



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Campus de Três Lagoas – CPTL,
Curso de Geografia



**Estoque e Sequestro de Carbono diante das Mudanças de Uso e
Cobertura da Terra em Água Clara/MS (2007–2020)**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Tainá Muller Gerotti

TRÊS LAGOAS

2025

Estoque e Sequestro de Carbono diante das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra em Água Clara/MS (2007–2020)

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Três Lagoas (CPTL), como requisito para obtenção do título de Licenciado/Bacharel em Geografia.

Orientador/a: Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani

TRÊS LAGOAS

2025

Tainá Muller Gerotti

Estoque e Sequestro de Carbono diante das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra em Água Clara/MS (2007–2020)

Monografia apresentada à Banca Examinadora em:

_____ de _____ de 2025 e foi considerada_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani

Prof. Dr. César Cardoso Ferreira

Prof. Dr. Frederico dos Santos Gradella

Dedico este trabalho a todos que, assim como eu, enfrentaram desafios psicológicos ao longo da trajetória universitária e persistiram. Dedico também àqueles que permaneceram ao nosso lado, oferecendo apoio e forças para seguir. Como disse Sigmund Freud, 'a coragem é a primeira virtude humana, pois garante todas as outras'. A cada pessoa que encontrou coragem para continuar, minha dedicatória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Sulivan e Liliane; aos meus irmãos, Bruna, Raphael e Thales; aos meus avós paternos, Pedro e Luzia; aos meus avós maternos, Hilson e Jacira; e a toda a minha família, pelo amor, pelo incentivo e pela presença constante em minha vida.

Agradeço também aos amigos que me acompanham desde a infância, Yukimy, Aline e Sara; e aos que encontrei durante a graduação, Aryel, Fernanda, Diego, Roberto, Marcos, Amanda, Melissa e Cecília, pela companhia, pelas conversas e pela força ao longo de cada etapa.

Aos meus professores, e especialmente aos meus orientadores, Fred, César e Vitor, sou profundamente grata pela paciência, pela orientação e por cada contribuição no meu desenvolvimento como aluna.

Agradeço ainda aos colegas do meu primeiro trabalho, Deany, Lorena e Júlio; e aos do meu trabalho atual, Marco, Carlos, Larissa, Anne, Alexa, Felipe, Amanda Braz, Amanda Costa, Márcia, João Victor e Rodrigo, que caminharam ao meu lado, me ofereceram apoio diário e me ensinaram tanto. E aos meus chefes, Cleomar, João Carlos e Emerson, pela oportunidade e pela flexibilidade que tornou possível conciliar a rotina de trabalho com a universidade.

Um agradecimento especial à minha psicóloga, Ana Luiza, que me acompanha há seis anos e foi essencial para que eu chegassem até aqui com mais equilíbrio, coragem e clareza. Todos os caminhos que percorri nesses anos levam, de alguma forma, sua orientação, pela profissional incrível que é.

E por fim, agradeço a mim mesma por não desistir, por seguir apesar dos desafios e por honrar, com coragem, cada passo desta caminhada.

RESUMO

A mitigação das mudanças climáticas é um dos principais desafios globais, exigindo integração entre setores econômicos e estratégias ambientais. O sequestro e estoque de carbono constituem ferramentas relevantes para compensar as emissões de dióxido de carbono (CO₂), principalmente as geradas por atividades industriais. Este estudo analisou o município de Água Clara, Mato Grosso do Sul, nos anos de 2007 e 2020, avaliando como as alterações no uso e ocupação da terra influenciaram o balanço de carbono. A pesquisa adotou abordagem qualquantitativa, baseando-se em fundamentação teórica, análise espacial, estimativas de estoque e sequestro de carbono por meio do modelo InVEST e interpretação das dinâmicas territoriais. O estudo permitiu identificar a variação do carbono acumulado no território municipal, correlacionando o avanço da silvicultura e outras mudanças de uso da terra com os resultados de sequestro de carbono. Os achados fornecem subsídios para políticas públicas e práticas de gestão territorial voltadas à mitigação de gases de efeito estufa (GEE).

Palavras-Chave: Gases de efeito estufa; Uso e cobertura da terra; Estoque e sequestro de carbono.

ABSTRACT

Climate change mitigation is one of the main global challenges, requiring integration between economic sectors and environmental strategies. Carbon sequestration and storage are relevant tools for offsetting carbon dioxide (CO₂) emissions, mainly those generated by industrial activities. This study analyzed the municipality of Água Clara, Mato Grosso do Sul, in the years 2007 and 2020, evaluating how changes in land use and occupation influenced the carbon balance. The research adopted a mixed-methods approach, grounded in theoretical foundations, spatial analysis, carbon stock and sequestration estimates using the InVEST model, and the interpretation of territorial dynamics. The study identified variation in accumulated carbon within the municipal territory, correlating the expansion of forestry and other land-use changes with carbon sequestration outcomes. The findings provide support for public policies and territorial management practices aimed at mitigating greenhouse gas (GHG) emissions.

Keywords: Greenhouse gases; Land use and land cover; Carbon stock and sequestration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Área de Estudo.....	11
Figura 2 – Localização do Vale da Celulose.	13
Figura 3 – Localização das Agroindústrias.....	14
Figura 4 – Tabela de Carbon Pools	30
Figura 5 – Mapa Comparativo do Uso e Cobertura da Terra (2007–2020).....	32
Figura 6 – Áreas de uso e cobertura da terra no município de Água Clara/MS (ha).....	33
Figura 7 – Gráfico Áreas de Uso Uso e Cobertura da Terra (2007 – 2020).....	33
Figura 8 – Distribuição do estoque de carbono para os anos de 2007 e 2020.	35
Figura 9 – Comparativo do estoque total de carbono (t) estimado pelo InVEST para os anos de 2007 e 2020.....	36
Figura 10 – Uso e cobertura da terra nos anos de 2007 e 2020.	37
Figura 11 – Sequestro líquido de carbono no município de Água Clara/MS (2007–2020)....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivo Geral	16
1.3 Objetivos Específicos	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Cerrado E O Uso E Ocupação Da Terra.....	17
2.2 Dinâmica Territorial Em Mato Grosso Do Sul	18
2.3 Mudanças Climáticas E Políticas Internacionais.....	20
2.4 Ciclo Do Carbono	22
2.5 Cartografia Aplicada: O Mapa Como Ferramenta De Análise Ambiental	24
2.5.1 Mapbiomas	25
2.5.2 InVEST	26
3 METODOLOGIA	28
3.1 Área de estudo.....	28
3.2 Período analisado	28
3.3 Fontes de dados.....	29
3.4 Procedimentos	29
4 USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE ÁGUA CLARA/MS (2007–2020) ..	32
5 ESTOQUES DE CARBONO EM 2007 E 2020.....	35
6 SEQUESTRO DE CARBONO ENTRE 2007 E 2020.....	37
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

O aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), em especial o dióxido de carbono (CO_2), decorrente da intensificação das atividades industriais e agropecuárias, tem aprofundado o debate científico e político sobre as estratégias de mitigação das mudanças climáticas. Esse fenômeno evidencia a urgência de medidas que aliem desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, orientando a busca por soluções baseadas na natureza. Entre as abordagens mais promissoras destaca-se o sequestro de carbono, processo pelo qual a vegetação e o solo atuam como sumidouros naturais, absorvendo e armazenando CO_2 atmosférico na biomassa e na matéria orgânica do solo (IPCC, 2023)¹.

No Brasil, o desflorestamento constitui uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa, enquanto o reflorestamento desempenha papel crucial na mitigação dessas emissões, promovendo o sequestro de carbono. As florestas tropicais exercem função estratégica no ciclo do carbono, armazenando grandes quantidades de carbono na biomassa e no solo, podendo atuar tanto como sumidouros quanto como fontes de carbono (Ramos, 2018).

No Cerrado de Mato Grosso do Sul, essas questões tornam-se ainda mais relevantes. Segundo Sato (2024), o Cerrado de Mato Grosso do Sul, entre 1985 e 2020, apresentou uma dinâmica complexa no estoque de carbono, com redução expressiva devido às mudanças no uso e cobertura da terra. A conversão de áreas naturais em pastagens, plantações e zonas de silvicultura alterou significativamente a capacidade dos biomas de atuar como sumidouros de carbono. Apesar disso, a autora destaca que práticas de manejo sustentável podem reverter parte dessas perdas, reforçando a necessidade de políticas ambientais que favoreçam a conservação e a recuperação dos estoques de carbono (Sato, 2024).

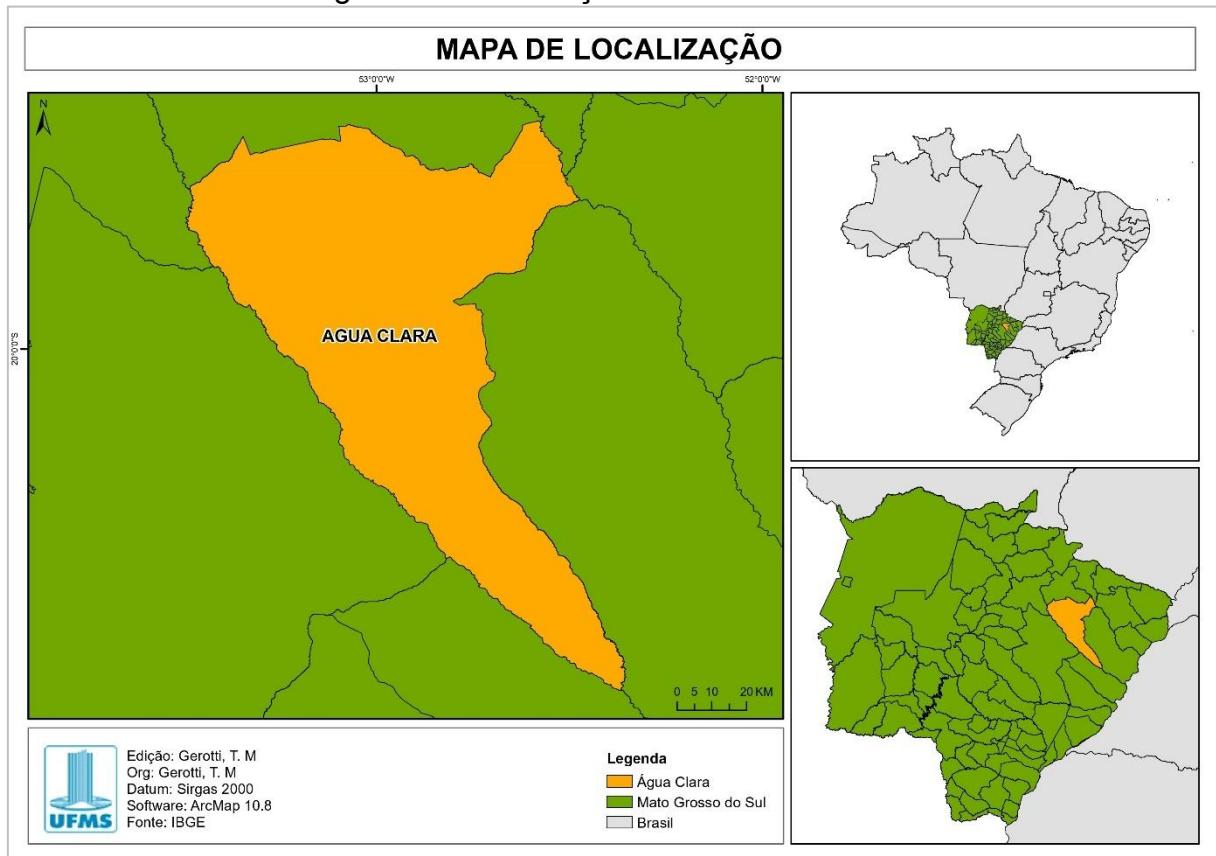
A dinâmica dos solos do Cerrado também influencia esse cenário. Silva (2024) observa que esses solos possuem baixa concentração de matéria orgânica, majoritariamente localizada nos horizontes superficiais. Essa matéria orgânica desempenha papel crucial no ciclo de nutrientes, na atividade microbiana e na regulação do fluxo de GEE entre o solo e a atmosfera. Contudo, a expansão de

