* (2020), o pastejo contínuo em áreas vulneráveis pode acelerar a desertificação e a degradação ambiental, comprometendo a qualidade do solo e da água. Lanzasova *et al.* (2007) também citam que a compactação do solo devido a práticas intensivas, como elevada taxa de lotação animal, pode reduzir a macroporosidade e a infiltração de água, impactando a disponibilidade de água no solo. A qualidade da água também pode ser afetada, com a degradação resultante da remoção da vegetação, levando a uma diminuição na qualidade da água de nascentes (Donadio *et al.*, 2005).

Contudo, a agricultura praticada por comunidades tradicionais também desempenha um papel fundamental na preservação do ambiente e na prevenção da degradação dos recursos naturais. Essas comunidades, historicamente ligadas à terra e à natureza, desenvolvem práticas agrícolas sustentáveis que se adaptam às características locais, como solo e clima (Lima *et al.*, 2021). A relação estreita dessas comunidades com a natureza resulta em uma convivência harmônica e respeitosa com o meio ambiente, onde os recursos naturais são utilizados de forma consciente e equilibrada (Gonçalves *et al.*, 2018).

A preservação ambiental por parte das comunidades tradicionais é reforçada pela valorização do conhecimento tradicional e pela manutenção de práticas ancestrais, que contribuem para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas locais (Thiago, 2014). Essas comunidades, muitas vezes excluídas dos processos de desenvolvimento, defendem a agricultura familiar, a organização social local, a participação da população e a busca de soluções endógenas para o desenvolvimento regional (Borsatto *et al.*, 2007).

De modo geral, a agropecuária dessa região é familiar e a produção agrícola é destinada à subsistência (Zonta *et al.*, 2020). O baixo desenvolvido da região se dá por conta de heranças estruturais históricas de concentração de terras e o abandono de microprodutores/ minifúndios e não-proprietários pela política dos diferentes governos, o que levam a grande fragilidade da agricultura familiar no estado (Mesquita 2011; Silva *et al.*, 2022).

4.7 Caracterização da APA da Baixada Maranhense

4.7.1 Aspectos climáticos

A APA da Baixada Maranhense localiza-se em quase toda a sua totalidade na microrregião de nome homônimo, no norte do Estado do Maranhão, e possui 17.750,356 km² (ISA, 2023). A APA é gerida pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e de Recursos Naturais do Maranhão, órgão vinculado ao Governo do Estado (ISA, 2023).

A APA abrange os municípios de Conceição do Lago-Açu, Porto Rico do Maranhão, Turilândia, Altamira do Maranhão, Olho d'água das Cunhãs, Bacurituba, Cajapió, Cajari, Viana, Bacabal, Lago verde, Alcântara, Matinha, Presidente Sarney, Peri Mirim, São Luís, Matões do Norte, São Vicente Ferrer, Pio XII, Santa Inês, Mirinzal, Pedro do Rosário, Pinheiro, Santa Helena, Monção, Turiaçu, Bela Vista do Maranhão, Guimarães, São Bento, Central do Maranhão, Bom Jardim, Pindaré-Mirim, Vitória do Mearim, Palmeirândia, São João Batista, Bacabeira, Serrano do Maranhão, Penalva, Arari, Bequimão, São Mateus do Maranhão, Igarapé do Meio, Olinda Nova do Maranhão, Anajatuba, Santa Rita, Cedral e Satubinha (ISA, 2023) (Figura 1).

A área de estudo foi criada pelo Decreto nº 11.900, de 11 de junho de 1991, tendo como finalidade reger a maneira como o solo é utilizado e ocupado, gerir a exploração dos recursos naturais, bem como regulamentar as práticas específicas de pesca e caça, e a criação de búfalos, de forma a não prejudicar os equilíbrios naturais dos ecossistemas. A área também foi criada objetivando preservar a diversidade biológica das espécies, manter os níveis de qualidade das águas e evitar a perturbação dos locais de refúgio utilizados pelas aves migratórias (Maranhão, 1991).

A criação da APA da Baixada Maranhense tem impactos sociais significativos, beneficiando povos tradicionais, como comunidades quilombolas, extrativistas e indígenas, de diversas maneiras. A delimitação da APA proporciona a essas comunidades a preservação de seus modos de vida tradicionais, o acesso a recursos naturais para subsistência e a proteção de seus territórios ancestrais (Barros *et al.*, 2021; Amorim *et al.*, 2022). Assim, há a valorização da cultura local, o fortalecimento da identidade dessas comunidades e a garantia de seus direitos

territoriais, contribuindo para a promoção da justiça social e da sustentabilidade ambiental na região.

O clima da região da baixada maranhense, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, que corresponde a um Clima Tropical com estação seca no inverno. Apresenta dois períodos climáticos, sendo um chuvoso, que vai de janeiro a junho, com maior intensidade entre abril e maio, e um de estiagem, de julho a dezembro (Köppen, 1936).

A precipitação pluviométrica média anual situa-se entre 1.700 e 1.900 mm, com cerca de 91% do total concentrado na estação chuvosa. A umidade relativa do ar varia de 80% a 84% e a temperatura média anual varia de 25°C a 26,5°C. No período de chuvas a temperatura do ar média é de 26,1°C e durante o período seco de 26,9°C (IMESC, 2013; Lima *et al.*, 2022; Graça *et al.*, 2023). A sazonalidade local influencia a paisagem, resultando em áreas alagadas com uma diversidade de vida selvagem (IMESC, 2013; Amorim *et al.*, 2022).

A APA encontra-se inserida na zona de transição entre os biomas Amazônia (correspondente a 95,23% da APA) e Costeiro e Marinho (correspondente a 4,77% da APA) (Ramsar, 1997). Ademais, os babaçuais ou cocais são um tipo de ecossistema característico nessa região (Brasil, 2000; Dutra *et al.*, 2008).

4.7.2 Litologia e hidrografia

A Baixada Maranhense está inserida no Domínio Geomorfológico “Golfão e Baixada Maranhense”, que consiste na grande reentrância central do litoral do estado do Maranhão. A área é uma depressão natural, rebaixada por eventos naturais de deposição geológica. O que a levou a condições pedogenéticas associadas a processos de sedimentação tanto fluvial quanto marinha, que são comuns nos Aluviões Fluviomarinhas na região central do litoral maranhense (Batistella *et al.*, 2013).

A área de estudo é composta pelas bacias dos rios Turiaçu, Pericumã, Mearim e Pindaré, os dois últimos são uns dos principais rios do estado do Maranhão (Costa *et al.*, 2021) (Figura 2). Assim, toda a combinação de fatores hidrológicos, hidrográficos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos possibilitaram a formação de um estuário composto por campos inundáveis ou não, pântanos e

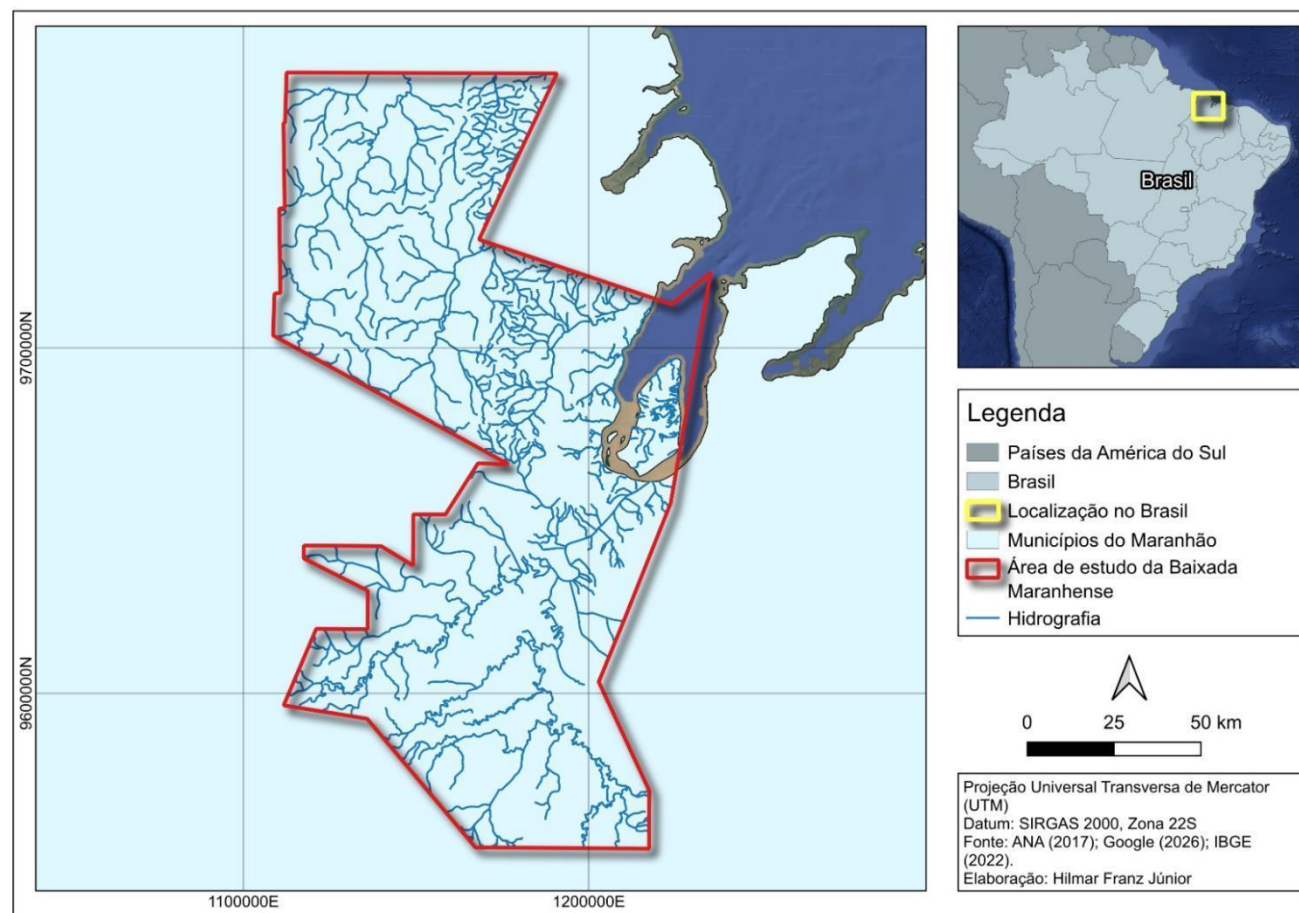
lagoas, morros, tesos (ilhas de terras firmes), matas de galeria e manguezais (Brasil, 2000; Ramsar, 2020).

Durante as cheias, ocorre o transbordamento dos rios lóticos, que se interligam com os lagos, formando-se uma extensa bacia lacustre, sendo a água drenada para o mar durante esse período. Os rios dessa região são típicos de planícies aluviais, caracterizados por baixo declive nos trechos médio e baixo (Brasil, 2000; Ramsar, 2020; Lima *et al.*, 2022).

O conjunto de planícies aluviais da Baixada Maranhense proporcionam locais de repouso, alimentação e reprodução para mais de 20 espécies de aves aquáticas residentes ou migratórias, que utilizam a região como ponto de alimentação e reprodução e várzeas com lagos temporários e permanentes com elevados estoques pesqueiros (Cardoso *et al.*, 2019; Ramsar, 2020). As planícies aluviais da Baixada Maranhense são importantes para a conservação da biodiversidade, abrigando mamíferos vulneráveis, servindo como rota para peixes migradores e como refúgio para répteis e mamíferos nativos (Ramsar, 2020). Além disso, os corpos de água doce apresentam alta produtividade, sustentada por intensos ciclos biogeoquímicos (Mitamura *et al.*, 2012).

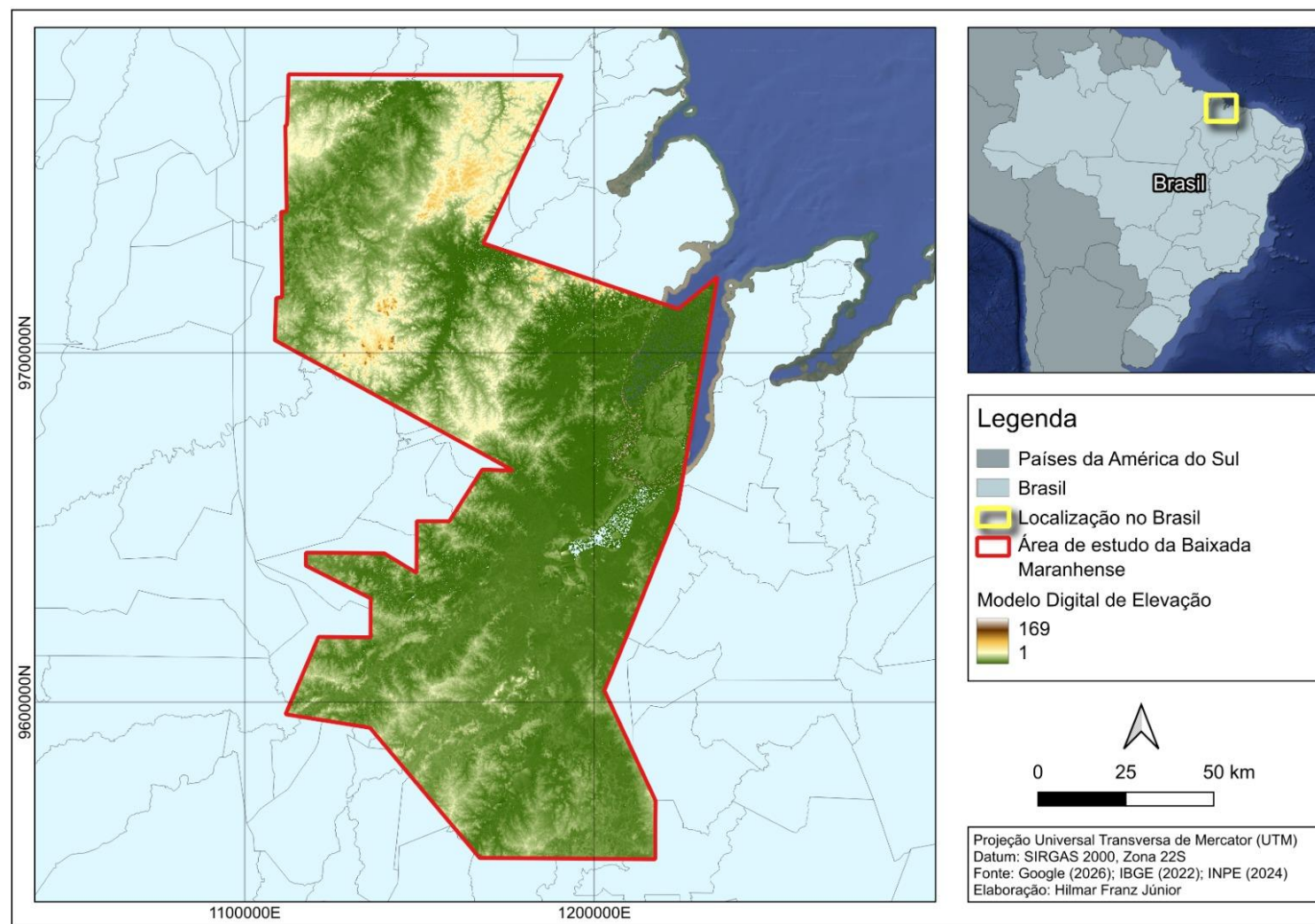
A distribuição altimétrica condiciona a dinâmica ambiental da APA, uma vez que as áreas de menor altitude estão associadas a planícies de inundação, maior deposição de sedimentos e elevada influência hidrológica. Em contrapartida, os setores com maiores cotas altimétricas ao norte apresentam maior controle sobre o escoamento superficial e a organização da drenagem, influenciando o uso e a ocupação do solo conforme pode ser observado na Figura 3. Além disso das bacias hidrográficas inseridas na APA, a declividade exerce influência direta sobre a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre o risco de erosão hídrica (Figura 4).

Figura 2 - Mapa da hidrografia da área da APA da Baixada Maranhense.



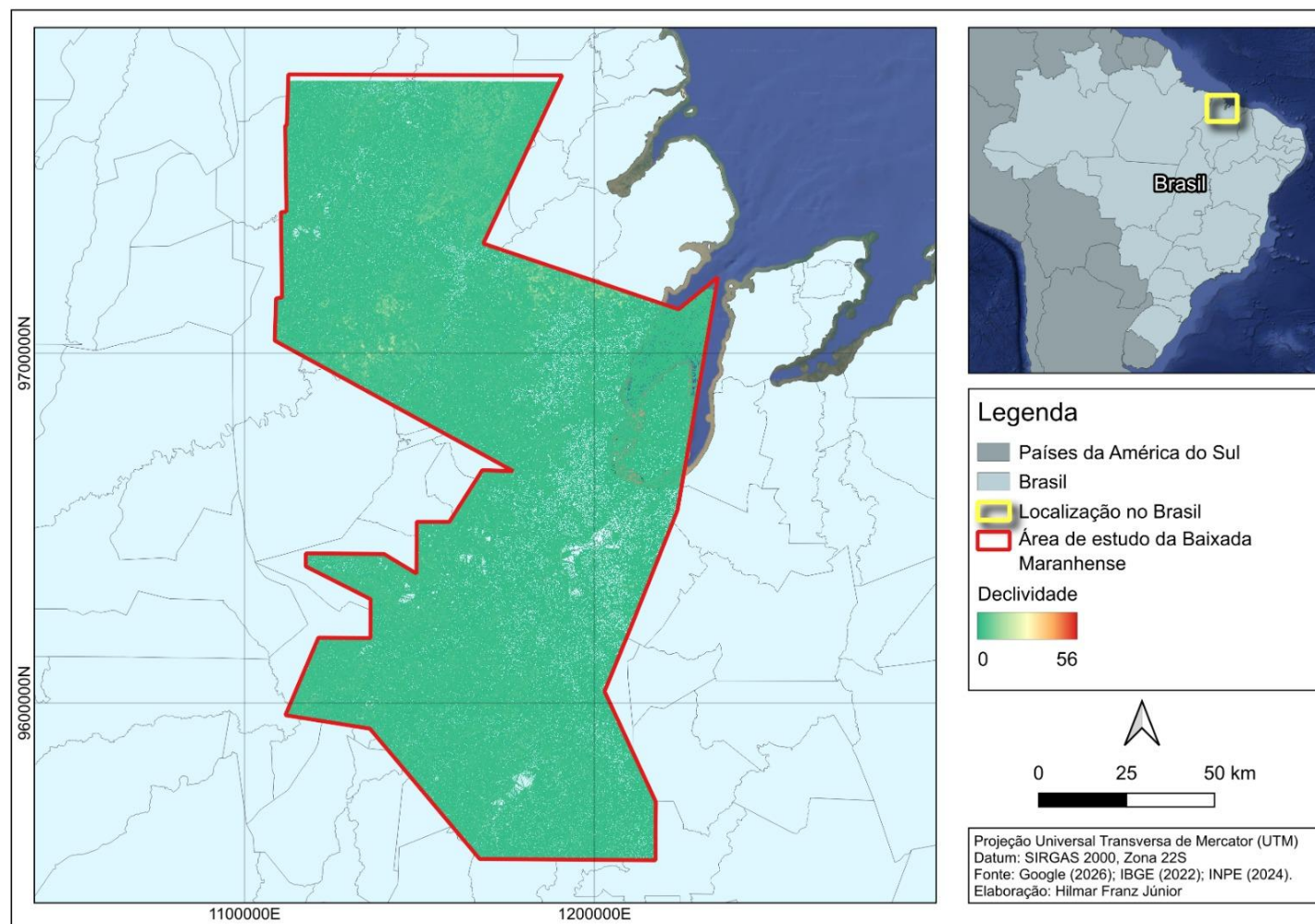
Fonte: Autor, 2026.

Figura 3 - Mapa hipsométrico



Fonte: Autor, 2026.

Figura 4 - Mapa de declividade.



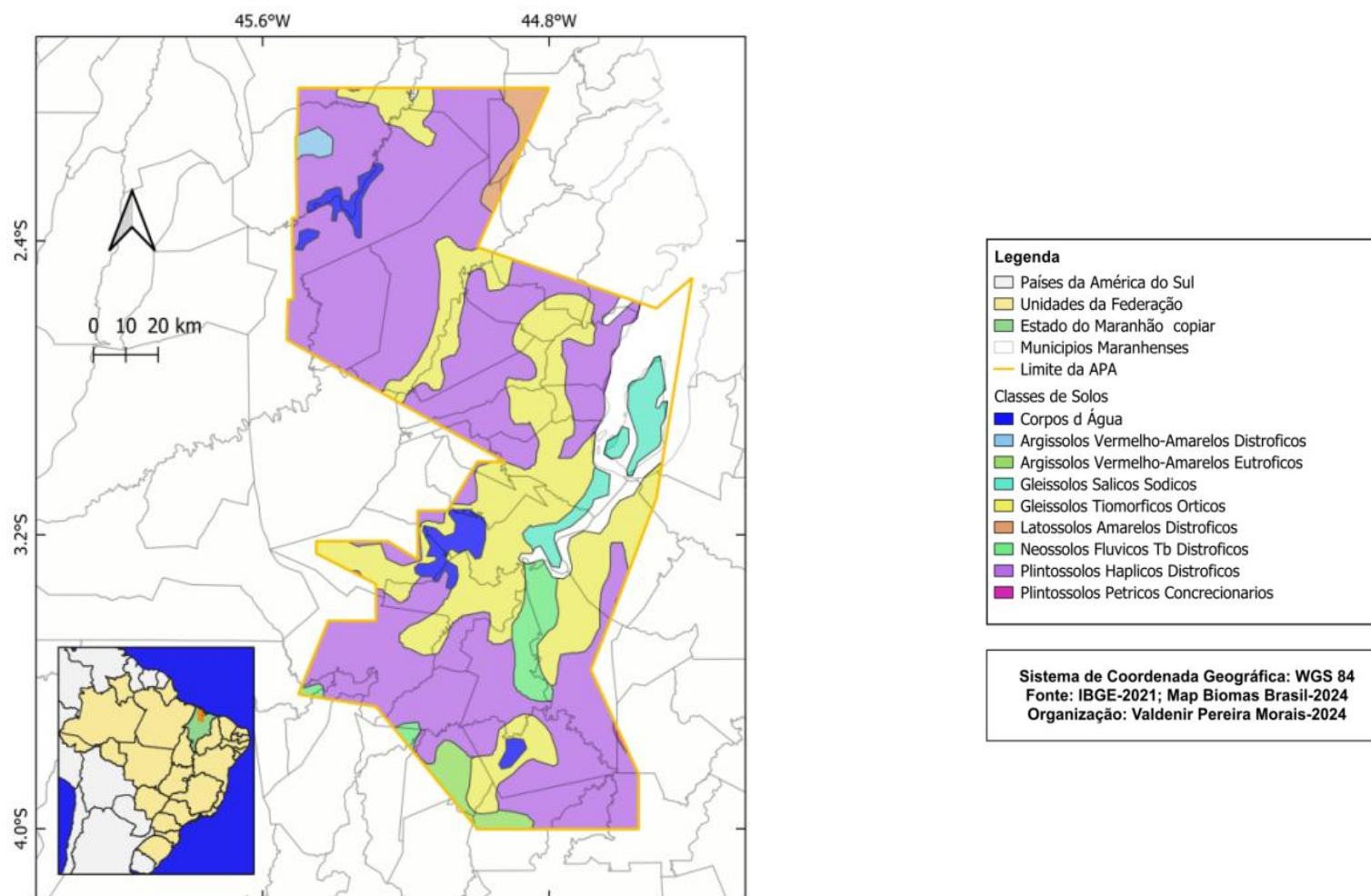
Fonte: Autor, 2026.

De modo geral, a área apresenta baixa suscetibilidade a esse tipo de processo, em função de seu relevo predominantemente plano e de cotas altimétricas próximas ao nível do mar. Essa condição favorece, durante o período de estiagem, a ocorrência do fenômeno da pororoca, resultante do encontro entre as correntes fluviais e as águas oceânicas, que gera a formação de ondas características, esta por sua vez possui alta força erosiva (Santos, 2019; Lopes Almeida *et al.*, 2020).

A região central apresenta altitudes intermediárias, entre 40 m, 20 m e 0 m, caracterizando uma área de transição entre as planícies costeiras e os setores mais elevados. O relevo plano a suavemente ondulado condiciona o escoamento superficial e favorece a conectividade entre sistemas fluviais e áreas alagáveis. Na porção norte da APA concentram-se as maiores altitudes, variando entre 80 m, 40 m e 20 m. Esses níveis altimétricos indicam maior energia do relevo, o que pode intensificar o escoamento superficial e os processos erosivos, especialmente quando associados a usos inadequados do solo.

Dentro da APA são encontradas pelo menos 8 classes predominantes de solos e associações, sendo os mais significativos em área de extensão os plintossolos, gleissolos, argissolos e suas associações (Figura 5) (SIBCS, 2018; Santos *et al.*, 2025).

Figura 6 - Mapa da localização das classes de solos da área de estudo.



Fonte: Autor, 2026.

Os Plintossolos estão distribuídos principalmente nas regiões sul e norte da APA. De modo geral, estes possuem uma camada de plintita, um agregado mineral constituído por óxidos de ferro e alumínio, o que pode afetar a permeabilidade e a aeração (Panini *et al.*, 2024). Geralmente, apresentam baixa taxa de drenagem, criando desafios físicos para a agricultura devido à resistência dessas partículas (Farias Filho *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2022). Esses solos podem ser facilmente observados em algumas áreas dos municípios de Pinheiro e Central do Maranhão; nesses locais, o excesso de plintita confere um aspecto raso ao solo, não sendo viável a produção agrícola em áreas com pequenos relevos.

Os Gleissolos, presentes principalmente na região central, ocupam quase metade do território da UC, concentrando-se próximos ao chamado Golfão Maranhense. Em razão da proximidade do lençol freático à superfície, ocorre a saturação permanente dos horizontes do solo, característica de ambientes com elevada pluviosidade, favorecendo condições anaeróbicas (Almeida *et al.*, 2020; Freitas, 2023). Esses solos têm grande importância agrícola, especialmente na rizicultura (Freitas, 2023), como é o caso da APA, que possui essa atividade agrícola sob a forma de monocultura nos municípios de Viana, Vitória do Mearim e Arari (Garcia; Ribeiro; Alves, 2022).

Os Argissolos estão presentes em menor extensão no extremo sul da Baixada. São solos que têm uma camada de argila acumulada no horizonte B (B textural) (Fernandes *et al.*, 2023; Giarola *et al.*, 2001). Têm um papel crucial em práticas de cultivo devido ao potencial de fertilidade. A taxa de argila é um fator determinante no comportamento físico e químico desses solos, afetando suas propriedades de retenção de água e nutrientes (Fernandes *et al.*, 2023). Dependendo do subgrupo e do nível de manejo, são tipicamente considerados aptos para culturas anuais, perenes, pastagens e silvicultura, desde que as limitações sejam gerenciadas com práticas conservacionistas e manejo adequado.

De modo geral, os solos da unidade de conservação, por serem de várzea, são pouco consolidados, com grande retenção de água, sendo influenciados significativamente pelo ciclo das precipitações (Silva *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2022). Os repetitivos ciclos de seca e chuva, típicos das zonas úmidas (saturação e secagem), tendem a aumentar a acidez desses solos (Moura, 2004; Araújo *et al.*, 2019). Assim, os solos da região são predominantemente oriundos de formações sedimentares, com elevado grau de intemperismo, alta acidez e baixas capacidades

de troca catiônica e saturação por bases, variando em textura de arenosa a argilosa (Farias Filho et al., 2020).

Apesar das diferentes classificações desses solos de várzea, eles apresentam certo grau de aptidão agrícola (Teske et al., 2015), especialmente para culturas menos exigentes, como gramíneas, a exemplo do arroz (Garcia et al., 2022), tubérculos como a mandioca e leguminosas como o feijão-caupi (Martins, 2020), além de pastagens naturais e plantadas, amplamente comuns na região.

Ademais, relatório técnico de pedologia do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Estado do Maranhão, para o Bioma Amazônico, no qual a APA está inserida, indica que cerca de 45% das terras da área apresentam classe de aptidão boa para pecuária, enquanto 17% não são recomendadas. Para a agricultura, 16% apresentam classe de aptidão regular (Araújo; Dias; Catunda, 2019).

5 CAPÍTULO I - Dinâmicas de uso e cobertura da terra em área úmida da Amazônia legal: Estudo de caso em sítio Ramsar no nordeste do Brasil

5.1 Introdução

A Área de Proteção da Baixada Maranhense (APA) é uma unidade de conservação (UC) de uso sustentável dada a sua rica biodiversidade, importância ecológica e econômica (Maranhão, 1991). Como se encontra entre biomas como a Floresta Amazônica, o Cerrado e a Caatinga, apresenta grande diversidade de habitats e uma alta diversidade ecológica de peixes, aves, mamíferos e plantas (Matavelli *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2017).

A APA é caracterizada por ser uma zona úmida de importância internacional, classificada como sítio Ramsar (Ramsar, 1997), prestando importantes serviços ecossistêmicos e auxiliando na regulação do clima global por meio da regulação climática e manutenção de estoques de carbono (Nahlik; Fennessy, 2016; Ahlström *et al.*, 2017). Contudo, a ação antrópica, sobretudo o desmatamento, incêndios, queimadas e o avanço da agropecuária vem causando impactos significativos em seus recursos naturais, que ameaçam também a biodiversidade local (Filho; Bueno, 2016; Silva *et al.*, 2019).

Mudanças espaciais intensas no uso e cobertura da terra de áreas úmidas representam uma ameaça ao planeta devido às alterações de serviços ecossistêmicos prestados. Sobretudo em relação a proteção de nascentes, provisão de água potável, regulação do ciclo da água, liberação do carbono do solo e a manutenção da biodiversidade (Silva *et al.*, 2019; Saldanha *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2023), afetando a regulação do clima.

Estudos em sítios Ramsar no interior da Turquia (Dervisoglu, 2021), e Baño de San Ignacio/México (Medina *et al.* 2023), Villa Baja do sítio Los Pântanos no Peru (Macedo *et al.*, 2021) e na Laguna de Llanquanelo na Argentina (Palma Leotta *et al.*, 2019) evidenciam que as mudanças no uso da terra não apenas contribuem para a perda de carbono orgânico do solo (COS), mas também para o declínio de habitats críticos, a redução de peixes e a fragmentação de corredores ecológicos essenciais para a migração de aves.

A APA está sob tutela de diferentes instrumentos jurídicos que se sobrepõem uns aos outros. Ela está inserida na Amazônia Legal, sendo esta uma área

administrativa decretada em 1953 objetivando planejar e promover o desenvolvimento da região amazônica (Yanai *et al.*, 2016; Brasil, 2021).

A APA também é uma unidade de conservação estadual estabelecida em 1991, tendo como finalidade gerir a exploração sustentável dos recursos naturais (Maranhão, 1991). Contudo, não possui um plano de manejo, instrumento fundamental para uma unidade de conservação e apenas em 2020 foi estabelecido o Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônico do Estado do Maranhão, nº 11.269, no qual há elementos mais completos para o seu uso sustentável (Araújo; Dias; Catunda, 2019; Maranhão 2021).

Por fim, em 2000 foi denominada como Sítio Ramsar, zona úmida de relevante importância global, o que oferece vantagens legais e ambientais significativas, como a obtenção de recursos financeiros e apoio técnico para a conservação e gestão da área (Ramsar Convention, 1971).

A designação como sítio Ramsar fortalece a legislação ambiental existente, uma vez que as áreas protegidas possuem um regime jurídico que limita atividades potencialmente prejudiciais, como a exploração predatória de recursos naturais. Logo, esse reconhecimento é particularmente relevante, pois alinha os sítios Ramsar com políticas globais de conservação, promovendo a proteção das zonas úmidas e o uso sustentável de seus recursos. (Ramsar, 2022; Costa; Rego, 2024; Pinheiro; Souza, 2022).

