

**Universidade do Estado do Pará  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia  
Curso de Graduação em Engenharia Florestal**



Caio Lima da Silva  
Higor Andrey Lima de Andrade

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA E  
AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS  
COM O SOFTWARE INVEST: ESTUDO DE CASO EM SÃO  
GERALDO DO ARAGUAIA (PA)**

Belém, Pará  
2023

Caio Lima da Silva  
Higor Andrey Lima de Andrade

DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA E AVALIAÇÃO DOS  
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS COM O SOFTWARE INVEST:  
ESTUDO DE CASO EM SÃO GERALDO DO ARAGUAIA (PA)

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como  
requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Pará.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Norma Ely Santos Beltrão

Belém, Pará  
2023

Caio Lima da Silva  
Higor Andrey Lima de Andrade

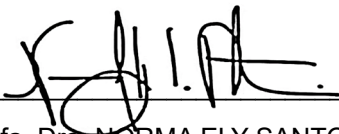
**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA E AVALIAÇÃO DOS  
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS COM O SOFTWARE INVEST:  
ESTUDO DE CASO EM SÃO GERALDO DO ARAGUAIA (PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso I apresentado como  
requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Pará.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Norma Ely Santos Beltrão

Data de aprovação: 25/08/2023

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. NORMA ELY SANTOS BELTRÃO

Orientadora – Presidente – UEPA

---

Prof. Dr. PAULO AMADOR TAVARES

Examinador – UFRA

---

Prof. Dr. CARLOS BENEDITO BARREIROS GUTIERREZ

Examinador – UEPA

## RESUMO

Neste estudo, foi investigado o impacto da intervenção antrópica nos sistemas ambientais de São Geraldo do Araguaia (PA), com enfoque na transformação de vegetação nativa em pastagens, devido à expansão da pecuária e atividades agrícolas. A pesquisa abordou a perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos ao longo de 30 anos, destacando a conversão expressiva de 148.250,14 ha de áreas florestais em pastagens, enquanto 7.100,53 ha de formações naturais não florestais foram convertidos. Os resultados indicam perdas substanciais, com 157.620 ha de pastagem sofrendo degradação moderada e 28.916 ha degradados severamente, impactando a produtividade de bovinos. O estudo também projetou a perda de 6.880 MgC de vegetação até 2051, consequência do progresso agropecuário. Essa perda de carbono terá implicações nas zonas urbanas, sinalizando potenciais mudanças climáticas. Além disso, o valor econômico do serviço de sequestro de carbono foi avaliado em US\$53.899.867,42 até 2021, enquanto a perda estimada de carbono no período de 30 anos (1991-2021) foi de 25.156.055,01 MgC, representando um valor de US\$41.507.490,76. A degradação do carbono evidenciou impactos significativos na área, indicando a necessidade de práticas de manejo sustentável para conservar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

**Palavras-chave:** Amazônia; InVEST; serviços ecossistêmicos; valoração.

## ABSTRACT

In this study, we investigated the impact of anthropogenic intervention on the environmental systems of São Geraldo do Araguaia (PA), with a focus on the transformation of native vegetation into pastures due to the expansion of livestock and agricultural activities. The research addressed the loss of biodiversity and ecosystem services over a 30-year period, highlighting the significant conversion of 148,250.14 hectares of forested areas into pastures, while 7,100.53 hectares of non-forest natural formations were also converted. The results indicate substantial losses, with 157,620 hectares of pasture experiencing moderate degradation and 28,916 hectares severely degraded, impacting cattle productivity. The study also projected a loss of 6,880 MgC (megagrams of carbon) from vegetation by 2051 as a consequence of agricultural and livestock development. This carbon loss will have implications for urban areas, signaling potential climate changes. Furthermore, the economic value of carbon sequestration services was estimated at \$53,899,867.42 by 2021, while the estimated carbon loss over the 30-year period (1991-2021) amounted to 25,156,055.01 MgC, representing a value of \$41,507,490.76. Carbon degradation revealed significant impacts on the area, indicating the need for sustainable management practices to conserve biodiversity and ecosystem services.

**Keywords:** Amazon; InVEST; ecosystem services; valuation.

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Mapa de localização do município de São Geraldo do Araguaia, no estado do Pará. ....   | 23 |
| <b>Figura 2.</b> Interface do software InVEST. ....   | 25 |
| <b>Figura 3.</b> Estrutura de avaliação da conversão do uso da terra nos Serviços Ecossistêmicos. ....  | 26 |
| <b>Figura 4.</b> Mapa de Uso e Cobertura (LULC) da transição da paisagem de São Geraldo do Araguaia.... | 30 |
| <b>Figura 5.</b> Mapa de transição de classes gerado pelo plugin MOLUSCE. ....                          | 31 |
| <b>Figura 6.</b> Mapa de predição de LULC gerado pelo plugin MOLUSCE para 2051. ....                    | 32 |
| <b>Figura 7.</b> Mapa decenal de mudança de estoque de carbono progressivo. ....                        | 34 |

## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1.</b> Estatística de transição (Valores em hectare). Fonte: Mapbiomas, 2023. .... | 30 |
| <b>Tabela 2.</b> Estatísticas do InVEST dos valores de Carbono anual. ....                   | 36 |

### Lista de Siglas e Abreviaturas

|           |   |
|-----------|---|
| InVEST    | Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs    |
| LULC      | Uso e cobertura da terra                                    |
| LU        | Uso da terra  |
| LC        | Cobertura da terra  |
| MOLUSCE   | Modules for land use change simulations                     |
| SGA       | São Geraldo do Araguaia                                     |
| SE        | Serviços ecossistêmicos                                     |
| CA        | Cellular automata   |
| MAPBIOMAS | Projeto de mapeamento anual da cobertura do solo no Brasil  |
| CICES     | Common International Classification of Ecosystem Services   |
| OCDE      | Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico |
| IEA       | Índice de estado do ecossistema agrícola                    |
| IDEG      | Índice de vetores de degradação                             |
| ICOR      | Índice de medidas de prevenção e correção                   |
| MC        | modelo de cadeia de Markov                                  |
| ANN       | Redes Neurais Artificiais                                   |
| LR        | Regressão Logística   |
| MCE       | Avaliação Multicritério                                     |
| WoE       | Pesos de Evidência  |
| PESAM     | Parque Estadual Serra dos Martírios/Andorinhas              |
| USGS      | United States Geological Survey                             |
| APA       | Área de Proteção Ambiental                                  |
| GEE       | Google Earth Engine   |
| DAAC      | Distributed Active Archive Centers                          |
| ORNL      | Oak Ridge National Laboratory                               |
| FNNF      | Formação Natural não Florestal                              |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO .....   | 4  |
| ABSTRACT.....  | 5  |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 10 |
| 2. OBJETIVO GERAL.....   | 12 |
| 2.1 Objetivos Específicos:.....  | 12 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....  | 13 |
| 3.1 Mudança de uso e cobertura do solo associado à intensificação agropecuária ..... | 13 |
| 3.2 Serviços Ecossistêmicos (SE) .....   | 15 |
| 3.2.1 Armazenamento e Estoque de Carbono.....  | 16 |
| 3.3 Ferramentas de avaliação e modelagem de serviços ecossistêmicos.....             | 18 |
| 3.4 Previsão de Cenários Futuros (Modelagem).....                                    | 20 |
| 3.5 Valoração dos Serviços Ecossistêmicos.....                                       | 22 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 24 |
| 4.1 Área de estudo .....   | 24 |
| 4.2 Fonte de Dados.....  | 25 |
| 4.3 Esquema Metodológico .....   | 26 |
| 4.4 MAPBIOMAS .....  | 29 |
| 4.5 Quantificação de Serviços ecossistêmicos.....                                    | 29 |
| 5. RESULTADOS e DISCUSSÃO .....  | 31 |
| 5.1 Alteração e validação do uso/cobertura do solo .....                             | 32 |
| 5.2 Processo de simulação .....  | 34 |
| 5.3 Modelagem e Valoração do Armazenamento e Sequestro de Carbono .....              | 35 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 41 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 42 |

## 1. INTRODUÇÃO

No contexto político-ambiental atual do Brasil, com ênfase na região do bioma Amazônia, estudos dos efeitos da intervenção antrópica sob os sistemas ambientais tornam-se fundamentais no cenário de hodierno de debate político-econômico internacional sobre a produção de commodities com viés conservacionista, sendo que a constante expansão da pecuária, da extração ilegal de madeira e a atividade agrícola estão ligadas às principais causas do desmatamento desse bioma (SAMUEL; MAURÍCIO; ALEXANDER, 2021). Logo, os diversos impactos, em diversas escalas, estão pautados no processo de exploração ambiental, que são provocados desde o início do processo histórico de ocupação da Amazônia (MACIEL, 2022).

Como descrito por Samuel et al. (2021), o resultado do processo de ocupação desigual, acarretou o crescimento da população amazônica e com isso surgiram inúmeros povoados e cidades, como São Geraldo do Araguaia (SGA), no estado do Pará. Município esse, que apresenta elevada produção agropecuária, principalmente para atender frigoríficos da região, e já teve mais de 90% da sua área de floresta natural transformada em áreas agropastoris e agropecuárias (MAPBIOMAS, 2022). E com isso, promove de modo intensivo a conversão da paisagem de SGA em pastagens, algumas dessas pastagens são abandonadas, sendo necessário abrir novas áreas. Gerando assim, desmatamento e conseqüentemente degradação dos recursos naturais (CELENTANO, 2018).