¹ IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).

sistemas agrícolas pouco sustentáveis, como monoculturas extensivas, intensifica a perda dessa matéria orgânica e contribui para o aumento das emissões de CO₂.

Inserido nesse contexto ambiental e produtivo, o município de Água Clara, localizado na região leste do Mato Grosso do Sul e apresentado no mapa a seguir (FIGURA 1), destaca-se por sua paisagem marcada por intensas transformações no uso do solo, abrangendo áreas de cerrado nativo, vegetação de várzea, atividades agropecuárias e silvicultura. Essa variedade de coberturas e usos do solo torna a região particularmente adequada para estudos sobre mudanças ambientais e estoque de carbono.

Figura 1 – Localização da Área de Estudo.



Organização: Autor

O município que faz parte do território rural do Bolsão Sul-mato-grossense, tem como influencia o município de Três Lagoas-MS, hoje, reconhecidamente como a capital mundial da celulose, segundo o portal da Agência Senado (2021), a Lei 14.142/2021, proveniente do PLS 178/2016 da senadora Simone Tebet (MDB-MS), foi sancionada para conferir o título de “Capital Nacional da Celulose” ao município de

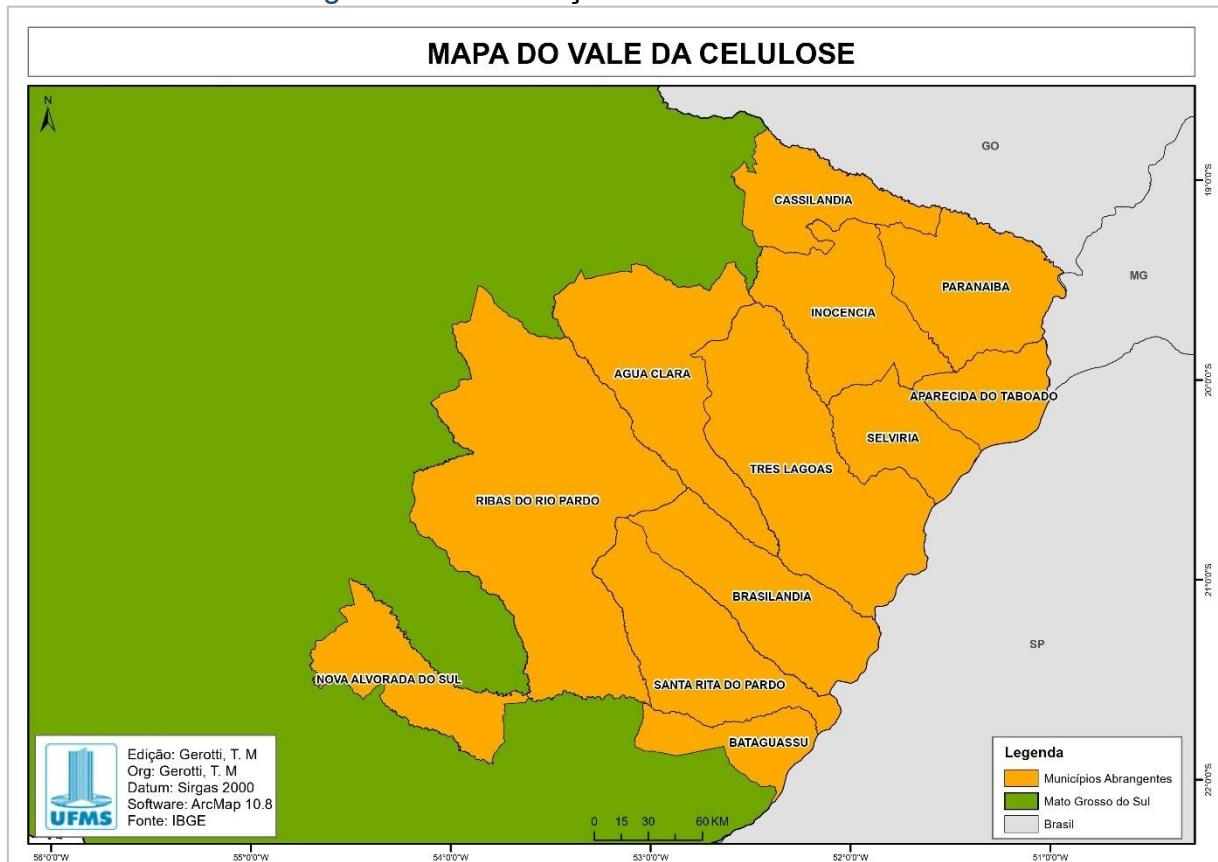
Três Lagoas (MS)². Além disso, a região leste de Mato Grosso do Sul foi reconhecida como “vale da celulose”, de acordo com a publicação da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação de Mato Grosso do Sul (SEMADESC)³, a legislação estadual reconhece o Vale da Celulose como um polo estratégico de desenvolvimento industrial no estado, abrangendo os municípios de Água Clara, Aparecida do Taboado, Bataguassu, Brasilândia, Cassilândia, Inocência, Nova Alvorada do Sul, Paranaíba, Ribas do Rio Pardo, Santa Rita do Pardo, Selvíria e Três Lagoas (Figura 3), localidades que se destacam pela presença de grandes empreendimentos industriais, investimentos em infraestrutura e geração de empregos ligadas ao setor florestal e à produção de celulose.⁴

²AGÊNCIA SENADO. Sancionada lei que dá o título de Capital Nacional da Celulose a Três Lagoas (MS). Brasília, 20 abr. 2021. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/04/20/sancionada-lei-que-da-o-titulo-de-capital-nacional-da-celulose-a-tres-lagoas-ms>. Acesso em: 06/07/2025.

³ industrial em Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS: SEMADESC, 8 maio 2025. Disponível em: <https://www.semadesc.ms.gov.br/lei-estadual-oficializa-vale-da-celulose-como-polo-estrategico-do-desenvolvimento-industrial-em-mato-grosso-do-sul/#:~:text=Pela%20lei%2C%20o%20Vale%20da,presen%C3%A7a%20de%20grandes%20empreendimentos%20industriais%2C>. Acesso em: 06/07/2025.

⁴ SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DESENVOLVIMENTO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE MATO GROSSO DO SUL. Lei estadual oficializa ‘Vale da Celulose’ como polo estratégico do desenvolvimento industrial em Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS: SEMADESC, 8 maio 2025. Disponível em: <https://www.semadesc.ms.gov.br/lei-estadual-oficializa-vale-da-celulose-como-polo-estrategico-do-desenvolvimento-industrial-em-mato-grosso-do-sul/#:~:text=Pela%20lei%2C%20o%20Vale%20da,presen%C3%A7a%20de%20grandes%20empreendimentos%20industriais%2C>. Acesso em: 06/07/2025.

Figura 2 – Localização do Vale da Celulose.



Organização: Autor

O município de Três Lagoas/MS concentra importantes unidades industriais do setor de celulose, como a Eldorado Brasil e a Suzano (Figura 2), responsáveis por grande parte da produção nacional voltada ao mercado interno e à exportação. Essas indústrias ocupam extensas áreas e demandam consideráveis volumes de matéria-prima, principalmente eucalipto, impactando diretamente o uso e cobertura do solo na região e na microrregião adjacentes.

Figura 3 – Localização das Agroindústrias



Organização: Autor

Entre os anos de 2007 e 2020, observou-se uma expressiva expansão das plantações de eucalipto voltadas ao abastecimento do setor de celulose e papel, o que provocou significativas transformações no uso e cobertura da terra.

Diante dessa expansão e das mudanças ambientais associadas, torna-se essencial o uso de ferramentas capazes de monitorar o território com precisão. Nesse sentido, Silva (2024) destaca o papel dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem análises espaciais detalhadas e o acompanhamento contínuo das alterações ambientais. Entre essas ferramentas, a Plataforma MapBiomas se destaca por realizar o mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil, utilizando imagens de satélite e metodologias padronizadas, fornecendo dados fundamentais para compreender a dinâmica do Cerrado e seus impactos sobre o estoque e o sequestro de carbono.

Além do monitoramento contínuo da cobertura e uso da terra, a adoção de modelos voltados à estimativa do estoque e do sequestro de carbono torna-se

fundamental para compreender os efeitos dessas mudanças. Segundo Pires (2024), os modelos de estocagem e sequestro de carbono possibilitam quantificar o carbono atualmente acumulado em uma área e projetar o estoque futuro para um cenário definido. A diferença entre esses valores representa o volume de carbono sequestrado ou emitido ao longo do período analisado.