Outras jurisdições previstas no Código Florestal Brasileiro, especialmente na Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), também se aplicam à APA, como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal (RL). A APP refere-se a áreas protegidas permanentemente, como margens de rios, enquanto a RL corresponde à área localizada no interior de uma propriedade rural destinada à preservação ambiental (Schweizer *et al.*, 2019).

Ademais, a legislação ambiental brasileira enfrenta desafios na sua implementação (Nery *et al.*, 2021) e monitoramento dessas áreas. Nesse contexto, o uso de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento são importantes ferramentas para o acompanhamento do uso e cobertura dessas áreas a fim de detectar mudanças.

Oliveira *et al.* (2021) destacam que a utilização de ferramentas de geotecnologia, tem se tornado uma prática comum em levantamentos e mapeamentos ambientais, permitindo uma avaliação mais precisa das áreas

adjacentes a cursos d'água e contribuindo para a conservação das zonas úmidas por meio do monitoramento (Silva *et al.*, 2019; Dourado *et al.*, 2019), onde a conservação da biodiversidade é uma prioridade (Gonçalves *et al.*, 2020). Assim, tais ferramentas auxiliam no diagnóstico ambiental de diferentes regiões além da identificação de conflitos de uso da terra, possibilitando averiguar diferentes graus de preservação, conservação ou degradação para a implementação de políticas conservacionistas eficazes.

Diante do exposto, este estudo visa realizar uma análise espaço-temporal dos usos e da cobertura da terra e do carbono orgânico do solo na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Com isso, pretende-se fornecer informações que auxiliem na preservação ambiental e no manejo sustentável da região, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais. Além disso, os resultados visam expandir o conhecimento científico sobre os impactos ambientais na Baixada Maranhense, fornecendo uma base sólida para estudos futuros.

5.2 Metodologia

Utilizou-se a base de dados do MapBiomas (MAPBIOMAS, 2023). A partir dessa base, foram baixadas séries históricas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985, 1995, 2000, 2015 e 2022. Para a elaboração dos mapas de COS, foram utilizadas as séries dos anos de 1985, 1995, 2000, 2005 e 2021; os dados foram provenientes do MapBiomas Solos. Essas séries temporais foram escolhidas por representarem momentos estratégicos de mudança no uso do solo, permitindo acompanhar a evolução da paisagem ao longo de quase quatro décadas.

Utilizou-se também shapefiles (formatos vetoriais contendo dados geoespaciais) das malhas viária e de hidrografia, provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), da Agência Nacional de Águas (ANA, 2022) e do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2026), respectivamente. Utilizou-se o software QGIS, versão 3.34 Prizren (QGIS Development Team, 2023), para a elaboração dos mapas e extração dos dados numéricos e percentuais da área de estudo. Os mapas foram elaborados sob sistema de coordenadas geográficas, datum WGS 84.

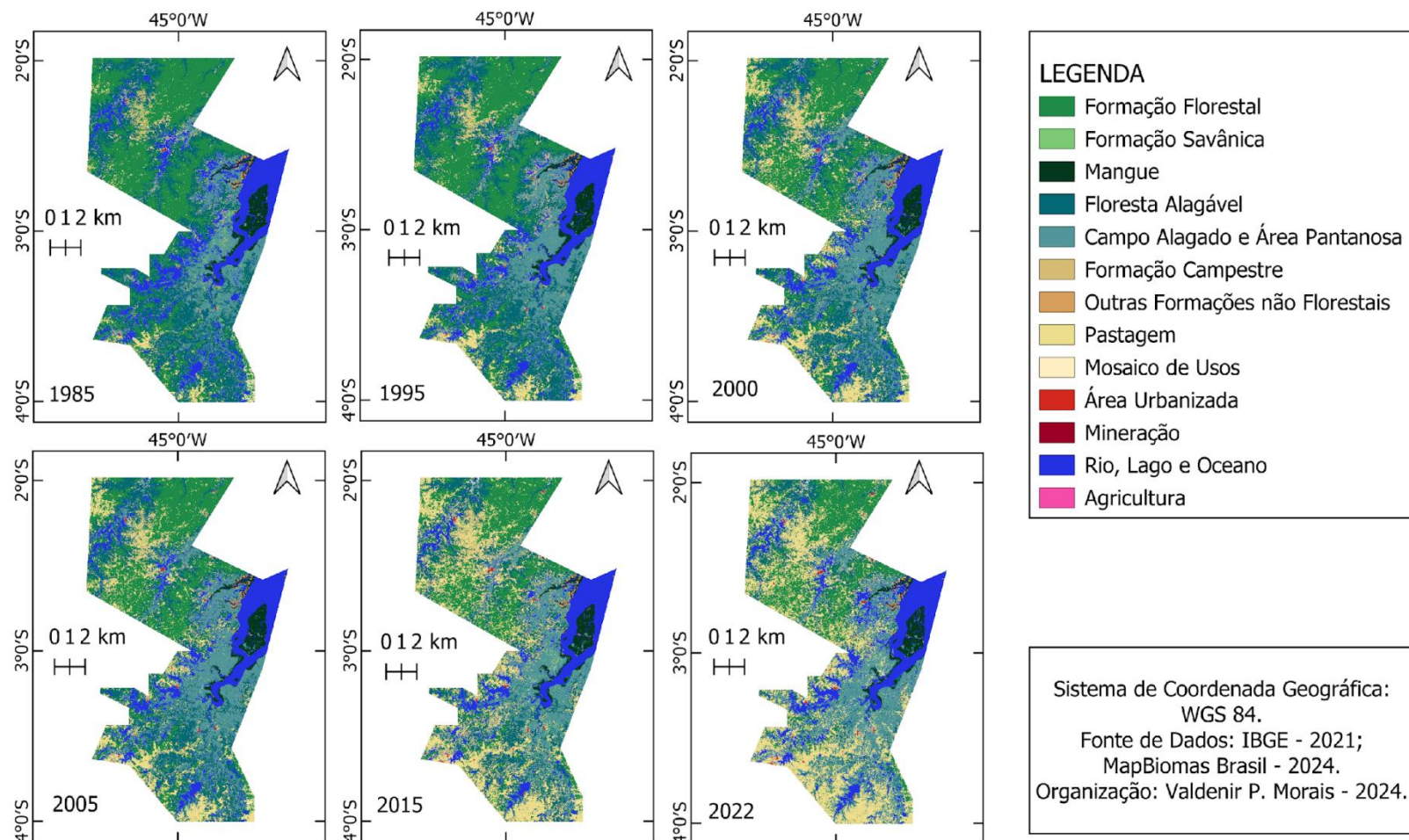
Também foram usadas as ferramentas de Inteligência Artificial: ChatGPT, Scite, Skywork AI e Consensus. Detalhes do uso de cada IA encontram-se no apêndice I.

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Uso e cobertura da terra

A análise dos dados espaço temporais de uso e cobertura da terra na APA Baixada Maranhense entre 1985 e 2022 revela um cenário de transformações significativas, com impactos socioambientais complexos. A figura 6 apresenta a evolução da ocupação espacial e o quadro 3 os percentuais de diferentes tipos de formação de uso e cobertura do solo na ao longo dos anos 1985, 1995, 2000, 2005, 2015 e 2022.

Figura 6 - Mapa do uso e cobertura da terra na APA da Baixada Maranhense nos anos de 1985, 1995, 2000, 2005, 2015, 2022).



Fonte: Autor, 2026.

Quadro 3 - Percentual de uso e cobertura da terra na APA da Baixada Maranhense nos anos de 1985, 1995, 2000, 2005, 2015, 2022).

Classe	Tipo de formação	1985	1995	2000	2005	2015	2022
Florestas	Formação Florestal	29,49%	27,49%	25,20%	23,71%	20,56%	18,65%
	Formação Savânica	1,10%	0,25%	0,24%	0,20%	0,99%	0,22%
	Mangue	3,10%	3,18%	3,07%	3,01%	2,93%	2,81%
	Floresta Alagável	30,18%	29,63%	27,30%	25,39%	22,44%	13,45%
Formação natural não florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa	14,10%	17,89%	19,17%	20,23%	17,54%	22,64%
	Formação Campestre	2,25%	2,32%	1,74%	1,42%	3,07%	0,55%
	Outras Formações não Florestais	0,28%	0,26%	0,30%	0,32%	0,33%	0,30%
Agropecuária	Pastagem	3,12%	5,67%	9,48%	12,27%	20,04%	26,40%
	Agricultura	0%	0%	0%	0,05%	0,15%	0,06%
	Mosaico de Usos	0,31%	0,23%	0,20%	0,17%	0,11%	0,10%
Área não vegetada	Área Urbanizada	0,08%	0,13%	0,18%	0,22%	0,31%	0,35%
	Mineração	0%	0%	0%	0%	0,01%	0,01%
Corpos d'água	Rio, Lago e Oceano	16%	12,95%	13,12%	13,02%	11,52%	14,46%

Fonte: Autor, 2026.

De acordo com os resultados das séries espaço temporais analisadas, são observadas tendências significativas de mudanças com diminuição das classes florestais, sobretudo na formação florestal. Nota-se uma tendência geral de redução na cobertura vegetal florestal, que passou de 29,49% em 1985 para 18,65% em 2022, havendo redução de 36,75% em relação ao cenário inicial.

A floresta alagável também sofreu declínio expressivo, de 30,18% para 13,45% no mesmo período, que pode ser atribuído ao desmatamento, incêndios, queimadas e avanço da agropecuária. A combinação de mudanças climáticas, conversão de grandes áreas de floresta em terras agrícolas e de pastagem e a degradação florestal impulsionada por incêndios está levando a Amazônia em direção a pontos de inflexão irreversíveis (Hirota *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2020).

Entre 2015 e 2022, observou-se uma significativa redução das áreas de formação florestal e floresta alagável, mesmo sob a vigência do novo Código Florestal. Essas transformações são preocupantes, pois essas áreas desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade e na manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais (Ferreira, 2023). Sobretudo nessa que é caracterizada por ser uma zona úmida de importância internacional (Ramsar, 2020).

Prestes *et al.* (2022) destacam que a Amazônia tem sofrido com a degradação de suas áreas florestais, com a conversão de extensas áreas de floresta em terras secundárias de baixa diversidade de espécies. Além disso, essa degradação e a perda de biodiversidade nesse bioma têm implicações não apenas locais, mas também globais, afetando não só a estabilidade climática (Ellwanger *et al.*, 2020).

A interação entre desmatamento e seca na Amazônia tem sido destacada por Staal *et al.* (2020), com evidências de que o desmatamento reduz a precipitação regional, enquanto as secas facilitam o próprio desmatamento (Köhler *et al.*, 2021; Tavares *et al.*, 2023). A perda dessas formações florestais tem impactos significativos na estrutura das florestas e pode levar à diminuição da capacidade de armazenamento COS a longo prazo (Rappaport *et al.*, 2018).

Segundo Nahlik e Fennessy (2016), as áreas úmidas desempenham um papel significativo no armazenamento de carbono, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas.

Outrossim, o estado do Maranhão não possui uma política de restauração florestal, está entre os estados mais atrasados do Brasil na implementação do Código Florestal (Chiavari; Lopes, 2019), o que causa uma severa ameaça no contexto de sustentabilidade da APA da Baixada Maranhense.

A expansão da classe agropecuária tende a recair sobre as classes florestais, (Morais *et al.*, 2023), sobretudo para áreas de pastagem, que aumentaram de 3,12% em 1985 para 26,40% em 2022, um aumento de 846,1%, o que sugere um avanço da pecuária na região. Isso se deve ao fato de que os 21 municípios da APA, têm sua economia baseada em atividades nesse setor.

De 1974 a 2017, a produção pecuária no Maranhão já demonstrava significativos aumentos, principalmente pela criação de animais como frangos, bovinos, bubalinos e suínos, sendo comum a prática da pecuária extensiva (Martins, 2019). Quanto a agricultura, de modo geral, houve uma elevação substancial em 2015 e uma redução em 2022.

Esse efeito é explicado pela substituição de áreas de lavouras de pequenas propriedades familiares, conhecidas como “roças” para áreas de pastagem. Em regiões como a Amazônia Legal, essa mudança é conhecida como "pecuarização da pequena propriedade", onde lavouras de subsistência são gradualmente substituídas por pastagens. Isso se deve à busca por maior rentabilidade, mas que contribui para a degradação do solo e a redução da biodiversidade local (Alves, 2008).

Essa pressão está diretamente relacionada a fatores socioeconômicos da região que conta com baixos níveis de índice de desenvolvimento humano (IDH). A intensificação da produção agropecuária é apontada como uma via eficaz para alcançar melhores resultados econômicos (Muzari *et al.*, 2014).

A expansão da agricultura e da pecuária na Amazônia Maranhense, entre 1985 e 2022, foi impulsionada por diversos fatores interligados, incluindo o avanço de culturas comerciais voltadas tanto ao mercado interno quanto ao externo, resultando em impactos sociais e ambientais (Meyfroidt *et al.*, 2014). Destaca-se que a agricultura não era detectada nas imagens de satélite nos anos 2000, passando a apresentar, em 2022, um percentual de 0,15% na área de estudo.

Embora a classe agropecuária tenha crescido, isso não reflete necessariamente o desenvolvimento da região, pois prevalece o baixo nível tecnológico e a falta de assistência técnica (Silva *et al.*, 2021), fatores cruciais para os baixos índices produtivos, que limitam o acesso dos produtores a inovações

tecnológicas (Rodrigues *et al.*, 2020). Estudos já destacam desigualdade no uso de tecnologias agrícolas entre os municípios do estado (Souza, Khan, 2023).

Além disso, estudos anteriores apontaram o Maranhão como o estado com a menor pontuação no Índice de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Legal (Vale; Toledo; Vieira, 2018). Logo, a modernização da agricultura e da pecuária no Maranhão ainda requer maior investimento em assistência técnica e extensão rural (Santos *et al.*, 2020), para melhores índices produtivos e melhoria da sustentabilidade agrícola.

A pesquisa de Telles *et al.*, (2021) destacam que práticas de baixo carbono na intensificação da pecuária podem aumentar a produtividade de forma sustentável. No entanto, a agricultura familiar no Maranhão, que possui menor tecnificação, enfrenta dificuldades em competir com grandes propriedades em termos de produtividade e qualidade. Goñi *et al.*, (2022) apontam que a baixa adesão a técnicas modernas torna os agricultores familiares mais vulneráveis, limitando seu acesso a mercados mais amplos.

Dantas *et al.* (2018) mostram que a modernização no Maranhão é desigual, com muitos produtores familiares ainda utilizando métodos tradicionais, o que afeta a competitividade de seus produtos. Enquanto a monocultura gera altos rendimentos, ela pode levar à degradação do solo e perda de biodiversidade (Oliveira *et al.*, 2020). Em contraste, a agricultura familiar bem manejada, com apoio técnico, pode promover a conservação dos recursos naturais, conforme Pifano (2023), que sugere que a diversidade agrícola aumenta a resiliência ecológica.

Na classe de formação natural não florestal, nota-se que houve um aumento significativo do Campos Alagados e Áreas Pantanosas de 14,10% para 22,64%. Tal efeito, pode ser justificado por uma combinação de fatores naturais e antrópicos como mudanças climáticas, desmatamento, compactação do solo e obras de infraestrutura.

A alteração do uso do solo, frequentemente associada a ações antrópicas, tem impacto significativo na dinâmica dos ecossistemas aquáticos e úmidos. A maioria dos municípios da APA não conta com rede de esgoto, sendo os efluentes despejados em rios e córregos que drenam para os campos inundáveis. Oliveira Santos *et al.* (2020) observam que a urbanização pode levar ao aumento da concentração de poluentes e à degradação da qualidade da água, mas também pode favorecer a formação de áreas úmidas devido ao acúmulo de água em

superfícies impermeabilizadas. A degradação de áreas adjacentes e a fragmentação da vegetação podem alterar a dinâmica hidrológica da paisagem, favorecendo o aumento do escoamento superficial e a conexão hidrológica entre áreas úmidas, o que pode contribuir para a expansão de campos alagados e áreas pantanosas. Coelho *et al.*, (2017) destacam que, embora a contaminação e degradação de áreas próximas aumentem a vulnerabilidade dos ecossistemas aquáticos, elas também podem promover a resiliência de certas áreas úmidas, que se adaptam a essas alterações.

É importante ressaltar que aumento das temperaturas e a alteração dos padrões de precipitação podem favorecer a expansão de áreas pantanosas, conforme observado por (Santos Carvalho *et al.*, 2020), que discutem como as mudanças climáticas podem afetar a hidrologia local e, conseqüentemente, a distribuição de ecossistemas úmidos. Ademais, a APA estar suscetível a regimes de precipitação alterados, com verões mais secos e invernos mais úmidos (Brolsma *et al.*, 2010).

Além disso, remoção da vegetação florestal e redução da porosidade do solo resulta na sua compactação (Chauvel; Grimaldi; Tessier, 1991) como observado em municípios da APA como São Vicente Férrer (Ribeiro, 2024) e Anajatuba (Muniz; Neto, 2020), o que pode culminar em redução da infiltração da água, maior acúmulo ou escoamento superficial.

A fragilidade estrutural dos solos da região pode ser associada principalmente à textura arenosa, à baixa coesão entre partículas e à formação de agregados pouco estáveis. Esses atributos tornam os solos mais vulneráveis à desagregação e à compactação (Guadagnin *et al.*, 2005; Farias Filho, 2009). Ela é potencializada por condições como umidade elevada, baixo teor de matéria orgânica, baixa agregação.

Nesse contexto, a compactação dos solos associada ao pisoteio de búfalos também pode reduzir a macroporosidade e a infiltração de água, aumentando a densidade, a resistência à penetração e o escoamento superficial, uma espécie de “pé-de-vaca” (semelhante ao “pé-de-grade” em áreas agrícolas), o que contribui para a formação e expansão áreas alagados (Freitas *et al.*, 2012; Cunha *et al.*, 2025).

Ademais, a construção de infraestruturas hídricas como barragens, diques e represas pode criar áreas alagadas (Sugden, 2014; Kaam, 2023; Figueiredo *et al.*, 2020) como já foi observado no município de Cajari (Nascimento, 2006) e São João Batista (Ferreira, 2023). A construção dessas estruturas frequentemente é feita de

maneira irregular e sem as licenças apropriadas dos órgãos ambientais como nos municípios de Palmeirândia, Bacurituba, Peri-Mirim e Bequimão (Mendes *et al.*, 2017).

Em contrapartida houve a redução de 16% para 14% para a Classe corpos d'Água englobando áreas de Rios e Lagos, o que pode estar relacionada com alterações naturais como mudanças na precipitação e mudanças hidrológicas, as quais são acentuadas pelas mudanças climáticas como já foi reportado por Sorribas (2016) em bacias amazônicas, evidenciando a diminuição sobre a vazão e inundações fluviais.

Alterações antrópicas no fluxo dos rios como o desflorestamento e a construção de barragens também podem ser a causa dessa redução. A remoção de vegetação ao longo das margens dos rios e lagos acarreta no assoreamento de rios reduzindo a profundidade de leito dos canais e aumenta o escoamento, reduzindo a perenidade dos rios. E as barragens alteraram os padrões de fluxo de água, reduzindo os volumes de água nos rios e lagos (Sugden, 2014; Kaam, 2023; Figueiredo *et al.* 2020).

Uma vez que a combinação de mudanças climáticas e alterações no uso da terra pode levar a condições meteorológicas extremas e, conseqüentemente, a novas dinâmicas hidrológicas (Luo *et al.*, 2018), torna-se ainda mais relevante destacar que há poucas pesquisas voltadas à compreensão do regime hídrico da região (Mendes *et al.*, 2017). Logo, embora haja uma tendência de aumento das áreas alagáveis há uma redução da classe de corpos d'água, o que mostra a complexidade das interações entre fatores naturais e antrópicos na dinâmica desse ecossistema úmido da Baixada Maranhense.

A classe de Área não vegetada compreende a cobertura de urbanização e mineração. A malha urbana na APA aumentou de 0,08% para 0,35% de 1985 a 2022, enquanto manchas com áreas de mineração começaram a surgir em meados de 2015 no norte do município de Pindaré-Mirim, que tem parte do seu território dentro da APA.

O desenvolvimento urbano, tende a atrair mais investimentos para a população, intensificando a expansão das áreas urbanizadas. O que pode ter impactos significativos localmente, como a fragmentação de habitats e a poluição dos corpos d'água dentro da APA (Sousa, 2017; Santos *et al.*, 2020).

Embora o aumento da mineração seja pequeno em termos absolutos, sua presença pode indicar um potencial crescimento futuro, haja visto que ela é impulsionada pelo crescimento urbano. Havendo a demanda por infraestrutura, moradias e serviços para trabalhadores e suas famílias, que podem pressionar ainda mais os recursos naturais. Levando a conversão de áreas verdes em espaços urbanos, culminando na diminuição da cobertura vegetal e ao aumento de áreas não vegetadas (Orimoloye *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022).

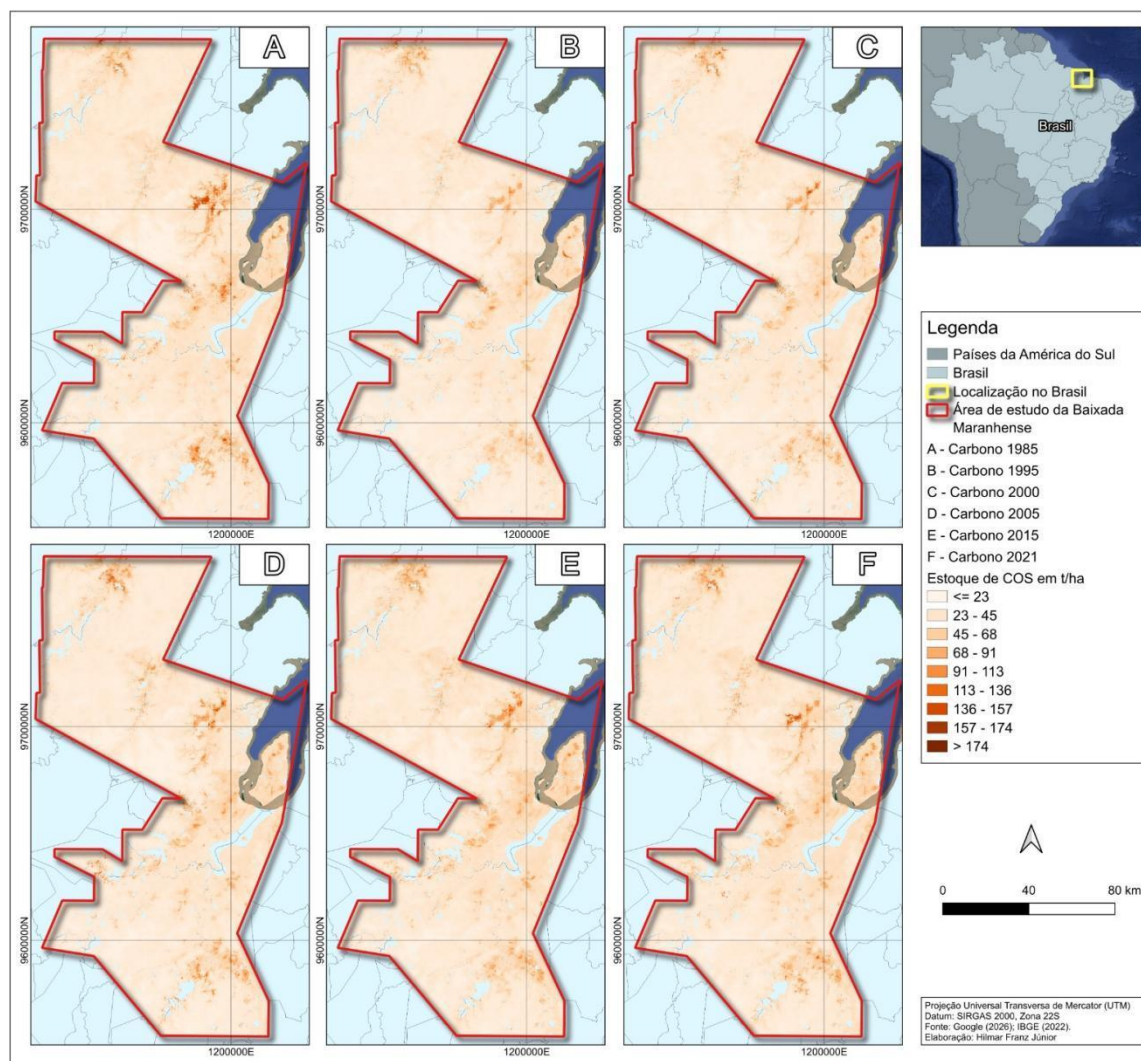
Outrossim, o crescimento urbano pode ser impulsionado pela mineração, visto a necessidade de mão de obra e a geração de empregos para o funcionamento da atividade (Bryceson *et al.*, 2020).

É importante ressaltar que somente em 2020 foi definido o Zoneamento Ecológico Econômico do Bioma Amazônico do Estado do Maranhão (ZEE-MA) no qual engloba a APA na zona 4 (Maranhão, 2020). O ZEE mesma não menciona a mineração como atividade autorizada ou com potencial de exploração na APA, uma vez que implica conflitos de uso ou interesses na APA, pois é uma atividade alto impacto ambiental.

5.3.2 Carbono Orgânico do Solo (COS)

A análise espaço-temporal dos mapas de carbono orgânico do solo COS (0–30 cm) na APA indica variações sutis (Figura 7), porém consistentes, ao longo dos anos de 1985 (A), 1995 (B), 2000 (C), 2005 (D), 2015 (E) e 2021 (F). De modo geral, observa-se a manutenção de áreas com maiores teores de carbono associadas a ambientes úmidos, margens fluviais e zonas de inundação evidenciando o papel desses sistemas na estocagem de carbono.

Figura 7 - Mapa do carbono orgânico do solo (COS) da APA da Baixada Maranhense.



Fonte: Autor, 2026.

Comparativamente, os anos iniciais 1985 (mapa A) apresenta manchas presentes, mas pouco expressivas e bem localizadas, concentrando maiores teores de COS, sobretudo nas porções centrais e próximas aos principais cursos d'água, com indicações de até 136t/ha de COS. Essas áreas refletem condições de menor perturbação antrópica, maior saturação hídrica e acúmulo de matéria orgânica, típicas de paisagens naturais ou pouco modificadas.

A partir dos anos 2000, e principalmente entre os anos 2005 e 2015 (mapas C, D e E respectivamente), nota-se uma fragmentação e redução da intensidade dessas manchas, principalmente nas áreas centrais e sul da APA no ano de 2005. Esse padrão sugere possíveis perdas de COS relacionadas às mudanças no uso e cobertura da terra, drenagem de áreas úmidas e expansão de atividades agropecuárias, que tendem a acelerar a mineralização da matéria orgânica do solo.

Em 2021 (mapa F), o padrão espacial indica certa estabilização e maior distribuição, porém com níveis de carbono orgânico de até 113t/ha de COS, inferiores aos observados nas décadas iniciais (mapa A). Houve mudança, concentrada principalmente nas áreas mais acessíveis e suscetíveis à intervenção humana, reforçando a importância das zonas úmidas da APA como áreas-chave para a conservação dos estoques de carbono do solo.

A maior distribuição dos estoques de COS, inclusive em áreas que sofreram desmatamento e expansão de áreas agropecuárias, pode estar associado à presença de solos hidromórficos, ao aporte contínuo de resíduos orgânicos oriundos de pastagens plantadas e/ou à baixa taxa de decomposição da matéria orgânica em ambientes periodicamente alagados, o que pode gerar um efeito residual.

A APA da Baixada Maranhense, inserida na Amazônia Legal, apresenta potencial médio de acúmulo de COS, variando entre 50 e 90 t/ha na camada de 0–30 cm (MapBiomass Solos, 2025). Esses valores podem variar para mais ou para menos em função do tipo de vegetação predominante, sobretudo por se tratar de uma região de transição entre biomas. Nesse contexto, observa-se que o bioma Amazônico apresenta estoque médio de aproximadamente 45 t/ha, enquanto o Cerrado e a Caatinga apresentam, respectivamente, 43 t/ha e 37 t/ha. Ainda assim, esses valores são próximos à média nacional, considerando que os solos brasileiros estocam cerca de 45 t/ha de COS (MapBiomass Solos, 2025).

Contudo, o fato de a região se caracterizar como zona úmida favorece um maior aporte de carbono, podendo resultar em estoques superiores à média nacional.

5.3.3 Conflitos de uso da terra

APA apresenta também uma série de conflitos de uso da terra na qual áreas destinadas preservação ambiental acabam sendo utilizadas para atividades agropecuárias, resultando em danos significativos pela aplicação de práticas que não respeitam a legislação ambiental vigente. Esses conflitos estão relacionados a exploração agropecuária em áreas de ecossistema sensíveis na APA como um todo e em APPs, que compreendem como margens de rios, encostas íngremes, nascentes e topos de morros gerando ambientes de tensão ambiental.

Esse cenário é ainda mais complexo quando consideramos as RLs dentro das áreas rurais consolidadas (ARC). As ARCs foram regulamentadas pela Lei nº 12.651 de 2012 são definidas como aquelas que, até 22 de julho de 2008, já possuíam atividades agropecuárias estabelecidas.

Ao contrário das APPs, as RLs não precisam estar em locais específicos, como margens de rios, mas deve ocupar uma fração determinada da propriedade rural, dependendo do bioma. Sendo 80% das propriedades presentes no Bioma Amazônia I e 35% para áreas inseridas no Bioma cerrado I. Logo, ambas as regras das legislações se aplicam a APA da baixada pois é uma zona de transição de entre esses biomas.

As transformações nas APPs e RLs dentro da APA podem ser observadas por meio do sensoriamento remoto, permitindo identificar alterações na cobertura e no uso do solo. A partir desses dados, o geoprocessamento é utilizado para integrar, analisar e espacializar as informações, possibilitando a detecção dos principais conflitos de uso.

Estudos como os de Nascimento *et al.*, (2005) e Oliveira *et al.*, (2008) demonstram essa aplicação conjunta, evidenciando o potencial dessas tecnologias na identificação de conflitos ambientais, fornecendo subsídios para o monitoramento e controle ambiental. A sobreposição de mapas de uso da terra e APPs e RLs revela a ocorrência desses conflitos, muitas vezes em desacordo com a legislação ambiental vigente (Costa *et al.*, 2013; Cessa *et al.*, 2014).

Segundo Freitas Pereira *et al.*, (2016), cerca de 46% das APPs apresentam algum tipo de conflito de uso. Essa situação é alarmante, pois a degradação das APPs resulta em perda de biodiversidade e deterioração da qualidade da água, conforme evidenciado por estudos que correlacionam o uso da terra com a qualidade hídrica (Pessoa *et al.*, 2013).

A fiscalização das APPs na Baixada Maranhense enfrenta dificuldades consideráveis. A falta de recursos e a escassez de pessoal capacitado para monitorar e aplicar a legislação ambiental são barreiras significativas. Além disso, a implementação de tecnologias de geoprocessamento ainda é limitada pela falta de integração entre os órgãos responsáveis pela gestão ambiental e pela necessidade de uma abordagem mais colaborativa que envolva as comunidades locais (Soares *et al.*, 2011).

5.3.4 Conflitos agrários

Os conflitos não se restringem à questão ambiental, estendendo-se também à esfera jurídica rural, configurando os chamados conflitos agrários. Na APA, esses conflitos se manifestam na disputa por terras e recursos naturais entre diferentes grupos sociais, como agricultores, pecuaristas e comunidades tradicionais, incluindo extrativistas, quilombolas, indígenas, pequenos produtores e pescadores. Tais conflitos estão associados à concentração fundiária no estado, historicamente dominada por pequenos grupos de grandes proprietários (Souza Brito *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020; Silva Muniz *et al.*, 2026).

A concentração fundiária no Maranhão possui raízes históricas profundas e se intensificou nas últimas décadas, especialmente com a expansão do agronegócio. Nesse contexto, a luta pela terra reflete uma disputa por direitos, dignidade e sobrevivência, frequentemente marcada por situações de violência (Rodrigues, 2023). Além de limitar o acesso à terra, essa concentração agrava desigualdades sociais e econômicas, favorecendo a ocorrência de conflitos agrários (Santos, 2020; Viana, 2023).