Atualmente, a Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), define os serviços ecossistêmicos como benefícios que o ser humano obtém da natureza de forma direta ou indireta, que são essenciais para a manutenção da vida, o funcionamento da economia e da sociedade. A desvalorização e a falta de reconhecimento levam ao uso inadequado e à conseqüente degradação dos ecossistemas e à perda dos serviços que eles fornecem. O CICES classifica os SE em três grandes grupos que são: provisão (alimentos, água, madeira, etc.), regulação (sequestro de carbono, purificação do ar e da água, regulação do clima) e cultural (turismo, educação e bem-estar espiritual).

A perda da biodiversidade é um dos maiores desafios ambientais da atualidade, pois afeta negativamente os serviços ecossistêmicos e a qualidade de vida das pessoas. A perda da biodiversidade pode reduzir a produção de alimentos,

água, madeira, fibras e medicamentos; comprometer a ciclagem de nutrientes, a formação do solo, a polinização e a dispersão de sementes; diminuir a capacidade dos ecossistemas de regular o clima, as doenças, a poluição e as inundações; e afetar o turismo, a recreação, a educação, a inspiração e o bem-estar espiritual (JOLY e QUEIRO, 2020).

Diante disto, os benefícios e contribuições positivas ou ocasionalmente, negativas, que as pessoas obtêm de forma direta ou indiretamente da natureza são chamados “Contribuições da Natureza para as Pessoas”, e esse conceito busca incorporar os múltiplos aspectos culturais e sociais dos diferentes povos do mundo, tirando a visão mercantilista da expressão “serviços ecossistêmicos”. E é considerado por alguns um amadurecimento do conceito de serviços ecossistêmicos e um progresso no pensamento transdisciplinar, incluindo uma crescente contribuição das ciências sociais e de sistemas de conhecimento indígenas e tradicionais (JOLY et al., 2019).

A necessidade de desmatamento para abrir espaço para atividades agropastoris, e a exigência por parte de grandes latifundiários de evitar a reestruturação da floresta para atingir um ápice produtivo, são algumas das consequências dos impactos causados pelas atividades agropecuárias. Assim, para que a cultura seja totalmente protegida em grandes áreas, a agricultura se utiliza de quase todos os meios orgânicos e inorgânicos externos, além da mecanização para que não ocorra a reestabelecimento dos recursos naturais (SANTOS, 2022).

Assim sendo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a perda de serviços ecossistêmicos e o valor monetário correspondente a esses serviços no município de São Geraldo do Araguaia, ao longo de 30 anos, utilizando dados de uso e cobertura da terra. Além disso, quantificação da perda dos serviços ecossistêmicos de armazenamento e estoque de carbono no município ao longo do período de 30 anos, e estimativa do valor monetário dos serviços ecossistêmicos extintos e remanescentes no período de 1991 a 2021, foram realizadas.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a perda de serviços ecossistêmicos e o valor monetário correspondente a esses serviços no município de São Geraldo do Araguaia, ao longo de 30 anos, utilizando dados de uso e cobertura da terra.

### **2.1 Objetivos Específicos:**

- Quantificar a perda dos serviços ecossistêmicos de armazenamento e estoque de carbono no município de São Geraldo do Araguaia ao longo do período de 30 anos.
- Estimar o valor monetário dos serviços ecossistêmicos extintos e remanescentes no município de São Geraldo do Araguaia, no período de 1991 a 2021.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Mudança de uso e cobertura do solo associado à intensificação agropecuária**

Souza et al. (2019) ao analisar a expansão do desmatamento no estado do Pará, concluíram que há uma motivação complexa que envolve setores em alta expansão no decorrer dos últimos anos, como o ramo energético e principalmente o agronegócio.

As mudanças de uso da terra estão ligadas de forma complexa com o desenvolvimento econômico, o mapeamento e detecção de mudanças do uso e cobertura da terra ganhou grande destaque nos últimos anos, em decorrência da crescente preocupação com as dinâmicas das mudanças climáticas globais e a preservação do meio ambiente (ROSAN; ALCÂNTARA, 2016).

Nesse contexto, os mapas e dados atualizados do MAPBIOMAS mostram que o Brasil perdeu 87,2 milhões de hectares de áreas de vegetação nativa, de 1985 a 2019. Isso equivale a 10,25% do território nacional. O ritmo de perda de vegetação nativa foi intensificado no Brasil entre 2018 e 2019, onde mais da metade da perda de vegetação nativa do Brasil (44 Mha) ocorreu na Amazônia, em seguida está o Cerrado com perda de 28,5 Mha e o restante está dividido entre os outros seis biomas brasileiros (IPAM, 2020).

As mudanças no uso e cobertura da terra (LULC) nas implementações do desenvolvimento são inevitáveis. Essas mudanças ocorrem por causa da necessidade de encontrar as necessidades de crescimento da população. Existem diversos fatores que influenciam a mudança do LULC, como natural, geográfico, socioeconômico (HASSAN ET AL., 2016; KURNIAWAN e KROL, 2014; MINALLAH et al., 2016), institucional e fatores políticos (BAJA et al., 2011).

De acordo com BAJA (2012), existem enormes diferenças entre uso da terra (LU) e cobertura da terra (LC), o uso da terra está relacionado às atividades humanas que estão diretamente ligadas à terra, onde há uso e utilização da terra e recursos que existem e causam impacto na terra. Por outro lado, cobertura da terra está

relacionada à vegetação (natural ou plantada) ou construções antrópicas (edifícios, etc) que cobrem a superfície da terra.

A alteração no uso e cobertura da terra é reconhecida como um dos fatores mais significativos da perda de serviços ecossistêmicos (TSCHARNTKE et al., 2005; CONSTANZA et al., 2014; TEKALIGN et al., 2018). As consequências dessa mudança incluem fragmentação florestal e redução de cobertura, degradação da terra, perda de biodiversidade (MAITIMA et al., 2009; HAREGEWEYN et al., 2015; CHERUTO et al., 2016), mudanças climáticas (AGIDEW; SINGH, 2017) e degradação da qualidade do habitat (HASSAN et al., 2016). As mudanças também têm consequências ambientais significativas para as condições climáticas locais, redução dos lençóis freáticos e alteração no escoamento superficial (LAMBIN et al., 2003; LAMBIN; GEIST, 2006; BEWKET; ABEBE, 2013).

Segundo Azevedo e Matias (2022), a análise do uso e ocupação da terra pode auxiliar na compreensão da produção do espaço como um todo, possibilitando a tomada de decisões e planejamento territorial direcionados ao desenvolvimento sustentável. Azevedo e Matias (2022) ao avaliarem a intensificação do uso e ocupação agrícola na Amazônia maranhense em um período de 30 anos, provaram como o afrouxamento de políticas de preservação é nociva ao desenvolvimento sustentável.

Castelo e Almeida (2015) analisaram a influência do desmatamento na produção agrícola e na pecuária no período de dez anos no estado do Pará, e concluíram que quanto menor foi o desmatamento nos locais analisados, menor foi o crescimento do rebanho bovino e maior foi o crescimento da produção agrícola das lavouras. Assim como apontado por Nogueira et al., (2019) que analisaram comparativamente as taxas de desmatamento com a produção agropecuária, e onde houve a maior declinação nas taxas de desmatamento, ocorreu um significativo aumento de produtividade, o que refuta o discurso de que a conservação ambiental é inversamente proporcional ao desenvolvimento.

O município de São Geraldo do Araguaia , que fica localizado a sudeste do estado do Pará, no período de 30 anos (1991-2021) foi um dos municípios que mais foi afetado pela degradação e teve significativa mudança de uso da cobertura da terra,

a qual foi transformada em áreas de produção agropecuária, somando quase de 90% de área natural transformada em área de produção agrícola ou pasto, o que corresponde a 184.425,42 ha, o equivalente a quase 259 campos de futebol em m<sup>2</sup> (MAPBIOMAS BRASIL, 2022)

Castro e Castro (2022) analisaram criticamente as flexibilizações das legislações ambientais do Brasil nos últimos anos, levando em consideração a intensificação das atividades de produção agropecuária, ressaltando que ao diminuir a função de instituições de controle ambiental e flexibilizar dispositivos legais, o estado brasileiro assume um papel de protagonismo no aumento da mudança do uso da terra na Amazônia. É considerável, portanto, os custos ambientais e sociais da expansão agropecuária, do extrativismo mineral, incluindo o garimpo, e a intensificação da agricultura de grande mercado para a estabilidade na dinâmica de alterações no uso da terra.

### **3.2 Serviços Ecossistêmicos (SE)**

A natureza proporciona bens e serviços, que em termos de manutenção da vida na terra e do bem-estar humano são úteis, direta ou indiretamente (água potável, conforto térmico, produção de comida, polinização e etc.) (MEA, 2005; LA NOTTE et al., 2017). Servindo de base para o desenvolvimento socioeconômico (HAILS; ORMEROD, 2013; COSTANZA et al., 2014). Em compensação, o acesso e a utilização de certos bens e serviços ecossistêmicos têm sido indisponibilizados pela constante deterioração do meio ambiente em virtude da ação antrópica (MEA, 2005; TOLESSA et al., 2017). Estudos recentes mostram que metade dos ecossistemas de todo o mundo estão sendo degradados ou utilizados de forma insustentável, e que cerca de 85% dos recursos hídricos globais estão sendo utilizados de forma descontrolada, e em relação ao solo, o mesmo estudo aborda que 70% dos solos globais estão com algum grau de deterioração (WWF, 2020).

Nesse sentido, a identificação e a valoração de Serviços Ecossistêmicos, apesar de não ser medida de forma absoluta e exata, tem sido utilizada para compreender os ganhos e as perdas resultantes na mudança de uso e ocupação da terra (YI et al., 2017). Assim, no desenvolvimento de políticas públicas, identificação de serviços do

ecossistema que são sensíveis às mudanças ambientais e corroboração da conscientização dos cidadãos e Educação Ambiental tem tido aplicação prática notável (TOLESSA et al., 2017).