A autora destaca que, ao incorporar a valoração econômica por tonelada de carbono, esses modelos tornam-se ferramentas estratégicas para apoiar processos de planejamento e tomada de decisão frente às transformações no uso e cobertura da terra. Nesse contexto, o modelo InVEST se destaca por operacionalizar essas estimativas de forma espacializada, permitindo uma compreensão mais precisa das dinâmicas ambientais (Pires, 2024).

1.1 Justificativa

A intensificação das mudanças climáticas, associada ao aumento das emissões de gases de efeito estufa decorrentes da expansão agropecuária e industrial, tem reforçado a necessidade de compreender como os territórios atuam na dinâmica do carbono. No contexto de Mato Grosso do Sul, essa necessidade se torna ainda mais evidente diante da transformação acelerada do uso e cobertura da terra, especialmente em áreas inseridas no Cerrado, bioma reconhecido tanto por sua biodiversidade quanto por sua vulnerabilidade às pressões produtivas.

O município de Água Clara/MS destaca-se nesse cenário por integrar o chamado Vale da Celulose, região marcada pela expansão da silvicultura voltada ao abastecimento do setor de celulose e papel. Entre 2007 e 2020, essa atividade consolidou-se como o principal vetor de reorganização territorial, substituindo predominantemente áreas de pastagem e modificando de maneira significativa o balanço de biomassa e carbono na paisagem. Assim, analisar como essas alterações influenciam o estoque e o sequestro de carbono torna-se fundamental para compreender o papel da região na mitigação das emissões de CO₂, sobretudo devido ao crescimento expressivo dos plantios de eucalipto, à redução de vegetação nativa e às mudanças estruturais no mosaico de usos identificadas ao longo do período estudado.

A adoção de ferramentas como o MapBiomas e o modelo InVEST permite avaliar, com precisão espacial, como diferentes cenários de uso da terra influenciam os serviços ecossistêmicos, particularmente o sequestro e o estoque de carbono. Assim, a pesquisa contribui tanto para o avanço científico na análise geográfica aplicada quanto para a compreensão da capacidade do território de atuar como sumidouro de carbono.

Por fim, a investigação se torna especialmente pertinente porque Água Clara apresenta uma combinação singular de condições ambientais, pressões produtivas e relevância estratégica no setor florestal. Compreender seu papel na dinâmica regional do carbono é essencial para avaliar os impactos da expansão da silvicultura, identificar áreas prioritárias para conservação e subsidiar estratégias de mitigação alinhadas às políticas climáticas e aos compromissos internacionais.

1.2 Objetivo Geral

Analizar de que forma as mudanças no uso e ocupação da terra em Água Clara/MS contribuiu para o sequestro e estoque de carbono e na mitigação das emissões entre 2007 e 2020.

1.3 Objetivos Específicos

- Comparar o uso e cobertura da terra (2007-2010);
- Estimar o estoque e o sequestro de carbono (2007-2010);
- Correlacionar as mudanças no uso e ocupação da terra com as respectivas variações no sequestro de carbono.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cerrado E O Uso E Ocupação Da Terra

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 25% do território nacional e abrangendo principalmente os estados do Centro-Oeste, Sudeste e parte do Nordeste. Considerado uma das savanas mais biodiversas do mundo, é também um dos biomas que mais sofreu transformações pela ocupação humana, ficando atrás da Mata Atlântica. Apesar de sua relevância ecológica, apenas 8,6% de sua área está protegida por unidades de conservação, e somente 3,1% corresponde à categoria de proteção integral, como parques nacionais, o que evidencia sua vulnerabilidade diante do avanço das atividades antrópicas (Brasil, 2015).

Até a década de 1950 a paisagem do Cerrado permanecia praticamente inalterada. Contudo, a partir dos anos 1960, com a transferência da Capital Federal para Brasília e a implantação de uma nova rede rodoviária, intensificou-se o processo de uso e ocupação da terra, resultando na substituição da vegetação nativa por áreas de pecuária e agricultura intensiva (IBGE, 2025). De acordo com Ramos (2018), a conversão do Cerrado nativo para áreas agrícolas promove perdas significativas de matéria orgânica, eleva a erosão e reduz a capacidade do solo de estocar carbono, uma vez que a manipulação do solo e a queima da vegetação intensificam a mineralização e a liberação de carbono para a atmosfera.

A transformação do Cerrado também pode ser entendida a partir dos conceitos de uso, ocupação e atribuição das terras, apresentados por Miranda (2016). Enquanto o uso diz respeito à função prática dada ao solo (agricultura, pecuária ou conservação) A ocupação diz respeito à forma como essas atividades se distribuem no território. Já a atribuição está relacionada ao conjunto de políticas, decisões institucionais e interesses econômicos que direcionam essas transformações. No Cerrado, esses três elementos atuaram juntos principalmente após a década de 1960, quando políticas de interiorização, incentivos à agricultura e expansão da infraestrutura passaram a direcionar o território, favorecendo a expansão produtiva e contribuindo para a redução da vegetação nativa (IBGE, 2025; Miranda, 2016).

2.2 Dinâmica Territorial Em Mato Grosso Do Sul

A história do uso da terra em Mato Grosso do Sul começou com o extrativismo mineral e a produção de erva-mate, atividades que atraíram pessoas para a região e concentraram grandes áreas de terra, muitas vezes em territórios indígenas Kaiowá e Guarani, afetando essas comunidades. Com o declínio do mate, a pecuária extensiva se espalhou pelo estado, aproveitando as condições naturais, e se fortaleceu no século XX com políticas de modernização agrícola, incentivos fiscais e construção de infraestrutura para o abate, formando a base econômica tradicional da região (Silva, 2025).

De acordo com Pela (2010), até 1965 o setor florestal brasileiro tinha pouca expressividade, pois o manejo de florestas plantadas ocorria em pequena escala, com baixa tecnologia e pouca gestão. A rentabilidade reduzida, ao longo prazo de maturação e os elevados riscos faziam com que produtores rurais e empresários florestais não tivessem interesse em investir em projetos de reflorestamento. Esse cenário começou a mudar entre 1965 e 1988, quando a política de incentivos fiscais ao reflorestamento promoveu um crescimento significativo das áreas plantadas, especialmente com eucalipto e pinus, espécies que apresentavam rápido desenvolvimento e boa adaptação ao clima e ao solo brasileiro.

Entretanto, Pela (2010) destaca em sua pesquisa que esses projetos exigiam altos investimentos iniciais, produção em larga escala e capacidade de autossuprimento, o que levou as empresas florestais a adquirirem grandes extensões de terra e formar vastas áreas de monocultura. Isso gerou monopólios naturais, pois a presença dominante das grandes empresas limitava a atuação de outros produtores e consumidores de madeira, reduzindo a concorrência e a possibilidade de elevação dos preços. Como consequência, a atividade tornava-se pouco atrativa para produtores rurais, desestimulando novos investimentos em reflorestamento.

O Estado brasileiro desempenhou papel determinante na ocupação produtiva do Bolsão/MS ao direcionar políticas públicas e crédito rural que favoreceram médias e grandes propriedades, impulsionando principalmente a expansão da pecuária e das monoculturas de eucalipto e pinus. A partir da década de 1970, essas ações promoveram uma forte reestruturação do território, marcada pela priorização das plantações florestais e pela formação de grandes áreas contínuas de monocultura. Com o passar dos anos, observa-se uma redução do rebanho bovino e um

crescimento expressivo das áreas plantadas, evidenciando a consolidação do modelo capitalista de uso da terra na região (Leonardo et al., 2021).

Embora a expansão da agricultura no Cerrado tenha gerado ganhos socioeconômicos significativos, até 1990 cerca de 50% da vegetação nativa já havia sido suprimida, e o modelo de expansão horizontal, dependente da conversão de áreas naturais e intensivo em energia e insumos, provocou impactos como erosão do solo, assoreamento de rios e escassez hídrica, levando à degradação e subutilização de áreas exauridas (Pela, 2010).

Entre os efeitos mais significativos estão a degradação das nascentes, a redução de lagoas e a diminuição da disponibilidade hídrica, decorrentes da compactação do solo e da pressão sobre os lençóis freáticos. Oliveri (2025) afirma que esses impactos evidenciam que o modelo de monocultivo reconfigura o território, com consequências ecológicas e socioeconômicas para a região.

A conversão da vegetação nativa do Cerrado em outros usos, como agricultura e pastagem, provoca impactos ambientais significativos. Além disso, o manejo inadequado do solo contribui para a redução do estoque de carbono, especialmente quando há uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, que aceleram a decomposição da matéria orgânica e aumentam as emissões de CO₂, diminuindo o carbono do solo. Por outro lado, práticas como o plantio direto e o uso de fertilizantes orgânicos podem contribuir para a manutenção ou aumento do estoque de carbono, evidenciando a importância de manejos sustentáveis para a conservação dos solos e da funcionalidade dos ecossistemas (Silva, 2025).

Diante desse cenário, a agricultura brasileira, e em especial no Cerrado, passou a ser demandada por mudanças, motivadas pelo agravamento da crise ambiental, novas exigências do mercado e compromissos nacionais na redução de emissões de gases de efeito estufa. Assim, tornou-se necessário incorporar o fator ecossistêmico à produção agrícola, buscando sistemas tecnicamente eficientes, ambientalmente adequados, economicamente viáveis e socialmente aceitos, que conservem a biodiversidade, protejam os solos e a água e atendam às exigências do mercado (Pela, 2010).

2.3 Mudanças Climáticas E Políticas Internacionais

Segundo estudos de Richter, Lara e Andreazza (2021), o efeito estufa é um processo natural fundamental para a manutenção da vida na Terra. Ele ocorre devido à presença de determinados gases na atmosfera, como vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3), que retêm parte da energia solar que chega à superfície terrestre, impedindo que todo o calor retorne ao espaço. Entre esses gases, o CO_2 é o que mais contribui para o efeito estufa, principalmente pela grande quantidade liberada na atmosfera, representando cerca de 55% do total das emissões (Carvalho et al., 2010).

Esse processo mantém a temperatura média do planeta em níveis adequados para a manutenção da vida, sem a presença desses gases, a temperatura média do planeta seria cerca de 30°C mais baixa, tornando inviável a existência dos ecossistemas e da vida (Richter; Lara; Andreazza, 2021). Entretanto, o aumento da concentração desses gases em razão das atividades humanas intensifica o efeito estufa, elevando a temperatura global além dos níveis naturais (Richter; Lara; Andreazza, 2021). De acordo com IPCC (2023), as atividades humanas têm provocado o aquecimento global, intensificando eventos climáticos extremos e afetando desproporcionalmente as comunidades vulneráveis que menos contribuem para as emissões.