Essa situação é agravada pela grilagem de terras, prática ilegal que ameaça a sobrevivência de pequenos produtores e comunidades tradicionais, como quebradeiras de coco e agricultores familiares (Pinto *et al.*, 2018). Além disso, a violência e a impunidade associadas a esses conflitos são recorrentes,

especialmente em regiões amazônicas (Sousa Guimarães; Barp, 2011; Nascimento, 2017; Neto et al., 2021).

Na APA, os conflitos também estão relacionados ao uso de áreas inundáveis para atividades como pesca, pecuária e agricultura (Ferreira, 2023). Nessas áreas, comunidades tradicionais mantêm relações diretas com os recursos hídricos, o que contribui para a formação de diferentes hidroterritórios (Torres, 2007; Maciel; Masullo, 2023).

Do ponto de vista ambiental, esses conflitos resultam em desmatamento, degradação do solo e perda de biodiversidade, comprometendo a segurança alimentar e a qualidade de vida das populações locais. Assim, os conflitos socioambientais contribuem para a desestabilização da dinâmica territorial. Além disso, interesses econômicos frequentemente se sobrepõem à preservação ambiental e aos direitos territoriais, especialmente na região Nordeste (Dantas; Feliciano, 2023), intensificando a desigualdade social e os conflitos no campo (Rodrigues, 2023).

5.4 Conclusão

A análise das mudanças no uso e cobertura da terra na APA da Baixada Maranhense ao longo dos anos revela transformações significativas, com impactos socioambientais complexos. Entre 1985 e 2022, observou-se uma redução considerável das formações florestais e alagáveis, enquanto as áreas de pastagem e urbanização aumentaram substancialmente. Essas mudanças refletem um cenário de intensificação das atividades agropecuárias e de expansão urbana, frequentemente associado a conflitos de uso da terra e à degradação ambiental, conforme reportado em outros estudos.

O desenvolvimento urbano, embora atraia investimentos e população, pressiona os recursos naturais, promovendo a fragmentação de habitats e a poluição dos corpos d'água. A mineração, apesar de apresentar crescimento pequeno em termos absolutos, representa um potencial de impacto futuro devido à sua demanda por infraestrutura e geração de empregos. Contudo, por se tratar de uma Área de Proteção Ambiental, esse tipo de atividade não deveria ocorrer nesse território. Esses conflitos de uso da terra não se restringem às questões ambientais, mas também envolvem disputas agrárias que afetam comunidades locais, gerando

desigualdades sociais. Nesse contexto, torna-se necessária a criação e implementação de um plano de manejo efetivo.

Observou-se fragmentação do COS em 2005, enquanto, em 2021, o padrão indicou certa estabilização, com níveis de carbono orgânico do solo de até 113 t/ha. Esse comportamento sugere possíveis perdas de COS associadas às mudanças no uso e cobertura da terra, à drenagem de áreas úmidas e à expansão de atividades agropecuárias, que tendem a acelerar a mineralização da matéria orgânica do solo.

Diante desse cenário, é essencial a adoção de um planejamento mais sustentável e equitativo, visando mitigar esses impactos e promover a conservação ambiental na região. Isso inclui a recuperação de áreas degradadas e o aumento dos níveis de COS por meio da implantação de práticas agrícolas conservacionistas e regenerativas, como sistemas integrados e agroflorestais, além da ampliação das atividades de extensão rural, visando à tecnificação sustentável da agricultura regional.

6 CAPÍTULO II - Conversão de zonas úmidas em áreas agrícolas e seus impactos na fertilidade e na condição física dos solos em um Sítio Ramsar no nordeste do Brasil

6.1 Introdução

As zonas úmidas são fundamentais para a regulação dos ciclos hidrológico e biogeoquímico, contribuindo para serviços ecossistêmicos como conservação da biodiversidade, sequestro de carbono e manutenção da fertilidade dos solos. De modo geral, os solos das áreas úmidas são ricos em matéria orgânica e nutrientes, essenciais para a biodiversidade (Rego *et al.*, 2020; Krebs, 2025). Conquanto, solos de zonas úmidas são solos que se auto mantêm por meio de sucessivos ciclos de ciclagem de nutrientes (Barros *et al.*, 2025; Chaves, 2025).

A conversão dessas áreas para uso agrícola tem comprometido a qualidade do solo e a sustentabilidade dos ecossistemas (Roque; Enrique, 2017). Esse cenário é especialmente preocupante em regiões ambientalmente sensíveis, como os Sítios Ramsar, áreas reconhecidas internacionalmente por seu valor ecológico e social, mas que vêm sendo pressionadas pelo avanço da fronteira agrícola (Xu *et al.*, 2019). O avanço da fronteira agrícola acarreta, no geral, a perda de fertilidade e compactação do solo, redução da atividade biológica, diminuição dos estoques de carbono orgânico do solo, alteração dos ciclos biogeoquímicos, perda de habitats naturais e comprometimento dos serviços ecossistêmicos (Seta, 2012; Darold 2024).

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense é um sítio Ramsar localizada no nordeste do Brasil e que constitui um exemplo representativo de ecossistema de áreas úmidas sujeito a intensificação de pressões antrópicas. Entre os principais vetores de impacto destacam-se as atividades agropecuárias, incluindo a bubalinocultura (Cunha *et al.*, 2025), a monocultura do arroz e sistemas de agricultura tradicional de baixa tecnificação (Sousa; Khan, 2019; Silva, 2023).

A adoção de práticas inadequadas de manejo do solo intensifica os processos de degradação, reduzindo a capacidade de retenção de água e nutrientes, além de favorecer a erosão, a perda de fertilidade e a acidificação, o que aumenta a dependência de insumos químicos para a manutenção da produtividade (Javed *et al.*, 2021; Dahmani *et al.*, 2023). Em contraste, áreas preservadas tendem a manter melhores condições físico-químicas do solo (Darold; Irigaray, 2018; Delcourt *et al.*,

2019). Estudos indicam que a conversão da vegetação natural para uso agropecuário altera atributos como textura, densidade, pH, carbono orgânico do solo (COS) e nutrientes, comprometendo a qualidade do solo e aumentando sua suscetibilidade à degradação (Marín-Pimentel *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021).

O carbono orgânico do solo (COS) é um indicador central da qualidade do solo e de suas funções ecossistêmicas, incluindo fertilidade, estrutura, retenção de água e biodiversidade microbológica. Áreas com vegetação nativa, principalmente ambientes úmidos, apresentam maiores estoques de COS, em função do aporte contínuo de matéria orgânica e da menor perturbação do solo. A conversão dessas áreas para usos agropecuários, sobretudo sob manejo inadequado, reduz os estoques de COS por meio da decomposição acelerada, da mineralização da matéria orgânica e da intensificação dos processos erosivos (Conant, 2011; Reetika *et al.*, 2024). A quantificação do COS torna-se essencial para o monitoramento dos impactos do uso da terra, subsidiando práticas de manejo sustentável e contribuindo para estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) frente às mudanças climáticas (Conant, 2011; Hussain *et al.*, 2021; Power, 2010).

Logo, compreender as alterações nos atributos físicos e químicos dos solos, explorados pela agropecuária em relação aos solos não antropizados em uma mesma região, torna-se fundamental para subsidiar políticas de conservação e orientar a proposição de estratégias de uso racional desse recurso natural não renovável (Li *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2026). Essa abordagem permite mensurar os impactos do manejo humano e identificar indicadores de degradação ou de resiliência do sistema solo, principalmente em unidades de conservação que não dispõem de plano de manejo e conselho gestor, como é o caso da APA da Baixada Maranhense (Maranhão, 2021).

Nesse sentido, integração de geotecnologias e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramentas de suporte à análise espacial, permite a identificação e a distinção entre áreas com intervenção antrópica e setores conservados (Belloni, 2025; Freitas *et al.*, 2025). Essa análise espacial orienta a definição de áreas prioritárias para investigação em campo e subsidia a seleção de locais representativos para a avaliação dos atributos físicos e químicos do solo *in loco*. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho investigar se a conversão de áreas naturais em sistemas agrícolas tem modificado a fertilidade, a condição física

e os estoques de Carbono orgânico do solo (COS) da APA e sítio Ramsar da Baixada Maranhense.

6.2 Metodologia

6.2.1 Aquisição e elaboração de Mapas temáticos

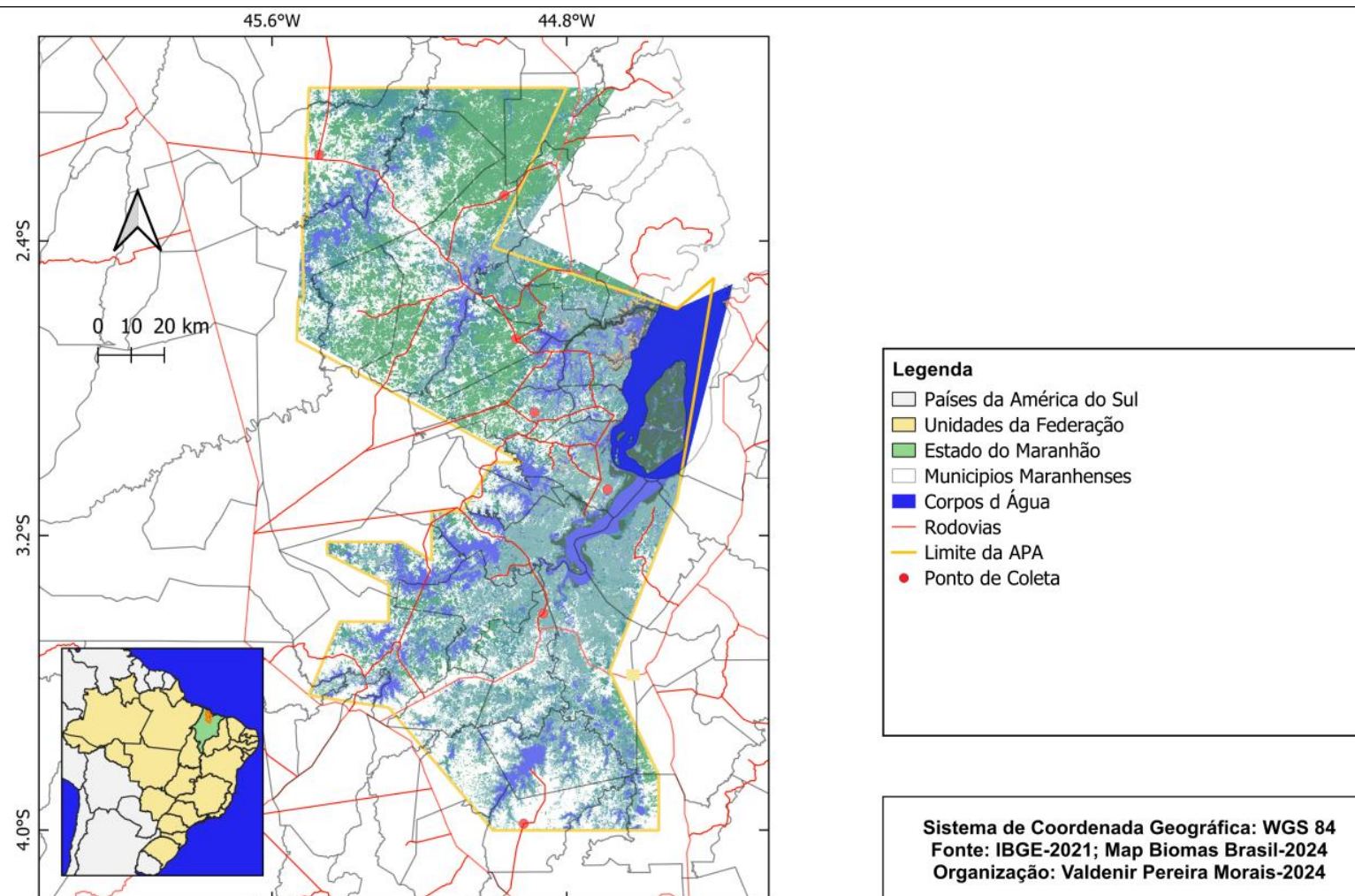
Os mapas temáticos foram elaborados no software QGIS, versão 3.34 Prizren (QGIS Development Team, 2023), a partir da integração de arquivos do tipo raster no formato GeoTIFF referentes aos mapas de uso cobertura da terra obtidos na plataforma MapBiomias. Essas informações foram aplicadas à APA da Baixada Maranhense, considerando as séries históricas de 1985 e 2022 para a definição dos pontos de coleta de amostras de solo em campo (MapBiomias, 2023).

Além disso, foi utilizada a série de 2021 para a obtenção do mapa de carbono orgânico do solo (COS), com dados provenientes do MapBiomias Solos. Também foram empregados modelos digitais de elevação, cartas pedológicas e arquivos vetoriais (shapefiles) oriundos da base AMBDATA (INPE, 2022), bem como dados vetoriais da malha viária disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). As camadas georreferenciadas foram analisadas por meio de cruzamento de dados e interpretação visual.

6.2.2 Determinação dos coleta de solos

A definição dos pontos de amostragem de solo foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento, utilizando álgebra de mapas aplicada à sobreposição de mapas de uso e cobertura da terra da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, referentes ao período de 1985 a 2022 (Map Biomias, 2023). A análise das diferenças entre os mapas resultou na elaboração de um produto cartográfico que permitiu identificar áreas com cobertura vegetal natural que permaneceram inalteradas ao longo da série histórica (Figura 7). Ademais, a seleção dos pontos de amostragem considerou critérios como acessibilidade e proximidade entre áreas preservadas e áreas submetidas a atividades agropecuárias. Os municípios selecionados são exibidos na figura 8. Os dados de caracterização das áreas agropecuárias estão dispostos no quadro 4.

Figura 7- Mapa interpolado para determinação de pontos de coleta



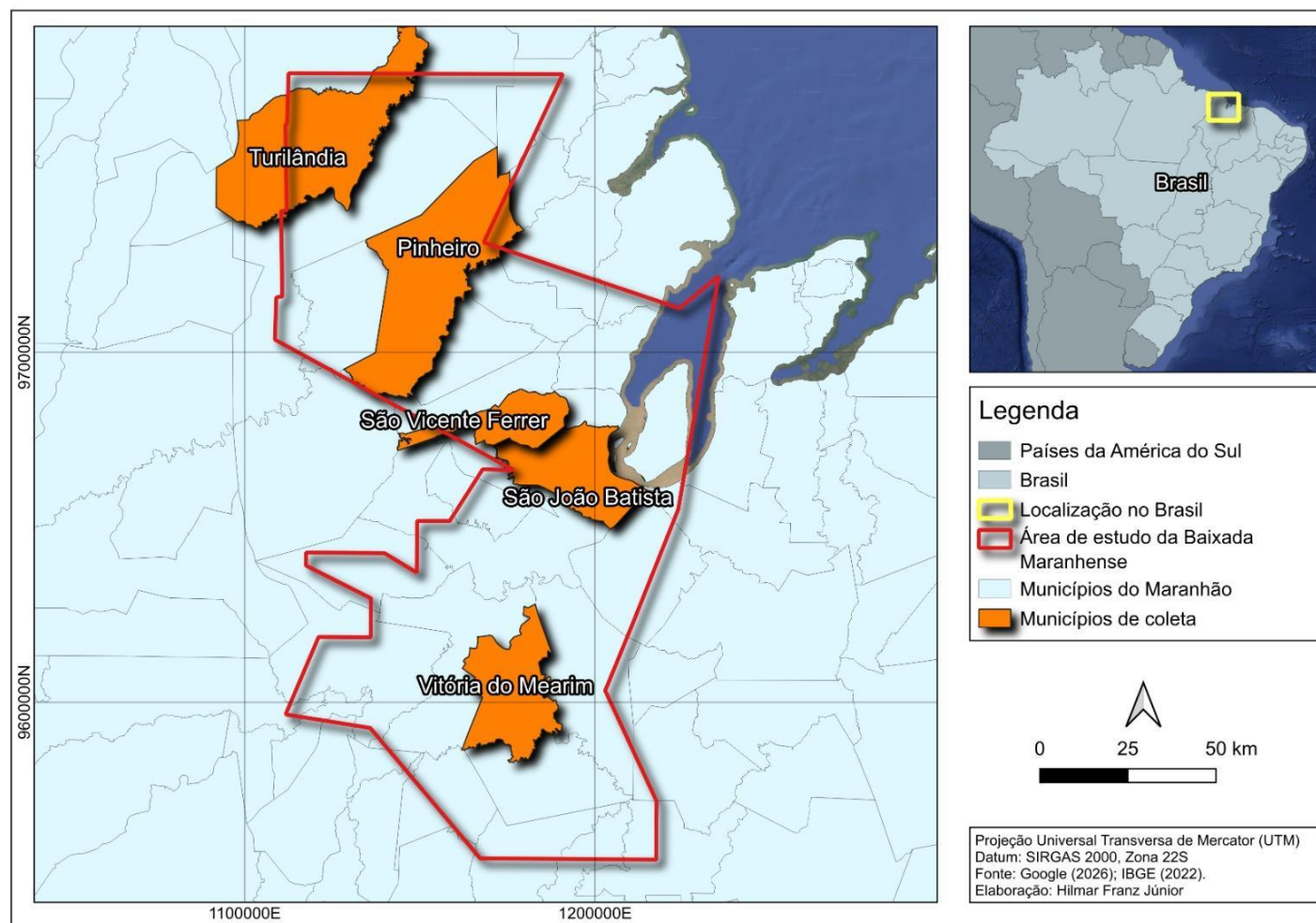
Fonte: Autor, 2026.

Quadro 4 - Caracterização das áreas agropecuárias

Unidade	Coordenadas Geográficas	Tipo de Antropização	Caracterização
Vitória do Mearim	3.0780 N, 44.6867 O	Pastagem	Área agrícola consolidada, caracterizada por manejo mecanizado intensivo e uso de tecnologias agrícolas. O solo encontrava-se recentemente revolvido por operações de aração, apresentando superfície exposta e ausência de cobertura vegetal, condição típica de preparo convencional em sistemas produtivos tecnificados.
São Vicente Férrer	2.66868 N, 44.93749 O	Agricultura	Área agrícola sob exploração com baixo nível tecnológico, apresentando manejo menos intensivo. Observa-se predominância de solo exposto, com presença de pousio, indicando períodos de descanso da área sem cobertura vegetal efetiva.
São João Batista	3.0780 N, 44.6867 O	Pastagem	Área destinada à pastagem, caracterizada por baixo nível tecnológico e ocorrência de solos com influência salina. O solo encontrava-se parcialmente protegido por cobertura de palhada remanescente de cultivo anterior.
Pinheiro	2.28096 N, 44.97071 O	Agricultura	Área agrícola com baixo nível tecnológico. Sob cultivo de culturas anuais, com predominância de mandioca e feijão. O solo apresentava cobertura parcial por plantas espontâneas.
Turilândia	2.16923 N, -5.47308 OL	Pastagem	Área de pastagem recentemente submetida à queima de palhada. Como consequência, o solo encontrava-se desprotegido e exposto.

Fonte: Autor, 2026.

Figura 8 - Localização dos municípios de amostragem de solo



Fonte: Autor, 2026.

A coleta das amostras de solo enfrentou limitações logísticas, financeiras e socioinstitucionais que impactaram as atividades de campo. As restrições orçamentárias dificultaram os deslocamentos entre municípios da APA, enquanto as condições precárias das estradas, agravadas pelo período chuvoso, ocasionaram atrasos e ajustes no cronograma. A distância entre os pontos amostrais elevou os custos operacionais, e a resistência de alguns proprietários rurais exigiu a substituição de áreas de coleta. Além disso, o contexto de insegurança em alguns municípios demandou maior cautela durante os trabalhos de campo, especialmente em São João Batista. Apesar dessas dificuldades, as coletas foram concluídas com êxito graças ao apoio de moradores locais, parceiros e ao comprometimento da equipe de pesquisa.

6.2.3 Amostragem e análises

Foram selecionados cinco municípios inseridos na APA da Baixada Maranhense: São Vicente Férrer, Vitória do Mearim, São João Batista, Turilândia e Pinheiro. Em cada município, as amostras de solo foram coletadas em duas condições de uso da terra, correspondentes a área agrícola (AA) e área preservada (AP), nas profundidades de 0–0,10 m; 0,10–0,20m; 0,20–0,30 m, totalizando dez pontos amostrais.

A coleta de amostras para a avaliação dos atributos químicos e físicos do solo foi realizada com o auxílio de pás e trados, na profundidade de 0,30 m. As amostras deformadas foram homogeneizadas em baldes plásticos limpos e acondicionadas em sacos plásticos transparentes, sendo separados aproximadamente 300 g de solo para as análises químicas e 400 g para as análises físicas. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), campus Capão do Leão, Rio Grande do Sul. As fotografias dos locais de coleta e suas respectivas localizações são apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Fotos das coletas de amostras de solo em municípios da APA da Baixada Maranhense



A) Vitória do Mearim



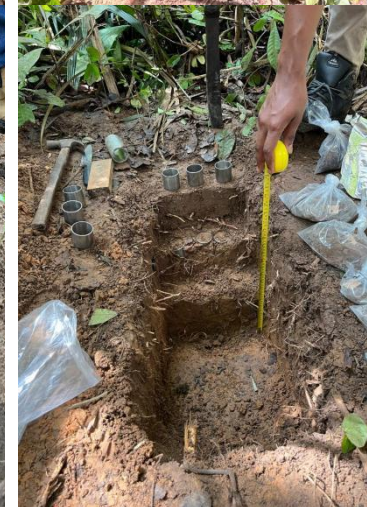
B) São João Batista



C) Turilândia



D) Pinheiro



E) São Vicente Férrer

Fonte: Autor, 2026.

No laboratório, procedeu-se a determinação do pH do solo em água, a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%), alumínio trocável (Al^{3+}), carbono orgânico total (COT), quantificação dos macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de oxidação úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, seguido de titulação com sulfato ferroso, conforme metodologia da Embrapa (1997). Os valores quantificados de COT foram convertidos em dados de estoque de carbono (Figura 10).

Figura 10 - Fotos do processo de análise de Carbono Orgânico Total (COT)



A) Amostras de solo peneiradas, secas e identificadas



B) Início do processo de titulação da MOS



C) Pesagem e separação de amostras de solos em frascos de Erlenmeyer



D) Autor Valdenir e da técnica em laboratório Rose

As variáveis físicas analisadas incluíram a análise granulométrica pela metodologia do hidrômetro de *Bouyoucos* para determinar a proporção de areia, silte e argila (Teixeira *et al.*, 2017). As amostras de solo foram submetidas à separação granulométrica por peneiramento (Figura 11), utilizando peneiras com malhas de 1 mm (muito grossa), 0,5 mm (grossa), 0,25 mm (média), 0,105 mm (fina) e 53 μm (muito fina). Posteriormente, realizou-se o fracionamento da areia, determinando-se as frações de areia, para avaliar a erodibilidade do solo, conforme Denardin (1999).

Figura 11 - Fotos de fases dos processos de análise granulométrica do solo pelo método do hidrômetro de *Bouyoucos* e determinação das frações de areia.



A) Preparação da amostra com uso de dispersante



B) Amostras de areias secas em estufa



C) Homogeneização e leitura com hidrômetro de *Bouyoucos*

Fonte: Autor, 2026.



D) Classificação das frações areia em peneiras granulométricas

Para a determinação da estabilidade de agregados, foi utilizado amostras deformadas pelo método do peneiramento úmido em agitação vertical, conforme descrito por Sá *et al.*, (2011). O procedimento laboratorial consistiu na seleção dos agregados, pesagem da amostra, imersão em água, agitação vertical, secagem e pesagem dos agregados estáveis, seguido do cálculo da porcentagem de agregados estáveis. Algumas das fases dos processos podem ser observadas na figura 12.

Figura 12 - Fotos do processo de avaliação de estabilidade de agregados



A) Pesagem das amostras deformadas de solo



C) Separação de agregados estáveis



B) Imersão dos agregados em água para agitação vertical



C) Secagem e pesagem de agregados estáveis

Fonte: Autor, 2026.

No que diz respeito as amostras indeformadas. Estas foram coletas em anéis volumétricos com volume de aproximadamente 98 cm^3 foram coletadas nas camadas de 0–0,10 m, 0,10–0,20 m e 0,20–0,30 m, com três repetições por camada totalizando 90 unidades amostrais (5 municípios $\times$ 2 usos da terra $\times$ 3 camadas $\times$ 3 repetições). Após a coleta, as amostras foram ao Laboratório de Física do Solo da FAEM/UFPEL (Figura 13). Foram determinados os atributos físicos do solo como: densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, retenção de água, seguindo a metodologia de Teixeira *et al.*, (2017).

Figura 13 - Fotos de parte do processo de análises para determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade das amostras de solo



A) Preparo das amostras



B) Mesa de tensão de areia



C) Amostras saturadas



D) Autor Valdenir próximo a mesa de tensão

Fonte: Autor, 2026.

6.2.4 Análises estatísticas

Foram realizadas análises estatísticas descritivas para avaliar as diferenças nos atributos físicos do solo entre os usos da terra e as profundidades estudadas. Inicialmente, calcularam-se medidas de tendência central, especialmente a média aritmética, além do desvio padrão e dos valores mínimos e máximos de cada atributo, permitindo caracterizar a variabilidade dos dados. As comparações entre os ambientes e profundidades foram conduzidas com base nos valores médios obtidos para cada grupo. Os resultados foram organizados e representados graficamente, facilitando a visualização das variações entre áreas sob vegetação nativa e uso agrícola. Posteriormente, os dados foram submetidos a análises multivariadas, relacionando os atributos químicos e físicos do solo com os teores de carbono orgânico do solo (COS). É válido destacar que também foram usadas ferramentas de Inteligência artificial, como ChatGPT, Scite, Skywork AI e Consensus. Detalhes do uso de cada IA encontram-se no apêndice I.

6.3 Resultados e Discussão

6.3.1 Granulometria

A granulometria do solo corresponde à distribuição das partículas minerais e define a textura do solo. As áreas avaliadas foram enquadradas em quatro classes texturais distintas: Franco-Arenoso, Franco-Argilo-Arenoso, Areia-Franca e Muito Argiloso. Os resultados são exibidos no quadro 5.

Quadro 5 - Classes texturais das amostras coletadas na APA.

Unidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
Vitória do Mearim - AP	83,15	3,45	13,40	Areia-Franca
Vitória do Mearim - AA	81,82	7,27	10,90	Areia-Franca
São Vicente Férrer - AP	55,98	30,62	13,40	Franco-Arenoso
São Vicente Férrer - AA	61,60	28,40	10,00	Franco-Arenoso
São João Batista - AP	8,12	13,48	78,40	Muito Argiloso
São João Batista - AA	5,10	19,00	75,90	Muito Argiloso
Pinheiro - AP	76,38	2,72	20,90	Franco-Argilo-Arenoso
Pinheiro - AA	56,92	27,18	15,90	Franco-Arenoso
Turilândia - AP	78,15	8,45	13,40	Areia-Franca
Turilândia - AA	81,60	5,00	13,40	Areia-Franca

Fonte: Autor, 2026.

As AA e AP de São João Batista foram classificadas como muito argilosas, com teores de argila superiores a 75%. Em Vitória do Mearim e Turilândia, as áreas foram enquadradas na classe areia-franca, com predominância de areia (78–83%). A AP de Pinheiro apresentou textura franco-argilo-arenosa, enquanto as AA e AP de São Vicente Férrer e a AA de Pinheiro foram classificadas como franco-arenosas. Dessa forma, observou-se um gradiente textural entre as áreas estudadas, com predomínio de solos arenosos em Vitória do Mearim e Turilândia e de solos argilosos em São João Batista.

De modo geral, verificou-se elevada similaridade textural entre as AA e AP de um mesmo município. Vitória do Mearim, Turilândia e São João Batista mantiveram

a classificação textural entre as áreas avaliadas, apresentando apenas pequenas variações nas frações granulométricas. As diferenças texturais observadas são relevantes por influenciarem o comportamento físico-hídrico dos solos, uma vez que solos mais arenosos tendem a apresentar menor retenção de água e nutrientes, enquanto solos mais argilosos geralmente favorecem maior armazenamento hídrico e interação com a matéria orgânica (Hunt *et al.*, 2007; Borgesen *et al.*, 2007; Yost; Hartemink, 2019).

6.3.2 Frações de Areia

As frações de areia influenciam o arranjo dos poros e, consequentemente, processos como infiltração, aeração e drenagem. As classificações e as frações de areia obtidas no estudo são exibidas no quadro 6 para AA e para AP.

Quadro 6 - Percentuais das frações áreas agrícolas

Fração areia em áreas preservadas					
Unidade	Muito Grossa (1 mm)	Grossa (0.5 mm)	Média (0.25 mm)	Fina (0.105 mm)	Muito Fina (53 µm)
Vitória do Mearim	0.93%	12.34%	44.75%	22.99%	18.99%
São Vicente Férrer	0.71%	0.80%	1.21%	28.78%	68.50%
São João Batista	5.15%	5.15%	5.15%	20.00%	64.55%
Pinheiro	2.97%	9.56%	13.63%	30.90%	42.94%
Turilândia	0.81%	9.21%	27.42%	26.77%	35.79%
Fração areia em áreas agrícolas					
Unidade	Muito Grossa (1 mm)	Grossa (0.5 mm)	Média (0.25 mm)	Fina (0.105 mm)	Muito Fina (53 µm)
Vitória do Mearim	0.89%	11.38%	42.23%	33.58%	11.93%
São Vicente Férrer	0.32%	0.37%	0.81%	25.72%	72.78%
São João Batista	0.98%	1.95%	3.90%	37.56%	55.61%
Pinheiro	0.66%	0.85%	2.10%	56.35%	40.04%
Tilândia	2.36%	12.08%	17.94%	33.43%	34.19%

Fonte: Autor, 2026.

Os dados do Quadro 6 evidenciam diferenças na distribuição das frações de areia entre AP e AA. Em diversas AA observou-se maior proporção de areia fina e muito fina, como em Pinheiro (56,35% de areia fina) e São Vicente Férrer (72,78% de areia muito fina), enquanto algumas AP apresentaram maiores teores de frações médias ou grossas, como Turiaçu (27,42% de areia média) e Vitória do Mearim (44,75% de areia média).

A atuação seletiva da erosão hídrica constitui uma possível explicação para essas diferenças, uma vez que a redução da cobertura vegetal pode favorecer a remoção de silte e argila, concentrando frações arenosas na superfície. Em áreas preservadas, a presença de serrapilheira e raízes tende a reduzir esse processo, contribuindo para a manutenção da distribuição natural das partículas (Pereira; Neto, 2014; Couto *et al.*, 2021). Embora a textura do solo seja uma propriedade relativamente estável, o uso intensivo pode promover alterações indiretas por meio da remoção seletiva das frações mais finas das camadas superficiais (Alves *et al.*, 2021; Damasceno *et al.*, 2023), evidenciando a ação conjunta de fatores antrópicos e ambientais na configuração textural das áreas estudadas.

6.3.3 Química e Fertilidade do Solo

A química e a fertilidade do solo refletem sua capacidade de fornecer nutrientes às plantas e manter a produtividade. A avaliação de atributos químicos permite identificar diferenças na qualidade do solo decorrentes das condições ambientais e do manejo adotado.

Os resultados das análises químicas evidenciaram diferenças entre AP e AA, especialmente em relação à acidez e à fertilidade do solo, conforme apresentado nas tabelas e gráficos multivariados para cada unidade.