Ademais, são conhecidas três relações mútuas entre os Serviços Ecossistêmicos que são: sinergia, independência e trocas, uma melhora na habilidade de provisão é constantemente acompanhada, ignorando outros Serviços Ecossistêmicos (QIU; TURNER, 2013).

Portanto, a negligência entre as relações de troca/sinergia sobre os serviços ecossistêmicos pode levar a redução da habilidade de provisionamento de certos SE (WU, 2013). Os conhecimentos sobre as relações mútuas de SE são cruciais para o design de estratégias de uso da terra que otimizem a distribuição de SE (LANDUYT et al., 2016). Ademais, o gerenciamento ecossistêmico deve balancear e considerar diferentes serviços ecossistêmicos para otimizar seus efeitos integrados (GUO et al., 2022).

### **3.2.1 Armazenamento e Estoque de Carbono**

As florestas desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, atuando como grandes armazenadoras de carbono por meio de sua produtividade primária (RODRIGUES; PEZZI; KAMPEL, 2019). O armazenamento de carbono de uma área depende em grande parte dos reservatórios de carbono, estes são: biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, solo e matéria orgânica morta (SOUMIT et al., 2022)

Devido estes serviços apresentarem papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, são muito importantes para a manutenção da biodiversidade (HAINESYOUNG; POTSCHIN, 2018). E, no caso do armazenamento de carbono, particularmente, possui também importância como serviço de provisão, quando relacionado, por exemplo, à produção de madeira (MEA, 2005).

Ainda que haja o reconhecimento de que o sequestro e o armazenamento de carbono podem reduzir os efeitos das mudanças climáticas, as florestas tropicais já foram citadas como a segunda maior fonte antrópica de emissões de carbono após a queima de combustíveis fósseis (NOGUEIRA, 2022). A degradação e o

desmatamento em regiões tropicais ainda acontecem em larga escala por conta das pressões resultantes dos interesses econômicos do homem sobre os recursos naturais, sendo o Brasil um exemplo clássico desta condição (ALIX-GARCIA; GIBBS, 2017).

Nesse sentido, os trópicos acabam sendo apontados como uma fonte líquida de carbono, devido a eliminação total ou parcial das florestas e áreas verdes e reduções na densidade de carbono acima do solo, uma vez que as perdas com o desmatamento e a degradação das florestas em pé não conseguem ser compensadas com os ganhos em densidade de carbono de crescimento vegetal (BACCINI et al., 2017). No período de 2000 a 2012, o Brasil foi o país que apresentou a maior perda de áreas florestais naturais em uma escala Pantropical (TYUKAVINA et al., 2015). E o resultado disso é a perda total ou a redução das funções ecológicas de sumidouro de carbono, que é um dos principais contribuintes para a mitigação da mudança do clima (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

Corrêa (2020) destaca a importância da preservação de áreas florestais para a produção e emissão de carbono, e constatou que em um fragmento de floresta é possível ter pelo menos 76 vezes mais produção de carbono do que um campo herbáceo antrópico. Em paralelo, foi constatado que mesmo em pequenas extensões de floresta apresentam um potencial relevante para o armazenamento de carbono acima do solo, sendo um contribuinte para a potencial oferta do Serviço Ecossistêmico de regulação climática, sendo influenciados pelo porte, estrutura e composição em espécies (SANTOS, 2014).

Sendo assim, o sequestro e armazenamento de carbono é considerado um SE com mais relevância, por estar ligado a regulação do clima que tem ação direta sobre a diminuição dos efeitos das mudanças climáticas globais (SMITH et al., 2013). Visto que, inúmeras políticas, instrumentos legais e diversas modelagens envolvendo o estudo do ciclo do carbono foram apresentados como forma de mitigar a emissão de carbono, seja pela restauração florestal, a mitigação da perturbação de florestas tropicais, o controle de atividades humanas ou pela minimização do desmatamento. (MOUCHET et al., 2017; QUIJAS et al., 2019).

### **3.3 Ferramentas de avaliação e modelagem de serviços ecossistêmicos**

Acompanhando os grandes avanços tecnológicos nos últimos anos, os estudos sobre serviços ecossistêmicos, que antes visavam somente a definição e na classificação, vêm mudando e ganhando destaque no uso das técnicas de modelagem como ferramentas para análise e avaliação dos serviços ecossistêmicos (AZEVEDO, 2017).

Para Fichino (2014) existem dois pontos chaves para estudos futuros relacionados à abordagem ecossistêmica: na quantificação e modelagem dos serviços ecossistêmicos e na relação entre o manejo do solo e a provisão dos serviços.

Segundo Golmohammadi et al., (2014), o uso de modelos pode ser usado para alcançar uma melhor compreensão do impacto das atividades sobre mudanças na dinâmica do uso e cobertura da terra e diferentes práticas de gestão sobre os processos hidrológicos que afetam a superfície e subsuperfície hídrica, a erosão do solo e o transporte e destino dos constituintes químicos em bacias hidrográficas.

Dito isto, Castro (2020) aponta que existem múltiplas ferramentas para a modelagem de serviços ecossistêmicos, que permitem a quantificação, mapeamento e, em alguns casos, até a valoração destes serviços, em diferentes escalas. Algumas ferramentas funcionam como um protocolo, como no caso do software Eco-Ser. O protocolo Eco-Ser conduz de forma multidisciplinar uma análise da provisão, utilização a vulnerabilidade de bens e serviços, conjugando métodos de avaliação biofísica de diversos tipos de SE com seu valor socioeconômico relativo (LATERRA et al., 2011). O mesmo possui uma estrutura integrada de modelos que descrevem a função ecossistêmica em valores relativos de SE e na vulnerabilidade (WOLFF, 2017). Segundo LATERRA et al., 2015, o ECOSER integra os seguintes tipos de serviços ecossistêmicos: armazenamento de carbono orgânico no solo, armazenamento de carbono na biomassa, controle de erosão, fertilidade do solo, retenção do excesso de precipitação pela cobertura vegetal, retenção do excesso de precipitação por zonas úmidas, proteção de aquíferos por cobertura vegetal, filtragem de sedimentos e contaminantes em zonas húmidas, filtragem de sedimentos e

contaminantes em faixas de mata ciliar e atributos de ecossistemas e paisagens, como: habitat para espécies, estrutura da paisagem e produção de biomassa.

O AGROECO-INDEX® é uma metodologia atribuída por Viglizzo et al. (2006) para avaliar a gestão ambiental de empresas agropecuárias, mas tem sido utilizada para análises aplicadas aos impactos ambientais. O software desenvolvido por meio de ferramentas como Excel-Microsoft, e tem como funcionalidade a análise de onze indicadores básicos: uso de energia fóssil, eficiência no uso de energia fóssil, balanço de nitrogênio, balanço de fósforo, risco de contaminação por nitrogênio, risco de contaminação por fósforo, risco de contaminação por pesticidas, risco de erosão do solo, intervenção no habitat, mudanças no armazenamento de carbono orgânico do solo e balanço de gases de efeito estufa (VIGLIZZO et al., 2003).

Utilizando do escopo teórico de 8 indicadores e divididos em três dimensões: estado, pressão e resposta, foi criado o índice de Sustentabilidade Ambiental Agrícola (ISAGRI) a partir dos critérios adotados pela OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico). O ISAGRI funciona a partir da conversão de indicadores em índices, e então, agregados às dimensões a que pertencem, gerando outros três índices: IEA (Índice de estado do ecossistema agrícola; IDEG (Índice de vetores de degradação) e ICOR (Índice de medidas de prevenção e correção) e o resultado, trata-se de uma média simples dos índices dessas dimensões (SILVA, 2007; SANTOS, 2022;).

Modelagens com o InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) têm se consolidado como importantes ferramentas de análise de cenários futuros ou que já ocorreram, nas mais variadas escalas espaciais (CHRISTOFOLETTI, 1982; FERNANDES, 2016; PEREIRA, 2021). O conjunto de ferramentas InVEST foi desenvolvido para possibilitar aos tomadores de decisão avaliarem as compensações entre os serviços ecossistêmicos e comparar as consequências de diferentes cenários de mudanças futuras, como uso da terra ou mudança climática, sendo um software de código aberto produzido pelo The Natural Capital Project (SHARP et al., 2016). O InVEST cria mapas espacialmente explícitos de serviços ecossistêmicos com base em diferentes cenários e permite a avaliação de compensações e sinergias entre diferentes serviços (LANGHANS, 2022).

O modelo InVEST é uma ferramenta especial para a mensuração de serviços ecossistêmicos amplamente utilizada em todo o mundo. Se baseia em mapas quadriculados e pertence a um conjunto de modelos que podem ser classificados em quatro categorias principais: serviços de apoio, serviços finais, ferramentas para facilitar análises de serviços ecossistêmicos e ferramentas de apoio (CONG, 2020; SHARP et al., 2020).

O InVEST foi empregado para diversos propósitos relacionados à avaliação de serviços ecossistêmicos e biodiversidade. Por exemplo, em Lukë et al. (2018), o foco foi em comparar as pontuações de vários serviços ecossistêmicos e biodiversidade em cenários de mudança de uso da terra na bacia da Nicarágua, conforme definido pelas partes interessadas. Em outro estudo, especificamente em Clerici et al. (2019), o InVEST foi utilizado para analisar serviços ecossistêmicos em cenários reais e alternativos de alterações no uso da terra nos Andes colombianos. Um estudo, Saad et al. (2018), empregou o InVEST para examinar a concordância entre serviços ecossistêmicos e estratégias de conservação da biodiversidade no município de São Paulo.