Embora seja essencial à manutenção da vida, o efeito estufa, quando intensificado por ações humanas, configura um fator de risco ambiental, constituindo um dos principais elementos associados às mudanças climáticas. Segundo Ritcher, Lara e Andreazza (2021) esse aquecimento excessivo acarreta alterações significativas nos ecossistemas, impactando a biodiversidade, os recursos naturais e a vida humana.

Em resposta a esse cenário de aquecimento global, os acordos climáticos internacionais, as crescentes ambições nacionais e a maior conscientização pública têm acelerado os esforços para enfrentar a mudança do clima em múltiplos níveis de governança. Políticas de mitigação já reduziram a intensidade energética e de carbono em vários países, enquanto tecnologias de baixo ou zero carbono se tornam mais acessíveis para energia, transporte, indústria e edificações. O avanço em adaptação oferece benefícios múltiplos, diminuindo riscos climáticos e apoiando o desenvolvimento sustentável. Apesar do aumento do financiamento global para

mitigação e adaptação desde o AR5, ele ainda é insuficiente frente às necessidades (IPCC, 2023).

Nesse contexto, segundo Bernoux et al. (2005), a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC)⁵, adotada em 1992, surge como um marco institucional para enfrentar as mudanças climáticas. Seu objetivo central é estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, prevenindo interferências antrópicas perigosas no clima. A Convenção estabelece responsabilidades diferenciadas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, além de princípios como precaução e equidade.

Após a CQNUMC, o Protocolo de Quioto⁶, adotado em 1997 e vigente a partir de 2005, foi o primeiro acordo a estabelecer metas obrigatórias de redução de emissões para países desenvolvidos, considerados responsáveis históricos pelo aquecimento global. Seus períodos de compromisso (2008–2012 e 2013–2020) definiram reduções baseadas nos níveis de 1990 e inauguraram mecanismos de mercado voltados à mitigação (Brasil, Ministério do Meio Ambiente, [s.d.]). Embora não tenha metas obrigatórias de redução no Protocolo de Quioto, o Brasil vem alinhando suas políticas climáticas aos compromissos internacionais, com avanços em eficiência energética, uso de fontes renováveis e preservação florestal (Biato, 2005).

Rezende, Dalmácio e Ribeiro (2012), apontaram que os créditos de carbono surgem como um dos principais desdobramentos do Protocolo de Quioto, ampliando seus mecanismos de mitigação e incorporando instrumentos de compensação ambiental à economia global. Tal medida, ao mesmo tempo em que introduz uma lógica regulatória de caráter ambiental, abriu também um campo de oportunidades econômicas para países com características territoriais e climáticas favoráveis à produção de biomassa e ao sequestro de carbono, como o Brasil.

Dessa forma, torna-se indispensável compreender como o mercado de créditos de carbono se estrutura institucionalmente e qual o papel que ele desempenha na operacionalização dos compromissos ambientais assumidos pelos países e pelas

⁵ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas.html>. Acesso em: 06 dez. 2025.

⁶ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Protocolo de Quioto. Brasília: MMA, [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quieto.html>. Acesso em: 06 dez. 2025.

empresas. A dinâmica de comercialização dos créditos não apenas cria uma fronteira econômica vinculada à mitigação das emissões, mas também redefine o modo como os territórios são inseridos nas redes globais de regulação climática. Para entender esse processo e suas implicações na economia de baixo carbono, é importante destacar a gênese e o funcionamento dos mecanismos de compensação previstos no Protocolo de Quioto, conforme descrevem Rezende, Dalmácia e Ribeiro (2012):

“O mercado de créditos de carbono surge como instrumento para auxiliar os países do Anexo I a atingirem as metas estipuladas no protocolo de Quioto. Nesse contexto, foram criados os mecanismos de flexibilização, dentre os quais se destaca o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que tem como objetivo propiciar o Comércio de Permissões para os governos ou empresas do anexo I que superarem suas metas de redução da emissão (GEEs), e assim estarão autorizados a negociar os seus respectivos saldos positivos. Os países que não atingirem suas metas de redução poderão adquirir “os créditos de carbono” de projetos localizados em outros países.” (Rezende; Dalmácia; Ribeiro, 2012, p. 111).

A partir dessa concepção, evidencia-se que o mercado de créditos de carbono institucionaliza uma nova racionalidade ambiental na qual o compromisso com a redução de emissões assume também um caráter econômico e territorial. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), como apontam Rezende, Dalmácia e Ribeiro (2012), cria condições para que países e empresas convertam o excedente de suas reduções em ativos negociáveis, transformando o carbono em mercadoria e o território em espaço de compensação ambiental.

2.4 Ciclo Do Carbono

O ciclo do carbono é um processo contínuo de troca desse elemento entre a atmosfera, os organismos vivos e os diferentes compartimentos da Terra, especialmente o solo e a biomassa vegetal. O CO₂ atmosférico é absorvido pelas plantas durante a fotossíntese, sendo transformado em matéria orgânica que compõe tecidos vegetais, raízes e resíduos. Parte desse carbono é transferida ao solo pela deposição de serapilheira, raízes mortas e exsudatos, constituindo uma das principais vias de entrada de carbono nos ecossistemas terrestres (Aduan; Vilela; Klink, 2003).

Segundo Carvalho et al. (2010), o carbono armazenado na Terra distribui-se principalmente entre cinco grandes compartimentos: oceânico, geológico, pedológico, biótico e atmosférico, todos interligados por fluxos contínuos de entrada e saída. O maior reservatório é o geológico, seguido pelos oceanos e pelos solos, que contêm

aproximadamente 2.500 Pg de carbono, sendo este considerado um dos estoques mais dinâmicos e relevantes para o equilíbrio climático.

Nesse mesmo sentido, a Embrapa (2003) destaca que o solo atua como um dos maiores reservatórios de carbono do planeta, podendo funcionar tanto como sumidouro quanto como fonte, dependendo do uso e manejo. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos libera CO₂ de volta à atmosfera, enquanto práticas adequadas, como plantio direto, adição de resíduos vegetais, cobertura permanente e manejo conservacionista, favorecem o acúmulo de carbono no solo. Assim, o equilíbrio entre entrada e saída de carbono determina o papel do ecossistema frente às mudanças climáticas.

Em complemento a essa perspectiva, os estudos conduzidos por Santi, Dalmago e Denardin (2007) reforçam que o solo representa um dos principais reservatórios temporários de carbono no ambiente terrestre, desempenhando papel decisivo na mitigação das emissões. Carvalho et al. (2010) destacam que a emissão de CO₂ pelos solos resulta principalmente da decomposição de resíduos orgânicos e da respiração de microrganismos e raízes, processos diretamente influenciados por fatores climáticos como temperatura e umidade. Como a concentração de CO₂ nos poros do solo é muito superior à da atmosfera, estabelece-se um fluxo ascendente contínuo desse gás.

Ainda segundo Santi, Dalmago e Denardin (2007), a literatura indica que o solo contém em média quatro vezes mais carbono do que a biota e mais de três vezes o volume presente na atmosfera, o que o torna um componente essencial no equilíbrio das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono. No entanto, a conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas pode resultar em perdas superiores a 60% do carbono estocado em solos temperados e até 75% em solos tropicais, o que implica significativa emissão de CO₂. Essa dinâmica é agravada em sistemas de preparo convencional, em que o intenso revolvimento do solo reduz drasticamente os estoques de matéria orgânica e intensifica processos erosivos.

Os autores também apontam que o potencial de sequestro de carbono do solo, quando manejado adequadamente, pode compensar até um terço do aumento anual de carbono atmosférico, demonstrando o papel estratégico das práticas agrícolas para a mitigação climática. Contudo, eles alertam que a adoção contínua de uma mesma tecnologia tende a reduzir gradativamente a taxa de sequestro, aproximando o

sistema de um ponto de equilíbrio. Assim, a intensificação de sistemas produtivos com maior aporte de matéria orgânica como o plantio direto qualificado surge como alternativa promissora para fortalecer modelos de produção que conciliem eficiência econômica e mitigação do aquecimento global (Santi; Dalmago; Denardin, 2007).

Segundo Besen et al. (2018), as plantas desempenham papel central no sequestro de carbono, absorvendo CO₂ atmosférico e convertendo-o em carbono orgânico que pode ser armazenado no solo ou utilizado na fotossíntese para a produção de carboidratos. O aporte de resíduos vegetais ricos em carbono e nitrogênio aumenta a matéria orgânica do solo, tornando-o um importante sumidouro de CO₂ em longo prazo. No entanto, mudanças no uso do solo e práticas agrícolas inadequadas podem reduzir significativamente os estoques de carbono, elevando as emissões de CO₂ e outros gases do efeito estufa.

A partir dessa compreensão de que o solo pode atuar tanto como fonte quanto como sumidouro de carbono, torna-se fundamental aprimorar as formas de medir e estimar esses estoques, especialmente em sistemas agrícolas. Nesse contexto, observa que, embora a dinâmica do carbono venha sendo estudada nos solos brasileiros há décadas, muitos trabalhos ainda se limitam à camada superficial, geralmente até 0,40 m. Isso ocorre porque as variações relacionadas ao preparo do solo e à influência das raízes tendem a se concentrar nesse intervalo, o que leva pesquisadores a priorizar essa profundidade em suas avaliações (Felizardo, 2022).

Para avançar além dessas limitações, Felizardo (2022) destaca a importância dos modelos de que permitem estimar estoques e fluxos de carbono considerando cenários temporais e espaciais mais amplos. Esses modelos integram informações sobre clima, solo e vegetação, possibilitando compreender relações complexas e prever respostas do sistema diante de diferentes usos e manejos. Assim, os modelos computacionais se consolidam como ferramentas essenciais para avaliar o estoque de carbono no solo, superando restrições de campo e contribuindo para estudos mais robustos e abrangentes.

2.5 Cartografia Aplicada: O Mapa Como Ferramenta De Análise Ambiental

O avanço das tecnologias de informação, aliado às crescentes preocupações ambientais, ampliou significativamente o interesse e a aplicação do sensoriamento

remoto. Lima (2011) destaca que a popularização de imagens de satélite e de softwares de processamento permitiu que essa tecnologia se tornasse acessível não apenas a pesquisadores, mas também a profissionais de diferentes áreas e até ao público geral.