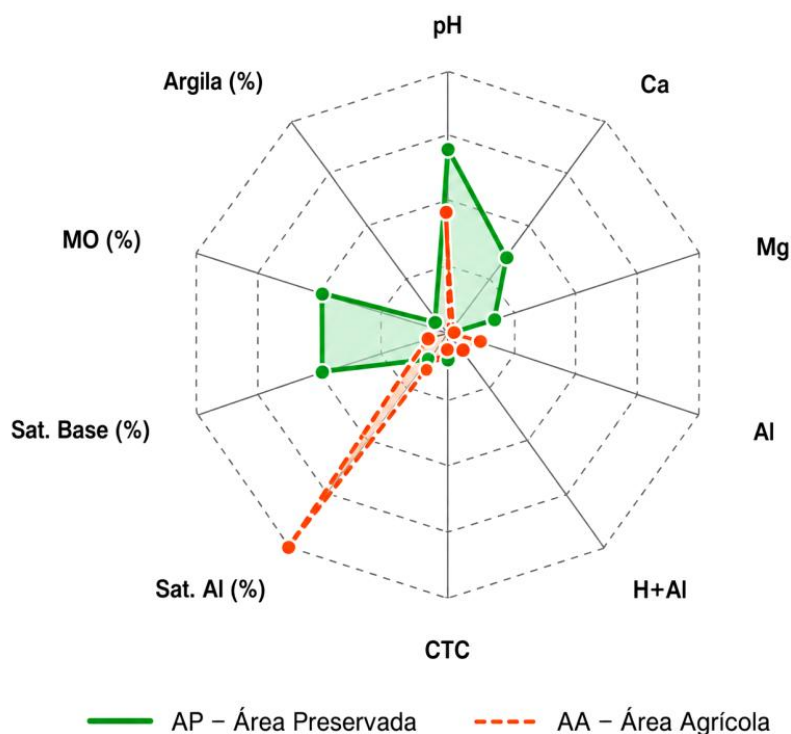
Em Vitória do Mearim (Tabela 1), a AP apresentou melhor qualidade química do solo que a AA, com maiores teores de Ca (1,9 vs. 0,9 cmolc/dm³), K (71 vs. 12 mg/dm³) e matéria orgânica (1,24% vs. 0,69%). Em contrapartida, a AA apresentou maior saturação por alumínio (59,4% vs. 22,5%), indicando condições menos favoráveis à fertilidade, apesar do maior teor de fósforo (130,5 vs. 72,4 mg/dm³). No gráfico multivariado de radar pode-se observar de forma mais direto que AP apresentou melhores atributos químicos do solo, enquanto a AA apresentou maior saturação por alumínio, indicando maior acidez (Figura 14).

Tabela 1 - Análise de química do solo AP e AA da unidade Vitória do Mearim

UNIDADE: VITÓRIA DO MEARIM - MA													
Área	pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	P - Mehlich	K	Na	Saturação (%)		% MO	% Argila
		-----cmolc/dm3-----					----mg/dm3----			Al	Bases	---m/v---	
	1:1												
AP	4,4	1,9	1,0	0,9	4,4	4,0	72,4	71	4	22,5	41	1,24	13,40
AA	4,1	0,9	0,4	1,9	3,9	3,2	130,5	12	3	59,4	26	0,69	10,90

Fonte: Autor, 2026.

Figura 14 - Gráfico multivariado de radar de AP e AA da unidade Vitória do Mearim



Fonte: Autor, 2026.

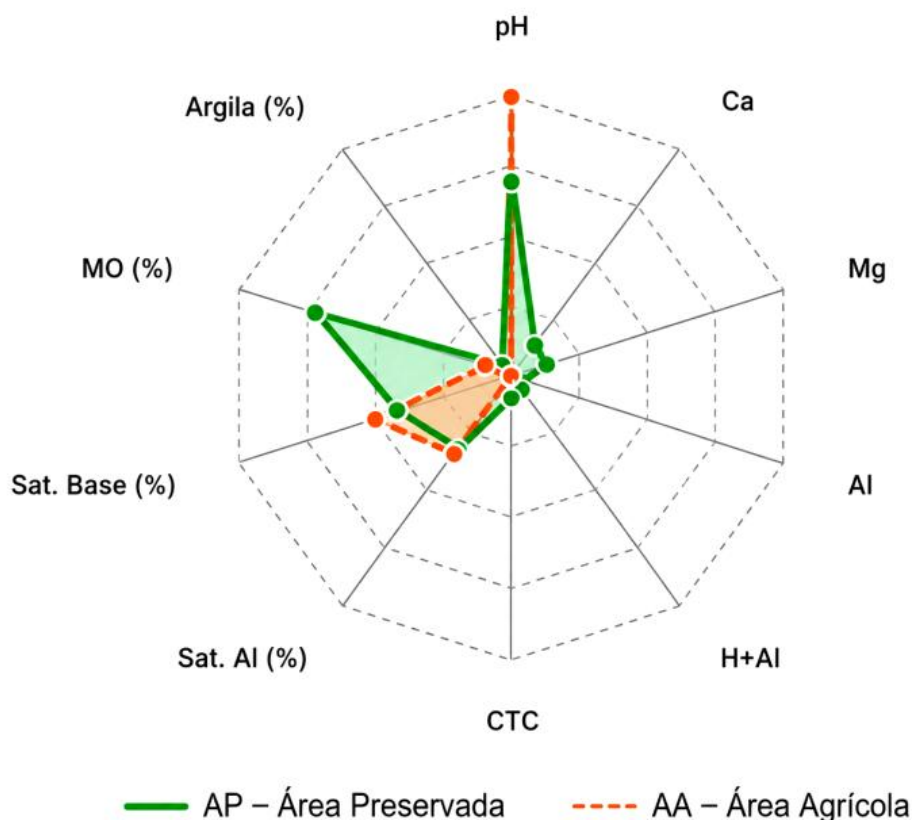
Em São Vicente Férrer (Tabela 2), a AP apresentou melhores condições químicas que a AA, com maiores teores de Ca (1,3 vs. 0,9 cmolc/dm³), Mg (0,9 vs. 0,4 cmolc/dm³), P (33,3 vs. 11,1 mg/dm³), matéria orgânica (1,66% vs. 0,83%) e CTC (3,6 vs. 2,2 cmolc/dm³). Em contrapartida, a AA apresentou maior teor de K (50 vs. 10,6 mg/dm³) e maior saturação por alumínio (31,8% vs. 30,6%), enquanto ambas as áreas apresentaram o mesmo teor de argila (14%). O gráfico multivariado de radar (figura 15) demonstra diferenças nos atributos químicos entre as áreas avaliadas.

Tabela 2 - Análise de química do solo AP e AA da unidade São Vicente Férrer

UNIDADE: SÃO VICENTE FÉRRER - MA													
Área	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	P- Mehlich	K	Na	Saturação (%)		% MO	% Argila
		-----cmolc/dm ³ -----						---mg/dm ³ ---		Al	Bases	---m/v---	
AP	4,4	1,3	0,9	1,1	3,5	3,6	3,3	106	12	30,6	42	1,66	13,10
AA	4,8	0,9	0,4	0,7	1,7	2,2	1,1	50	7	31,8	46	0,83	10

Fonte: Autor, 2026

Figura 15 - Gráfico multivariado de radar de AP e AA da unidade Vicente Férrer



Fonte: Autor, 2026.

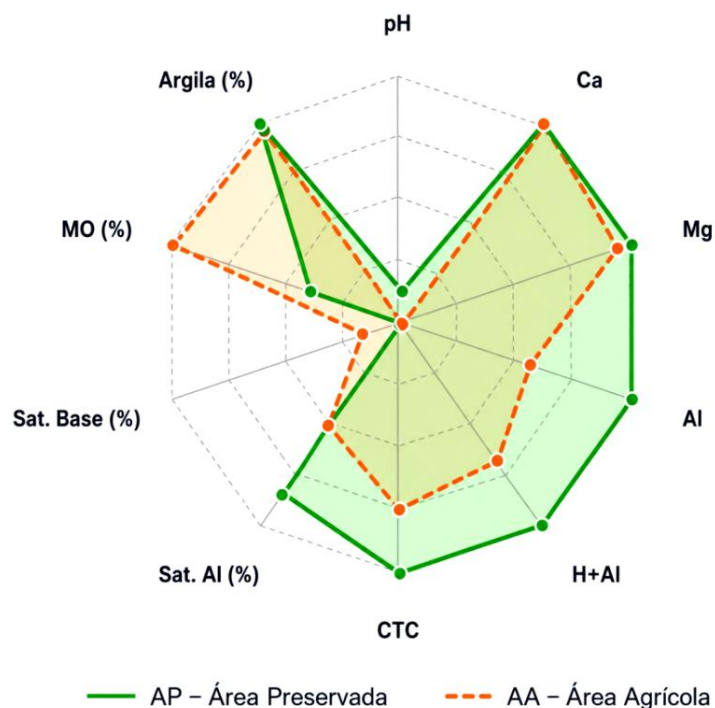
Em São João Batista (Tabela 3), ambas as áreas apresentaram elevada acidez (pH 3,7 na AP e 3,5 na AA) e altos teores de sódio (90 e 97 mg/dm³, respectivamente). A AP destacou-se pelos maiores valores de CTC efetiva (19,8 vs. 15,5 cmolc/dm³) e K (300 vs. 34,2 mg/dm³), enquanto a AA apresentou maiores teores de P (13,5 vs. 4,4 mg/dm³) e matéria orgânica (2,07% vs. 1,24%). Apesar da maior capacidade de troca, a AP apresentou maior saturação por alumínio (52,5% vs. 39,4%), indicando maior limitação química do solo. A Figura 16 apresenta o perfil comparativo dos atributos químicos e de fertilidade do solo entre as áreas.

Tabela 3 - Análise de química do solo AP e AA da unidade São João Batista

UNIDADE: SÃO JOÃO BATISTA - MA													
Área	pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	P - Mehlich	K	Na	Saturação (%)		% MO	% Argila
	1:1	-----cmolc/dm ³ -----						-----mg/dm ³ ----		Al	Bases	---m/v---	
AP	3,7	3,9	4,3	10,4	30,7	19,8	4,4	300	90	52,5	23	1,24	78,40
AA	3,5	3,9	4,2	6,1	21,4	15,5	13,5	342	97	39,4	30	2,07	75,90

Fonte: Autor, 2026

Figura 17 - Gráfico multivariado de radar de AP e AA da unidade São João Batista



Fonte: Autor, 2026.

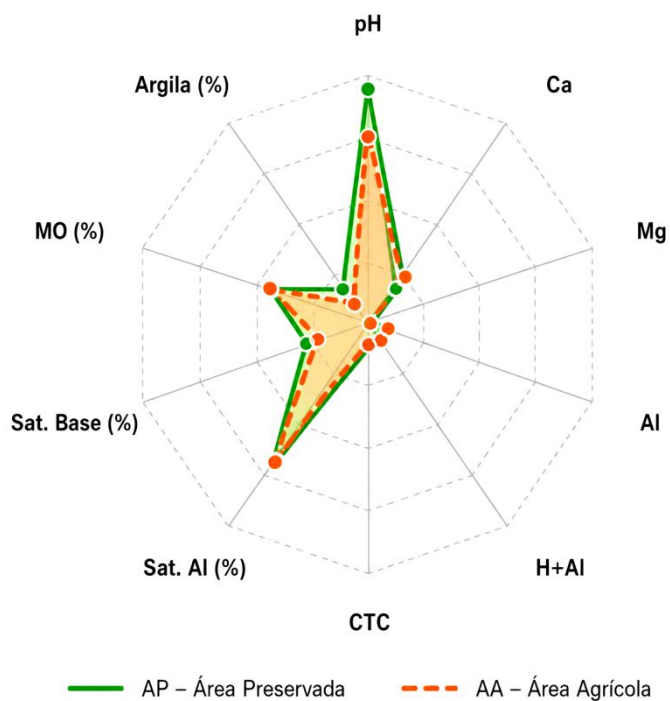
Em Pinheiro (Tabela 4), ambas as áreas apresentaram elevada acidez (pH 4,7 na AP e 4,5 na AA) e teores semelhantes de Al e CTC efetiva. A AP destacou-se pelos maiores teores de K (99 mg/dm³), P (5,5 vs. 3,0 mg/dm³) e N (7 vs. 4), além de maior saturação por bases (35% vs. 33%), indicando melhores condições de fertilidade. Já a matéria orgânica (~1,2%) e o teor de argila (15%) foram semelhantes entre as áreas. A Figura 17 sintetiza as diferenças e semelhanças entre os atributos químicos e de fertilidade do solo nas áreas estudadas.

Tabela 4 - Análise de química do solo AP e AA da unidade Pinheiro

UNIDADE: PINHEIRO - MA													
Área	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	P- Mehlich	K	Na	Saturação (%)		% MO	% Argila
		-----cmolc/dm3 -----					----mg/dm3----		Al	Bases	---m/v---		
AP	4,7	1,4	0,4	1,6	3,9	3,7	5,5	99	7	43,2	35	1,24	20,90
AA	4,5	1,6	0,4	1,6	4,4	3,8	3,0	76	4	43,1	33	1,24	15,90

Fonte: Autor, 2026.

Figura 18 - Gráfico multivariado de radar de AP e AA da unidade Pinheiro



Fonte: Autor, 2026.

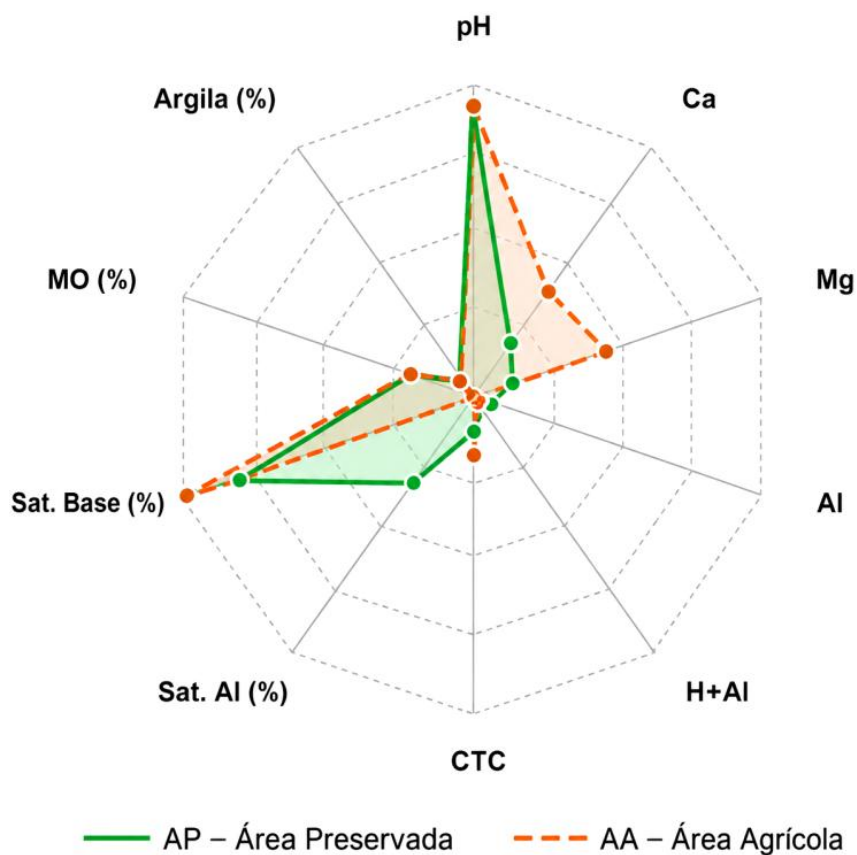
Em Turilândia (Tabela 5), ambas as áreas apresentaram pH semelhante (4,7), porém a AA destacou-se pelos maiores valores de CTC efetiva (5,2 vs. 3,9 cmolc/dm³), Ca, Mg, K (109 vs. 90 mg/dm³) e saturação por bases (69% vs. 61%), indicando melhores condições de fertilidade. Em contrapartida, a AP apresentou maiores teores de P (3,3 vs. 1,1 mg/dm³) e Na (13 vs. 9 mg/dm³). A matéria orgânica (~0,97%) e o teor de argila (13–15%) foram semelhantes entre as áreas. A Figura 19, apresentando o perfil comparativo dos atributos químicos e de fertilidade do solo.

Tabela 5 - Análise de química do solo AP e AA da unidade Turilândia

UNIDADE: TURILÂNDIA - MA													
Área	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	P- Mehlich	K	Na	Saturação (%)		% MO	% Argila
		-----cmolc/dm3 -----				---mg/dm3---			Al	Bases	---m/v---		
AP	4,7	1,5	0,9	1,2	1,7	3,9	3,3	90	13	30,8	61	0,97	13,40
AA	4,7	2,1	2,1	0,9	2,2	5,2	1,1	109	9	17,3	69	0,97	13,40

Fonte: Autor, 2026.

Figura 19 - Gráfico multivariado de radar de AP e AA da unidade Turilândia



Fonte: Autor, 2026.

Os resultados evidenciaram variações nas bases trocáveis e na capacidade de troca catiônica (CTC) entre AP e AA. De modo geral, as AP apresentaram maiores teores de Ca e Mg, refletindo em maiores valores de CTC efetiva, especialmente em Vitória do Mearim e São Vicente Férrer, indicando maior capacidade de retenção e disponibilidade de nutrientes.

Em contrapartida, as diferenças observadas em Pinheiro e São João Batista foram menos expressivas, sugerindo maior influência dos fatores pedogenéticos sobre esses atributos. Esses resultados reforçam a importância da CTC como indicador da qualidade química do solo, uma vez que a redução das bases trocáveis em áreas sob uso agropecuário pode contribuir para o empobrecimento gradual da fertilidade (Cordeiro *et al.*, 2024).

A saturação por bases (V%) e por alumínio (m%) também evidenciaram diferenças relevantes entre as áreas estudadas. A maioria das unidades apresentou V% inferior a 50%, caracterizando solos distróficos, com destaque para Vitória do Mearim em AA (26%). Em contraste, Turilândia apresentou os maiores valores de V% tanto na AP quanto na AA (61% e 69%), indicando melhores condições químicas.

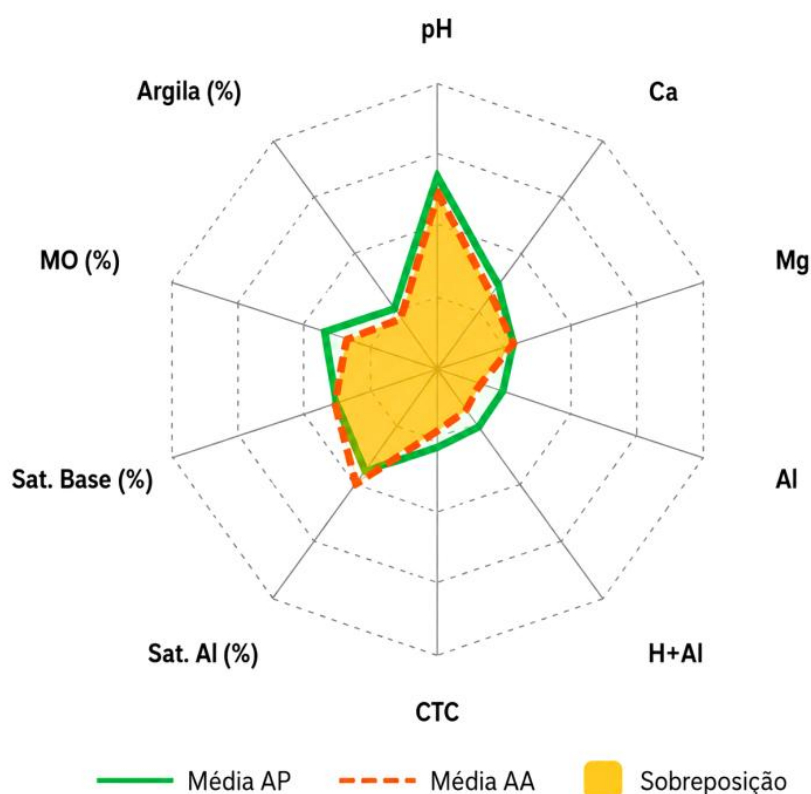
Em relação ao alumínio, observou-se tendência de maiores valores de saturação nas áreas agrícolas, especialmente em Vitória do Mearim, embora esse padrão não tenha sido uniforme entre as unidades.

Em São João Batista e Turilândia, por exemplo, as AP apresentaram maior saturação por Al, evidenciando a influência de fatores naturais, como material de origem, hidromorfismo e acúmulo de matéria orgânica ácida. Assim, os resultados indicam que a dinâmica da fertilidade dos solos na área de estudo resulta da interação entre processos naturais e o manejo antrópico, refletindo diferentes graus de alteração química entre as unidades avaliadas.

Sob uma visão integrada, da comparação da média regional das AP (em verde sólido) com as AA (em terracota tracejado), tem-se que a região dourada representa sobreposição dos perfis médios, evidenciando onde os valores são similares entre os dois tipos de uso, conforme pode ser observado na Figura 19. Observa-se uma elevada convergência entre os perfis para a maioria dos atributos químicos do solo, indicando comportamento semelhante entre as áreas avaliadas.

Entretanto, as AP apresentam, de modo geral, valores ligeiramente superiores de pH, matéria orgânica (MO), argila, Al e H+Al, enquanto as AA exibem discretamente maiores valores de saturação por alumínio (Sat. Al) e capacidade de troca de cátions (CTC). Essas diferenças, embora pouco expressivas, sugerem variações na dinâmica da fertilidade e nas características edáficas associadas aos distintos usos do solo.

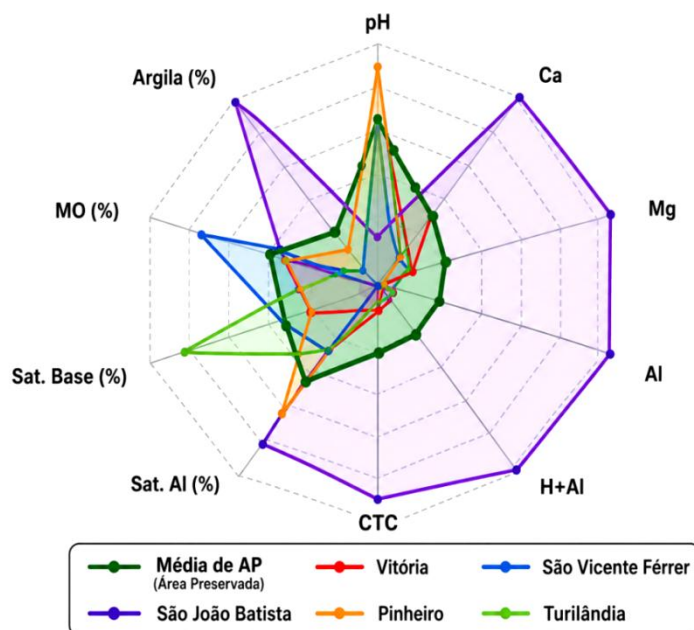
Figura 19 - Gráfico multivariado integração regional AA e AP



Fonte: Autor, 2026.

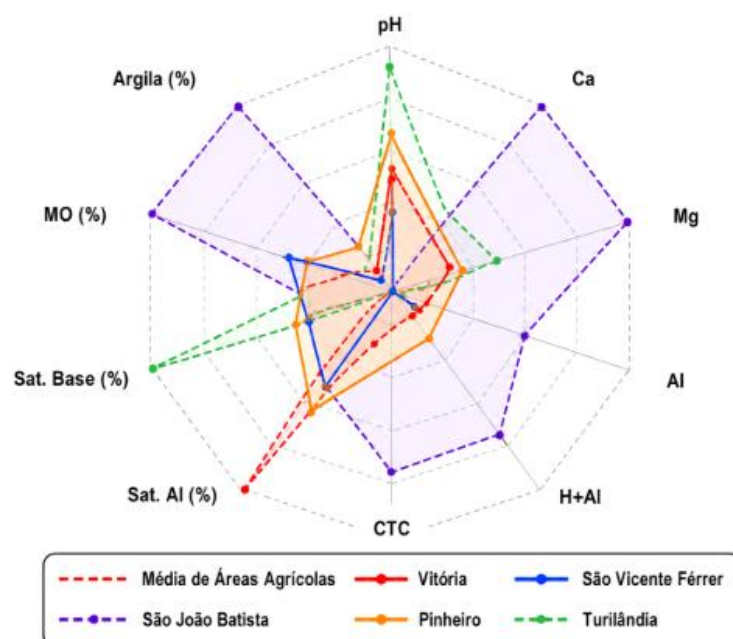
Nas figuras abaixo são apresentados os perfis multivariados de todas as Áreas Preservadas (Figura 20) e de todas as Áreas Agrícolas (Figura 21) dos 5 municípios. Cada polígono colorido representa um município; a linha verde (Figura 20) e a verde tracejada (Figura) indicam a média regional.

Figura 20 - Gráfico multivariado integração de todas as áreas preservadas



Fonte: Autor, 2026.

Figura 21 - Gráfico multivariado com integração de todas as áreas agrícolas.



Fonte: Autor, 2026.

6.3.4 Impactos do uso agropecuário na química e fertilidade

A conversão de áreas naturais em pastagens e lavouras intensifica processos de erosão, lixiviação de nutrientes e compactação do solo. Nas áreas agrícolas, especialmente em Vitória do Mearim e São Vicente Férrer, observaram-se reduções nos teores de cálcio, magnésio, potássio, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC), indicando empobrecimento químico e maior acidificação do solo. Em contraste, São João Batista apresentou maiores teores de matéria orgânica, associados à elevada fração argilosa e às condições hidromórficas.

A matéria orgânica e o nitrogênio estão diretamente relacionados à fração argila, que favorece a formação de complexos organominerais, aumentando a retenção de água e nutrientes e reduzindo a decomposição da matéria orgânica (Schick *et al.*, 2023). Entretanto, deficiências nutricionais podem limitar a produtividade agrícola, enquanto excessos favorecem a contaminação ambiental (Ribeiro *et al.*, 2024; Cantã *et al.*, 2020).

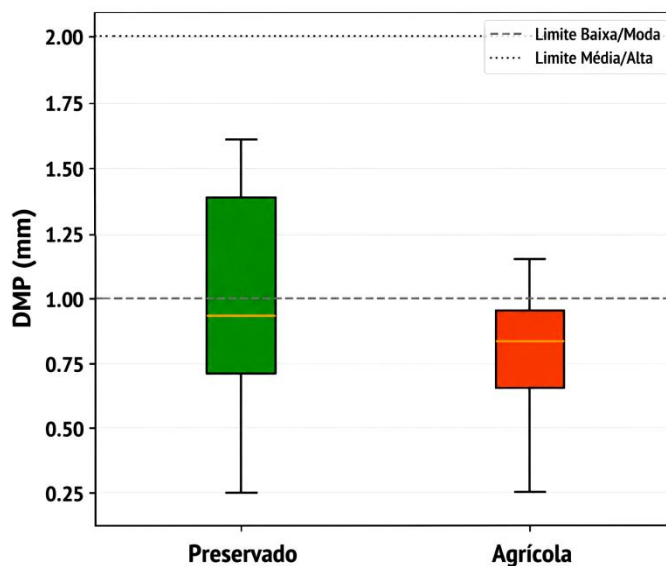
Os solos mais arenosos, predominantes em municípios como Vitória do Mearim e Turilândia, apresentaram maior vulnerabilidade à perda de nutrientes e degradação estrutural. Segundo Bulhões *et al.*, (2021), o uso contínuo do solo sem adequada reposição de nutrientes favorece a acidificação, a redução da CTC e da matéria orgânica, comprometendo a fertilidade e a produtividade agrícola (Nasser *et al.*, 2021). Nesse contexto, a Lei do Mínimo e a Lei da Restituição reforçam a necessidade de manejo e reposição equilibrada de nutrientes para manutenção da qualidade do solo (Liebig, 1840; Novais, 2007). A comparação entre AP e AA evidenciou tendências de degradação química associadas ao uso agropecuário, destacando a necessidade de práticas conservacionistas para manutenção da fertilidade e sustentabilidade dos solos.

6.3.5 Estabilidade de Agregados

Os atributos de estabilidade de agregados evidenciaram melhor qualidade estrutural dos solos sob vegetação preservada. O diâmetro médio ponderado (DMP) apresentou média de 0,98 mm na área preservada e 0,77 mm na área agrícola, enquanto o percentual de macroagregados foi de 19,0% e 10,7%, respectivamente.

Os boxplots (Figura 22) demonstraram maiores valores e maior variabilidade estrutural nas AP, ao passo que as AA concentraram-se em classes de menores.

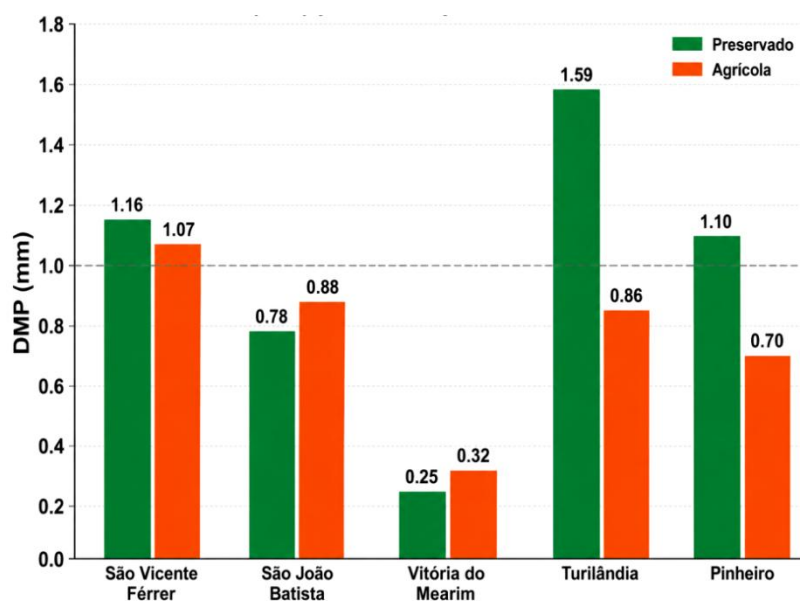
Figura 22 - Diâmetro Médio Ponderado por Uso de Solo



Fonte: Autor, 2026.

A análise por local evidenciou que a resposta do DMP ao uso do solo não foi uniforme. As maiores diferenças foram observadas em Turilândia e Pinheiro, enquanto em São João Batista e Vitória do Mearim houveram menos variações.

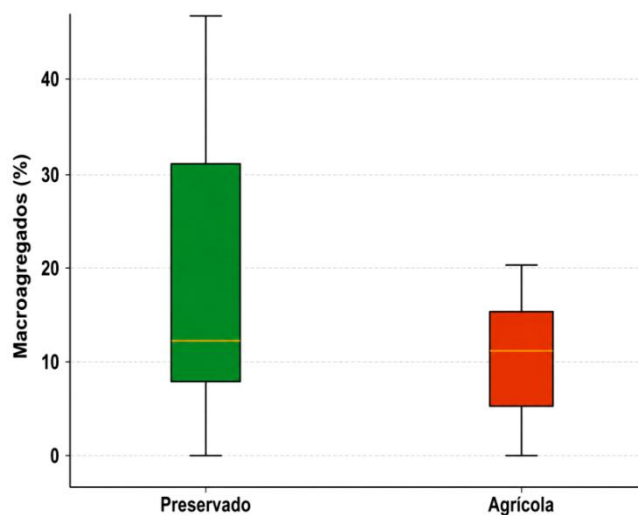
Figura 23 - Diametro Médio Ponderado por Local e Uso



Fonte: Autor, 2026.

O percentual de macroagregados apresentou tendência semelhante ao DMP, com maiores valores em AP (19,0%) em AA (10,7%). Além disso, a maior dispersão dos dados na AP a indica maior heterogeneidade estrutural (Figura 24).

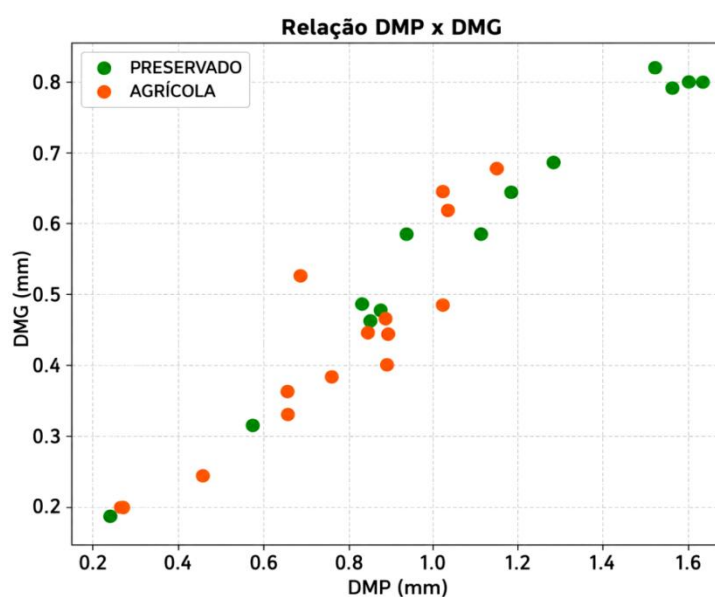
Figura 24 - Percentual de Macro agregados pós Uso do Solo



Fonte: Autor, 2026.