### **3.4 Previsão de Cenários Futuros (Modelagem)**

Dados espaciais e descritivos, coletados e documentados em períodos específicos, têm valor desde que as mudanças ocorridas não alterem completamente a localização ou as informações descritivas. Embora a coleta e documentação sejam dispendiosas em termos de recursos e tempo, a abordagem sequencial de análise individual de dados espaciais é insensata. No entanto, a identificação prévia de mudanças nos dados espaciais e descritivos, permitindo prever o momento e o tipo de alterações, acelera e facilita o planejamento de questões ambientais, urbanísticas, de gestão de crises e de recursos naturais. Dados de sensoriamento remoto, como imagens de satélite, são inestimáveis para identificar com precisão as mudanças no uso da terra, especialmente quando combinados com análises multitemporais de alta resolução espacial, permitindo uma detecção e quantificação precisas das transformações na cobertura terrestre, por meio do processamento algorítmico que extrai informações significativas sobre as mudanças no uso da terra e seus impactos ambientais correlatos (V et al., 2019).

Contudo, sempre houve desafios consideráveis na modelagem e identificação das mudanças no uso da terra e cobertura vegetal (LULC). Tais desafios englobam a indisponibilidade de dados precisos, abrangentes e sistemáticos da superfície terrestre, as complexidades associadas à identificação de diferentes tipos de mudanças e a demora e custo inerentes aos métodos tradicionais. Felizmente, o progresso dos sistemas de sensoriamento remoto na área de fornecer imagens periódicas regulares, com resolução adequada em várias faixas espectrais, tem convertido esses sistemas em ferramentas apropriadas e eficazes para o monitoramento das mudanças no uso da terra e cobertura vegetal nos últimos anos (KUMAR e ARYA, 2021).

Os modelos de transição LULC, por outro lado, geralmente tentam prever quando e com que frequência essas mudanças ocorrerão. Modelos de previsão de terra como CA MARKOV do IDRISI, CLUE-S/DynaCLUE, DYNAMICS EGO e Land Change Modeler estão sendo usados por pesquisadores em todo o mundo. O modelo de previsão futura provou ser extremamente útil na determinação de como as mudanças anteriores e futuras do LULC podem afetar a erosão do solo, especialmente em terras agrícolas. (PEROVIĆ et al., 2018).

Vários modelos de previsão espaço-temporal, como o modelo de cadeia de Markov (MC), o modelo de Autômatos Celulares (CA) e o modelo de conversão do uso da terra e seus efeitos (CLUE), foram desenvolvidos nos últimos anos para prever o LULC e suas detecções de mudança (AIAM et al., 2021a). Entre eles, o modelo CA tem sido frequentemente usado para análise de mudança de uso da terra entre as várias abordagens de modelagem dinâmica espaço-temporal. MOLUSCE (Módulos de Avaliação de Mudança de Uso da Terra), um novo plugin do QGIS que pode estimar mudanças potenciais no LULC, é construído com o modelo CA e também inclui uma matriz de probabilidade de transição, está sendo usado pela maioria dos pesquisadores (NEXTGIS, 2017).

Quatro modelos de algoritmos bem conhecidos são empregados neste plugin: Redes Neurais Artificiais (ANN), Regressão Logística (LR), Avaliação Multicritério (MCE) e Pesos de Evidência (WoE). Um modelo Celular Automata-Artificial Neural Network no MOLUSCE é uma ferramenta eficiente para prever o futuro LULC que pode ser utilizado no planejamento e gestão do uso da terra. Essa abordagem está

sendo usada para prever a mudança espacial do LULC porque estima a condição atual do pixel com base em sua situação inicial, eventualidade de vizinhança adjacente e leis de transição. Além disso, isso retrata com precisão processos estocásticos espaciais não lineares de mudança do LULC e produz padrões complexos (SAPUTRA e LEE, 2019).

Os modelos CA (Cellular Automata) também estão sendo cada vez mais usados em estudos de planejamento urbano. Eles são capazes de replicar a complexidade espaço-temporal de áreas urbanas, bem como o desmatamento causado por desastres naturais ou ações humanas (SAPUTRA e LEE, 2019). O MOLUSCE foi desenvolvido para investigar uma série de aplicações, incluindo estudar mudanças temporais no LULC e projetar o uso futuro da terra, antecipar mudanças prospectivas na cobertura da terra e florestal e detectar desmatamento em locais sensíveis (ANEESHA SATYA et al., 2020). Este modelo de mudança do LULC, baseado em uma metodologia de análise multicritério, foi criado usando software GIS (MZAVA et al., 2019). Para prever seu efeito relativo no modelo, os parâmetros dependem do peso da resposta do pesquisador (SINGH et al., 2014; HASSAN et al., 2016).

### **3.5 Valoração dos Serviços Ecossistêmicos**

A valoração econômica dos serviços ecossistêmicos é o processo de atribuir valores monetários a esses benefícios, a fim de incluí-los nas decisões econômicas e políticas. Isso pode ajudar a mostrar a importância dos ecossistemas e aumentar a conscientização sobre a necessidade de protegê-los (BOHAN, 2016). Existem vários métodos de valoração econômica dos serviços ecossistêmicos, incluindo o uso de preços de mercado, métodos de substituição e avaliação contingente. Cada método tem suas próprias vantagens e limitações. Alguns métodos mais relevantes podem ser destacados, como o método de mercado, método de valoração não monetária e o método de valoração de funções de ecossistemas que respectivamente dizem respeito a análise de preços de mercado e de renda, a análise de valor de uso e de valor de não-uso e finalmente a análise de capacidade de fornecimento e de capacidade de fornecimento e capacidade de uso (TEEB, 2010).

Costanza et al. (1997) fazem uma crítica à forma como os serviços ecossistêmicos são atualmente avaliados economicamente, e argumentam que os métodos tradicionais de avaliação econômica são insuficientes para capturar o valor total dos serviços ecossistêmicos e propõe uma abordagem alternativa baseada na ecologia ecológica. Os autores também discutem como os serviços ecossistêmicos podem ser incluídos no cálculo do Produto Interno Bruto (PIB) para uma avaliação mais precisa do desenvolvimento econômico.

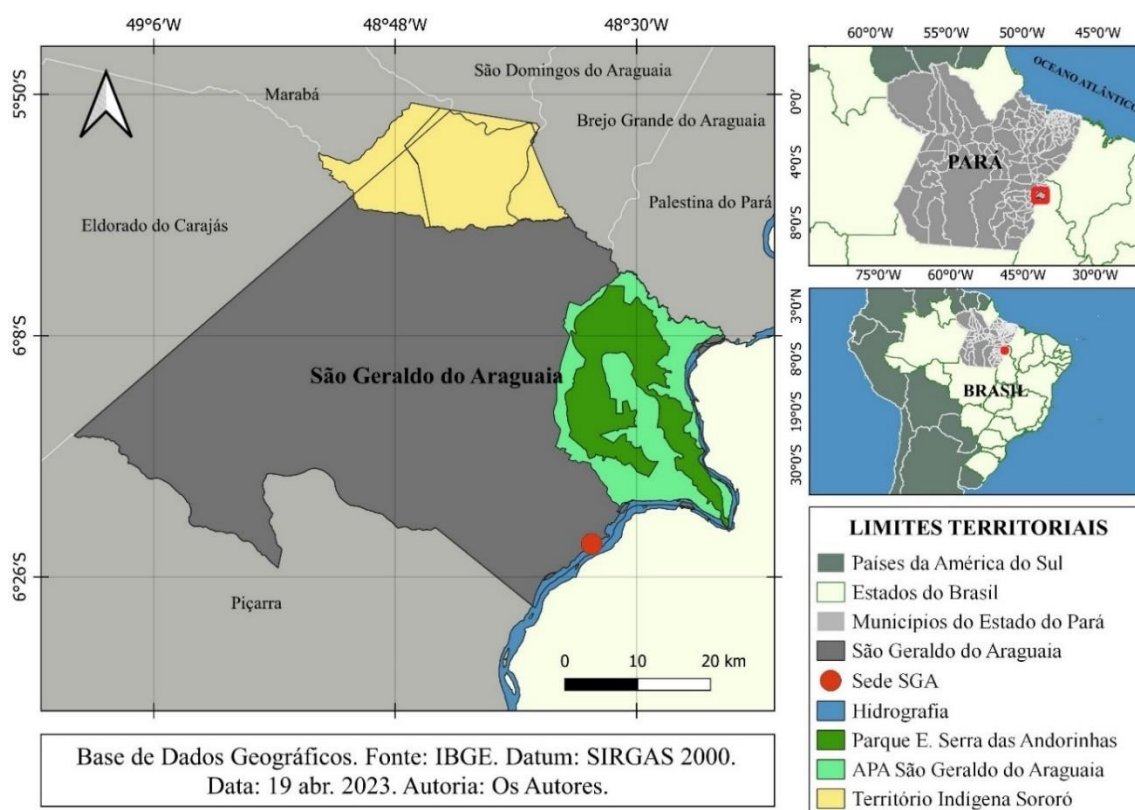
De acordo com Masiero (2019), que produziu um livro que fornece orientações para a avaliação econômica dos serviços ecossistêmicos, como por exemplo a conservação da biodiversidade e proteção contra enchentes e erosão do solo, e a abordagem de diferentes métodos de valoração, incluindo o uso de preços de mercado, métodos de avaliação de danos e a avaliação de benefícios sociais e culturais. O autor também discute desafios e limitações enfrentados na valoração de serviços ecossistêmicos e fornece recomendações para melhorar a precisão e relevância das avaliações.