Nesse contexto, Lima (2011) enfatiza que o sensoriamento remoto desempenha papel fundamental na análise de fenômenos ambientais, naturais e antrópicos, contribuindo para o monitoramento de queimadas, processos erosivos, cobertura vegetal, ambientes urbanos e rurais, entre outras dinâmicas territoriais. Essa abordagem reforça a importância da tecnologia para compreender transformações ambientais e subsidiar estudos e decisões no campo da gestão territorial.

Segundo Sato (2025), as geotecnologias abrangem um conjunto integrado de ferramentas destinadas à coleta, processamento, análise e representação de informações georreferenciadas, envolvendo estruturas de hardware, software e a atuação humana na interpretação dos dados. Entre essas ferramentas, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) desempenham papel central ao permitir a integração e o cruzamento de diferentes bases espaciais, ampliando as possibilidades de análise. A autora também destaca que os estudos de uso e cobertura da terra vêm se aprimorando ao longo do tempo, podendo ser realizados por métodos manuais, automatizados ou semiautomatizados, conforme a disponibilidade tecnológica e a complexidade da área analisada.

2.5.1 Mapbiomas

O MapBiomas (2025) surgiu em 2015, a partir de um seminário onde especialistas discutiram como produzir mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o Brasil de forma mais rápida, acessível e com capacidade de recuperar séries históricas. Para viabilizar esse objetivo, estabeleceu-se uma cooperação técnica com a Google, utilizando o Google Earth Engine como base para o processamento massivo e automatizado de imagens de satélite. Desde então, o MapBiomas⁷ consolidou-se como uma rede global e colaborativa, reunindo universidades, organizações da sociedade civil e empresas de tecnologia para gerar e disponibilizar, de forma pública e gratuita, dados, mapas, métodos e códigos sobre as transformações do território.

⁷ MAPBIOMAS. O projeto. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em: 06 dez. 2025.

Ao integrar ciência aberta, aprendizado de máquina e computação em nuvem, a iniciativa monitora mudanças na cobertura e uso da terra e oferece subsídios essenciais para políticas públicas, pesquisa, planejamento ambiental e ações de enfrentamento às mudanças climáticas.

2.5.2 InVEST

O software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) surgiu a partir de uma colaboração multidisciplinar entre matemáticos, ecólogos, geólogos, economistas e outros especialistas vinculados a instituições como a Universidade de Stanford, Universidade de Minnesota, The Nature Conservancy e o World Wildlife Fund. Segundo Galdino et al. (2023), essa articulação científica resultou em uma ferramenta livre e de código aberto dedicada ao mapeamento e à valoração de bens e serviços ecossistêmicos, oferecendo suporte técnico para análises ambientais baseadas em dados espaciais.

Como descrevem os autores, o InVEST é estruturado em um conjunto modular de modelos espacialmente explícitos que utilizam mapas como dados de entrada e geram mapas como produtos, permitindo avaliar como mudanças no uso e cobertura da terra influenciam os fluxos e valores dos serviços ecossistêmicos. Esses módulos independentes abrangem desde processos hidrológicos e controle de sedimentos até indicadores de qualidade de habitat, nutrientes e dinâmica do carbono, possibilitando análises biofísicas e econômicas e apoiando a tomada de decisão em instituições públicas e privadas (Galdino et al., 2023).

Entre os diferentes módulos disponíveis, destaca-se o de Armazenamento e Sequestro de Carbono, que estima o carbono atualmente armazenado em uma paisagem e projeta o carbono adicional que pode ser sequestrado ao longo do tempo. Conforme indicado por Galdino et al. (2023), esse módulo integra informações de uso do solo, parâmetros ecológicos e projeções temporais, permitindo avaliar o comportamento do carbono em cenários distintos.

O papel da silvicultura na dinâmica regional do carbono tem sido reforçado por estudos recentes que analisam cenários produtivos no leste de Mato Grosso do Sul. Bacani et al. (2024) demonstram que áreas de florestas plantadas, especialmente de eucalipto, apresentam elevado potencial de sequestro de carbono, contribuindo para mitigar emissões de gases de efeito estufa em municípios fortemente influenciados

pelo setor de celulose. Os autores evidenciam que, em cenários de proteção florestal, o estoque total de carbono aumenta significativamente e o sequestro tende a ser maior quando comparado ao cenário de continuidade do uso atual, indicando que estratégias de manejo mais conservacionistas ampliam os benefícios ambientais. Esses resultados reforçam a relevância de incorporar modelos como o InVEST na análise territorial, sobretudo em regiões como Água Clara e Três Lagoas, onde a silvicultura se consolidou como vetor estruturante do uso da terra e desempenha papel decisivo na capacidade do território de atuar como sumidouro de carbono.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida com base na abordagem qualquantitativa combinando a análise espacial e as estimativas de estoque e sequestro de carbono com a interpretação das dinâmicas territoriais, observando as mudanças no uso e ocupação da terra no município de Água Clara/MS. Nosso objetivo principal foi correlacionar os resultados desses cálculos de carbono, obtidos entre 2007 e 2020, com as transformações identificadas no uso e ocupação da terra ao longo do período de 13 anos.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Água Clara, localizado na região leste do estado de Mato Grosso do Sul e inserido no bioma do cerrado, possui uma área territorial de aproximadamente 7.724 km². Segundo dados do IBGE, sua população registrada no último censo é de 10.769 habitantes, com densidade demográfica de 2,46 hab/km², caracterizando um território amplamente rural e com baixa ocupação humana. A população estimada mais recente é de 17.901 habitantes, indicando um crescimento significativo ao longo da última década.

A economia local está fortemente vinculada aos setores de agropecuária, silvicultura e indústria de celulose. As atividades desses setores impulsionaram mudanças significativas no uso e ocupação da terra, especialmente em razão da expansão das plantações de eucalipto e da instalação de complexos industriais. Esse cenário instiga a análise da nova dinâmica territorial e a compreensão de como essas transformações contribuíram para o sequestro e estoque de carbono no município e para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

3.2 PERÍODO ANALISADO

O recorte temporal adotado abrange os anos de 2007 e 2020, períodos que delimitam o início da intensificação da atividade florestal e o momento mais recente de consolidação do setor industrial no município. O ano de 2007 representa um marco inicial importante, pois corresponde ao período em que a silvicultura começava a se consolidar no município, impulsionada principalmente pela expansão dos plantios de eucalipto voltados ao setor de celulose. Assim, esse ano funciona como um cenário

de referência para compreender a configuração original da paisagem antes da intensificação dessas atividades.

O ano de 2020, por sua vez, foi selecionado por oferecer dados recentes, consistentes e com alta precisão cartográfica. Esse recorte temporal de 13 anos possibilita captar transformações nas dinâmicas territoriais, como o avanço da silvicultura, possíveis reduções em formações vegetais naturais e demais alterações que influenciam diretamente no sequestro e estoque de carbono.

Além disso, esse intervalo garante a comparação entre as bases de dados, estabilidade metodológica e adequação ao uso de ferramentas como o modelo InVEST⁸, assegurando a confiabilidade dos resultados sobre o balanço de carbono no período avaliado.

3.3 FONTES DE DADOS

As principais fontes de dados utilizadas foram os dados de uso e cobertura da terra, disponibilizados pelo MapBiomas; O manual técnico desenvolvido por Sato e Silva (2025), utilizado como referência para a execução do modelo InVEST, assim como os dados disponibilizados pelos autores, ajustados às particularidades desta pesquisa; e toda a fundamentação teórica desenvolvida ao longo desta pesquisa. Essas fontes garantem a confiabilidade técnica das estimativas e o alinhamento da pesquisa com metodologias reconhecidas internacionalmente.

3.4 PROCEDIMENTOS

O processo metodológico compreendeu Quatro etapas principais. A primeira consistiu no mapeamento das classes de uso e cobertura da terra por meio dos dados do MapBiomas. As classes utilizadas incluem: Floresta, Vegetação Herbácea e Arbustiva, Agricultura, Silvicultura, Mosaico de Usos, Pastagem, Área Não Vegetada e Água. A classe “Mosaico de Usos”, por representar pixels com mistura de diferentes coberturas, no mapa foi integrada à classe Pastagem, que majoritariamente está associada a usos agropecuários. Consequentemente, suas áreas também foram incorporadas à classe de Pastagem na Tabela 1. Essa etapa permitiu identificar as

⁸ Desenvolvido pela Universidade de Stanford com o apoio da The Nature Conservancy e do World Wildlife Fund, o InVEST é um conjunto de ferramentas que mapeia e quantifica serviços ecossistêmicos, incluindo o sequestro de carbono.

mudanças no uso e cobertura da terra, e quantificar as classes para análise da expansão.

Na segunda etapa, foi realizada a estimativa do estoque de carbono (tC/ha) correspondente a cada classe mapeada. Para essa etapa, utilizou-se o raster de uso e cobertura da terra processado segundo os procedimentos descritos por Silva (2024), cuja metodologia fundamentou a organização e padronização dos arquivos espaciais. Além disso, a definição dos valores de carbono para cada classe seguiu a tabela sistematizada por Sato (2025), cuja compilação de dados teve como base as referências apresentadas em sua dissertação e no artigo “Carbon storage and sequestration in a eucalyptus productive zone in the Brazilian Cerrado, using the Ca-Markov/Random Forest and InVEST models” (Figura 4).

Figura 4 – Tabela de Carbon Pools

lucode	LULC_Name	C_above	C_below	C_soil	C_dead
1	Água	0	0	0	0
2	Infuencia Urbana	0	0	0	0
3	FormaFlorestal e Savanica	105	25	31	4
4	Silvicultura	61	12	30	1
5	Pastagem	7	16	30	11
6	Vegetação Aluvial	28	16	33	0
7	Agricultura	16	14	29	1

Fonte: Sato (2025)

A terceira etapa consistiu no cálculo do sequestro líquido de carbono por meio do modelo InVEST (Carbon Storage and Sequestration), o qual estima a diferença entre os estoques totais de carbono dos anos de 2007 e 2020. A aplicação do InVEST permitiu quantificar a variação no carbono acumulado no território municipal, considerando tanto a expansão das áreas de silvicultura quanto outras mudanças no uso e cobertura da terra. Essa abordagem possibilitou identificar se o balanço de carbono apresenta saldo positivo ou negativo e avaliar, e de que forma as mudanças no uso e ocupação da terra afetaram nos resultados. O processo de execução do modelo seguiu as orientações operacionais do manual elaborado por Sato e Silva (2025), realizado no La-SeR.