A relação entre DMP e DMG apresentou correlação positiva, evidenciando consistência entre os índices. AA concentraram os maiores valores (Figura 25).

Figura 25 - Relação Diâmetro Médio Ponderado com Diâmetro Médio Geométrico



Fonte: Autor, 2026.

De modo geral, os resultados indicam que o uso agrícola reduz a estabilidade dos agregados e o percentual de macroagregados, aumentando a suscetibilidade à degradação física do solo, enquanto as AP apresentaram melhores condições estruturais devido à cobertura vegetal e ao aporte contínuo de matéria orgânica, que favorecem a formação de agregados mais estáveis e menos suscetíveis à desagregação (Costa *et al.*, 2018; Carranca *et al.*, 2022; Hoffland *et al.*, 2020).

6.3.6 Densidade do solo

A densidade do solo é um importante indicador do grau de compactação e da organização das partículas, e influencia diretamente a resistência à penetração e processos relacionados a água. Embora não exista uma densidade ideal universal para cada tipo de solo, a literatura estabelece faixas críticas que variam principalmente em função da textura, do sistema e da cultura (Quadro 7).

Quadro 7 - Valores de referência para determinação da compactação do solo

Valores de Referência	
Textura do solo	Densidade (g/cm ³)
Muito argiloso	0,9 – 1,2
Argiloso	1,0 – 1,3
Franco	1,2 – 1,5
Arenoso	1,4 – 1,7

Fonte: Jones *et al.*, 1983; Lal, 1998; Silva; Rosolem, 2001; Beutler *et al.*, 2005; Reinert *et al.*, 2008 - Adaptado.

Os menores valores de densidade observados em solos argilosos, quando comparados aos arenosos, estão relacionados à maior porosidade total e ao maior grau de agregação promovido pela fração argila. Em contraste, solos arenosos apresentam densidade naturalmente mais elevada devido ao predomínio de partículas maiores e menor agregação estrutural. Dessa forma, os limites críticos de densidade tendem a ser menores em solos argilosos (Jones *et al.*, 1983). Os valores comparativos de densidade solo são exibidos no quadro 8.

Quadro 8 - Comparação dos principais resultados de densidade do solo

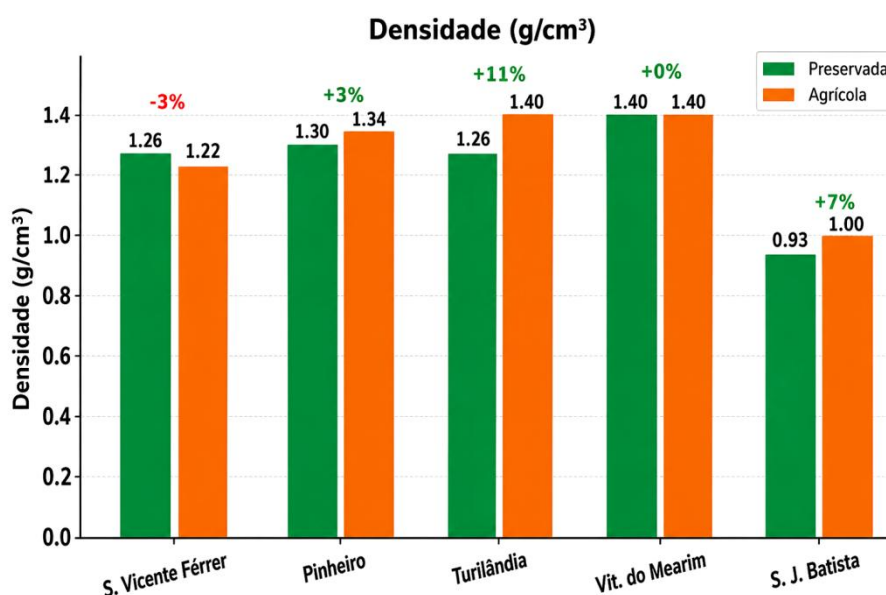
Unidade	Textura	Densidade de Referência (g cm ⁻³)	Faixa de Densidade (g cm ⁻³) nas entrecamadas	Classificação	Interpretação
São João Batista - (AA e AP)	Muito Argiloso	0,9 – 1,2	0,9– 1,0	Baixa	Apresentaram solo bem estruturado e maior porosidade, porém o maior teor de matéria orgânica foi observado apenas na AA.
Turilândia - (AP)	Areia Franca	1,2 – 1,5	1,2 - 1,3	Baixa	Solo preservado sem indícios de adensamento
São Vicente Férrer (AA e AP)	Franco arenoso	1,2 – 1,5	1,2 – 1,3	Intermediária	Condição considerada normal
Pinheiro - (AA e AP)	Franco arenoso e Franco argilo-Arenosa	1,2 – 1,5	1,1 – 1,4	Intermediária	Densidade compatível com uso agrícola
Vitória do Mearim - AA	Areia Franca	1,2 – 1,5	1,4 – 1,4	Intermediária	Dentro da faixa usual para solos manejados
Turilândia - AA	Franco arenoso	1,2 – 1,5	1,2 – 1,6	Alta	Indício de compactação (neste caso classifica-se como adensamento)
Votória do Mearim - AP	Areia franca	1,2 – 1,5	1,4 – 1,6	Alta	Maior adensamento do solo e possível restrição ao desenvolvimento radicular

Legenda: AA - Área Agrícola e AP - Área Preservada. Fonte: Autor, 2026.

Os valores de densidade do solo na APA variaram entre 0,91 e 1,66 g cm⁻³, refletindo diferenças nas condições estruturais, texturais e de manejo. Os menores valores foram observados em São João Batista, tanto em AP e em AA (0,91–1,05 g cm⁻³), indicando solos menos compactados e com melhor estrutura física. Valores intermediários (1,19–1,43 g cm⁻³) ocorreram em São Vicente Férrer, Pinheiro e Vitória do Mearim, enquanto os maiores valores foram registrados em Turilândia AA e Vitória do Mearim AP (1,46–1,66 g cm⁻³), sugerindo compactação ou adensamento.

A Figura 26 compara a densidade do solo entre áreas preservadas e agrícolas nos diferentes municípios, evidenciando variações entre os usos do solo e a influência do manejo na estrutura física do solo.

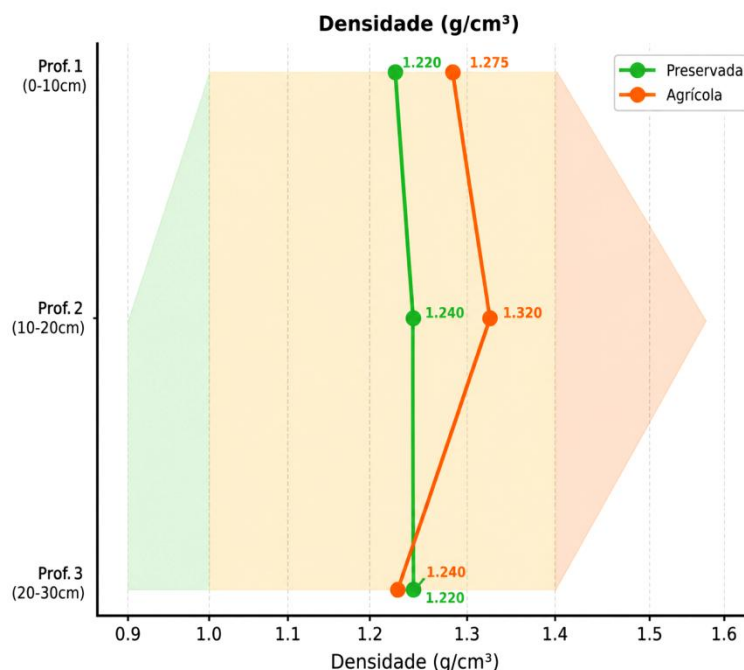
Figura 26 - Densidade por município com a média das 3 profundidades



Fonte: Autor, 2026.

A compactação agrícola é mais intensa nas camadas superficial e intermediária, variável demonstrada pela densidade, exatamente onde transitam equipamentos e ocorre o revolvimento. As áreas preservadas mostram adensamento natural gradual (1,22 a 1,24 g/cm³), enquanto as agrícolas apresentam densidade maior em profundidades de 0-10cm e 10-20cm (+0,08 g/cm³), convergindo na profundidade de 20-30 cm onde a biota e as raízes ainda mantêm a estrutura original (Figura 27).

Figura 27 - Comparativo da densidade em profundidade entre AP e AA



Fonte: Autor, 2026.

A variabilidade observada entre as áreas indica a influência conjunta de fatores naturais e do manejo sobre a densidade do solo. Em geral, solos arenosos e com menor teor de matéria orgânica tendem a apresentar maiores valores de densidade, enquanto solos argilosos e mais estruturados apresentam menores valores em razão da maior agregação e porosidade. Destaca-se o valor de $1,66 \text{ g cm}^{-3}$ registrado em Turilândia AA, na camada de 10–20 cm, como o mais elevado entre as áreas avaliadas, evidenciando possível alteração estrutural associada ao uso do solo.

6.3.7 Porosidade do solo

A macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total são indicadores da qualidade estrutural do solo e permitem avaliar processos de compactação. Para a maioria das culturas, valores de macroporosidade inferiores a 10% são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular.

O Quadro 9 apresenta os valores médios dos atributos físicos do solo, incluindo macroporosidade, microporosidade e porosidade total, na camada de 0–30 cm, permitindo a comparação entre as áreas avaliadas e a identificação de possíveis alterações na distribuição do espaço poroso em função do uso do solo.

Quadro 9 - Valores médios de 0-30 cm de Macro, Micro e Porosidade Total

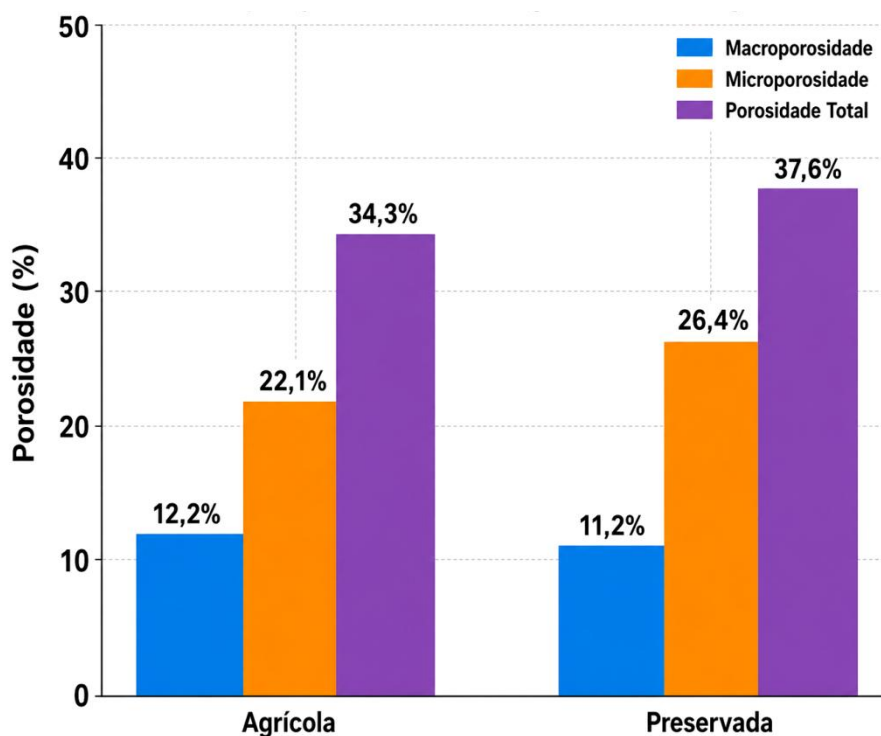
Unidade	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Porosidade Total (%)
Vitória do Mearim - AP	14,92	18,68	33,61
Vitória do Mearim - AA	15,09	14,27	29,36
São Vicente Férrer - AP	10,64	23,08	33,72
São Vicente Férrer - AA	13,34	21,50	34,83
São João Batista - AP	12,04	43,19	55,23
São João Batista - AA	11,41	23,82	35,23
Pinheiro - AP	8,44	22,72	31,16
Pinheiro - AA	13,26	19,34	32,60
Turilândia - AP	11,17	26,17	37,34
Turilândia - AA	6,17	35,69	41,86

Fonte: Autor, 2026.

A macroporosidade foi ligeiramente maior nas áreas agrícolas (+0,99%), mantendo-se acima do limite crítico de 10% na maioria das áreas, possivelmente devido ao revolvimento do solo, embora esse efeito tenda a ser temporário. A exceção ocorreu em Turilândia, onde a área agrícola apresentou menor macroporosidade (6,17%) em relação à área preservada (11,17%), indicando maior compactação.

As áreas preservadas apresentaram maior porosidade total (37,6%), associada aos maiores valores de microporosidade, enquanto as áreas agrícolas exibiram menor porosidade total, refletindo alterações estruturais decorrentes do manejo (Figura 28).

Figura 28 - Comparação geral (Agrícola vs Preservada)



Fonte: Autor, 2026.

Diversos estudos demonstram que áreas com vegetação preservada apresentam maior Porosidade Total (PT) e macroporosidade, refletindo uma estrutura do solo mais estável. Em contrapartida, áreas cultivadas sob manejo convencional tendem a apresentar maior densidade aparente e menor PT, em decorrência da compactação e da degradação da estrutura do solo. Esses resultados reforçam que a manutenção da cobertura vegetal favorece melhores condições de aeração e armazenamento de água no solo (Arcoverde *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Daniel *et al.*, 2022).

6.3.8 Estoques de Carbono

O uso da terra influencia diretamente o estoque de carbono do solo, tornando esse atributo um importante indicador da qualidade ambiental. Os valores dos estoques de carbono e suas respectivas diferenças entre os ambientes avaliados são apresentados no quadro 10 e na Figura 29.

Quadro 10 - Comparativo dos estoques de carbono na APA

Unidade	COT médio (%)	Ds média (g cm ⁻³)	Estoque (t/ha ⁻¹)	Diferença AP x AA
Vitória do Mearim - AP	0,53	1,4	22,26	+0,84
Vitória do Mearim - AA	0,55	1,4	23,10	
São Vicente Férrer - AP	0,53	1,3	20,67	-4,47
São Vicente Férrer - AA	0,45	1,2	16,20	
São João Batista - AP	1,65	0,9	44,55	-0,15
São João Batista - AA	1,48	1,0	44,40	
Pinheiro - AP	0,97	1,3	37,83	-12,09
Pinheiro - AA	0,66	1,3	25,74	
Turilândia - AP	0,55	1,3	21,45	+3,33
Turilândia - AA	0,59	1,4	24,78	

Fonte: Autor, 2026.

De modo geral, as áreas preservadas apresentaram maiores estoques de carbono. Em Pinheiro, a área preservada registrou 37,83 t/ha, enquanto a área agrícola apresentou 25,74 t/ha, representando redução de 12,09 t/ha. Em São Vicente Férrer, o mesmo padrão foi observado, com estoques de 20,67 t/ha na área preservada e 16,20 t/ha na área agrícola, indicando perda de carbono associada à conversão do uso da terra. Além disso, essas áreas podem apresentar menor acúmulo de carbono em profundidade quando comparadas a sistemas mais conservacionistas (Lima *et al.*, 2023; Leitão, 2025; Costa *et al.*, 2015; Bianchin *et al.*, 2024; Mendes *et al.*, 2025).

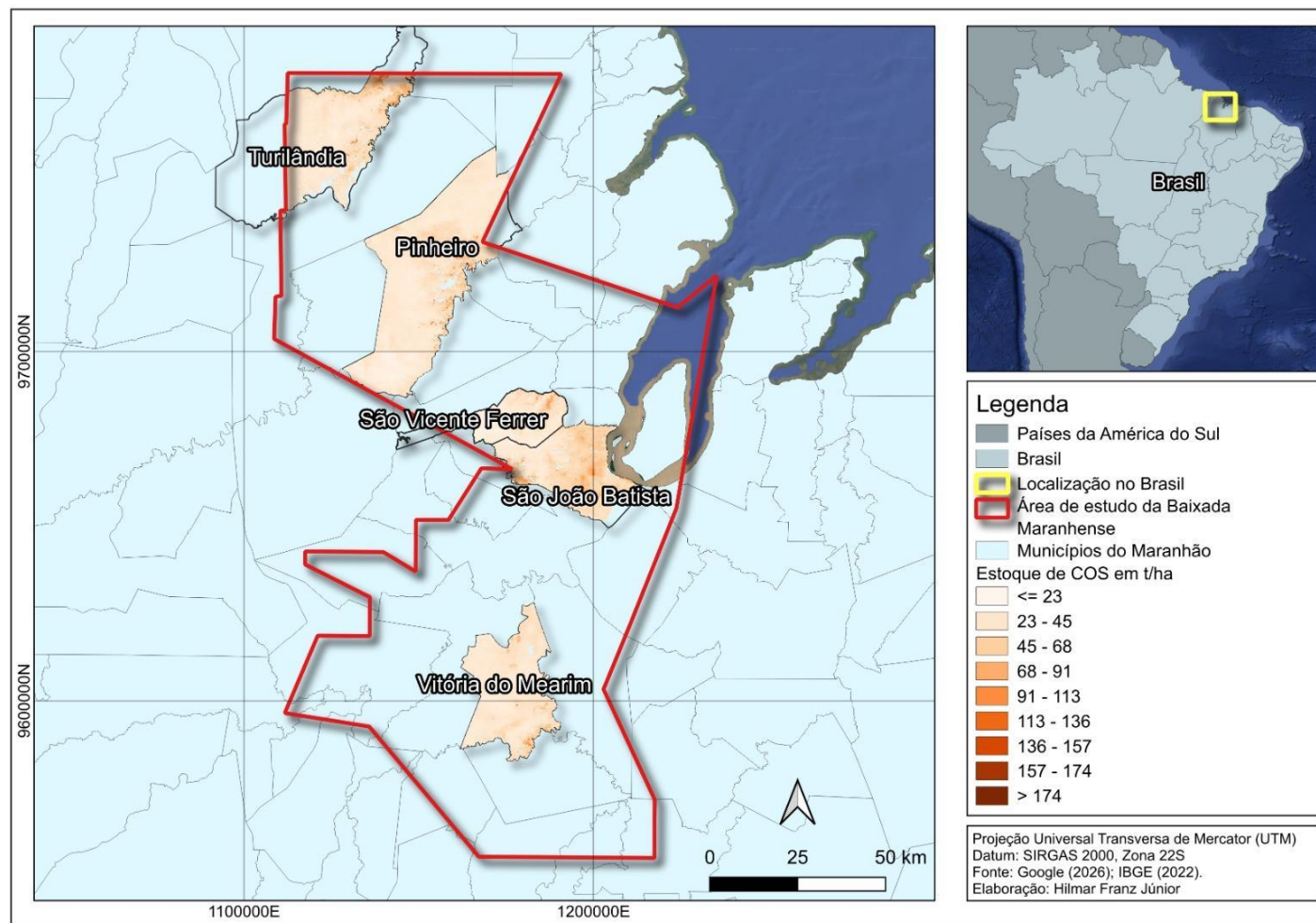
Em contraste, Vitória do Mearim e Turilândia apresentaram estoques ligeiramente superiores nas áreas agrícolas, com incrementos de 0,84 t/ha e 3,33 t/ha, respectivamente. Esse comportamento pode estar relacionado a práticas de manejo que favorecem o aporte de resíduos orgânicos, menor revolvimento do solo ou às diferenças de densidade utilizadas no cálculo dos estoques. Além disso, sistemas de pastagem podem apresentar potencial de armazenamento de carbono, ainda que inferior ao observado em áreas preservadas (Lima *et al.*, 2023; Leitão, 2025).

Em São João Batista, os estoques foram praticamente equivalentes entre a área preservada (44,55 t/ha) e a agrícola (44,40 t/ha), indicando estabilidade do carbono entre os usos da terra. Esse resultado pode estar associado ao elevado teor de argila e as condições hidromórficas, que favorece a proteção física da matéria orgânica o que favorece a estabilização e o acúmulo de carbono em subsuperfície (Lázaro *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2023; Neto; Silva, 2023). Apesar disso, os valores observados em São João Batista, permaneceram inferiores aos estimados pelo MapBiomas Solos (2021), que indicam estoques de até 136 t/ha para a região, bem como inferiores à média nacional estimada em 45 t ha⁻¹.

De forma geral, os resultados demonstram que o efeito do uso agrícola sobre os estoques de carbono não é uniforme na APA da Baixada Maranhense, variando desde perdas expressivas até a manutenção ou incremento dos estoques, em função das características do solo, das práticas de manejo e do histórico de uso das áreas.

Os resultados obtidos *in loco* em 2023 (Quadro 12) corroboraram parcialmente os dados do geoprocessamento de 2021 (Figura 36), evidenciando que áreas preservadas, de modo geral, apresentaram maiores estoques de carbono em relação às áreas agrícolas. Entretanto, em alguns municípios, os estoques permaneceram estáveis ou apresentaram pequenos incrementos sob uso agrícola, sugerindo influência das características físicas do solo, das condições hidromórficas e do manejo adotado. Dessa forma, observa-se que as mudanças entre 2021 e 2023 não foram abruptas, mantendo-se o padrão regional de maior acúmulo de carbono em áreas úmidas e menos antropizadas.

Figura 29 - Mapa de localização dos municípios e seus estoques de carbono no solo no ano de 2021.



Fonte: Mapbiomas Solos, 2023.

Por fim, deve-se pontuar que a dinâmica da matéria orgânica (MO) é influenciada por fatores climáticos e ambientais. Em áreas preservadas, a cobertura vegetal contínua favorece o aporte de resíduos e a ciclagem de nutrientes, contribuindo para a manutenção desse atributo e da qualidade do solo (Alovisi *et al.*, 2021). Em contrapartida, temperaturas elevadas e períodos de déficit hídrico intensificam a atividade microbiana e aceleram a decomposição da MO, reduzindo sua estabilidade no solo (Zheng *et al.*, 2023; Alvarez *et al.*, 2018; Jia *et al.*, 2020). Na APA da Baixada Maranhense, a sazonalidade climática pode potencializar esses processos, reforçando a importância da conservação da cobertura vegetal para a manutenção da matéria orgânica e da qualidade ambiental (Sousa *et al.*, 2020; Câmara *et al.*, 2025; Everton, 2025).

6.4 Integração de Dados

A análise multivariada de atributos do solo (densidade, carbono orgânico total, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia, silte e argila) foi realizada por meio de matrizes de correlação de Pearson, visando identificar as relações entre as variáveis e comparar os padrões de associação entre áreas agrícolas e preservadas. As matrizes de correlação de Pearson (r) permitem avaliar a intensidade e a direção das relações lineares entre os atributos analisados. Valores positivos indicam correlação direta, enquanto valores negativos representam correlação inversa, sendo a força da associação proporcional ao módulo do coeficiente de correlação. As Figuras 30 e 31 apresentam as matrizes correspondentes às áreas agrícolas (AA) e preservadas (AP), respectivamente.

Em AP (Figura 31), observou-se maior organização estrutural, com destaque para as correlações positivas entre argila, microporosidade e porosidade total. Em contrapartida, AA (Figura 30), essas associações foram menos intensas, especialmente entre carbono orgânico e microporosidade, indicando alterações na estrutura funcional do solo decorrentes do manejo. De modo geral, as áreas preservadas apresentaram padrões de correlação mais consistentes, enquanto as áreas agrícolas evidenciaram maior perturbação nas relações entre os atributos físicos do solo.

Figura 31 - Matriz de Correlação de Pearson para AP

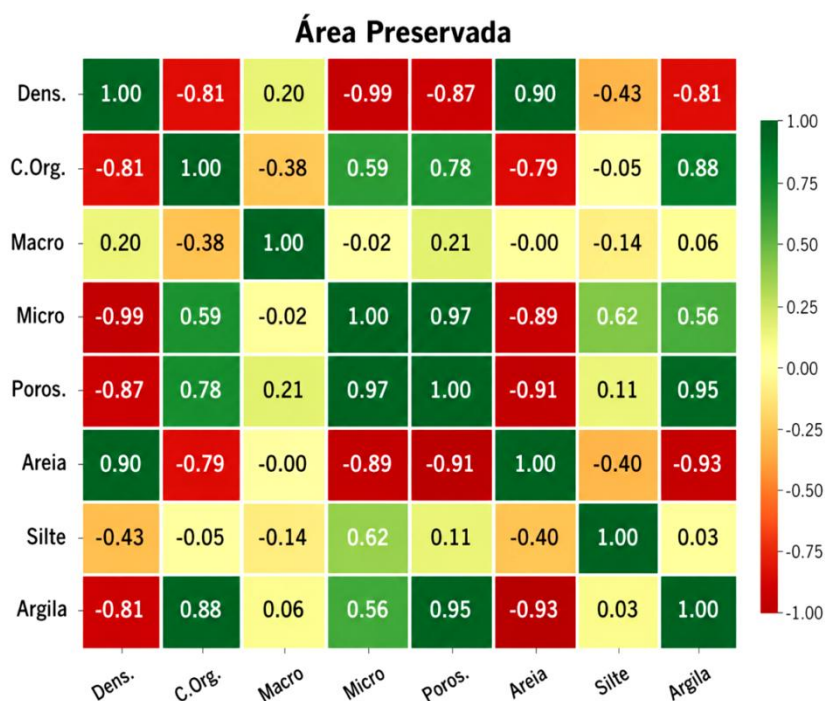
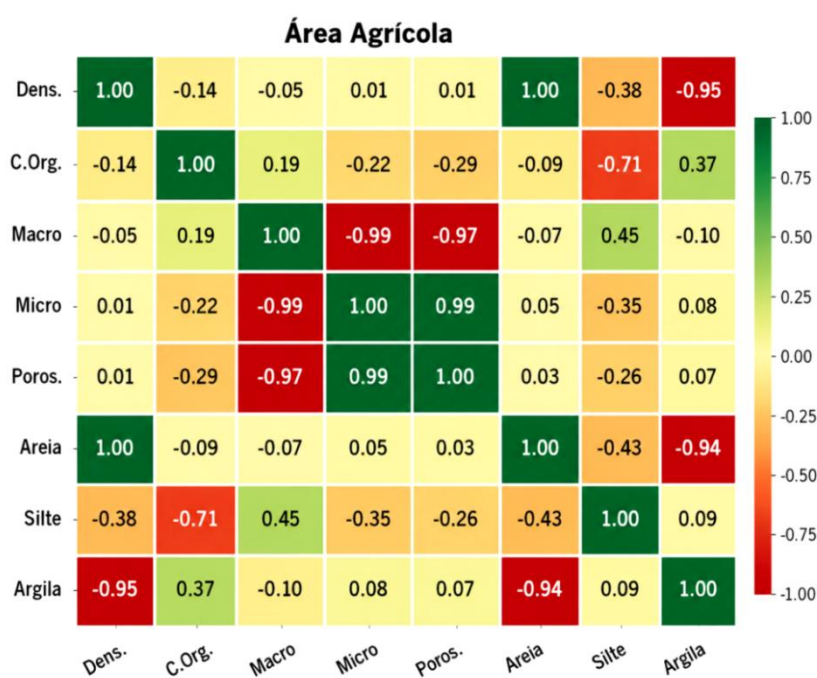
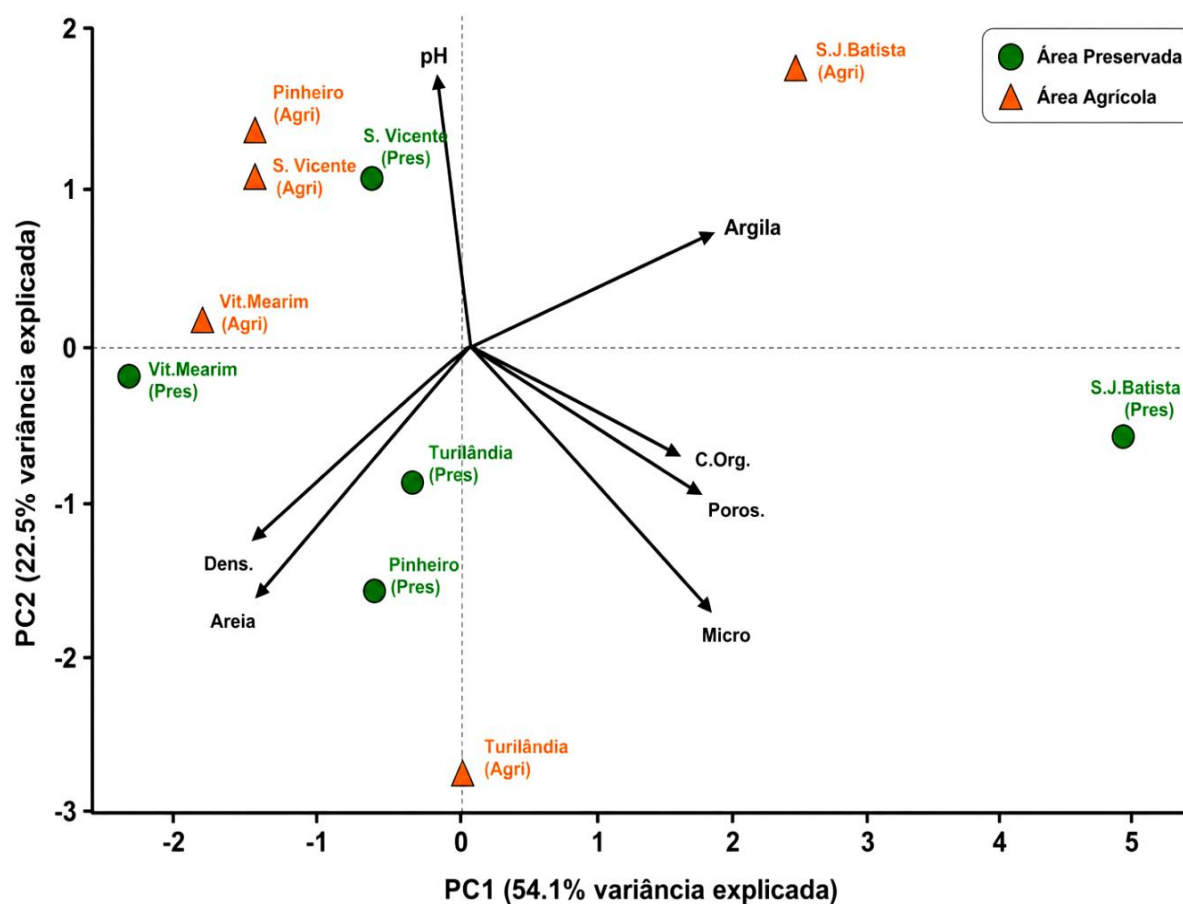


Figura 30 - Matriz de Correlação de Pearson para AA



A análise de componentes principais (PCA), apresentada na Figura 31, evidencia a diferenciação multivariada dos solos com base em oito variáveis avaliadas ($n = 10$ áreas). O primeiro componente principal (PC1) explicou 54,1% da variância total, representando o principal gradiente de diferenciação entre os solos. Esse eixo apresentou associação positiva com argila, porosidade total, microporosidade e carbono orgânico, indicando que valores elevados de PC1 correspondem a solos mais argilosos, porosos e com maior teor de matéria orgânica. Em contrapartida, valores negativos de PC1 estiveram associados a maiores teores de areia e maior densidade do solo, refletindo condições de maior compactação e menor capacidade de retenção de água.

Figura 31 - Análise dos componentes principais (PCA)



Fonte: Autor, 2026.