O MMA (Ministério do Meio Ambiente) e o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) (2013), orientam o uso de algumas técnicas para a valorização econômica dos serviços ecossistêmicos no Brasil, apresentando uma metodologia geral para a valorização econômica de serviços ecossistêmicos, incluindo a identificação e seleção de serviços ecossistêmicos, a avaliação dos fluxos de serviços ecossistêmicos e a avaliação dos benefícios econômicos dos serviços ecossistêmicos, e também apresenta exemplos de aplicação da metodologia em diferentes ecossistemas e fornece orientações sobre como integrar a valorização econômica dos serviços ecossistêmicos em políticas e programas de conservação e uso sustentável dos recursos naturais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O presente estudo foi conduzido no município de São Geraldo do Araguaia (SGA), situado na região sudeste do estado do Pará. O município está inserido na região geográfica denominada “Arco do Desmatamento”. Esta região representa uma área onde são registrados os níveis mais significativos de desmatamento na floresta amazônica, atribuídos principalmente à expansão das atividades agropecuárias. Fruto do intrincado processo de ocupação do solo (SILVA, 2009). Segundo dados do IBGE (2021), SGA possui um rebanho de 385.545 bovinos, sendo a pecuária o principal fator de mudança na paisagem do município (SILVA et al., 2021).



**Figura 1.** Mapa de localização do município de São Geraldo do Araguaia, no estado do Pará. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

São Geraldo do Araguaia possui extensão territorial total de 316.838,40 ha (IBGE, 2021) sendo composto pelo Parque Estadual Serra dos Martírios/Andorinhas (PESAM) e a Área de Proteção Ambiental São Geraldo do Araguaia (APA-Araguaia), criada como uma zona de amortecimento para a expansão das mudanças no uso da terra no local, estas somam uma área de 27.164,71ha. O município é composto,

ainda, por duas Reservas Indígena Sororó, que somadas têm uma área de 19.855,21 ha somente na zona pertencente ao município.

O clima do SGA é do tipo tropical úmido ou subúmido (Am) segundo a classificação de Köppen, no limite de transição para o clima de savana (AW). Segundo FAPESPA (2022) na área analisada o clima predominante é do tipo equatorial úmido e conta com índice pluviométrico anual de 2.000 mm e alta umidade relativa do ar em quase todo o ano, sendo três meses secos. As temperaturas são elevadas com uma média de 35°C e baixa amplitude térmica.

Na Fitofisionomia do município há a predominância de floresta ombrófila, nas formas aberta e densa, e formações de savana em ambientes de contato e/ou transição entre dois tipos de vegetação, devendo-se ao fator da localização geográfica de parte do município está na zona de transição entre o bioma Amazônia e o cerrado (OLIVEIRA, 2013).

#### **4.2 Fonte de Dados**

Para a elaboração de mapas de situação e transição do município de São Geraldo do Araguaia foi utilizado o software QGIS versão 3.30.3. As imagens do satélite Landsat 8 foram obtidas através da plataforma Google Earth Engine e para as bases vetoriais do estado do Pará, São Geraldo do Araguaia e limites do PESMA e APA Araguaia foi utilizado a Malha do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2016).

O Google Earth Engine permite que os usuários acessem dados Landsat arquivados on-line, incluindo Landsat 5 TM de 1985 a 2011, Landsat 7 ETM+ de 1999 a 2014 e Landsat 8 OLI/TIRS de 2013 a 2021. Todas as resoluções de dados foram reamostrados para 30 m, conforme a necessidade, usando o software QGIS 3.30.3.

Para a produção dos mapas de uso e cobertura foi utilizada a base de dados da plataforma MapBiomas (Coleção 7.1) baixados com o auxílio da plataforma Google Earth Engine.

O conjunto de dados de imagem usados no Projeto MapBiomas no avanço da coleção 1 a 7.1 foram obtidos através dos Sensores Landsat Mapeador Temático

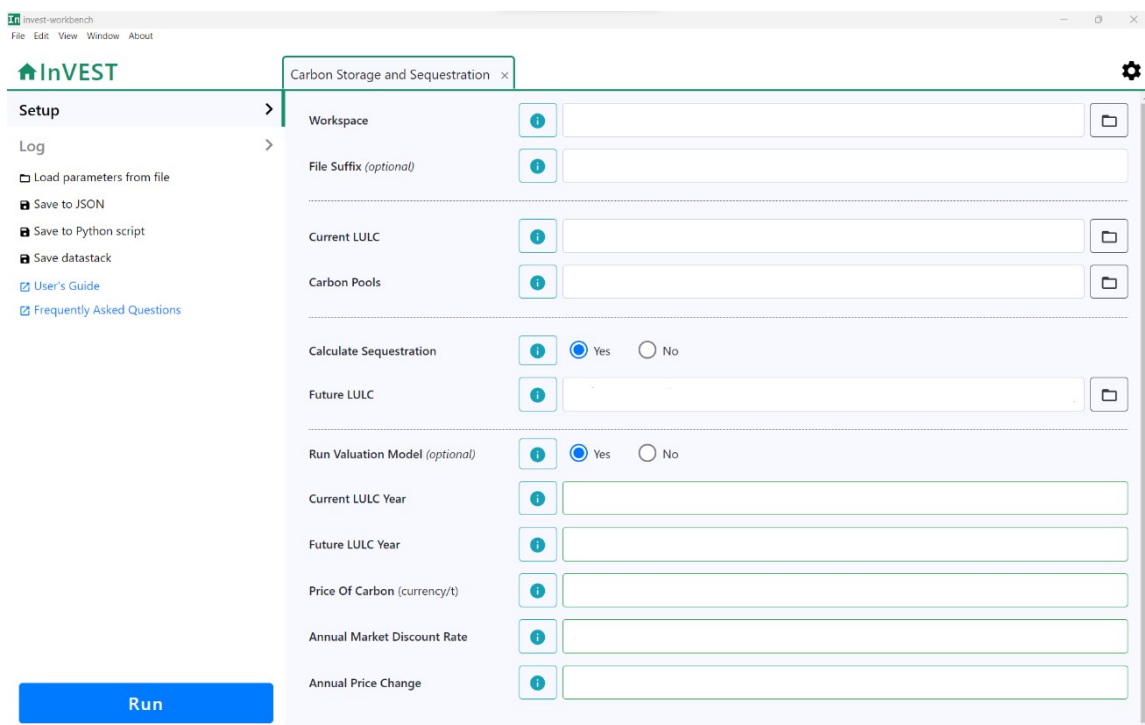
(TM), Temático Aprimorado Mapper Plus (ETM+), e o Operacional Land Imager e Sensor

Infravermelho Térmico (OLI-TIRS), a bordo do Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8, respectivamente. Os dados de imagem da coleção do Landsat detêm resolução de pixel de 30m, produzidos pela NAS E USGS.

Para realizar a predição do cenário futuro do uso e cobertura da terra foi utilizada o Software QGIS versão 2.14.22, que se fez necessário para a utilização do plugin MOLUSCE versão 3.0.13, somente disponível em versões anteriores do QGIS.

### **4.3 Esquema Metodológico**

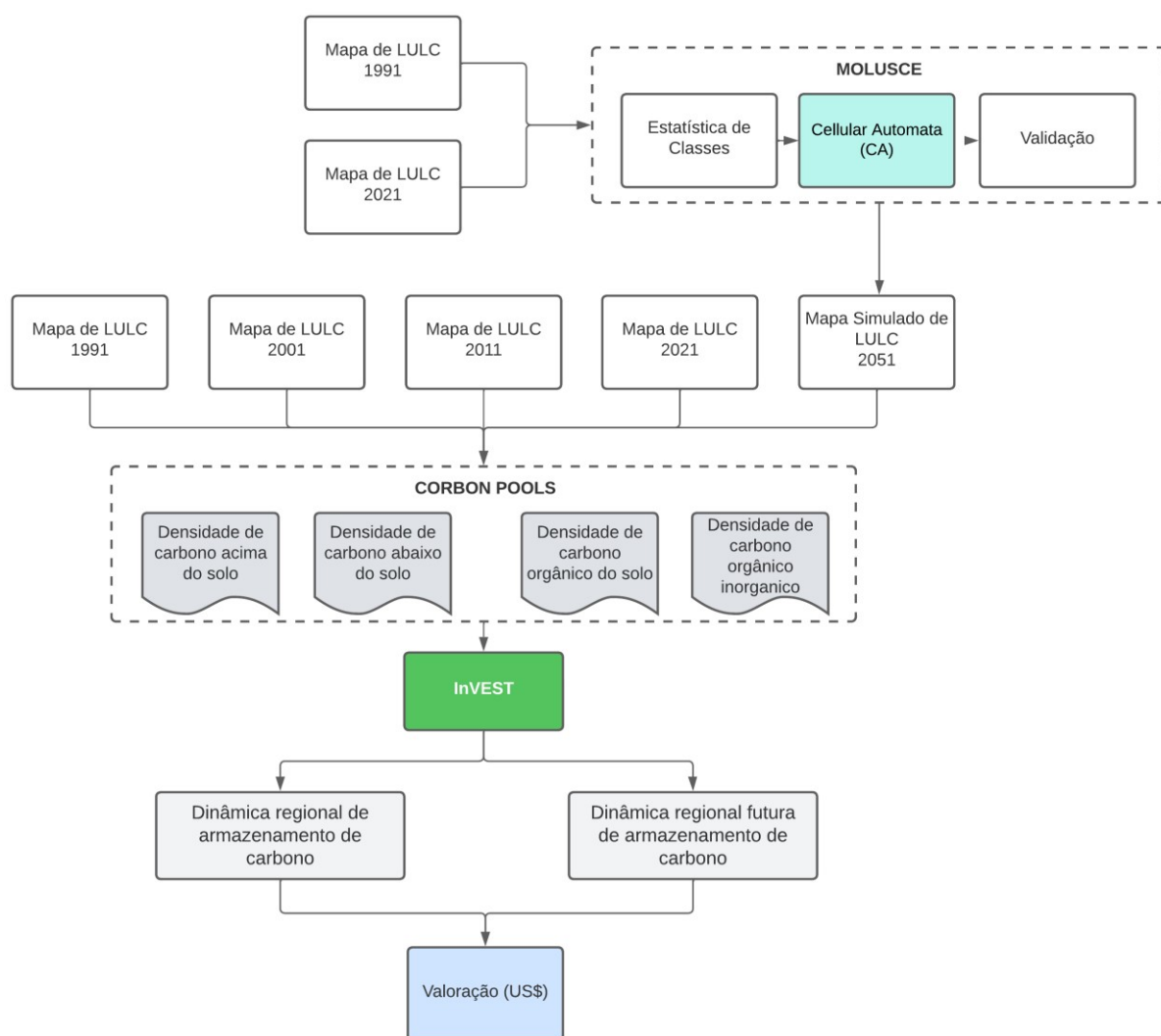
Os mapas de uso e cobertura da plataforma MAPBIOMAS foram baixados através da plataforma do Google Earth Engine (GEE) e utilizados para criar uma tabela de matriz de transição no Excel. Esses mapas foram reclassificados para a classe de Nível 1, determinada pelo MAPBIOMAS, com as classes de agricultura e pastagem segregadas para obter uma análise mais detalhada. Os mapas de uso e cobertura de 1991 e 2021 foram analisados usando o software QGIS e o plugin MOLUSCE, utilizado para a realização dos ensaios de estatísticas de classe, Cellular Automata e validação para a geração de um mapa de projeção futura do uso e cobertura da terra para os próximos 30 anos, a partir do último ano de análise desse estudo.