Por fim, a quarta etapa envolveu a análise qualitativa e interpretativa dos resultados. Essa abordagem possibilitou identificar se o balanço de carbono apresenta saldo positivo ou negativo, e de que forma as mudanças no uso e ocupação da terra

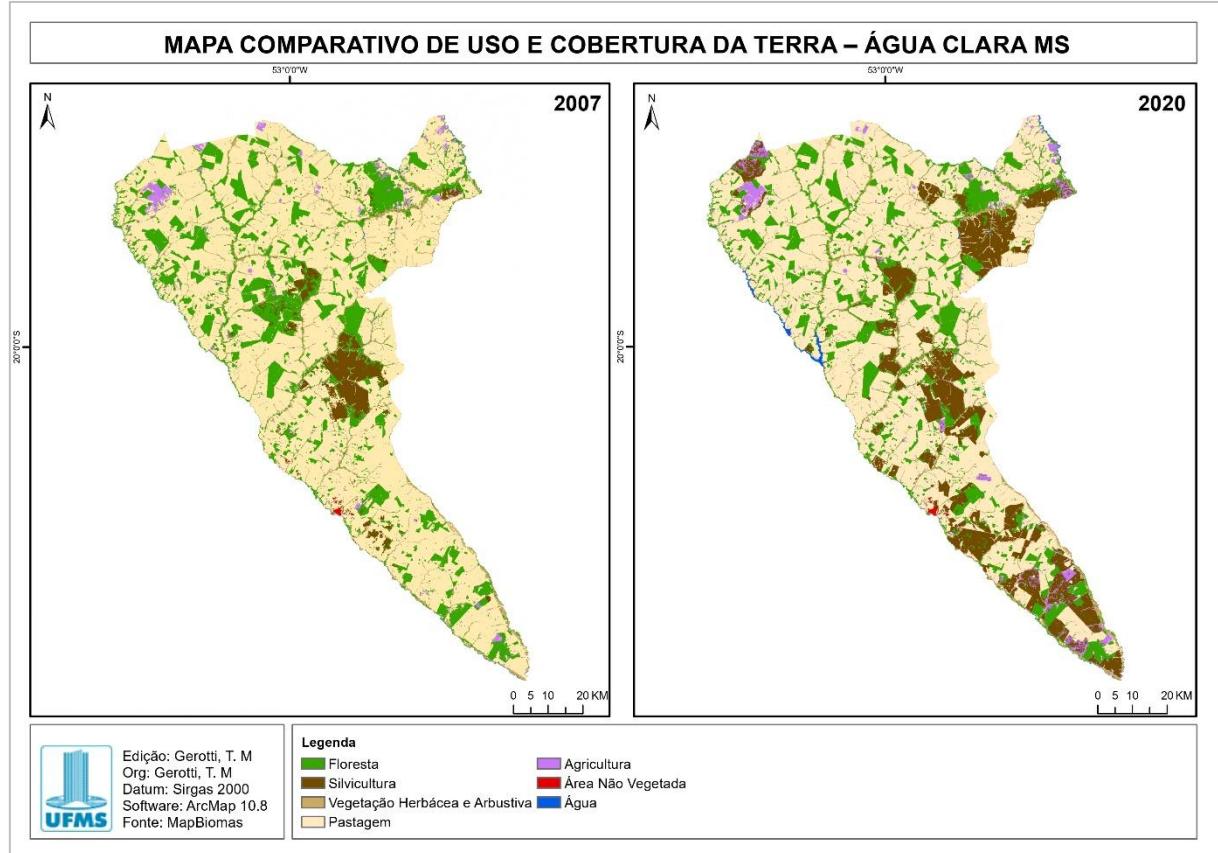
afetaram nos resultados e contribuíram, ou não, na mitigação das mudanças climáticas. Dessa forma, a metodologia adotada não apenas fornece subsídios empíricos para o cálculo do sequestro de carbono, mas também contribui para a compreensão das dinâmicas geográficas e socioambientais que caracterizam o município de Água Clara/MS.

4 USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE ÁGUA CLARA/MS (2007–2020)

A análise do uso e cobertura da terra constitui a base para compreender as transformações ambientais ocorridas em Água Clara/MS ao longo do período estudado. A partir dos dados do MapBiomass, foi possível identificar como as configurações espaciais e seus valores se transformaram ao longo do tempo, influenciando diretamente o comportamento do estoque e do sequestro de carbono abordados nos capítulos seguintes.

A figura 5 apresenta a configuração espacial das principais classes de uso da terra nos anos de 2007 e 2020, permitindo visualizar as áreas onde ocorreram conversões significativas, permanências e expansões.

Figura 5 – Mapa Comparativo do Uso e Cobertura da Terra (2007–2020).



Organização: Autor

A leitura do mapa evidencia três movimentos principais: a expansão da silvicultura, a diminuição das pastagens e a redução de áreas florestais nativas. Essas alterações são determinantes para compreender a dinâmica do carbono na paisagem

e já antecipam as dinâmicas verificadas nos mapas de estoque e sequestro apresentados posteriormente.

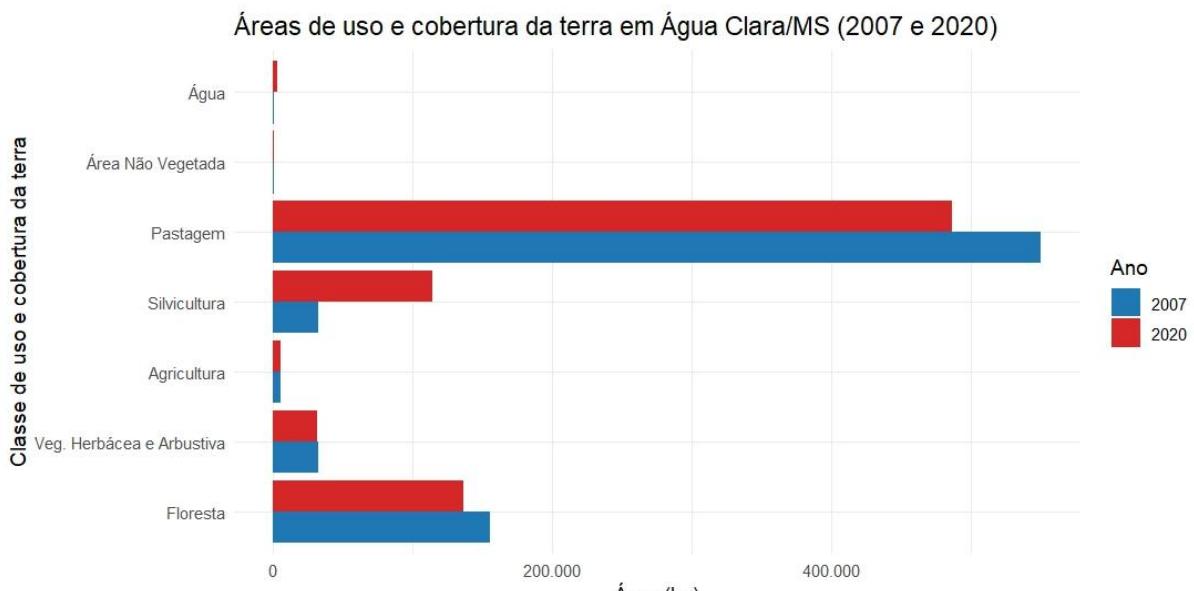
Para complementar a análise espacial, a figura 6 e figura 7 apresentam a área ocupada por cada classe em 2007 e 2020. Essa quantificação permite compreender grandiosidade das mudanças observadas no mapa.

Figura 6 – Áreas de uso e cobertura da terra no município de Água Clara/MS (ha).

Classe Uso e Cobertura da Terra	2007	2020
Floresta	155.635	136.386
Vegetação Herbácea e Arbustiva	32.694	31.698
Agricultura	5.598	5.497
Silvicultura	32.220	114.042
Pastagem	550.216	486.774
Área Não Vegetada	689	865
Água	1.103	2.893
Não Observado	-	-
Total	778.155	778.155

Fonte: MapBiomas

Figura 7 – Gráfico | Áreas de Uso Uso e Cobertura da Terra (2007 – 2020)



Fonte: MapBiomas

A análise conjunta do mapa, da tabela e do gráfico, evidencia uma transformação significativa no uso e cobertura da terra ao longo do período estudado. A silvicultura apresenta o crescimento mais expressivo, passando de 32.220 ha em

2007 para 114.042 ha em 2020, ou seja, mais que triplicando sua extensão. Esse avanço ocorre predominantemente sobre áreas anteriormente ocupadas por pastagens, que registraram uma redução de 550.216 ha para 486.774 ha no mesmo intervalo.

Enquanto a silvicultura se expande, a pastagem perde aproximadamente 63 mil hectares, configurando a principal dinâmica de conversão observada na paisagem. Essa substituição é relevante do ponto de vista ambiental, pois envolve a transição de uma cobertura de baixa biomassa (pastagens) para uma cobertura de biomassa elevada (silvicultura), o que tende a aumentar o estoque de carbono em grande parte do território.

Paralelamente, observou-se a diminuição de áreas de floresta nativa, que perderam aproximadamente 19 mil hectares. Embora seja menor que a alteração das pastagens, essa perda é ambientalmente significativa, pois as florestas naturais apresentam os maiores estoques de carbono entre todas as classes avaliadas, além de desempenharem funções ecológicas essenciais.