O PC2 (22,5% da variância) representa um gradiente secundário relacionado à distribuição dos poros, separando ambientes com maior macroporosidade daqueles com predominância de microporosidade, o que indica diferenças na dinâmica de água no solo. Espacialmente, São João Batista destacou-se no extremo positivo de PC1, em função da maior quantidade de argila e porosidade de seus solos, diferindo dos demais municípios, de textura mais arenosa a franco-arenosa, posicionados no lado negativo do eixo.

Observa-se ainda uma separação consistente entre áreas preservadas e agrícolas em todos os municípios, com deslocamento das áreas agrícolas para menores valores de PC1, indicando redução da qualidade estrutural associada ao manejo. Esse efeito é mais acentuado em Turilândia, enquanto em São João Batista, embora os solos apresentem melhor condição estrutural, também se observa distinção entre usos, evidenciando impacto da atividade agrícola mesmo em solos mais estáveis.

6.5 Práticas Conservacionistas para Melhoria da Química e Fertilidade

A adoção de sistemas de cultivo compatíveis com a ecologia das zonas úmidas pode contribuir de forma significativa para a recuperação e manutenção da fertilidade e qualidade física dos solos, ao mesmo tempo em que preserva a elevada biodiversidade desses ecossistemas singulares, reconhecidos internacionalmente como Sítios Ramsar (Rego *et al.*, 2020).

Dessa forma, do ponto de vista agrônômico, os solos da APA da Baixada Maranhense demandam a adoção de práticas de manejo conservacionistas estruturadas em diferentes pilares:

(i) Fixação agrícola sem expansão de novas áreas, por meio da intensificação sustentável, recuperação de áreas degradadas, correção da fertilidade do solo e aumento da eficiência no uso de água e nutrientes, visando elevar a produtividade e a rentabilidade sem conversão de novos ecossistemas naturais.

(ii) Manejo da matéria orgânica do solo, por meio da adubação orgânica, adubação verde e uso de leguminosas, visando à elevação dos teores de MO e à melhoria da fertilidade química e biológica;

(iii) Conservação da estrutura física e da cobertura do solo, baseada na rotação e consórcio de culturas, manutenção de resíduos vegetais e adoção do

sistema de plantio direto, com efeitos positivos sobre a infiltração de água, agregação e redução da compactação;

(iv) Diversificação produtiva, por meio da implementação de sistemas integrados, como integração lavoura-pecuária-floresta, lavoura-floresta, lavoura-pecuária e sistemas agroflorestais, que aumentam a eficiência no uso dos recursos naturais e a resiliência dos agroecossistemas; e

(v) Ordenamento territorial e fortalecimento da governança ambiental, com a implementação de um plano de manejo e zoneamento ambiental que restrinja o uso intensivo em áreas de baixa resiliência, aliado ao fortalecimento de programas de extensão rural voltados à promoção da tecnificação agrícola sustentável na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense.

7 Conclusão

As áreas agrícolas apresentaram redução dos teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio e capacidade de troca catiônica, além do aumento da acidez e da saturação por alumínio. Nos atributos físicos, observou-se redução do diâmetro médio ponderado dos agregados de 0,98 para 0,77 mm, diminuição dos macroagregados de 19,0% para 10,7% e densidade do solo variando entre 0,91 e 1,66 g cm⁻³, evidenciando processos de degradação associados ao uso do solo.

Os estoques variaram de 16,20 t ha⁻¹, em área agrícola de São Vicente Férrer, a 44,55 t ha⁻¹, em área preservada de São João Batista. De modo geral, as áreas preservadas apresentaram maiores estoques de carbono, destacando-se Pinheiro, onde a conversão para uso agrícola reduziu o estoque em 12,09 t ha⁻¹. Os resultados também demonstraram que a textura, o hidromorfismo e o manejo influenciam diretamente a estabilidade e a conservação do carbono no solo.

As principais estratégias para recuperação e conservação dos solos da área de estudo, incluem recuperação de áreas degradadas, incremento da matéria orgânica, adoção de sistemas conservacionistas, como plantio direto, rotação de culturas e sistemas integrados de produção, além da elaboração de um plano de manejo para a Unidade de Conservação. Essas medidas visam reduzir a degradação dos solos, preservar os estoques de carbono e promover a sustentabilidade ambiental e produtiva da APA da Baixada Maranhense.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

A integração das análises de uso e ocupação do solo, atributos físicos e químicos e dinâmica do carbono orgânico na APA da Baixada Maranhense evidencia um quadro consistente de transformação ambiental associado à intensificação das atividades agropecuárias, expansão urbana e pressões antrópicas sobre uma área de elevada sensibilidade ecológica. Entre 1985 e 2022, a substituição progressiva de formações florestais e áreas alagáveis por pastagens e usos agrícolas consolidou um processo de fragmentação de habitats, redução da conectividade ecológica e alteração da funcionalidade das zonas úmidas, com impactos diretos sobre os serviços ecossistêmicos, especialmente a regulação hídrica e o sequestro de carbono.

Os solos predominantes na região são os gleissolos, argissolos, planossolos, plintossolos e vertissolos e suas associações apresentam, em sua condição natural, limitações relacionadas à acidez, hidromorfismo e forte dependência do regime hídrico. No entanto, a conversão para sistemas produtivos intensifica tais restrições, desencadeando um conjunto de processos degradativos de natureza física e química. Do ponto de vista químico, observa-se redução consistente da fertilidade, com decréscimo das bases trocáveis e da capacidade de troca catiônica (CTC), aumento da saturação por alumínio e elevação da acidez ativa, configurando sistemas menos tamponados e mais limitantes ao desenvolvimento vegetal. Paralelamente, verifica-se diminuição da matéria orgânica e dos estoques de carbono orgânico do solo, com valores variando de aproximadamente $16,20 \text{ t ha}^{-1}$ em áreas agrícolas a até $44,40 \text{ t ha}^{-1}$ em áreas preservadas, evidenciando perda expressiva da função do solo como reservatório de carbono.

No âmbito físico, os solos sob uso antrópico apresentam aumento da densidade aparente, redução da porosidade total e da macroporosidade, além de menor estabilidade de agregados, o que compromete a infiltração de água, a aeração e a resistência estrutural do solo. Esses efeitos estão diretamente associados à redução da matéria orgânica, reforçando a estreita interdependência entre os atributos físicos e químicos na manutenção da qualidade edáfica. A textura atua como fator modulador central desse comportamento: solos mais argilosos e hidromórficos tendem a apresentar maior proteção física da matéria orgânica e maior estabilidade do carbono, enquanto solos arenosos demonstram maior vulnerabilidade à lixiviação de nutrientes e à mineralização acelerada.

A comparação entre áreas agrícolas e áreas preservadas evidencia, de forma consistente, o papel estruturante da vegetação natural na manutenção da qualidade do solo, com maior CTC, maior estabilidade de agregados e maiores estoques de carbono. Esses resultados demonstram que a degradação observada não decorre apenas das limitações naturais dos solos da região, mas principalmente da interação entre essas limitações e práticas de manejo inadequadas, que aceleram processos de perda de fertilidade e funcionalidade ecológica.

Dessa forma, conclui-se que a sustentabilidade da APA da Baixada Maranhense depende diretamente da implementação de estratégias integradas de ordenamento territorial e manejo conservacionista, incluindo sistemas agroflorestais, integração lavoura-pecuária-floresta, recuperação de áreas degradadas, proteção efetiva de APPs e reservas legais, além do fortalecimento da assistência técnica e do extensionismo rural. Tais medidas são fundamentais para restaurar a qualidade física e química dos solos, reverter a perda de carbono orgânico e assegurar a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais em uma das mais importantes zonas úmidas do território brasileiro.

9 REFERÊNCIAS

ABATE, Hugo Luca *et al.* Theileria sp. in water buffaloes from Maranhão State, northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 27, p. 593-596, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidrografia do Maranhão — 2022. Base de dados geoespaciais (shapefile). Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2026.

AHLSTRÖM, Anders *et al.* Hydrologic resilience and Amazon productivity. **Nature communications**, v. 8, n. 1, p. 387, 2017.

AIRES, Uilson Ricardo Venâncio *et al.* Capacidade do uso da terra: um estudo de caso em uma microbacia do Rio Piracicaba, MG. **Nativa**, v. 5, n. 6, p. 402-409, 2017.

ALMEIDA, Juliana Lopes *et al.* O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do Rio Mearim. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 102-120, 2020.

ALMEIDA, Juliana Lopes *et al.* O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do Rio Mearim. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 102-120, 2020.

ALI, Shafiq *et al.* Carbon sequestration in mangrove ecosystems: sources, transportation pathways, influencing factors, and its role in the carbon budget. *Earth-Science Reviews*, v. 269, p. 105184, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105184>

ALOVISI, Alves Alexandre *et al.* Atributos de fertilidade dos solos sob vegetação nativa do bioma cerrado. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 7, p. 38-52, 2021.

ALPERSTEDT, Graziela Dias *et al.* A atuação no mercado externo influencia a estratégia de gestão ambiental das empresas brasileiras? Um estudo multicaso na indústria cerâmica de Santa Catarina. 2013.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 933-942, 1999.

ALVES, Raimundo Nonato Brabo; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. **Amazônia: do verde ao cinza**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 2008.

ALVES, E. A. C.; MORAES, I. C.; LUPINACCI, C. M.; PINTO, S. dos A. F. Perdas de solo e distribuição do tamanho das partículas do material transportado por erosão hídrica sob cultivo de cana-de-açúcar e pastagem. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 19, n. 3, p. 109–126, 2021.

ALVES, Rodrigo Condé *et al.* Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, 2019.

ALVAREZ, G.; SHAHZAD, T.; ANDANSON, L.; BAHN, M.; WALLENSTEIN, M. D.; FONTAINE, S. Catalytic power of enzymes decreases with temperature: new insights for understanding soil C cycling and microbial ecology under warming. **GLOBAL CHANGE BIOLOGY**, **Hoboken**, v. 24, n. 9, p. 4238–4250, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14281>.

AMARAL, Felipe Gonçalves *et al.* Evolução Recente do Desflorestamento na Amazônia Legal: Supressão, Trajetórias e seus Padrões.

AMORIM, Ingrid Fabiana Fonseca. Diversidade e valor de uso de plantas lenhosas na Baixada Maranhense, Amazonia Oriental, Brasil. 2022. 122 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

ANJINHO, Phelipe Silva *et al.* Análise da conformidade ambiental das áreas protegidas da microbacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme, São Carlos-SP (Analysis of the environmental compliance of the protected areas of

the Santa Maria do Leme stream basin, São Carlos-SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 7, p. 2412-2426, 2018.

ANZEVINO, M. Processi di sostegno degli strumenti europei in favore di alcuni territori di particolare valenza ambientale e naturalística: aree umide. 2004. Tese de Doutorado. Tesi di stage. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici. APAT. Dipartimento Difesa della Natura. Febbraio.

ARCOVERDE, S. N. S.; Souza, C. M. A. de; Suárez, A. H. T.; Colman, B. A.; Nagahama, H. de J. Atributos físicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em função do preparo e época de amostragem. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 41–47, 2019. DOI: 10.32404/rean.v6i1.2761.

ARAÚJO, Elienê Pontes de; DIAS, Luiz Jorge Bezerra da Silva; CATUNDA, Paulo Henrique de Aragão (coord.). Relatório técnico de pedologia do zoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão (ZEE) – Etapa Bioma Amazônico. São Luís: IMESC, 2019. 88 p. ISBN 978-65-87226-03-3.

ATTANASIO, Cláudia Mira *et al.* A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, p. 493-501, 2012.

ATZBERGER, Clement. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote sensing**, v. 5, n. 2, p. 949-981, 2013.

AZEVEDO, Eduardo Bessa. Ciclos Biogeoquímicos. O solo: estrutura e composição, 2022.

BARBIERI, Fabrícia *et al.* Diagnóstico das atividades de educação ambiental em unidades de conservação: propondo ações no contexto atual. **Revista Monografias Ambientais**, v. 17, 2018.

BARROS, Khokhy Sefo Maria *et al.* SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DAS ZONAS ÚMIDAS DO BAIXO CURSO DO RIO CATUMBELA/ANGOLA, SUA RELEVÂNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Revista Territorium Terram**, v. 8, n. 16, p. 562-578, 2025.

BARROS, Maria Fabiene Sousa *et al.* Ecologia alimentar de Hassar affinis (Actinopterygii: Doradidae) em dois lagos de uma zona úmida de importância internacional no Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e10110816973-e10110816973, 2021.

BATÁRY, Péter *et al.* The role of agri-environment schemes in conservation and environmental management. **Conservation Biology**, v. 29, n. 4, p. 1006-1016, 2015.

BATISTELLA, M. Bolfe, E. L. Vicente, L. E. Victoria, D. C. Tôsto, S. G. Drucker, D. P. Silva, G. B. S. Garçon, E. A. M. Oliveira, B. P. Oshiro, O. T. Relatório do Banco de Dados do Macrozoneamento Ecológico Econômico Estado do Maranhão. **Relatório técnico**. Campinas, SP: Embrapa. 2013

BATJES, Niels H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European journal of soil science**, v. 65, n. 1, p. 10-21, 2014.

BELLONI, Tássia Fraga. Caracterização funcional ecossistêmica da zona úmida de costeiras a partir de indicadores obtidos por dados de satélite. 2025. Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.— Programa de Pós-Graduação em em Sensoriamento Remoto , Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/293320>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2026.

BERNAL, Blanca; MITSCH, William J. Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities. **Global Change Biology**, v. 18, n. 5, p. 1636-1647, 2012.

BERTOLIN, Camila Magri. Gestão financeira de unidades de conservação: perspectiva teórica sobre turismo e uso público em Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 373-386, 2020.

BESSA. FLAVIA BESSA. 2017. Carbono orgânico do solo é chave para mitigação das mudanças climáticas. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21498262/carbono-organico-do-solo-e-chave-para-mitigacao-das-mudancas-climaticas>> Acesso: 20 de dez de 2023.

BEZERRA, Denilson da Silva Bezerra *et al.* Análise dos Focos de Queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1988 à 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

BEUTLER, Amauri Nelson *et al.* Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 843-849, 2005.

BORSATTO, Ricardo Serra *et al.* Problemas agrários do litoral paranaense: abordagem histórica. **Scientia agraria**, v. 8, n. 4, p. 421-429, 2007.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; CONTE, O.; OLIVEIRA, E.; LEVIEN, R. Equipamento para coleta de amostras indeformadas de solo para estudos em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1929–1934, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600042.

BORGESSEN, C. D.; IVERSEN, B. V.; JACOBSEN, O. H.; SCHAAP, M. G. Pedotransfer functions estimating soil hydraulic properties using different soil parameters. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 11, p. 1630–1639, 2008. DOI: BIANCHIN, G. P. *et al.* Análise qualitativa da matéria orgânica em solo agrícola do Cerrado que apresenta sequestro de carbono: um estudo por LIFS. 2024.

BRASIL, 2012. LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> /> Acesso 07 de junho 2023.

BRASIL. Convenção de Ramsar – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. 2026. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/areas-umidas/ramsar>>. Acesso em: 22 fev. 2026.

BRASIL, 2021. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Legislação. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/criacao-de-unidades-de-conservacao/legislacao>> Acesso 20 de novembro 2023.

BRASIL, 2024. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas/areas-umidas/a-convencao-de-ramsar-1>> Acesso 21 de dezembro 2023.

BRASIL, Suiane Benevides Marinho; DE CARVALHO, Rodrigo Guimarães. Desafios para a sustentabilidade das unidades de conservação no Brasil: novo caminho trilhado para os planos de manejo (Edição 525). **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1, 2021.

BRASIL. 2024. Áreas Úmidas. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas/areas-umidas>> Acesso: 20 de dez de 2023.

BRASIL. Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm> Acesso 28 de maio de 2024.

BRASIL. DECRETO Nº 1.905, DE 16 DE MAIO DE 1996. Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/d1905.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%201.905%2C%20DE%2016,02%20de%20fevereiro%20de%201971.> Acesso 20 de novembro 2023. 2024

BRASIL. Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, para dispor sobre a intervenção em áreas de preservação permanente em áreas urbanas consolidadas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.285-de-29-de-dezembro-de-2021-372139529>> Acesso em: 5 de setembro de 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Sítio Ramsar — APA da Baixada Maranhense (MA): Planejamento para o Sucesso de Conservação. Brasília, DF: MMA, 2016. 27 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/areas-umidas/publicacoes/baixada_maranhense.pdf>. Acesso em: 27 de janeiro de 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sítio Ramsar, APA da Baixada Maranhense - MA. Planejamento para uma gestão de sucesso. 2000. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/areas-umidas/publicacoes/baixada_maranhense.pdf> Acesso em: 5 de setembro de 2024.

BRASIL. O Brasil possui 27 áreas úmidas reconhecidas pela Convenção como Sítios Ramsar. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sítios Ramsar brasileiros. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>>. Acesso em: 09 de setembro 2023.

BRASIL. Sítios Ramsar brasileiros. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/ecossistemas/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>> Acesso 28 de maio de 2024.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia: Legislação da Amazônia 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudam/pt-br/aceso-a-informacoes/institucional/legislacao-da-amazonia> Acesso 02 de junho 2024.

BRAZ, A.; BARROS, M.; BRAZ, A.; GARCIA, P. Manejo e capacidade de uso das terras aplicando geotecnologias na bacia hidrográfica do córrego Lajeado Amarelo – Três Lagoas/MS. **Revista Cerrados**, v. 15, n. 1, p. 237-264, 2020. DOI: 10.22238/rc24482692v15n12017p237a264.

BRAZ, Leonam Costa; PEREIRA, Jorge Luis Gavina; FERREIRA, Leandro Valle; THALÈS, Marcelo Cordeiro. A situação das áreas de endemismo da

Amazônia com relação ao desmatamento e às áreas protegidas. *Boletim Geográfico*, Maringá, v. 34, n. 3, p. 45–62, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i3.30294>

BRITO, Rafael Martins; GARCIA, PHM; CHAVEZ, E. S. Vinte anos da lei do SNUC: Histórico e momento atual das unidades de conservação em Mato Grosso do Sul. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 62, p. 841-841, 2020.

BRIZOLARI, Guilherme Rodrigo; PISANI, Rodrigo José. Análise de conflito de uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente no município de Araraquara-SP. **Cerrados**, v. 20, n. 2, p. 283-305, 2022.

BRIZZI, Raphael Rodrigues; DE SOUZA, Andréa Paula; DA COSTA, Alexander Josef Sá Tobias. Influência do manejo agrícola na suscetibilidade dos solos à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Romão, Nova Friburgo/RJ. **Estudos Geográficos, Rio Claro**, v. 15, n. 2, p. 171-191, 2017.

BROLSMA, R. J.; VAN VLIET, M. T. H.; BIERKENS, M. F. P. Climate change impact on a groundwater-influenced hillslope ecosystem. **Water Resources Research**, v. 46, n. 11, 2010.

BRYCESON, Deborah Fahy et al. MINERALIZED URBANIZATION IN AFRICA IN THE TWENTY-FIRST CENTURY: Becoming Urban through Mining Extraction. *International Journal of Urban and Regional Research*. 2022.

BULHÕES, Leandro Antônio et al. Propriedades químicas de argissolos vermelho–amarelo com e sem manejo agroecológico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e360101019014-e360101019014, 2021.

CABERNARD, Livia; PFISTER, Stephan. Hotspots of mining-related biodiversity loss in global supply chains and the potential for reduction through renewable electricity. **Environmental Science & Technology**, v. 56, n. 22, p. 16357-16368, 2022.6, n. 3, p. 342-369, 2022.

CABRAL, Rodolfo *et al.* Medium-sized to large mammals of Serra do Tombador, Cerrado of Brazil. **Check List**, v. 13, n. 3, p. 2129-2129, 2017.

CÂMARA, Bianca Cristina Coelho. Mudanças nas taxas de precipitação na cidade de Santa Helena, baixada maranhense. 2025. (**Trabalho de Conclusão de Curso**) — Universidade Estadual do Maranhão, São Bento, 2025.

Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/4651>.

Acesso em: 10 fevereiro de 2026.

CAMPOS, Milton Cesar Costa et al. Agregados de solos em áreas sob distintas intensidades de uso da região semiárida do Nordeste. **Scientia Plena**, v. 18, n. 7, 2022.

CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; NARDINI, R. Caracterização da capacidade de uso das terras de uma microbacia no interior paulista. **Nativa**, v. 4, n. 5, p. 328-332, 2016. DOI: 10.31413/nativa.v4i5.3711.

CAMPOS, S.; SANTOS, T.; SILVA, C.; BARROS, Z.; CARDOSO, L. Capacidade de uso das terras da bacia do ribeirão Água Fria – Bofete (SP). **Irriga**, v. 7, n. 2, p. 91-97, 2002. DOI: 10.15809/irriga.2002v7n2p91-97.

CANTANHÊDE, Lorrane Gabrielle *et al.* Biologia reprodutiva do Hassar affinis (Pisces: Siluriformes, Doradidae), Lago de Viana, Baixada Maranhense, Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 219-226, 2016.

CANTÃO, Veridiana Cardozo Gonçalves et al. Adicionar dejetos suínos por 17 anos em área agrícola causa poluição por cádmio?. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60904-60915, 2020.

CARDOSO, Rayssa de Lima *et al.* Aspects of reproductive biology of curimba *Prochilodus lacustris* (Pisces, Prochilodontidae) in a tropical lake in Northeastern Brazil. **Journal of applied ichthyology**, v. 35, n. 2, p. 488-500, 2019.

CARRANCA, C.; PEDRA, F.; MADEIRA, M. Enhancing carbon sequestration in Mediterranean agroforestry systems: **a review**. **Agriculture**, v. 12, n. 10, p. 1598, 2022.

CARVALHO, Ana Paula Pereira *et al.* Fragilidade ambiental à erosão em uma bacia hidrográfica antropizada no nordeste do estado de São Paulo, Brasil.

Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 3, p. 07-18, 2019.

CARVALHO, João Luis Nunes *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-290, 2010.

CARVALHO. ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO. 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/875102/1/art059.pdf>> Acesso: 20 de dez de 2023.

CESSA, Raphael Maia Aveiro; FARIA, Giovanni Santos Marin; DO NASCIMENTO RIBEIRO, Ângelo Franco. Uso da terra em uma porção da microbacia do Rio Dourados. **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 1, 2014.

CHAPETA, A. C. O.; PEREIRA, E. G.; DONATO, A. F.; FERNANDES, E. C.; SANTOS, L. A.; BUCHER, C. A.; BUCHER, C. P. C. Variedades de arroz locais como alternativas viáveis para uma agricultura mais sustentável. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 225–232, 2020. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071516](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071516).

CHAUVEL, Armand; GRIMALDI, Michel; TESSIER, Daniel. Changes in soil pore-space distribution following deforestation and revegetation: an example from the Central Amazon Basin, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 38, n. 3-4, p. 259-271, 1991.

CHAVES, Lianne Pollianne Fernandes Araújo *et al.* Biogeographical diversity of north mesoregion of the Maranhão state (Brazil). 2016.

CHAVES, Modesto Antonio. **Áreas úmidas construídas para remoção de poluentes**. Editora CRV, 2025.

CHIAVARI, Joana; LOPES, Cristina L.; DE ARAUJO, Julia N. Onde estamos na implementação do código florestal. Radiografia do CAR e do PRA nos estados Brasileiros. Relatório, Rio de Janeiro, Brazil: Climate Policy Initiative [www document]. URL <https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/onde->

estamosna-implementacao-do-codigo-florestal-radiografia-do-car-e-do-pra-nosestados-brasileiros-edicao-2021, 2020.

CLARK, Michael; TILMAN, David. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 6, p. 064016, 2017.

COELHO, Silvio Carlos et al. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017.

COME, Sérgio Feliciano. A dinâmica da adoção das tecnologias agrárias em Moçambique: análise do período 2002 a 2020. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e332101018691-e332101018691, 2021.

CONANT, R. T. Sequestration through forestry and agriculture. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 2, n. 2, p. 238–254, 2011.

CONCEIÇÃO NETO, Mauricio Dias *et al.* Benefícios da implantação de um sítio Ramsar no Amapá para mitigação dos impactos das mudanças climáticas na região. **Paranoá**, n. 34, p. 1-20, 2023.

CONVENTION ON WETLANDS – Ramsar Sites Information Service. Baixada Maranhense Environmental Protection Area – Site no. 1020. RSIS – Ramsar Sites Information Service, 2020. Disponível em: <<https://rsis Ramsar.org/ris/1020>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2026.

CONSENSUS. **Consensus AI: ferramenta de inteligência artificial para busca e síntese de literatura científica**. Boston, 2026. Disponível em: <<https://consensus.app/>>. Acesso em: 29 maio 2026.

CORDEIRO, Ricardo Augusto Martins et al. Importância da fertilidade do solo na integração lavoura pecuária e floresta. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 22, n. 5, p. e4888-e4888, 2024.

COSTA, Javier Ferreiro; RAMIL-REGO, Pablo. Protecting Wetlands: Insights from the Northern Iberian Peninsula (Galicia, NW Spain). In: *New Insights Into Protected Area Management and Conservation Biology*. IntechOpen. 2023.

COSTA, O. Y. A.; RAAIJMAKERS, J. M.; KURAMAE, E. E. Microbial extracellular polymeric substances: ecological function and impact on soil aggregation. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 2018.

COSTA, Tássia Alves *et al.* Conflitos de uso da terra na microbacia do São Bartolomeu-Viçosa, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 281-295, 2013.

COSTA, Tássia Alves *et al.* Land use conflicts in the São Bartolomeu watershed in Viçosa, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 281-295, 2013.

COSTA, Thiago. R. S.; SOUSA, Igor. B. B. de; MATTOS JUNIOR, José. S. de; Arroz e mandioca na microrregião da Baixada Maranhense: Os impactos na produção e seus impactos socioeconômicos. **Revista Rural & Urbano**. Recife. v. 06, n. 02, p. 118 – 139, 2021. ISSN: 2525-609.

COSTA, Nídia Raquel *et al.* Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

COUTO, B. de O. C.; GOMES, R. C.; FERREIRA, L. D. Avaliação da erodibilidade de diferentes horizontes em Latossolos por meio da resistência não drenada em campo: estudo de caso na região do Quadrilátero Ferrífero – MG. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 169–180, 2021.

CRISÓSTOMO, Vicente Lima; SOUZA, Jackeline Lucas; PARENTE, Paulo Henrique Nobre. Possível efeito regulatório na responsabilidade socioambiental da empresa brasileira em função da Lei n 10.165/2000. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 157-170, 2012.

CUNHA NETO, E. M. Bezerra, J. C. F. Moura, M. M. Araujo, E. C. G. Silva Melo, M. R. Santos, N. F. A. Borges, L. S. Spatio-temporal identification of hot spots patterns in maranhão state. **Ciência e Natura**, 43, e 99. 2021.

CUNHA, Cintya Leocadio Dias; ALBUQUERQUE, Felipe Braga; MARTINAZZO, Waleska Malvina Piovan. Convenção RAMSAR e Pantanal mato-grossense:

aspectos da política de proteção jurídica ambiental. **Revista Jurídica da UFERSA**, v. 7, n. 13, p. 238-260, 2023.

CUNHA, João Vinicius Silva et al. Caracterização da bubalinocultura no assentamento Santa Bárbara, município de Viana, Estado do Maranhão. In: *Ciência veterinária aplicada: Diagnósticos, tratamentos e produção animal*. **Editora Científica Digital**, 2025. p. 183-198.

CUNHA, João Vinicius Silva et al. Caracterização da bubalinocultura no assentamento Santa Bárbara, município de Viana, Estado do Maranhão. In: *Ciência veterinária aplicada: Diagnósticos, tratamentos e produção animal*. **Editora Científica Digital**, 2025. p. 183-198.

DAHMANI, Rachid et al. The Effect of Beneficial Autochthonous Microorganisms (Bams) on the Chemical Quality of Agricultural Soils and Olive Production in the Wilaya of Tlemcen (Western of Algeria). **Advanced Research In Life Sciences**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2023.

DAMASCENO, F. A.; LIMA, L. C.; NASCIMENTO, M. R. do; SILVA, T. R. G. da; PINHEIRO, T. da S.; SANTOS, C. G. dos. Estimativa da erodibilidade de Argissolos de Alagoas. **Revista Ambientale**, v. 15, n. 1, p. 73–84, 2023.

DANIEL, D. F.; Dallacort, R.; Barbieri, J. D.; Freitas, P. S. L. de; Carvalho, M. A. C. de; Modolo, A. J.; Yamashita, O. M. Caracterização de um Latossolo Vermelho distroférrico no município de Tangará da Serra, Mato Grosso. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 14, 2022. DOI: 10.35699/2447-6218.2022.39613.

DANTAS, José Carlos; FELICIANO, Carlos Alberto. Expansão capitalista e conflitos territoriais no semiárido brasileiro no século XXI. **Revista Campo-Território**, 18(49), 47-72. 2023.

DANTAS, V. V. et al. Technological level of dairy farming in the state of Maranhão, Brazil. 2018.

DAROLD, Fernanda Ribeiro; IRIGARAY, Carlos Teodoro José Hugueney. A importância da preservação e conservação das áreas úmidas como mecanismo

de efetivação do direito constitucional ao meio ambiente ecologicamente equilibrado para as futuras gerações. **Revista direito e justiça: reflexões sociojurídicas**, v. 18, n. 31, p. 167-180, 2018.

DAROLD, FERNANDA. **A Convenção de Ramsar e a proteção jurídica das áreas úmidas brasileiras**. Editora Dialética, 2024.

DAVIDSON, Nick C. *et al.* Trends in the ecological character of the world's wetlands. **Marine and Freshwater Research**, v. 71, n. 1, p. 127-138, 2019.

DELCOURT, Ninon *et al.* Infrared spectroscopy as a useful tool to predict land use depending on Mediterranean contrasted climate conditions: A case study on soils from olive-orchards and forests. **Science of the Total Environment**, v. 686, p. 179-190, 2019.

DENARDIN, José Eloir. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990.

DENARDIN. José Eloir. Embrapa Trigo. 2018. Artigo - Compactação e Adensamento de Solo: caracterização, origem, riscos, danos e soluções. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31340322/artigo---compactacao-e-adensamento-de-solo-caracterizacao-origem-riscos-danos-e-solucoes>> Acesso 28 de maio de 2024.

DERVISOGLU, Adalet. Analysis of the temporal changes of inland Ramsar Sites in Turkey using Google Earth Engine. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 8, p. 521, 2021.

DIAS, LJB *et al.* Evolução da dinâmica das pressões antropogênicas sobre paisagens naturais do Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 24, n. 96, p. 212-233, 2023.026.

DONADIO, Nicole MM; GALBIATTI, João A.; PAULA, Rinaldo C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 115-125, 2005.

DOURADO, Gustavo Facincani et al. The Use of Remote Sensing Indices for Land Cover Change Detection. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 72-85, 2019.

DRYFLOR *et al.* Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383-1387, 2016.

DUTRA, Richard Pereira *et al.* Avaliação farmacognóstica de geoprópolis de *Melipona fasciculata* Smith da Baixada maranhense, Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, p. 557-562, 2008.

ECO DEBATE. 2023. Impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas e pessoas. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2023/05/15/impactos-das-mudancas-climaticas-nos-ecossistemas-e-pessoas/>> Acesso: 20 de dez de 2023

ELLWANGER, Joel Henrique et al. Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. e20191375, 2020.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos**. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EVERTON, Monyque Mendonça Silva. Potencialidades geoambientais de um rosário de lagos na Baixada Maranhense. 2025. Monografia (Curso de Licenciatura em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Educação Ciências Exatas e Naturais – CECEN, São Luís, 25 jun. 2025. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/5621>.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. A importância da conservação dos solos para a produção de alimentos no mundo. 2018. Disponível em: < <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1116677/#:~:text=%E2%80%9C33%25%20dos%20solos%20no%20mundo,20%25%20do%20seu%20territ%C3%B3rio%20degradado.>> Acesso: 20 de maio de 2024.