**Figura 2.** Interface do software InVEST.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a geração dos mapas de uso e cobertura e a projeção para o futuro, foram realizadas as análises dos mapas publicados por SPAWN e GIBBS (2020) e disponibilizados pelo DAAC ORNL e baixados através da plataforma GEE. Análises de carbono (acima e abaixo do solo) quantitativas e estatísticas foram realizadas para cada uma das classes de uso e cobertura (Floresta, Formação Natural não Florestal, Pastagem, Agricultura, Área não Vegetada e Corpos D'Água), fornecendo informações necessárias sobre o armazenamento de carbono no município para obter dados para a construção da tabela de Carbon Pools.



**Figura 3.** Estrutura de avaliação da conversão do uso da terra nos Serviços Ecosistêmicos.  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em seguida, as análises foram realizadas no software InVEST (Figura 2), onde o mapa de uso e cobertura do cenário atual foi adicionado junto com uma tabela com informações de (carbono/classe de uso e cobertura para calcular o armazenamento de carbono). O mapa de projeção do uso e cobertura futuros foi adicionado para determinar o sequestro de carbono na área. Por fim, os dados do Preço do Carbono (US\$/t), Taxa de desconto anual de mercado (7% como sugerido pelo software) e Variação Anual de Preços foram adicionados para valorizar o carbono para o município de São Geraldo do Araguaia. Na figura 3, é possível a visualização detalhada da ordem de utilização dos dados e softwares mencionados acima.

#### **4.4 MAPBIOMAS**

A plataforma MAPBIOMAS (Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil) disponibiliza uma série consistente de produtos anuais de cobertura e transição do território brasileiro, de serão obtidos os dados de transição de 1991 a 2021, de modo a permitir uma análise de 30 anos do uso da cobertura da terra. A base de dados da plataforma é obtida através dos sensores Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e o Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS) com resolução de pixel de 30 metros.

O processamento de imagens do MAPBIOMAS é baseado na tecnologia do Google, que inclui processamento de imagens em infraestrutura de computação em nuvem e programação com Javascript e Python via Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil (Souza et al., 2020). Os mapas de uso e cobertura da terra são produzidos por uma rede colaborativa de instituições brasileiras com especialistas de sensoriamento remoto, em conservação e uso da terra, organizadas em biomas e temas transversais.

Foram obtidos da plataforma os mapas de uso e cobertura utilizadas para a obtenção da matriz de transição. O projeto MAPBIOMAS está dividido em 4 níveis de classes de uso e cobertura, para esse estudo foram utilizadas as classes: Floresta, Formação Natural não Florestal, Agricultura, Pastagem, Área não Vegetada e Corpos D'Água. Os períodos de processamento do uso e cobertura foram determinados por intervalos de 10 anos (1991, 2001, 2011, 2021).

#### **4.5 Quantificação de Serviços ecossistêmicos**

A quantificação de serviços ecossistêmicos (SE) foi realizada através do software InVEST, modelo matemático que relacionam as características do ecossistema, como a vegetação e o clima, com a produção de serviços ecossistêmicos. O InVEST usa dados geoespaciais, como mapas de uso da terra e informações climáticas, para modelar a distribuição espacial dos serviços ecossistêmicos. Os modelos no InVEST são baseados em dados científicos e estatísticos, e são calibrados e validados com dados de campo.

Neste estudo foi mensurados os serviços ecossistêmicos de armazenamento e sequestro de carbono. Esses SE representam uma parte importante de serviços reguladores. E o modelo do InVEST foi usado para investigar a dinâmica do carbono com relação as mudanças espaço-temporais do uso e cobertura no decorrer do período de 30 anos e simular uma projeção de mapa de futuro com previsão de 30 anos.

O modelo de ciclo de carbono no InVEST utiliza informações sobre o uso da terra, como mapas de vegetação e de uso da terra, e informações sobre a vegetação, como a cobertura vegetal e a estrutura, para estimar a biomassa e a taxa de crescimento da vegetação. Ele também utiliza informações sobre a decomposição da vegetação e a respiração dos organismos para estimar o fluxo de dióxido de carbono para a atmosfera.

Os mapas produzidos de armazenamento de carbono e de estoque de carbono foram usados para identificar áreas onde o armazenamento de carbono é elevado e onde o fluxo de carbono para a atmosfera é baixo, o que pode indicar a necessidade de medidas de conservação do carbono, como a restauração florestal ou a implementação de práticas agrícolas

A função de análise de armazenamento de carbono do modelo InVEST calculou a quantidade de carbono armazenado na área por meio de mapas de uso e cobertura da terra em formato Raster e a tabela de Carbon pools, relacionando o armazenamento de carbono com as classes de uso e cobertura do solo. Para a determinação do armazenamento de carbono, o modelo utilizou as classes: Floresta, Formação Natural não Florestal, Agricultura, Pastagem, Área não Vegetada e Corpos D'Água. Os resultados do modelo foram obtidos através de Rasters do carbono armazenado (Megagrama de carbono/pixel); carbono sequestrado (Megagrama de carbono/pixel); carbono perdido (Megagrama de carbono/pixel); e valor atual do carbono sequestrado (unidade monetária/pixel), além dos totais agregados. Nesse estudo, deve-se considerar um pixel de 30m x 30m. Para os resultados, não foi realizada a conversão dos valores de pixel (px) para hectare (ha) devido ser a forma como o software INVEST gera as informações.

## 5. RESULTADOS e DISCUSSÃO

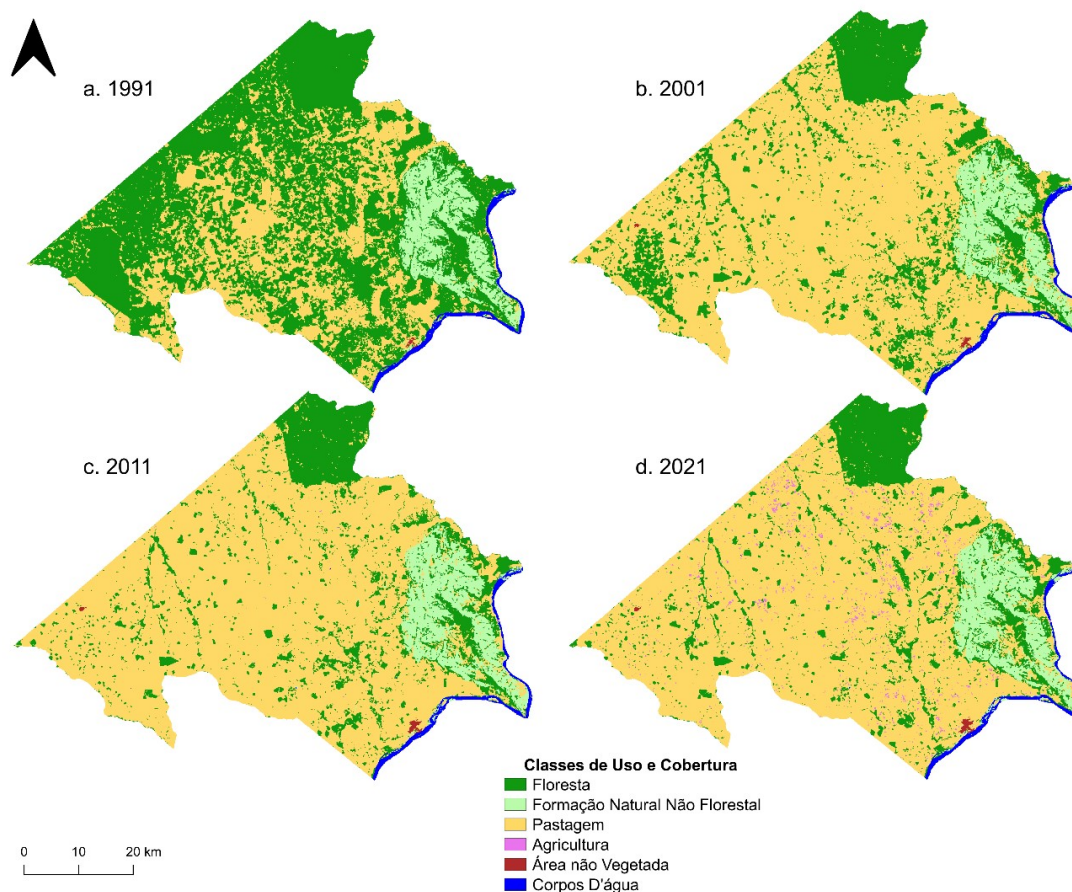
Considerando os dados apresentados na Figura 4 é possível visualizar a dinâmica de mudança no uso e cobertura de cerca de 90% do território do município de São Geraldo do Araguaia. Com exceção das áreas protegidas por lei, o município teve grande parte da sua vegetação suprimida e convertida para a classe uso: pastagem.