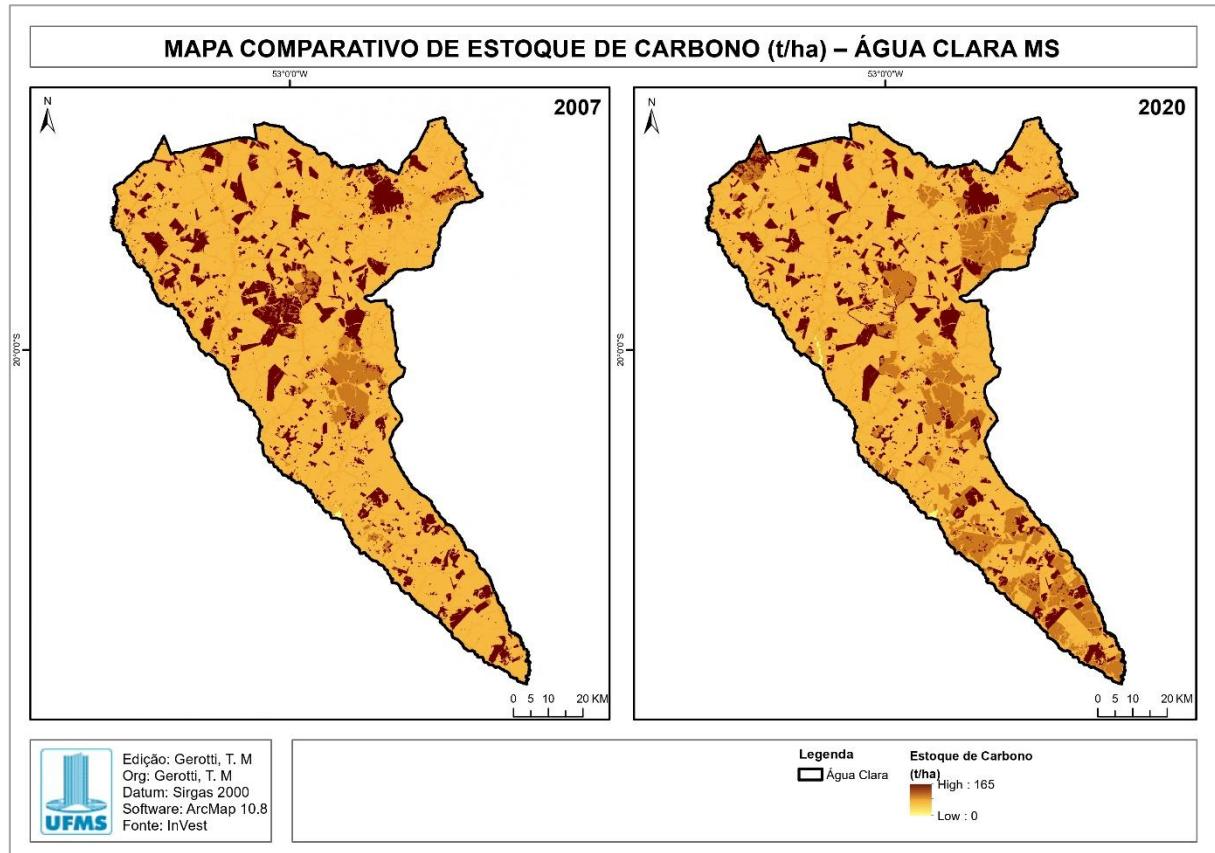
A permanência de extensões de vegetação herbácea e arbustiva e da agricultura indica uma estabilidade relativa nesses usos, enquanto pequenos aumentos em áreas de água e áreas não vegetadas refletem processos naturais ou intervenções localizadas.

Esses resultados reforçam que, embora a silvicultura tenha tido um aumento significativo nas áreas de pastagem, a conservação das florestas nativas permanece essencial para garantir estoques elevados, continuidade ecológica e resiliência da paisagem a longo prazo.

5 ESTOQUES DE CARBONO EM 2007 E 2020

As mudanças no uso e cobertura da terra influenciaram diretamente a capacidade do município de armazenar carbono ao longo do período analisado. A distribuição espacial dos estoques reflete a estrutura das paisagens predominantes em cada ano e evidencia os efeitos da expansão da silvicultura, redução da pastagem e da vegetação nativa (Figura 8).

Figura 8 – Distribuição do estoque de carbono para os anos de 2007 e 2020.



Organização: Autor

A análise do estoque total de carbono evidenciou um incremento ao longo do período avaliado. Em 2007, o município de Água Clara/MS apresentava 67.125.594,16 toneladas de carbono armazenado, enquanto em 2020 esse valor aumentou para 68.915.772,47 toneladas, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Comparativo do estoque total de carbono (t) estimado pelo InVEST para os anos de 2007 e 2020.

Ano	Estoque Total (t)
2007	67.125.594,16
2020	68.915.772,47

No ano de 2007, observa-se um predomínio de estoques baixos em grande parte do território, especialmente nas áreas ocupadas por pastagens extensivas. Esse padrão indica uma paisagem com menor presença de formações florestais, cujo potencial de acúmulo de biomassa é reduzido. Por outro lado, áreas com vegetação nativa apresentavam níveis significativamente mais altos de carbono, reforçando seu papel como principais reservatórios naturais.

Em 2020, o cenário apresenta mudanças marcantes. As áreas destinadas à silvicultura de eucalipto, cuja expansão foi evidenciada no capítulo anterior, passaram a representar faixas contínuas de elevado acúmulo de carbono. Isso ocorre porque os plantios comerciais, mesmo com ciclos de colheita, mantêm ao longo do tempo uma estrutura densa e homogênea de biomassa, elevando os valores de estoque por hectare em comparação às pastagens.

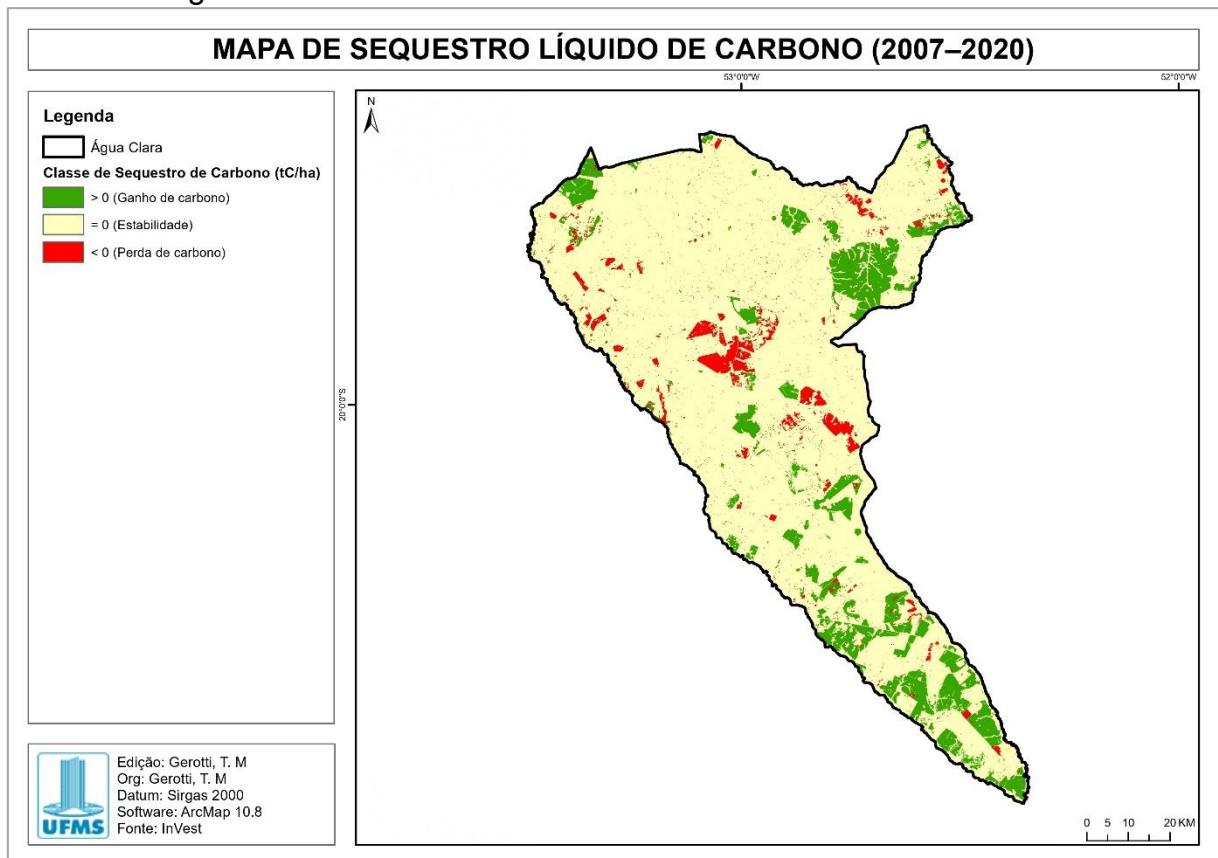
No entanto, apesar desse aumento geral, também se verifica uma redução das áreas de floresta nativa e regeneração, que continuam sendo os ecossistemas com maior densidade de carbono. Esse ponto é importante para interpretar os resultados: embora a silvicultura contribua para o total acumulado no território, a perda de vegetação nativa afeta a estabilidade do estoque, já que esses ambientes apresentam maior capacidade de sequestro contínuo ao longo dos anos.

Assim, os estoques de carbono de 2020 revelam um município com maior acúmulo total em relação a 2007, impulsionado pela expansão do eucalipto. Essa tendência positiva, porém, precisa ser vista com cautela, considerando a importância de proteger e recuperar áreas de vegetação nativa, essenciais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e da diversidade funcional da paisagem.

6 SEQUESTRO DE CARBONO ENTRE 2007 E 2020

O sequestro de carbono entre 2007 e 2020 sintetiza a diferença líquida entre os estoques calculados para cada ano, permitindo identificar espacialmente e quantitativamente onde ocorreram ganhos e perdas de biomassa no município, como mostra a figura 10. Essa etapa integra as mudanças observadas no uso e cobertura da terra e as variações nos estoques de carbono, oferecendo uma visão abrangente do comportamento do carbono ao longo do período analisado.

Figura 10 – Uso e cobertura da terra nos anos de 2007 e 2020.



Organização: Autor

Os resultados espaciais revelam que grande parte do território apresentou sequestro positivo, especialmente nas áreas que passaram de pastagem para silvicultura, o que confirma a relação direta entre a expansão dos plantios de eucalipto e o aumento nos estoques totais. As áreas que estavam em regeneração natural também demonstraram incremento, ainda que em menor magnitude, reforçando sua importância como reservatórios crescentes de carbono ao longo do tempo.

Em contraste, observaram-se manchas de sequestro negativo associadas principalmente à redução das florestas nativas, que perderam aproximadamente 19

mil hectares no período. Essas áreas representam emissões líquidas e chamam atenção para a necessidade de manejo e conservação, já que as florestas possuem maiores densidades de carbono por hectare e desempenham papel fundamental na estabilidade ecológica.