FARIAS FILHO, M. S. (2006). Caracterização e avaliação do cultivo de arroz em sistema de vazante na baixada Maranhense. Dissertação (Mestrado em Agroecologia). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual do Maranhão. 2006. Disponível em:< <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/405>> Acesso 26 de agosto de 2024.

FARIAS FILHO, M. S. BUENO, C. R. P. & VALLADARES, G. S. (2020). Caracterização e classificação de solos hidromórficos sobre os aluviões fluviomarinhos no município de Arari –MA. **Raega- O Espaço Geográfico em Análise**. v.47, n.1, p. 85-98. 2020.

FARIAS FILHO, Marcelino Silva; JÚNIOR, Altamiro Souza de Lima Ferraz. A cultura do arroz em sistema de vazante na baixada maranhense, periferia do sudeste da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 82-91, 2009.

FERNANDES, Amanda Augusta et al. Classificação etnopedológica e uso do solo em áreas agrícolas do município de Campina do Monte Alegre–SP, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 3, p. 12195-12219, 2023.

FERREIRA, Lana Costa; FARIAS FILHO, Marcelino Silva; FERREIRA, Vitoria Gleyce Sousa. CONFLITOS TERRITORIAIS E PROBLEMAS SOCIOAMBIENTAIS NAS ÁREAS DE CAMPOS INUNDÁVEIS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO BATISTA–MARANHÃO. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 13, n. 29, p. 01-19, 2023.

FERREIRA, Lana Costa; FARIAS FILHO, Marcelino Silva; FERREIRA, Vitoria Gleyce Sousa. Conflitos territoriais e problemas socioambientais nas áreas de

campos inundáveis do município de São João Batista–Maranhão. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 13, n. 29, p. 01-19, 2023.

FERREIRA, Lana Costa; FARIAS FILHO, Marcelino Silva; FERREIRA, Vitoria Gleyce Sousa. Conflitos territoriais e problemas socioambientais nas áreas de campos inundáveis do município de São João Batista–Maranhão. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 13, n. 29, p. 01-19, 2023.

FIGUEIREDO, Helen et al. Análise de impactos ambientais através de geotecnologias em área úmida do município de Bonito–MS, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 31, 2020.

FIGUEIROA, Apoená Calixto *et al.* Avaliação da efetividade da integração das Unidades de Conservação federais marinho-costeiras de Santa Catarina. **Desenvolvimento e Meio Ambiente, Paraná**, v. 38, p. 361-375, 2016.

FILHO, F.; CAMPOS, S. Geoprocessamento aplicado na distribuição espacial da capacidade de uso de uma microbacia. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 205-219, 2008. DOI: 10.15809/irriga.2008v13n2p205-219.

FILHO, Marcelino SF; BUENO, Célia RP. Histórico, importância econômica e impactos ambientais da orizicultura na baixada maranhense. **Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais**, p. 70, 2016.

FILHO, Marcelino SF; BUENO, Célia RP. Histórico, importância econômica e impactos ambientais da orizicultura na baixada maranhense. **Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais**, p. 70, 2016.

FINLAYSON, C. M.; STORRS, M. J.; LINDNER, G. Degradation and rehabilitation of wetlands in the Alligator Rivers Region of northern Australia. **Wetlands Ecology and Management**, v. 5, p. 19-36, 1997.

FIGUEIREDO, Caio Henrique Ungarato. Vulnerabilidade Natural à Erosão nas Áreas de Café e Pastagem no Município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Cadernos Camilliani** e-ISSN: 2594-9640, v. 17, n. 2, p. 2011-2030, 2021.

FIRMINO, Luana Aparecida Castro; BULHÕES, Eduardo Manuel Rosa. PLANO DE MANEJO DA APA LAGAMAR. FASE DIAGNÓSTICO. **Confict**, v. 11, 2019.

FLACH, Cláudia Werner; ALVES, Edvania Aparecida Corrêa; MEURER, M. Taxa de infiltração da água e resistência mecânica à penetração em solos submetidos a diferentes usos na região da serra de sudeste/RS. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 73, p. 223-242, 2020.

FLORESTAL, Novo Código. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Presidência da República. Casa Civil. **Subchefia para Assuntos Jurídicos**, 2017.

FONTANA, Ademir; DE CAMPOS, David Vilas Boas. Carbono orgânico. 2017.

FOPPA, Carina Catiana *et al.* The (re) categorization of conservation unities and its implications to traditional livelihoods. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 48, p. 343-366, 2018.

FRANÇA, LC de J. *et al.* Análise estatística espacial de métricas da paisagem utilizando o Patch Analyst. A produção do conhecimento na engenharia florestal. Ponta Grossa, **Atena**, p. 1-13, 2020.

FRANCO, Caetano LB *et al.* Community-based environmental protection in the Brazilian Amazon: Recent history, legal landmarks and expansion across protected areas. **Journal of Environmental Management**, v. 287, p. 112314, 2021.

FRANCO, G. F. *et al.* Spatial Distribution of Soil Organic Carbon in Amazonia. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, 2018.

FREITAS PEREIRA, Bruno Wendell *et al.* Land use and water quality degradation in the Peixe-Boi River watershed. **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016.

FREITAS, Agnaldo Roberto de Jesus. Geoambientes: solos e áreas de mineração de ouro na região norte do Suriname. 2023.

FREITAS, Alysson Felipe de. Caracterização de áreas úmidas em Garopaba (SC) utilizando métodos indiretos e diretos de investigação. 2025. Dissertação

(Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/265444>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2026.

FREITAS, Idelfonso C. de et al. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênicos submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1275-1281, 2012.

FU, Linlin *et al.* Evaluation of agricultural sustainable development based on resource use efficiency: empirical evidence from zhejiang province, China. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 860481, 2022.

FUNO, Izabel Cristina da Silva Almeida; PINHEIRO, Claudio Urbano Bittencourt; MONTELES, Josinete Sampaio. Identificação de tensores ambientais nos ecossistemas aquáticos da área de proteção ambiental (APA) da Baixada Maranhense. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. 74-85, 2010.

GAMEIRO, Mariana Bombo Perozzi; MARTINS, Rodrigo Constante. The rural development under regime of truth: The World Bank's discourses. **Sociedade e Estado**, v. 33, p. 13-37, 2018.

GARCIA, Uelson Serra; RIBEIRO, Laudelina Alves; ALVES, Lucir Reinaldo. A especialização da produção de arroz nas mesorregiões do estado do Maranhão, Brasil. **Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural (SOBER)**, 2022.

GATTI, Luciana V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, n. 7867, p. 388-393, 2021.

GHIMIRE, Pramod *et al.* Impact of Land Use Types on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks: A Study from the Lal Bakaiya Watershed in Central Nepal. **International Journal of Forestry Research**, v. 2023, 2023.

GIAROLA, N. F. B. et al. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 239-247, 2001.

GIRALDO, Omar Felipe; ROSSET, Peter Michael. Social principles of emancipatory agroecologies. 2021.

GOES, Beatriz Cristina. 2019. Qual a diferença entre APA e APP? – Sinergia Engenharia. Disponível em: < <https://sinergiaengenharia.com.br/noticias/qual-a-diferenca-entre-apa-e-app/>> Acesso 20 de novembro 2023.

GOMES, Emerson Chaves Ferreira *et al.* A nova legislação ambiental brasileira e seus efeitos sobre a reestruturação de nascentes e remanescentes florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

GOMES, João Nilson Silva. Qualidade da água do Rio Pericumã e sua relação com ocupação urbana em Pinheiro - MA. Orientador: Milton Antônio da Silva Matta. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

GONÇALVES, Cláudio Ubiratan *et al.* Peasant economy and territorial resistance in the Chico Mendes settlement-PE/Brazil. CAMPO-TERRITÓRIO: **Revista de Geografia Agrária**, v. 14, n. 33, p. 106-128, 2019.

GONÇALVES, Stela Rosa Amaral; DA CUNHA, Cátia Nunes; JUNK, Wolfgang Johannes. Etapas Prioritárias para uso de Dados Remotos e Sistemas de Informações Geográficas em Planejamento de Inventário, Avaliação e Monitoramento de Áreas Úmidas. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 86-96, 2019.

GONÇALVES, Stela Rosa Amaral; DA CUNHA, Cátia Nunes; JUNK, Wolfgang Johannes. Etapas Prioritárias para uso de Dados Remotos e Sistemas de Informações Geográficas em Planejamento de Inventário, Avaliação e Monitoramento de Áreas Úmidas. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 86-96, 2019.

GONÇALVES, Zaira Lisle Teixeira *et al.* Sociedades tradicionais e conservação da natureza. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 13, n. 4, p. 79-86, 2018.

GOÑI, Liana Mendonça; LIMA, Marcos Túlio Dourado; BEZERRA, Maria das Graças Ferraz. Análise multivariada dos efeitos socioeconômicos da expansão do agronegócio na agricultura familiar no Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 23, p. 1345-1359, 2022.

GRAÇA, Joelson Caco Pereira *et al.* Análise espacial dos registros dos focos de calor em solos no município de Arari/MA entre os anos de 2010 a 2020. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 3, p. 1419-1434, 2023.

GRIS, Darlene; DE FIGUEIREDO, Helen Rezende; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. Análise multitemporal em áreas de nascente na zona urbana de Iguatemi (MS). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 155-165, 2020.

GUADAGNIN, Jean Cláudio *et al.* Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 277-286, 2005.

GUARESCHI, Roni Fernandes; PEREIRA, Marcos Gervasio; PERIN, Adriano. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

GUIDOBONI, Maria Vittoria *et al.* Conservation agriculture reduces climate change impact of a popcorn and wheat crop rotation. **Plos one**, v. 18, n. 5, p. e0285586, 2023.

GUIDOLINI, Janaína *et al.* Environmental land use conflicts in a macroscale river basin: a preliminary study based on the ruggedness number. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1222, 2020.

GUIMARÃES, Édson Avelar *et al.* Hydro-morphometric characterization and management of a large subtropical coastal wetland (Norte Fluminense, Brazil). 2023.

HALLBERG, Lukas *et al.* Beavers can convert stream corridors to persistent carbon sinks. **Communications Earth & Environment**, v. 7, n. 1, p. 227, 2026.

HE, Guandi *et al.* Soil organic carbon dynamics and driving factors in typical cultivated Land on the Karst Plateau. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 16, p. 5697, 2020.

HE, Yujie *et al.* Radiocarbon constraints imply reduced carbon uptake by soils during the 21st century. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1419-1424, 2016.

HERTEL, Thomas W.; LOBELL, David B. Agricultural adaptation to climate change in rich and poor countries: Current modeling practice and potential for empirical contributions. **Energy Economics**, v. 46, p. 562-575, 2014.

HOFFLAND, E.; KUYPER, T. W.; COMANS, R. N. J.; CREAMER, R. Eco-functionality of organic matter in soils. **Plant and Soil**, v. 455, n. 1–2, p. 1–22, 2020.

HIROTA, Marina *et al.* a call for GloBal action to moVe the amazon foreSt SYStem aWaY from tiPPinG PointS. **Science Panel for the Amazon Policy Brief**, 2022.

HUSSAIN, S.; HUSSAIN, S.; GUO, R.; SARWAR, M. K.; REN, X.; KRSTIĆ, Đ.; ASLAM, Z.; ZULIFQAR, U.; RAUF, A.; HANO, C.; EL-ESAWI, M. A. Carbon sequestration to avoid soil degradation: a review on the role of conservation tillage. **Plants**, v. 10, n. 10, p. 2001, 2021.

HUNT, H. W.; TREONIS, A. M.; WALL, D. H.; VIRGINIA, R. A. A mathematical model for variation in water-retention curves among sandy soils. **Antarctic Science**, v. 19, n. 4, p. 427–436, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades. Produção Agrícola Municipal (PAM). 2019. Disponível em: <(https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas)>

IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. Enciclopédia dos Municípios Maranhenses: microrregião geográfica da Baixada Maranhense / Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. – São Luís: **IMESC**. V. 2: il.; 593 p. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malha viária do Maranhão — 2021. Base de dados geoespaciais (shapefile). Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em:< https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malha viária do Maranhão — 2021. Base de dados geoespaciais (shapefile). Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em 13 de junho de 2023.

ISA – Instituto Socioambiental. Unidades e conservação no Brasil. 2023. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/arp/785> Acesso 20 de novembro 2023.

FERREIRA, Sávio J. Filgueiras et al. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 1, p. 59-67, 2006..

JAVED, Ayman et al. Spatial variability of physical and chemical properties in northern Himalayas of Kashmir province. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 33, n. 17, p. 193-202, 2021.

JIA, Y.; KUZYAKOV, Y.; WANG, G.; TAN, W.; ZHU, B.; FENG, X. Temperature sensitivity of decomposition of soil organic matter fractions increases with their turnover time. *LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT*, **Hoboken**, v. 31, n. 5, p. 632–645, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.3477>. Acesso em: 10 fevereiro de 2026.

JONES, C. Allan. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Science Society of America Journal*, v. 47, n. 6, p. 1208-1211, 1983.

JUNIOR, Celso HL Silva et al. Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. *Land Use Policy*, v. 97, p. 104806, 2020. *etters*, v. 9, n. 7, p. 074012, 2014.

JUNIOR, Dante Baiardo Cavalcante Viana; CRISÓSTOMO, Vicente Lima. Nível de disclosure socioambiental: uma análise comparativa entre empresas brasileiras de acordo com o potencial de agressão ao meio ambiente. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, v. 10, p. 79-99, 2017.

JUNK, Wolfgang J. *et al.* Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2014.

KAAM, Evandro Nogueira; GALLARDO, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo. Soluções baseadas na Natureza em projetos de revitalização de brownfields urbanos: novos paradigmas para problemas urbanos. *Estudos Avançados*, v. 37, n. 109, p. 303-326, 2023.

KARHU, K.; FRITZE, H.; HÄMÄLÄINEN, K.; VANHALA, P.; JUNGNER, H.; OINONEN, M.; LISKI, J. Temperature sensitivity of soil carbon fractions in boreal forest soil. *ECOLOGY*, Washington, v. 91, n. 2, p. 370–376, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/09-0478.1>.

KHANAL, Sami *et al.* Remote sensing in agriculture—accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, v. 12, n. 22, p. 3783, 2020.

KHOBRADE, Krishna. Impact of mining activity on environment: an overview. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 10, n. 5, p. 784-791, 2020.

KOHL. Paulo Roberto. 2023. Áreas de Preservação Permanente: o que é e o que diz a lei - Aurum. Disponível em: <<https://www.aurum.com.br/blog/areas-de-preservacao-permanente/>>. Acesso 20 de novembro 2023.

KOHLER, Marisa Regina *et al.* O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e66101119252-e66101119252, 2021.

KRAESKI, Aline *et al.* Identification of land use conflicts in Permanent Preservation Area in a Brazilian Amazon sub-basin. **Sociedade & Natureza**, v. 35, p. e65724, 2023.

KREBS, Vinícius. Avaliação da percepção dos serviços ecossistêmicos de zonas úmidas pela aplicação do protocolo RAWES em uma zona úmida subtropical no sul do Brasil. 2025. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/288287>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2026.

KROEGER, Marie E. *et al.* Rainforest-to-pasture conversion stimulates soil methanogenesis across the Brazilian Amazon. **The ISME journal**, v. 15, n. 3, p. 658-672, 2021.

KÖHLER, M. R.; BAMPI, A. C.; SILVA, C. A. F. da; ARANTES, A.; GASPAR, W. J. O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e66101119252, 2021.

KÖPPEN, Wladimir. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (ed.). Handbuch der Klimatologie. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

KUNKEL, V.; HANCOCK, G. R.; WELLS, T. Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Soil Organic Carbon. In: 21st International Congress on Modelling and Simulation. **Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand**, 2015. p. 1289-1295.

LAL, Rattan. **Soil quality and agricultural sustainability**. CRC press, 1998.

LANZANOVA, Mastrângello Enívar *et al.* Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LÁZARO, Marcela Lopes *et al.* Acúmulo de carbono em solos de manguezais reflorestados. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, n. especial, 2023.

LEFÈVRE, Clara *et al.* Soil organic carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017.

LEITÃO, Rafael Rocha. Análise da Viabilidade Econômica e do Estoque de Carbono em Sistemas de Restauração Produtiva (SAFs) em Áreas Degradadas: Revisão Sistematizada da Literatura: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17760684>. **Journal of Convergent Scientific Inquiry (ISSN 3085-8356)**, v. 1, n. 5, p. 1-12, 2025.

LI, J.; DU, J.; ZHONG, S.; CI, E.; WEI, C. Changes in the profile properties and chemical weathering characteristics of cultivated soils affected by anthropic activities. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 2021.

LIMA, A. F. L. de, Brito Filho, E. G. de, Campos, M. C. C., Bondade, B. B., Almeida, R. G. de, Pinheiro, E. N., ... Oliveira, F. P. (2023). PASTAGENS AMAZÔNICAS: UMA REVISÃO SOBRE O AVANÇO DA PECUÁRIA SOBRE AS TERRAS AMAZÔNICAS. **Revista Valore**, 8, 37–50.

LIMA MARQUES, Ailson *et al.* Solos-relevo e áreas agrícolas: correlações com a degradação de solos nos brejos de altitude da Paraíba. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, 2015.

LIMA, Liliane Araújo *et al.* Saberes tradicionais, sustentabilidade cultural e caracterização de etnovariedades da mandioca: estudo em uma comunidade no interior do Ceará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e364101320941-e364101320941, 2021.

LIMA, Silvia Elaine Almeida *et al.* Estudo agroclimático regionalizado para a baixada maranhense, como subsídio a época de plantio para acultura do arroz. **Extensão rural em foco: apoio à agricultura familiar, empreendedorismo e inovação-volume 2**, v. 1, n. 1, p. 48-51, 2020.

LIMEIRA-FILHO, D. *et al.* Diversidade de peixes dos rios que drenam a Baixada Maranhense e bacia do Mearim no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 83, p. e273525, 2023.

LIU, Qionghuan *et al.* Complex ecosystem impact of rapid expansion of industrial and mining land on the Tibetan Plateau. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 872, 2022.

LIZARAZO, Clara I. *et al.* Sustainable mixed cropping systems for the boreal-nemoral region. **Frontiers in sustainable food systems**, v. 4, p. 103, 2020.

LOPES ALMEIDA, J.; RIBEIRO SILVA, V. A.; SALES DOS SANTOS, J.; NASCIMENTO SANTOS, J. R.; SANTOS DE ARAÚJO, M. L.; VENELLI PYLES, M.; BRITO SILVA, F. O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do Rio Mearim. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 102–120, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.1.p102-120.

LOPES, Arleson Eduardo Monte Palma; DOS SANTOS, José Nazareno Araujo; ALENCAR, Douglas. Contribuição da educação para o desenvolvimento econômico: reflexões teóricas. **Cadernos CEPEC**, v. 11, n. 2, 2023.

LUO, P. *et al.* Impact assessment of rainfall scenarios and land-use change on hydrologic response using synthetic Area IDF curves. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, p. S84-S97, 2018.

MACEDO, Jorge Alberto Campos *et al.* Evolución espacio-temporal de relictos de humedal: el caso del sector de Villa Baja del Sitio Ramsar Los Pantanos de Villa (2003-2019). **South Sustainability**, v. 2, n. 2, p. e037-e037, 2021.

MACIEL, Dayana Serra; MASULLO, Yata Anderson Gonzaga. A formação de hidroterritórios no Brasil e a reprodução de conflitos socioambientais no estado do Maranhão. **Geosul**, v. 38, n. 85, p. 160-183, 2023.

MACIEL, Dayana Serra; MASULLO, Yata Anderson Gonzaga. A formação de hidroterritórios no brasil e a reprodução de conflitos socioambientais no Estado do Maranhão. **Geosul**, v. 38, n. 85, p. 160-183, 2023.

MAIA, Stoecio MF *et al.* Soil organic carbon stock change due to land use activity along the agricultural frontier of the southwestern Amazon, Brazil, between 1970 and 2002. **Global Change Biology**, v. 16, n. 10, p. 2775-2788, 2010.

MALIK, Ashish A. *et al.* Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 3591, 2018.

MALTCHIK, Leonardo *et al.* Legislation for wetland conservation in Brazil: Are existing terms and definitions sufficient? **Environmental Conservation**, v. 45, n. 3, p. 301-305, 2018.

MAO, D. *et al.* Remote observations in China's Ramsar Sites: Wetland dynamics, anthropogenic threats, and implications for sustainable development goals. **Journal of Remote Sensing**, 2021.

MAPBIOMAS. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. 2023. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>.

MAPBIOMAS. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. 2023. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em 13 de junho de 2023.

MAPBIOMAS BRASIL. Destaques do mapeamento da textura e do estoque anual de carbono orgânico do solo (COS) no Brasil (0–30 cm) – Factsheet Solo, versão 06.12_v3. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/11/Factsheet-Solo_06.12_v3.pdf>. Acesso em: 10 fevereiro de 2026.

MARANHÃO, O. S. D. E. C. & CIVIL, C. O Governado do estado do Maranhão. Lei Nº 11269 DE 28/05/2020. Institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônico do Estado do Maranhão e dá outras providências. 2020.

MARANHÃO. Decreto Estadual Nº 11.900 de 11 de junho de 1991. Dispões sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense.

Disponível em:

<https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/303_20100823_145738.pdf> Acesso 24 de agosto 2023.

MARANHÃO. Decreto Estadual Nº 11.900 de 11 de junho de 1991. Dispões sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense.

Disponível em:

<https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/303_20100823_145738.pdf> Acesso 24 de agosto 2023.

MARANHÃO. Decreto Estadual Nº 11.900 de 11 de junho de 1991. Dispões sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense.

Disponível em:

https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/303_20100823_145738.pdf Acesso 24 de agosto 2023.

MARANHÃO. Governo do estado do Maranhão. **Arranjos Jurídicos**

Institucionais: Relatório Técnico do Zoneamento Ecológico-Econômico

do Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Amazônico. São Luís, MA: Governo do Estado do Maranhão, 2021. Disponível em:

<<https://homologacao.zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/arranjosJuridicosInstitucionais.pdf>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2026.

MARANHÃO. Governo do Estado do Maranhão. Relatório de Diversidade Faunística do Maranhão: Avaliação da Composição, Áreas Prioritárias, Ameaças e Recomendações de Ações para sua Conservação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. **Relatório técnico.** 2023.

MARCHÃO, Robélio Leandro *et al.* Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 873-882, 2007.

MARDENI, Vinícius Duarte Nader *et al.* Delimitation of Ecological Corridor Using Technological Tools. **Sustainability**, v. 15, n. 18, p. 13696, 2023.

MARQUES, Emilena Muzolon; RANIERI, Victor Eduardo Lima. Determinantes da decisão de manter áreas protegidas em terras privadas: o caso das reservas legais do Estado de São Paulo. **Ambiente & sociedade**, v. 15, p. 131-145, 2012.

MARQUES, Walter Rodrigues *et al.* Água e sustentabilidade dos ecossistemas naturais: consequências de ocupações irregulares no Rio Paciência. **Conjecturas**, v. 21, n. 2, p. 260-276, 2021.

MARTÍNEZ, María; MESÍAS, Marta. Aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) en la cadena alimentaria. **Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI**, v. 9, n. 19, p. 47-57, 2021.

MARTINS, J. Carneiro; OTTATI, AMAA. Análise da pecuária Maranhense entre os anos de 1974 e 2017. In: VI Congresso Internacional das Ciências Agrárias. 2019.

MARTINS, Juliane Carneiro. Análise da produção agropecuária no estado do Maranhão entre os anos de 1974 a 2017. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA, 2020. <Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/4422>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2026.

MARTINS, Lucas Pereira *et al.* Butterflies of Amazon and Cerrado remnants of Maranhão, Northeast Brazil. **Biota Neotropica**, v. 17, p. e20170335, 2017.

MARÍN-PIMENTEL, G.-E.; RUEDA-SAA, G.; FLORES, J. C. M. Evaluation of physicochemical properties in agricultural soils from Valle del Cauca-Colombia with an emphasis on degradation. 2022.

MASCARENHAS, Luciane Martins de Araújo; FERREIRA, Manuel Eduardo; FERREIRA, Laerte Guimarães. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & natureza**, v. 21, p. 5-18, 2009.

MATAVELLI, Rodrigo et al. Ichthyofauna sampled with tadpoles in northeastern Maranhão state, Brazil. **Check List**, v. 11, n. 1, p. 1550-1550, 2015.

MEDEIROS, Almerinda M. *et al.* Traditional Knowledge on the use of Turtles in a Protected Area of the Amazon in Maranhão (Brazil): A Conservation Proposal. **Journal of Ethnobiology**, v. 43, n. 2, p. 165-175, 2023.

MEDINA GARCÍA, Marco Antonio et al. Análisis temporal de uso del suelo en un sitio Ramsar (Núm. 1981) en el centro de Nuevo León. **Revista mexicana de ciencias forestales**, v. 14, n. 79, p. 107-134, 2023.

MENDELSON, Robert; DINAR, Ariel. Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter?. **The World Bank Research Observer**, v. 14, n. 2, p. 277-293, 1999.

MENDES, Jonas Jansen; MARTINS, Bruno Neves; DE CASTRO PEREIRA, Regina Célia. Problematização dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Aurá e subterrâneos da bacia hidrográfica do Rio Bacanga-Maranhão–Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 171-182, 2017.

MENDES, Lorena Martins Oliveira. Acúmulo de carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo em sistema de ILP. Dissertação (Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos) — Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2025. Disponível em: <<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5429>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2025.

MENDONÇA NETO, Wilson Lopes; PINTO, Jakelline Graziela; BORGES DE CAMPOS, Alfredo. Normas e conflitos sociais na gestão de zonas úmidas em unidades de conservação: o caso do Parque Municipal Serra da Areia em Aparecida de Goiânia, Goiás. 2011.

MENEZES, Paulo Márcio Leal de. Cartografias do Ontem, Hoje e Amanhã. **Appris**, Rio de Janeiro, 2022.

MENEZES, Ronaldo Haroldo Nascimento de *et al.* Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil. 2009.

MESQUITA, Benjamin Alvino de Mesquita. O desenvolvimento desigual da agricultura: a dinâmica do agronegócio e da agricultura familiar. São Luís: **EDUFMA**, 2011.

MEYFROIDT, Patrick et al. Multiple pathways of commodity crop expansion in tropical forest MUZARI, Washington. Interactions of biophysical and socioeconomic factors and outputs in mixed crop-livestock smallholder farming systems in Africa South of the Sahara. **International Journal of Science and Research**, v. 5, n. 1, p. 1777-1787, 2014.

MITAMURA, Osamu *et al.* Biogeochemical cycling of urea in the aquatic systems of Pindaré and Turiaçu River basins, a pre-Amazonian floodplain, Baixada Maranhense, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p. 167-180, 2012.

MORAIS, V. P.; ARAÚJO, M. M. F. de; KREWER, D. A.; ABREU, M. D. D.; COSTA, J. L. A.; LEÃO, S. da S.; LOUZEIRO, H. C.; ALVES, E. A. C.; MORAIS, D. P. Levantamento dos parâmetros físicos do alto e médio curso da bacia hidrográfica do Rio Paciência na Ilha do Maranhão ao longo de 39 anos (1985–2023). *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 24, n. 2, e13055, 2026.

MORAIS, Valdenir Pereira et al. Análise espaço-temporal do uso da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. **Encontro de pós-graduação**, 25., 2023, Pelotas. Anais do XXV Encontro de Pós-Graduação. Pelotas: UFPel, 2023.

MOURA, EG de. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. **MOURA, EG, org. Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: Atributos**, p. 15-51, 2004.

MOURA, EG de. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. **MOURA, EG, org. Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: Atributos**, p. 15-51, 2004.

MUGAGGA, Frank *et al.* The effect of land use on carbon stocks and implications for climate variability on the slopes of Mount Elgon, Eastern Uganda. 2017.

MUNIZ, Yasmin Sampaio et al. Indicadores de qualidade do solo na percepção de agricultores. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 2020.

MUZARI, Washington. Interactions of biophysical and socioeconomic factors and outputs in mixed crop-livestock smallholder farming systems in Africa South of the Sahara. **International Journal of Science and Research**, v. 5, n. 1, p. 1777-1787, 2014.

NAHLIK, Amanda M.; FENNESSY, M. Siobhan. Carbon storage in US wetlands. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2016.

NAHLIK, Amanda M.; FENNESSY, M. Siobhan. Carbon storage in US wetlands. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2016.

NASCIMENTO SANTOS, J. de Figueiredo Lima, R. M. B. & da Silva Moraes, J. D. Mapeamento dos conflitos socioambientais em territórios quilombolas no maranhão. **VIII Simpósio Internacional de Geografia Agrária e IX Simpósio Nacional de Geografia Agrária. GT 16 – Cartografando práticas e conflitos no campo**. ISSN: 1980-4555. 2017.

NASCIMENTO, Adryan. *et al.* Plurais em Todas as Dimensões: os sistemas agrícolas tradicionais. *Ciência e Cultura*, 73(1), 25-35. (2021). Disponível em: < <https://doi.org/10.21800/2317-66602021000100006>> Acesso 02 de maio 2024.

NASCIMENTO, Isa Rosete Mendes Araujo et al. Estudo sócio-ambiental dos efeitos de barragens na área de proteção ambiental da baixada maranhense: O caso do lago cajari, Penalva-Ma. 2006.

NASCIMENTO, Isa Rosete Mendes Araujo. Study of Socio-Environmental Effects of Dams In The Field Of Environmental Protection The Low Lands: the case of Cajari lake, Penalva - MA. 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado em OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2006.

NASCIMENTO, Melchior Carlos do et al. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 207-221, 2005.

NASCIMENTO, Paulo César do *et al.* Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 34, p. 339-348, 2010.

NASSER, Maurício Dominguez et al. Propriedades químicas e fertilidade dos solos agrícolas de Adamantina-SP. **Nucleus**, v. 18, n. 1, p. 449-462, 2021.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. 2024. Quais tipos de áreas úmidas existem no mundo?. Disponível em:
<<https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2024/02/quais-tipos-de-areas-umidas-existem-no-mundo>> Acesso: 20 de dez de 2023.

NERY, Diogo Palheta; SPROESSER, Renato Luiz; SPERS, Renata Giovinnazzo. A Influência das instituições na gestão ambiental: um estudo em terminais logísticos no Brasil. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 15, n. 4, p. 132-147, 2021.

NETO, Joaquim Shiraishi; LIMA, Rosirene Martins; BRITO, Ciro Souza. Conflitos socioambientais em sítio Ramsar: Brutalidade e expulsões na região da Baixada Ocidental Maranhense. **Novos Cadernos NAEA**, v. 24, n. 2, 2021.

NETO, Manoel Mariano; DA SILVA, Janaína Barbosa. Estimativas Dos Estoque De Carbono Em Ecossistema De Manguezal No Brasil: Uma Revisão. **Geoambiente On-line**, n. 45, 2023.

NEWSHAM, A.; Naess, L.O.; Mutabazi, K.; Shonhe, T.; Boniface, G. and Bvute, T. (2022) The Dilemma of Climate-Resilient Agricultural Commercialisation in Tanzania and Zimbabwe. APRA Brief 35. Brighton: Future Agricultures Consortium, DOI: 10.19088/APRA.2022.021. Disponível em: <<https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/17367>> Acesso 02 de maio de 2024.

NOVAIS, Roberto Ferreira. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

NUNES, GMVC *et al.* Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense. 2019.

NUNES, GMVC *et al.* Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense. 2019.

OLIVEIRA SANTOS, João Paulo *et al.* Influência da urbanização no índice de estado trófico de um ecossistema lântico na bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 1, p. 113-122, 2020.

OLIVEIRA, Andrezza Beatriz; DOS SANTOS, Vinícius Patriota; DE BORBA, Mariangela Lurdes. Levantamento de conservação da vegetação adjacente a cursos d'água dentro da perícia ambiental: o uso de ferramentas de geotecnologia. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2021.

OLIVEIRA, Elis Regina de *et al.* Tecnologia e degradação de pastagens na pecuária no Cerrado brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 585-596, 2022.

OLIVEIRA, Fernando Soares de *et al.* Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, p. 899-908, 2008.