Segundo MAPBIOMAS (2023), em 2021, 157.620 ha de pastagem apresentaram degradação moderada e 28.916 ha apresentaram degradação severa, conferindo em uma baixa na produtividade de bovinos nessas áreas, o que demonstra que grande parte das áreas convertidas para pastagem, não apresentam produtividade ou estão ativas. Dias-Filho (2014) ao avaliar a evolução das áreas de pastagem na região norte, detectou uma forte desaceleração da ampliação de novas áreas pastoris, e sugere, inversamente, uma maior produtividade em áreas já convertidas em pasto no período de 1975 a 2006. Tendo isso em vista, é possível a visualização, com base nos dados apresentados na Figura 4, que o município de São Geraldo do Araguaia não seguiu essa tendência, sendo entre 1991 e 2001 o período em que grande parte da vegetação nativa do município foi completamente convertida em pastagens.

Além disso, é importante ressaltar que a conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens pode ter impactos significativos no meio ambiente, incluindo a perda de biodiversidade, a erosão do solo e a alteração do ciclo hidrológico. É fundamental que sejam adotadas práticas sustentáveis de manejo de pastagens para minimizar esses impactos e garantir a produtividade a longo prazo. No caso do município de São Geraldo do Araguaia, é importante que sejam realizados estudos para avaliar a viabilidade de recuperação das áreas degradadas e a implementação de práticas sustentáveis de manejo. Isso pode contribuir para a melhoria da produtividade das pastagens e para a conservação dos poucos recursos naturais remanescentes da região.

Em contra partida, no município de SGA, no período de 30 anos (1991-2021) analisados, ocorreu significativa degradação e a quase que total supressão da vegetação nativa. Levando em consideração o cenário apresentado na figura 4, o

resultado de 30 anos de exploração e expansão da agropecuária em SGA, acarretou uma redução de 148.380,43 ha de floresta, 16.443,07 ha de formações naturais não florestais (FNNF) em outras classes de uso, sendo, 148.250,14 ha das áreas florestais convertidas para pastagem e nas áreas de FNNF, 7.100,53 ha convertidos (Tabela 1).



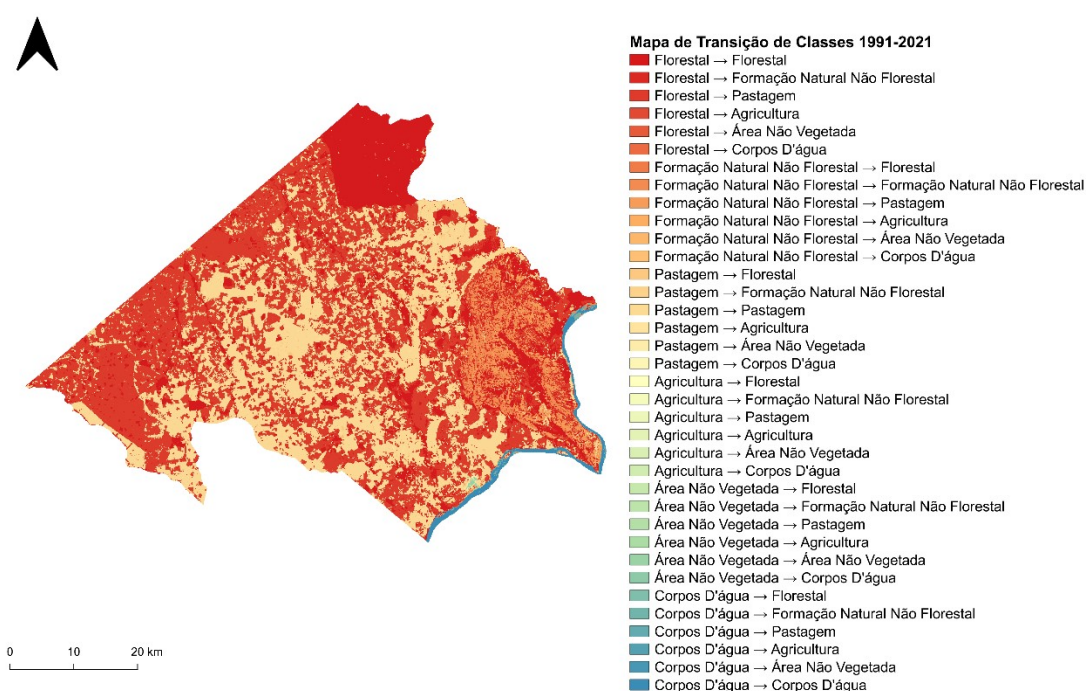
**Figura 4.** Mapa de Uso e Cobertura (LULC) da transição da paisagem de São Geraldo do Araguaia. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

### 5.1 Alteração e validação do uso/cobertura do solo

As transições de seis classes no mapa de LULC foram expressas, em um mapa gerado a partir do plugin MOLUSCE, abordando a transição unitária das classes de uso e cobertura entre si (Figura 5). A partir da visualização desses dados foi elaborada uma tabela auxiliar com a matriz de transição de cada classe no período de 30 anos (1991-2021).

**Tabela 1.** Estatística de transição (Valores em hectare). Fonte: MAPBIOMAS, 2023.

| Transição de Classes (ha) |                                | 2021      |                                |              |                   |              | Total      |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------|-------------------|--------------|------------|
|                           |                                | Floresta  | Formação Natural não Florestal | Agropecuária | Área não vegetada | Corpo D'água |            |
| 1991                      | Floresta                       | 58.413,73 | 6,49                           | 148.250,14   | 111,35            | 12,44        | 206.794,16 |
|                           | Formação Natural não Florestal | 464,78    | 8.839,11                       | 7.100,53     | 8,62              | 79,10        | 16.492,13  |
|                           | Agropecuária                   | 4.507,59  | 49,06                          | 84.533,44    | 155,77            | 16,80        | 89.262,66  |
|                           | Área não vegetada              | -         | -                              | -            | 155,50            | -            | 155,50     |
|                           | Corpo D'água                   | 12,00     | 536,00                         | 6,31         | -                 | 3.578,60     | 4.132,91   |
| Total                     |                                | 63.398,09 | 9.430,66                       | 239.890,42   | 431,24            | 3.686,95     | 316.837,36 |

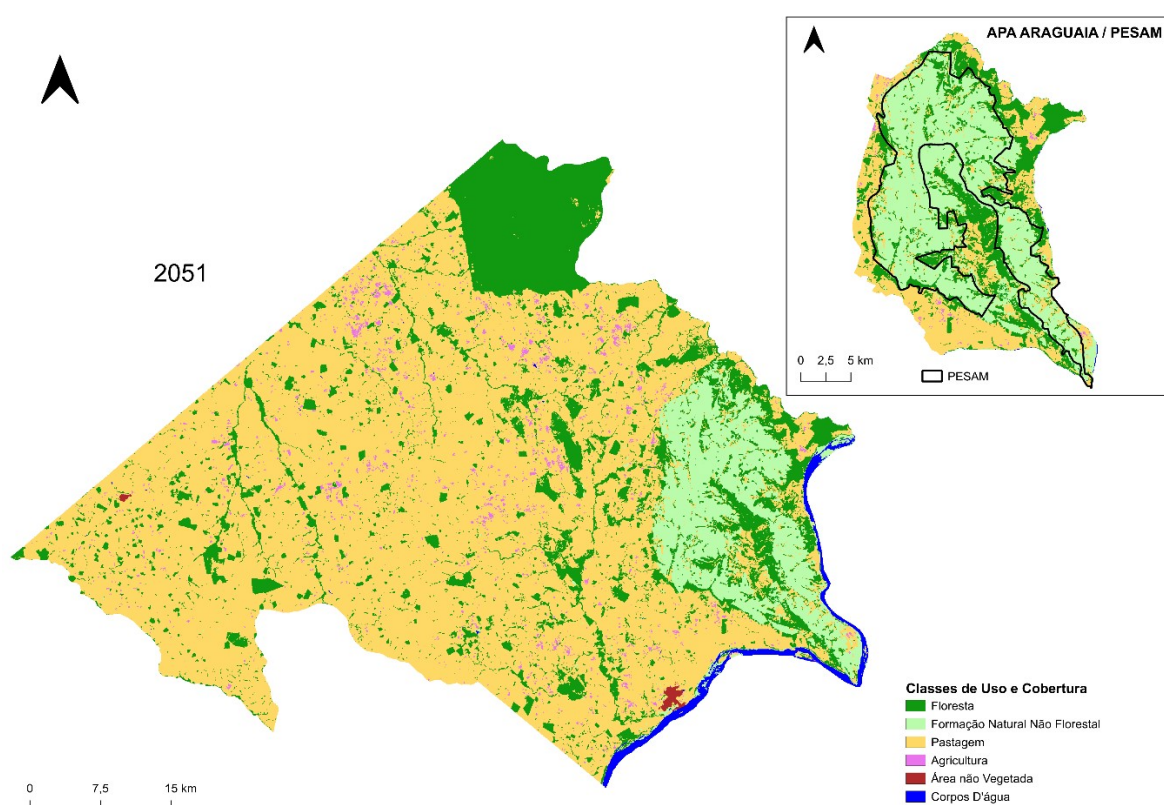


**Figura 5.** Mapa de transição de classes gerado pelo plugin MOLUSCE. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Tendo como referência o mapa de transformações no período examinado, gerado pelo plugin MOLUSCE (Figura 5) e pela matriz de transição (Tabela 1) torna-se perceptível a conversão intensa das regiões florestais em áreas produtivas e pastagens destinadas à criação de bovinos. Essa conversão é impulsionada, em grande medida, pela alta produção necessária para atender à demanda dos frigoríficos regionais. De forma notável, as Áreas Naturais Não Florestais, caracterizadas por extensas formações rochosas, exibem mudanças mínimas, juntamente com o Rio Araguaia. As áreas de cobertura florestal que apresentam as menores alterações incluem a reserva indígena Sororó, ao norte do município, e a Área de Proteção Ambiental São Geraldo do Araguaia, protegidas pela rigidez das leis de preservação ambiental.