Além da interpretação espacial, o modelo InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) forneceu os valores quantitativos totais do carbono armazenado em cada cenário. Em 2007, o armazenamento de carbono foi de 67.125.594,16 toneladas, enquanto em 2020 esse valor aumentou para 68.915.772,47 toneladas. Consequentemente, o sequestro líquido de carbono no período correspondeu a 1.790.178,31 toneladas, evidenciando um ganho de carbono ao longo dos anos avaliados (Figura 11).

Figura 11 – Sequestro líquido de carbono no município de Água Clara/MS (2007–2020)

Ano	Estoque de Carbono (t)	Diferença	Sequestro Líquido (t)
2007	67.125.594,16	—	—
2020	68.915.772,47	1.790.178,31	1.790.178,31

Esses números confirmam que o município apresentou um saldo positivo de aproximadamente 1,79 milhão de toneladas de carbono sequestradas entre 2007 e 2020. O aumento está alinhado com a expressiva expansão da silvicultura, que passou de 32.220 ha para 114.042 ha no período, sendo o principal vetor de incremento de biomassa.

Entretanto, apesar do balanço geral positivo, os resultados reforçam um ponto crítico: a redução da vegetação nativa compromete parte do potencial de sequestro, uma vez que florestas naturais possuem maior estabilidade, maior diversidade estrutural e maior capacidade de armazenamento de carbono do que os plantios comerciais. Assim, o ganho observado deve ser interpretado com cautela, destacando a importância de políticas de conservação, restauração e monitoramento contínuo das áreas florestais remanescentes.

De modo geral, os resultados obtidos reforçam que mudanças no uso e cobertura da terra, como a expansão da silvicultura e a retração de formações nativas, devem ser interpretadas dentro de uma perspectiva integrada que considere os múltiplos fatores que moldam os sistemas socioecológicos. Estudos internacionais destacam que alterações abruptas ou direcionadas por forças econômicas específicas tendem a gerar reorganizações estruturais na paisagem, modificando padrões de

biodiversidade, fluxos ecológicos e serviços ecossistêmicos associados (Foley et al., 2005; Newbold et al., 2016). Do mesmo modo, a literatura sobre dinâmicas de transição de uso da terra ressalta que nenhum tipo de cobertura — incluindo florestas plantadas — pode ser analisado como solução universal ou risco intrínseco, mas sim dentro das suas compensações e implicações ambientais e territoriais (Lambin; Meyfroidt, 2011). Nesse sentido, os achados deste estudo, ao quantificar com rigor as mudanças ocorridas e seus efeitos sobre o estoque de carbono, fornecem um diagnóstico técnico robusto que pode subsidiar processos de planejamento territorial e avaliação de políticas públicas no município, sem assumir juízos de valor, mas permitindo interpretações fundamentadas e alinhadas às evidências científicas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das mudanças no uso e cobertura da terra em Água Clara/MS entre 2007 e 2020 demonstra que o território passou por um processo intenso de reorganização espacial, fortemente influenciado pela expansão da silvicultura e pela redução das áreas de pastagem e de vegetação nativa. Esses movimentos, evidenciados nos mapas e tabelas apresentados, repercutiram diretamente na dinâmica do carbono no município, modificando tanto os estoques quanto o sequestro ao longo do período estudado.

A metodologia aplicada mostrou-se eficaz para compreender a dinâmica territorial de Água Clara/MS e seus efeitos sobre o comportamento do carbono. A combinação entre os dados do MapBiomas, os procedimentos de organização espacial descritos por Sato e Silva (2025) e a modelagem realizada pelo InVEST possibilitou acompanhar, com clareza e consistência, as variações nos estoques e no sequestro ao longo dos 13 anos avaliados. Essa integração de ferramentas conferiu maior segurança às estimativas, ao unir mapeamentos anuais consolidados, parâmetros biofísicos reconhecidos e um modelo amplamente utilizado em estudos de serviços ecossistêmicos. Somado a isso, a análise qualitativa dos resultados permitiu ir além dos valores numéricos, contextualizando os padrões observados e revelando tendências e relações que ajudam a explicar as transformações territoriais ocorridas.

Os resultados de estoque de carbono mostram que, embora 2007 apresentasse um predomínio de áreas com baixos valores, refletindo uma paisagem dominada por pastagens extensivas, o avanço da silvicultura até 2020 elevou significativamente a capacidade de armazenamento de biomassa em grandes extensões do território. Esse aumento se reflete no sequestro líquido de 1,79 milhão de toneladas de carbono calculado pelo InVEST, resultado diretamente associado à substituição de áreas de baixa biomassa por plantios homogêneos de eucalipto.

Entretanto, apesar do balanço geral positivo, a redução de aproximadamente 19 mil hectares de vegetação nativa representa um ponto crítico da análise. As florestas naturais, além de apresentarem os maiores estoques por hectare, desempenham funções ecológicas insubstituíveis e garantem estabilidade ao sistema. Assim, ainda que os plantios florestais contribuam para o incremento do carbono acumulado, eles não compensam integralmente a perda de ecossistemas nativos,

cuja complexidade estrutural e funcionalidade ambiental não podem ser reproduzidas por monoculturas.

Desse modo, conclui-se que Água Clara/MS desempenhou papel como sumidouro de carbono no período analisado, resultado do avanço da silvicultura e da reorganização produtiva do território. No entanto, os achados ressaltam a importância de políticas de conservação, restauração e manejo adequado, especialmente das áreas de vegetação nativa, fundamentais para garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos e a resiliência ambiental da paisagem

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAN, Roberto Engel; VILELA, Marina de Fátima; KLINK, Carlos Augusto. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do Cerrado brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Documentos, 105).

BACANI, V. M. et al. Carbon storage and sequestration in a eucalyptus productive zone in the Brazilian Cerrado, using the Ca-Markov/Random Forest and InVEST models. **Journal of Cleaner Production**, v. 444, p. 141291, 2024.

BERNOUX, Martial et al. Gases do efeito estufa e estoques de carbono nos solos: inventário do Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 235–246, jan./abr. 2005.

BESEN, Marcos Renan et al. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 9, n. 3, p. 429–439, 2018.

BIATO, Márcia Fortuna. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. **Revista de Informação Legislativa**, Brasília, a. 42, n. 166, p. 233–260, abr./jun. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: Cerrado 2010–2011. Brasília: MMA/IBAMA, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Protocolo de Quioto. Brasília: MMA, [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>. Acesso em: 6 dez. 2025.

CARVALHO, João Luis Nunes et al. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, p. 277–289, 2010.

FELIZARDO, Lucas Menezes. **Estoque de carbono nos biomas brasileiros com enfoque no Cerrado e no cultivo de eucalipto no Mato Grosso do Sul**. 2022. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 2005. DOI: 10.1126/science.1111772.

GALDINO, S. et al. InVEST – Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. In: TÔSTO, S. G. et al. (ed.). **Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais de solo, água e carbono – Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 201–210.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Água Clara – MS. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/agua-clara.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas brasileiros. Educa | Jovens. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 7 dez. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2023. p. 1–34. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

LAMBIN, E. F.; MEYFROYDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 108, n. 9, p. 3465–3472, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1100480108.

LEONARDO, Leticia Alves et al. **Agricultura capitalista no Território Rural do Bolsão/MS: expansão das monoculturas e recriação camponesa**. Terra Livre, São Paulo, v. 55, n. 2, p. 273–304, 2020.

LIMA, Suely Franco Siqueira. Iniciação em Sensoriamento Remoto. **Educar em Revista**, Curitiba, n. 40, p. 225–227, maio/ago. 2011.

MAPBIOMAS. Coleção 10 – Uso e cobertura da terra no Brasil (2007–2020). São Paulo: MapBiomass, 2025.

MAPBIOMAS. O projeto. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em: 6 dez. 2025.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de. Uso, ocupação ou atribuição das terras? Agro DBO, São Paulo, p. 48–49, maio 2016.

NEWBOLD, T. et al. Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. **Science**, v. 353, n. 6296, p. 288–291, 2016. DOI: 10.1126/science.aaf2201.

OLIVERI, Melissa Pereira. **A reexistência do campesinato frente à expansão do eucalipto-celulose no Bolsão Sul-Mato-Grossense**. 2025. 281 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, Três Lagoas, 2025.

PELA, Silvia Krueger. **Florestamento e reflorestamento no Brasil: uma análise do Projeto Floram**. 2010. 281 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, São Paulo, 2010.

PIRES, Larissa do Carmo. **Avaliação dos serviços ecossistêmicos de estoque e sequestro de carbono no Pantanal de Aquidauana-MS**. 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana, Aquidauana, 2024.

RAMOS, Jean Carlos de Almeida. **Emissão de CO₂, quantidade e qualidade do carbono do solo em sistemas agrícolas na região do Cerrado do Mato Grosso**

do Sul. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2018.

REZENDE, Amaury José; DALMÁCIO, Flávia Zóboli; RIBEIRO, Maisa de Sousa. A potencialidade dos créditos de carbono na geração de lucro econômico sustentável da atividade de reflorestamento. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 108–126, 2012.

RICHTER, Marc François; LARA, Daniela Mueller de; ANDREAZZA, Ricardo de Carly Luz. Educação ambiental e gases do efeito estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para educação básica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental – RevBEA**, São Paulo, v. 16, n. 5, p. 431–445, 2021.

SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. **Potencial de sequestro de carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 8 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 78). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/852534>. Acesso em: 6 dez. 2025.

SATO, A. A. S. A. **Modelagem de cenários futuros de estoque e sequestro de carbono gerados por serviços ecossistêmicos nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal de Mato Grosso do Sul**. 2025. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas.

SATO, A. A. S. A.; SILVA, B. H. M. Manual InVEST: modelagem de estoque e sequestro de carbono. Laboratório de Sensoriamento Remoto (La-SeR), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, 2025. Manuscrito interno.

SILVA, B. H. M. **Modelagem preditiva do uso e cobertura da terra do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas.

SILVA, José Eduardo Lioti da. **Plataforma Mapbiomas: análise do uso e cobertura das terras do Cerrado e as implicações ambientais**. 2024. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, Frutal, 2024.

SILVA, Milena Cecília Antunes da. **Reflexos do uso e cobertura da terra sobre o carbono acumulado em solos do Bioma Cerrado, Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2024.