OLIVEIRA, L. d. S.; SOUSA, A.; PINHEIRO, J. Q.; SILVA, V. Manejo do solo como fonte de alteração na dinâmica do carbono orgânico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 30, 2020.

OLIVEIRA, Lucas *et al.* Manejo do solo como fonte de alteração na dinâmica do carbono orgânico. **Enciclopedia Biosfera**, v. 17, n. 31, 2020.

OLIVEIRA, Renata Evangelista; ENGEL, Vera Lex. A restauração ecológica em destaque: um retrato dos últimos vinte e oito anos de publicações na área. **Oecologia Australis**, p. 303-315, 2011.

OpenAI. **ChatGPT (modelo GPT-5.5)**. Resposta gerada por inteligência artificial. San Francisco, 2026. Disponível em: <OpenAI.com> Acesso em: 29 maio 2026

OPUCHKEVITCH, Carolina; SIATKOWSKI, Aldo. Crédito rural e sustentabilidade: um estudo comparativo em pequenas propriedades rurais. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Do Centro Oeste.

ORIMOLOYE, I. R.; OLOLADE, O. O. Spatial evaluation of land-use dynamics in gold mining area using remote sensing and GIS technology. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 11, p. 4465-4480, 2020.

OTTONI, F. P.; HUGHES, R. M.; KATZ, A. M.; RANGEL-PEREIRA, F. S.; BRAGANCA, P. H. N.; FERNANDES, R. S.; PALMEIRA-NUNES, A. R. O.; NUNES, J. L. S.; SANTOS, R. R.; PIORSKI, N. M.; RODRIGUES-FILHO, J. L. Brazilian mangroves at risk. **Biota Neotropica**, v. 21, 2021, p. 1-6.

PALMA LEOTTA, María *et al.* Aportes de la teledetección para la caracterización de amenazas para la conservación del sitio Ramsar humedal Llanquanelo, Malargüe, Argentina. 2019.

PANDOLFO, Cristina; DA SILVA, Elisângela Benedet; WERNER, Simone Silmara. Publicações sobre o zoneamento agrícola em revistas científicas no Brasil de 1995 a 2018. **Agrometeoros**, v. 29, 2021.

PANINI, Rafael Luiz et al. Classificação de solos e caracterização de atributos físicos de solos de uma topossequência do Arenito Caiuá. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 3, p. e3804-e3804, 2024.

PASCOAL, P.; SAGRILO, A.; CHIARELLO, G.; MELLO, L.; BARONI, M. Extração de amostras indeformadas do subleito da RS-342 e avaliação do comportamento resiliente do solo laterítico argiloso. **Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica (COBRAMSEG), 2022**. Anais... [S.l.]: ABMS, 2022. DOI: 10.4322/cobramseg.2022.0966.

PAWŁOWSKI, Artur; PAWŁOWSKA, Małgorzata; PAWŁOWSKI, Lucjan. Mitigation of greenhouse gases emissions by management of terrestrial ecosystem. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v. 24, n. 2, p. 213-221, 2017.

PEDRON, Fabrício de Araújo *et al.* A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine-RS. **Ciência Rural**, v. 36, p. 105-112, 2006.

PEDRON, Fabrício de Araújo *et al.* Análise da dinâmica espacial da ocupação das terras e seus conflitos de uso no perímetro urbano de Santa Maria-RS (1975-2002). **Ciência Rural**, v. 36, p. 1756-1764, 2006.

PEREIRA, R. A.; NETO, J. D. Efeito das atividades agropastoris sobre os atributos físico-químicos de três classes de solos de uma bacia hidrográfica no semiárido brasileiro. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 1, 2014.

PESSOA, Seyla Poliana Miranda et al. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na Interbacia do Rio Paraguai Médio-MT, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, p. 119-128, 2013.

PICHELLI. Katia Pichelli. 2020. FAO lança relatório mundial sobre biodiversidade do solo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/57904481/fao-lanca-relatorio-mundial-sobre-biodiversidade-do-solo> Acesso: 20 de dez de 2023.

PIFANO, D. S. Costa, E. M. Carvalho, F. A. Pessoa, J. F. S. Rodrigues, R. G. & de Moura Júnior, E. G. Estrutura e diversidade das comunidades arbóreas de áreas em regeneração da caatinga com diferentes históricos de uso. *Oecologia australis*. 2023.

PINHEIRO, Claudio Urbano B.; DE SOUZA, Miqueias Oliveira. Sustentabilidade do uso de espécies vegetais ciliares em construções rurais na região da Baixada Maranhense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1289-1307, 2022.

PINHEIRO, Claudio Urbano B.; SOUZA, Miqueias Oliveira. Sustentabilidade do uso de espécies vegetais ciliares em construções rurais na região da Baixada Maranhense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1289-1307, 2022.

PINHEIRO, José Carlos Durans. A realidade da mandioca no Maranhão. 2 ed. São Luís: Editora Pascal, 2019.

PINTO, Rosyjane Paula Farias; MACHADO, Neli Teresinha Galarce; KREUTZ, Marcos Rogério. Movimento Social e Espaços de Aprendizagens no Brasil: o Caso das Quebradeiras de Coco de Imperatriz no Maranhão. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 19, n. 3, p. 336-343, 2018.

PINTO. Fabiana Rocha Compêndio Amazônico: noções sobre meio ambiente. Ponta Grossa – PR. **Editora Atena**. 2021.

PIRES, A. P. F. *et al.* Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil. Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil, 2020.

PIRES, Paulo de Tarso de Lara; ZENI, Douglas Magnus; GAULKE, Debora. As unidades de conservação e a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 589-603, 2012.

PORRO, N. S. M.; RUSCHEL, A. R.; PORRO, R.; SANTOS, J. de N. A “mãe palmeira” ante a privatização de terras sob uso comum: desafios para a conservação do babaçu por quilombolas no vale do Mearim, Brasil. *Boletim do*

Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas, Belém**, v. 18, n. 2, 2023.
DOI: 10.1590/2178-2547-bgoeldi-2022-0047.

POST, Wilfred M.; KWON, Kyung C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global change biology**, v. 6, n. 3, p. 317-327, 2000.

POTTER, C.; KLOOSTER, S.; GENOVESE, V. Carbon emissions from deforestation in the Brazilian Amazon region predicted from satellite data and ecosystem modeling. **Biogeosciences Discussions**, v. 6, n. 2, 2009.

POWERS, Jennifer S. *et al.* Geographic bias of field observations of soil carbon stocks with tropical land-use changes precludes spatial extrapolation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 15, p. 6318-6322, 2011.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959–2971, 2010.

PRAKASH, Tanu; SHIMRAH, Tuisem. A review on soil carbon sequestration in different land use and land cover. Ecol. **Environ. Cons**, v. 29, p. S332-S340, 2023.

PRESTES, Luiza et al. Proactively averting the collapse of Amazon fisheries based on three migratory flagship species. **Plos one**, v. 17, n. 3, p. e0264490, 2022.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Versão 3.34. Open Source Geospatial Foundation, 2024. Disponível em: <<https://qgis.org>>.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Versão 3.34. [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2024. Disponível em: <<https://qgis.org>>.

QUESADA, Carlos Alberto *et al.* Variations in soil chemical and physical properties explain basin-wide variations in Amazon forest soil carbon 2 densities 3.

RAMSAR. Serviço de informações de sites Ramsar. 2020. Disponível em: <<https://rsis.ramsar.org/ris/1020>> Acesso 09 de setembro 2023.

RAMSAR. Serviço de informações de sites Ramsar. 2020. Disponível em: <<https://rsis.ramsar.org/ris/1020>> Acesso 09 de setembro 2023.

RAMSAR.1997. Ficha informativa das áreas úmidas Ramsar. Disponível em: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/BR1020RISformer_160210.pdf>Acesso em 29 de abril de 2024.

RAMSAR.1997. Ficha informativa das áreas úmidas Ramsar. Disponível em: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/BR1020RISformer_160210.pdf>Acesso em 29 de abril de 2024.

RAPPAPORT, Danielle I. et al. Quantifying long-term changes in carbon stocks and forest structure from Amazon forest degradation. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 065013, 2018.

REINERT, Dalvan José et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REETIKA, R.; SINGH, G.; ISHIKA, I.; SHUBHAM, S.; KAUSHAL, S. Soil management strategies for increasing carbon sequestration: a review. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 7, n. 4, p. 496–499, 2024

REGO, Carlos Augusto Rocha et al. Chemical properties and physical fractions of organic matter in Oxisols under integrated agricultural production systems. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n. 3, p. 81-89, 2020.

REIS, Laíres Sales *et al.* Compactação do Solo: Uma visão Agronômica e Ambiental. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e40011528487-e40011528487, 2022.

RIBEIRO, Ana Safira Rocha et al. Diagnóstico do grau de preservação e percepção dos moradores sobre a importância das nascentes do Rio Áura no Povoado Ponta de Paulo no Município de São Vicente Férrer–MA. 2024.

RIBEIRO, Carlos Antonio Alvares Soares *et al.* Áreas de preservação permanente em conflito com o uso e a ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Sertão, Cajuri, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 2, 2014.

RIBEIRO, Marcivânia et al. Manejo de nitrogênio e ciclagem de nutrientes na cultura do milho safrinha. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 7, n. 1, 2024.

RIVERO, Sérgio *et al.* Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova economia**, v. 19, p. 41-66, 2009.

RODRIGUES, Alessandra Epifanio et al. Diagnóstico da pecuária leiteira do município de Paragominas, mesorregião Sudeste, estado do Pará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 73253-73269, 2020.

RODRIGUES, CAMILA GONÇALVES DE OLIVEIRA; ABRUCIO, Fernando Luiz. Valores públicos e os desafios da responsabilização nas parcerias para o turismo em áreas protegidas: um ensaio teórico. **Turismo: Visão e Ação**, v. 22, p. 67-86, 2020.

RODRIGUES, Jeferson Botelho; SALES, Layse Lorena Neves; DE JESUS PINTO, Karina. Aplicação de geotecnologias ambientais para determinação dos focos de calor nas unidades de conservação estaduais do Maranhão de 2010 a 2019. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 142-152, 2022.

RODRIGUES, Vanderson Viana et al. Conflitos e expulsões socioterritoriais: análises do agrário em Codó no Maranhão. **Cadernos UniFOA**, v. 18, n. 53, p. 1-12, 2023.

RODRIGUES, Vanderson Viana et al. Conflitos e expulsões socioterritoriais: análises do agrário em Codó no Maranhão. **Cadernos UniFOA**, v. 18, n. 53, p. 1-12, 2023.

ROLON, Ana S.; MALTCHIK, Leonardo. Does flooding of rice fields after cultivation contribute to wetland plant conservation in southern Brazil? **Applied Vegetation Science**, v. 13, n. 1, p. 26-35, 2010.

ROQUE, Arauz; ENRIQUE, Fulton. Efecto de la agricultura de conservación en el bienestar humano, en el sitio RAMSAR, Moyúa, Cuidad Darío-Matagalpa 2016. 2017.

ROSALES MARTÍNEZ, Verónica *et al.* Percepción de citricultores ante el efecto del cambio climático en Campeche. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 11, n. 4, p. 727-740, 2020.

ROVANI, Franciele Francisca Marmentini; VIERA, Márcio. Vulnerabilidade natural do solo de Silveira Martins-RS. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 151-160, 2016.

SÁ, José Carlos de Moraes; SCHIMIGUEL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

SALDANHA, Denise Santos; DA SILVA COSTA, Diógenes Félix. Classificação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas na zona estuarina do Rio Piancó-Piranhas-Açu (Nordeste, Brasil). **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 3, p. 263-282, 2019.

SALES, A. SILVA, A. R. VELOSO, C. A. C. CARVALHO, E. J. M. & Miranda, B. M. 2018. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, 14(1), p. 01-15, 2018.

SANTOS CARVALHO, Carla Gisele; PORTO, Rafael Alves; OLIVEIRA, Uldérico Rios. Avaliação macroscópica de impactos ambientais em nascentes

do Rio de Ondas no Oeste da Bahia: Macroscopic assessment of environmental impacts in springs of the Ondas River in West Bahia. **Geosciences= Geociências**, v. 39, n. 3, p. 831-845, 2020.

SANTOS, Cleide Lis Ribeiro dos *et al.* Nível tecnológico e organizacional da cadeia produtiva da bubalinocultura de corte no estado do Maranhão. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, 2016.

SANTOS, Heitor Albuquerque *et al.* Análise espaço temporal (2000–2014) da vegetação na microrregião Baixada Maranhense (Maranhão). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, 2020.

SANTOS, Heitor Albuquerque *et al.* Análise espaço temporal (2000–2014) da vegetação na microrregião Baixada Maranhense (Maranhão). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, 2020.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1176834/1/Sistema-Brasileiro-de-Classificacao-de-Solos-2025.pdf>>.

SANTOS, J. M. dos. Caracterização da influência das marés na região do baixo ... (documento técnico-científico, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2019). Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.31.13.43/doc/98025.pdf>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2026.

SANTOS, João Francisco Severo. Produção de soja, desigualdades no campo e mudanças climáticas na região do Matopiba. **DRD-Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 535-561, 2020.

SANTOS, Samuel Dias *et al.* Análise espacial da vegetação nativa em áreas de preservação permanente e de reserva legal e suas implicações legais, na bacia do rio Buranhém, nos estados de Minas Gerais e Bahia. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 84, p. 200-214, 2021.

SANTOS, Wilson C.; HÜTHER, Cristina Moll; FERREIRA, Vitor Francisco. Os custos dos ambientes desiguais e insustentáveis. **CIS-Conjecturas Inter Studies**, v. 22, n. 15, p. 191-213, 2022.

SANTOS. ELISANGELA SANTOS. 2015. Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>> Acesso: 20 de dez de 2023.

SANTOS. Et al. 2020. Espacialização das principais produções pecuárias do estado do Maranhão. Disponível em: <<https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0220>> Acesso em 25 de agosto de 2025.

SAUER, Sérgio; DE CASTRO, Luis Felipe Perdigao; DE MEDEIROS ALBUQUERQUE, Ralph. Terra e juventude na América Latina: entre lutas, violências e conflitos. Eutopia. **Revista de Desarrollo Económico Territorial**, n. 19, p. 21-53, 2021.

SCHICK, J.; JANSEN, T. A. L.; MACIEL, T. A. S.; NOEMBERG, V. M.; MUNHOZ, A. Composição granulométrica dos solos de Canoinhas - SC. **Anais do II Congresso Brasileiro On-line de Pesquisa e Inovação em Educação**, 2023.

SCHWEIZER, Daniella et al. Narratives across scales on barriers and strategies for upscaling forest restoration: a Brazilian case study. **Forests**, v. 10, n. 7, p. 530, 2019.

SCITE. **Scite Assistant: ferramenta de inteligência artificial para apoio à pesquisa científica**. Henderson, 2026. Disponível em: <<https://scite.ai/assistant>>. Acesso em: 29 maio 2026.

SERVIÇO DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA (SICAR). Áreas Rurais Consolidadas do Maranhão. Base de dados geoespaciais (shapefile). Brasília: SICAR, 2026. Disponível em: <<https://www.car.gov.br/public/>>

SERVIDONI, L.; OLIVEIRA, B.; BISSOLI, M.; MINCATO, R. Capacidade de uso das terras, conservação do solo e produção agrícola: estudo de caso da sub-

bacia hidrográfica do ribeirão Caçús, Alfenas – MG. **Interespaço – Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 5, n. 17, p. 12119, 2019. DOI: 10.18764/2446-6549.2019.12119.

SETA — Sociedade Portuguesa para o Desenvolvimento da Educação e Turismo Ambientais. Ficha informativa nº 46: Zonas húmidas. Lisboa: SETA, jan. 2012. 4 p. Disponível em: <http://seta.org.pt/ficha_46.pdf>. Acesso em 18 de janeiro de 2025.

SILVA ANJINHO, Phelipe *et al.* Geotecnologias aplicado à análise do risco à contaminação dos aquíferos da bacia hidrográfica do rio São Roque— SP. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, 2018.

SILVA COSTA, Diógenes Félix *et al.* Serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas do sistema estuarino Galinhos-Guamaré (RN), Nordeste do Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 16, n. 31, p. 115-135, 2020.

SILVA COSTA, Diógenes Félix *et al.* Serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas do sistema estuarino Galinhos-Guamaré (RN), Nordeste do Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 16, n. 31, p. 115-135, 2020.

SILVA RIOS, Guilherme *et al.* ESTIMATES OF SOIL LOSSES DUE TO WATER EROSION IN THE AMAZON BIOME. **Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i šumarstv**, v. 70, n. 1, 2024.

SILVA, Ana Tereza Reis da. A conservação da biodiversidade entre os saberes da tradição e a ciência. **Estudos avançados**, v. 29, p. 233-259, 2015.

SILVA, Bruno Oliveira *et al.* Classificação geotécnica de solos e sustentabilidade: estudo aplicado à região metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 362-375, 2020.

SILVA, C.M. Caracterização da Produção Pecuária da Agricultura Familiar Maranhense. 2023. (Tese de Doutorado) Programa de Pós-graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal. Universidade Estadual do Maranhão.2023.

SILVA, Caio Victor Santos et al. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019.

SILVA, Camila Moraes. **Caracterização da produção pecuária da agricultura familiar maranhense**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Maranhão.

SILVA, D. Deterioração físico-conservacionista de micro-bacia hidrográfica localizada no semiárido potiguar. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 13, n. 2, e804, 2024. DOI: 10.23900/2359-1552v13n2-25-2024.

SILVA, Elton Januario; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. Ações e políticas públicas nos manguezais para a preservação dos serviços ambientais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e585101523345-e585101523345, 2021.

SILVA, Fabio Leandro et al. Método não monetário para a avaliação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas em áreas urbanas (Non-monetary method for the ecosystem services assessment provided by wetlands in urban areas). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 001-008, 2019.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.

SILVA, Fabrício Brito *et al.* Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 330-336, 2016.

SILVA, Helton de Souza *et al.* Modelagem do carbono e nitrogênio de um latossolo amarelo distrófico utilizando o Century 4.0. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 711-723, 2021.

SILVA, Helton de Souza *et al.* Modelagem do carbono e nitrogênio de um latossolo amarelo distrófico utilizando o Century 4.0. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 711-723, 2021.

SILVA, Isadora Taborda *et al.* O Avanço Do Uso De Ferramentas Geoespaciais Na Gestão De Áreas Úmidas Continentais. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 223-235, 2020.

SILVA, Isadora Taborda *et al.* Técnicas de processamento de imagens para treinamento de fotointerpretes na avaliação visual de áreas úmidas e de manchas e cicatrizes de queimadas ou incêndios. **Revista de Geociências do Nordeste**, p. 57-67, 2021.

SILVA, Jackgrayce Dutra Nascimento. Sustentabilidade ambiental na educação profissional: desafios para o desenvolvimento sustentável na Baixada Maranhense. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 13, n. 3, p. 275-283, 2018.

SILVA, João Vitor Borges da et al. Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. spe, p. e250907, 2021.

SILVA, T. G. F. da; QUEIROZ, M. G. de; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B. de; SOUZA, C. A. A. de; MOURA, M. S. B. de; ARAÚJO, G. G. L. de; NETO, A. J. S.; SANTOS, T. S. dos; MELO, A. L. de; NETO, J. F. da C.; SILVA, M. J. da; ALVES, H. K. M. N. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. **Soil and Tillage Research**, v. 207, p. 104852, 2021.

SILVA, Renato Silva; FILHO, Severino Soares AGRA. Flexibilização do licenciamento ambiental de obras de utilidade pública em áreas de preservação permanente no litoral norte da Bahia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, 2020.

SILVA, Rubens Ribeiro da *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1584-1592, 2010.

SILVA, Silézio Ferreira *et al.* Influence of land use and different plant residues on isotopic carbon distribution of total and water extractable organic matter in an incubation experiment with weathered tropical soil. **Land Degradation & Development**, v. 34, n. 5, p. 1363-1374, 2023.

SILVA MUNIZ, Ariana Gomes; CABRAL, Diogo Diniz Ribeiro; PEDROSA, Luís Antônio Câmara. Guerra química no campo maranhense: drones agrícolas, barreiras ambientais e violação de direitos territoriais de comunidades tradicionais (2024–2026). *Atâtôt – Revista Interdisciplinar de Direitos Humanos da UEG*, v. 7, n. 1, 2026.

SILVA, V. C. R. F. DA. Cercamentos na baixada maranhense: implicações de tais práticas na comunidade quilombola de Camaputua em Cajari-Maranhão. **Rev. de Direito Agrário e Agroambiental**. Evento Virtual, v. 6 - n. 1, p. 40-56. 2020.

SILVA, VCRF. Cercamentos na Baixada Maranhense: implicações de tais práticas na comunidade quilombola de Camaputua em Cajari–Maranhão. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental. Evento Virtual**, v. 6, n. 1, p. 40-56, 2020.

SILVA, Vilena Aparecida Ribeiro. Perda de biodiversidade em função de pressão antrópica nas planícies inundáveis da Amazônia Maranhense. 2019. 107 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

SILVA, Vilena Aparecida Ribeiro. Perda de biodiversidade em função de pressão antrópica nas planícies inundáveis da Amazônia Maranhense. 2019. 107 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

SILVA, P. L. F. da; Oliveira, F. P. de; Martins, A. F.; Pereira, W. E.; Tavares, D. D.; Amaral, A. J. do; Silva, A. J. da. Saúde do solo de um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta através de análise multivariada. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e2929119835, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.9835.

SKYWORK AI. **Skywork: plataforma de inteligência artificial para geração de conteúdo e automação de tarefas**. Singapura, 2026. Disponível em: <<https://skywork.ai/>>. Acesso em: 29 maio 2026

SNODGRASS, Joel W. *et al.* Relationships among isolated wetland size, hydroperiod, and amphibian species richness: implications for wetland regulations. **Conservation biology**, v. 14, n. 2, p. 414-419, 2000.

SOARES, Simone Cesario; SIGNOR, Altevir. Água um bem de todos: Interfaces desenvolvimento e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e1310917728-e1310917728, 2021.

SOARES, Vicente Paulo et al. Mapeamento de áreas de preservação permanentes e identificação dos conflitos legais de uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu-MG. **Revista Árvore**, v. 35, p. 555-563, 2011.

SOARES-FILHO, Britaldo *et al.* Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

SOBOKA, Diriba Megersa; YIMER, Fantaw. Restoration of degraded lands for carbon stock enhancement and climate change mitigation: the case of Rebu Watershed, Woliso Woreda, Southwest Shoa, Ethiopia. 2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOLOHUMICS. 2022. A Importância do Carbono Orgânico Total no Solo Disponível em: <<https://solohumics.com.br/a-importancia-do-carbono-organico-total-no-solo-2/>> Acesso: 20 de dez de 2023.

SONODA, Fátima Aparecida *et al.* A efetividade das áreas protegidas na conservação das espécies de mamíferos do bioma Pantanal. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 16, n. 3, p. 371-440, 2021.

SORRIBAS, Mino Viana *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. **Climatic change**, v. 136, n. 3, p. 555-570, 2016.

SOTERRONI, Aline C. *et al.* Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 7, p. 074021, 2018.

SOUSA, Valdemício Ferreira; ARAÚJO, Eugênio Celso Emérito; FERREIRA, Jefferson Douglas Martins. Características ambientais da Baixada Maranhense. **Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense**, p. 20, 2020.

SOUSA GUIMARÃES, Ed Carlos; BARP, Wilson José. Pistolagem no contexto do judiciário: o caso do Pará. **Revista Brasileira de Segurança Pública**, v. 5, n. 2, p. 120-133, 2011.

SOUZA BRITO, Ciro. Lugar de Conflitos: estudo de caso no Território Tradicional Sesmaria do Jardim, Baixada Maranhense. **ACENO-Revista de Antropologia do Centro-Oeste**, v. 4, n. 8, p. 109 a 126-109 a 126, 2017.

SOUSA, L. C. S. & Costa, F. W. D. Crescimento desordenado às margens do rio pericumã no município de Pinheiro-Ma. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade. 2017.

SOUSA, V. F. *et al.* Tecnologias de produção de feijão-caupi irrigado para consumo de grãos imaturos (verdes) na Baixada Maranhense. 2022.

SOUSA, V. F. *et al.* Tecnologias de produção de feijão-caupi irrigado para consumo de grãos imaturos (verdes) na Baixada Maranhense. 2022.

SOUZA NETO, Osório Augusto de *et al.* Biomarcadores histológicos em espécies nativas de peixes na avaliação da saúde do ecossistema lago açu, Maranhão. **Open science research ix**, v. 9, n. 1, p. 1423-1440, 2022.

SOUZA, Bruna D.'Angela *et al.* Avaliação da taxa de deposição de lixo em unidade de conservação: um estudo de caso na flona da restinga de cabedelo, Paraíba, Brasil.2022. Disponível em:
<<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2022/III-021.pdf> Acesso em: 2 maio.> 2024.

SOUZA, Yuri Gomes et al. Serviço de regulação e manutenção do carbono na biomassa acima do solo em um manguezal semiárido Brasileiro. **Geo UERJ**, n. 42, 2023.

SOUZA, Rafael Oliveira Bessa; PÉREZ, Taimy Cantillo. Comportamento espectral do carbono orgânico no solo em argissolo no município de Petrolina-PE. **Anais dos Seminários de Iniciação Científica**, n. 25, 2021.

SOUZA, Reginaldo Farias; KHAN, Ahmad Saeed. A modernização da agricultura, classificação dos municípios e concentração da terra no estado do Maranhão. 2001.

SOUZA, Reginaldo Farias; KHAN, Ahmad Saeed. Modernização da agricultura e hierarquização dos municípios maranhenses. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 39, n. 1, p. 75-98, 2019.

SPINELLI, Fabiana Figueiró; SOARES, Remi Aparecida de Araújo. Cooperação internacional na área ambiental: uma análise comparativa entre Brasil e Canadá. **Interfaces Brasil/Canadá**, v. 1, p. 307-332, 2011.

STAAL, Arie et al. Feedback between drought and deforestation in the Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 4, p. 044024, 2020.

STANOJEVIC, A. B.; STANOJEVIC, A. B. Conservation agriculture and its principles. **Annals of Environmental Science and Toxicology**, v. 5, n. 1, p. 018.022, 2021.

STENERT, Cristina; MALTCHIK, Leonardo. Influence of area, altitude and hydroperiod on macroinvertebrate communities in southern Brazil wetlands. **Marine and Freshwater Research**, v. 58, n. 11, p. 993-1001, 2007.

STEVENSON, Frank J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. John Wiley & Sons, 1994.

SUGDEN, Andrew M. Impacts of deforestation on wetlands. **Science**, v. 346, n. 6211, p. 822-824, 2014.

SWAMI, Sanjay. Innovative soil-crop management systems for climate smart sustainable agriculture. **Journal of Environmental Biology**, v. 44, n. 3, p. I-II, 2023.

TAN, L.; GE, Z.; ZHOU, X.; LI, S.; LI, X.; TANG, J. Conversion of coastal wetlands, riparian wetlands, and peatlands increases greenhouse gas emissions: A global meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 26, n. 3, p. 1638–1653, 2020.

TAVARES FILHO, Gilberto Saraiva *et al.* Qualidade do solo em áreas nativas e cultivadas na Chapada do Araripe no semiárido do nordeste brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e8809108975-e8809108975, 2020.

TAVARES, M. G. Avaliação do desmatamento na Amazônia e suas consequências nas mudanças climáticas. *Brazilian Journal of Development*, v. 9, n. 7, p. 22772–22781, 2023.

TAVARES, Margareth Andrade et al. Capacidade de uso da terra e abatimento de erosão hídrica em propriedades agrícolas do sul do Rio Grande do Sul. **Científica**, v. 48, n. 4, p. 374-385, 2020.

TELLES, Tiago Santos et al. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil**. Texto para Discussão, 2021.

TESKE, Rodrigo; GIASSON, Elvio; BAGATINI, Tatiane. Produção de um mapa pedológico associando técnicas comuns aos mapeamentos digitais de solos

com delineamento manual de unidades de mapeamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 4, p. 950-959, 2015.

THEODOSIO, Sandra Cristina Serra *et al.* Estudo Físico-Químico do Rio Pericumã na Baixada Maranhense. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 3017-3025, 2023.

THIAGO, Fernando Thiago. Ressignificação cultural e resistência na produção de fitoterápicos em comunidade quilombola. **Revista de Humanidades**, v. 29, n. 2, p. 339-358, 2014.

TORRECILHA, Sylvia *et al.* Registros de espécies de mamíferos e aves ameaçadas em Mato Grosso do Sul com ênfase no Sistema Estadual de Unidades de Conservação. Iheringia. **Série Zoologia**, v. 107, p. e2017156, 2017.

TORRES, A. T. G. Hidroterritórios (novos territórios da água): os instrumentos de gestão dos recursos hídricos e seus impactos nos arranjos territoriais. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

VALE, Francinelli Angeli Francisco; TOLEDO, Peter Mann; VIEIRA, Ima Célia Guimarães. Análise comparativa de indicadores de sustentabilidade entre os estados da Amazônia Legal. **Sustainability in Debate**, v. 9, n. 1, p. 214-231, 2018.

VIANA, Willian Carboni *et al.* Notas sobre a estrutura agrária da região dos eixos rodoferroviários no Centro-Norte do Maranhão (Brasil). **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 6, p. 5672-5686, 2023.

VIEIRA, D. C. S. *et al.* Wildfires in Europe: Burned soils require attention. **Environmental research**, v. 217, p. 114936, 2023.

VITALLI, Patrícia De Luca; ZAKIA, Maria José Brito; DURIGAN, Giselda. Considerações sobre a legislação correlata à zona-tampão de unidades de conservação no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, p. 67-82, 2009.

VON COSSEL, Moritz. Renewable Energy from Wildflowers—Perennial Wild Plant Mixtures as a Social-Ecologically Sustainable Biomass Supply System. **Advanced Sustainable Systems**, v. 4, n. 7, p. 2000037, 2020.

VON LIEBIG, Justus Freiherr; PLAYFAIR, Lyon Playfair Baron. Chemistry in its applications to agriculture and physiology. Taylor and Walton, 1843.

WANG, Guanxun et al. Soil organic carbon storage in Liaohe River Estuary Wetlands under restoration and multiple management strategies, based on landscape patterns. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, p. 1100208, 2023.

WANG, Guanxun *et al.* Soil organic carbon storage in Liaohe River Estuary Wetlands under restoration and multiple management strategies, based on landscape patterns. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, p. 1100208, 2023.

WANG, Jie; ZHANG, Weiwei; ZHANG, Zengxiang. Impacts of land-use changes on soil erosion in water–wind crisscross erosion region of China. **Remote Sensing**, v. 11, n. 14, p. 1732, 2019.

WETLANDS. Wetlands International. 2022. Disponível em: <<https://www.wetlands.org/>> Acesso 20 de novembro 2023.

XU, Weihua et al. Hidden loss of wetlands in China. **Current Biology**, v. 29, n. 18, p. 3065-3071. e2, 201.

XIA, S.; SONG, Z.; ZWIETEN, L. V.; GUO, L.; YU, C.; WANG, W.; LI, Q.; HARTLEY, I. P.; YANG, Y.; LIU, H.; WANG, Y.; RAN, X.; LIU, C.; WANG, H. Storage, patterns and influencing factors for soil organic carbon in coastal wetlands of China. **Global Change Biology**, v. 28, n. 20, p. 6065–6085, 2022.

YANAI, Aurora Miho et al. Deforestation and carbon stock loss in Brazil's Amazonian settlements. **Environmental Management**, v. 59, p. 393-409, 2017.

YOST, J. L.; HARTEMINK, A. E. Effects of carbon on moisture storage in soils of the Wisconsin Central Sands, USA. *European Journal of Soil Science*, v. 70, n. 3, p. 565–577, 2019.

ZHENG, Y.; YANG, Z.; ZHOU, J.; ZHENG, W.; CHEN, S.; LIN, W.; YANG, Y. Divergent responses of temperature sensitivity to rising incubation temperature in the warmed and un-warmed soil from a subtropical plantation. Preprints, Basel, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20944/preprints202309.2169.v1> Acesso em: 10 fevereiro de 2026.

ZONTA, J. B. *et al.* Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense. 2020.