## 5.2 Processo de simulação

Para a obtenção da estimativa do LULC de 2051 (30 anos a partir da última data analisada) com a abordagem ANN (Redes Neurais Artificiais), o mapa foi simulado com imagens classificadas de 1991 a 2021 (Figura 6). O processo de aprendizagem do LULC foi completado pela abordagem ANN, para revelar o processo de aprendizagem do LULC do ano de 2051 com 100 iterações, valor de vizinhança 3x3 (9 pixels) taxa de aprendizagem de 0,001, 10 camadas ocultas e valor de momento de 0,050. No processo de aprendizagem, o Erro Geral de Validação Min foi de 0,02235 e o Kappa de Validação Atual de 92% de acurácia para uma projeção de 30 anos e então foi gerado um mapa de predição. Na fase de validação, usando o método de Autômatos Celulares, o mapa Real de LULC da imagem de satélite de 2021 foi usado como base para obter a simulação da projeção de 2051.



**Figura 6.** Mapa de predição de LULC gerado pelo plugin MOLUSCE para 2051.  
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com base no cenário de simulação cartografada, projetado para um período de 30 anos a partir de 2021, é perceptível que ao longo desse intervalo temporal,

houve uma notável expansão das categorias de uso do solo: pastagem e agricultura, em direção às regiões previamente ocupadas por florestas. Esse processo resultou na supressão da cobertura vegetal original, para dar espaço às atividades de cultivo e pecuária de cunho produtivo. Contudo, destacam-se exceções a essa tendência nas áreas designadas como território indígena Sororó (BRASIL, 1978) e no Parque Estadual da Serra dos Martírios/Andorinhas (PESAM). Essas áreas mantiveram-se parcialmente isentas desse padrão de conversão devido à implementação de políticas ambientais vigentes, que atuam como salvaguardas, preservando a integridade das áreas protegidas por regulamentações legais contra a expansão das atividades agropecuárias.

Rocha (2017), ao realizar uma análise multitemporal na cidade de Primavera/Pa, constatou que as áreas de floresta, apesar de terem uma grande significância no território de Primavera, sofreram ao longo de dez anos uma redução de 970,79 ha, e as de vegetação secundária apresentaram um acréscimo de 24,41%, correspondente a 754,96 ha. É relevante ressaltar que a manifestação de vegetação secundária se encontra intrinsecamente vinculada à presença de atividades antrópicas, as quais frequentemente engendram a supressão de espécies primárias. Tal supressão, por sua vez, viabiliza a instauração de comunidades vegetais secundárias, em paralelo ao desenvolvimento de empreendimentos voltados para a subsistência, notadamente a agricultura e a pecuária. Por conseguinte, a reconstituição vegetal dessas áreas é predominantemente conduzida por táxons de flora secundária (PEREIRA, 2012).

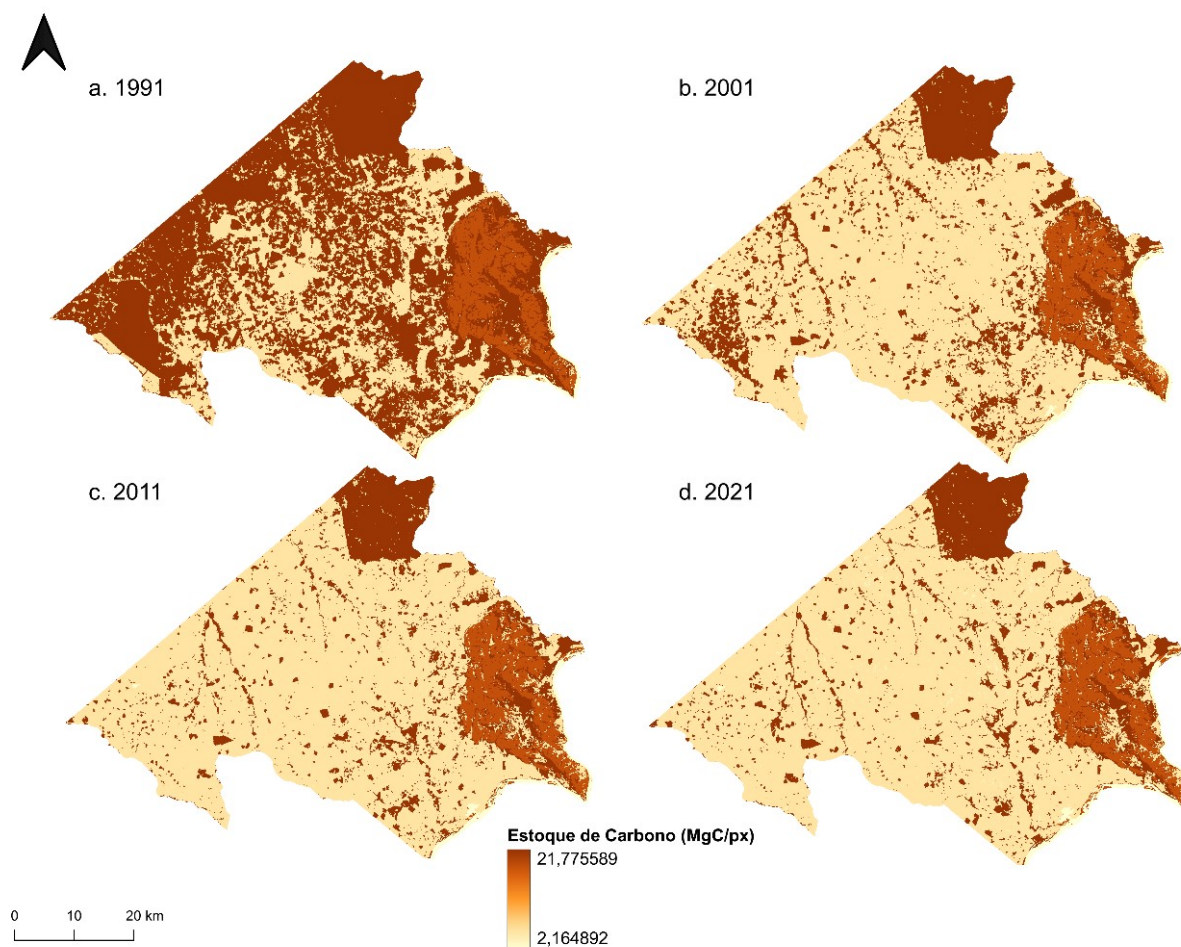
### **5.3 Modelagem e Valoração do Armazenamento e Sequestro de Carbono**

O carbono sequestrado ao longo do período de 1991 a 2021 (Figura 7) é calculado como a diferença do carbono armazenado em MgC/pixel (px), entre as paisagens futuras e presentes pelo modelo InVEST. Esse trabalho calculou o armazenamento e sequestro de carbono para 1991-2021 e 2021-2051. Áreas com altos valores negativos ou positivos devem ter grandes impactos no LULC, ou seja, menos vegetação e vice-versa. Esse modelo exclui as emissões de carbono das operações de gestão, que muitas vezes são dinâmicas. Em 1991 a taxa média de

carbono foi de 16.17 MgC/px, já em 2001 a taxa média foi de 10.24 MgC/px, o que demonstra um decaimento do sequestro de carbono. Em 2011 a taxa média foi de 9.34 MgC/px, o que mostra uma desaceleração do processo de degradação do carbono, que em 2021 foi de 9.29 MgC/px.

No período de 2021-2051, na simulação realizada pela associação dos modelos Molusce-InVEST, foi possível estimar na quantidade de carbono sequestrado, sendo em média -6.88 MgC/px, conferindo uma previsão de perda de carbono sequestrado nesse período. Com base nesse desfecho, constatou-se que a degradação do carbono transcorreu de maneira gradual, apontando para uma maior concentração de carbono nas áreas de preservação e em algumas plantações agrícolas. Esse padrão de distribuição surge como um indicador premonitório de possíveis mudanças climáticas futuras, uma vez que a redução da cobertura florestal está associada à emissão de gases de efeito estufa.

A simulação culminou na produção de um relatório que originou uma tabela contendo o valor econômico (expresso em dólares por megagrama de carbono - US\$/MgC) correspondente ao sequestro de carbono, tanto no contexto presente quanto no futuro. Para essa avaliação, foram empregados dados econômicos, incluindo a valoração em dólar, seguindo o parâmetro internacional de carbono voluntário tendo a referência de aproximadamente US\$1.65/MgC de acordo com a categoria Nature Based Offset do site carboncredits.com. A taxa anual de desconto de mercado utilizada, foi a recomendada pelos desenvolvedores do software InVEST, que equivale a 7%, e a taxa de variação anual do preço, a qual foi estabelecida em 0.



**Figura 7.** Mapa decenal de mudança de estoque de carbono progressivo.  
 Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O valor econômico geral do serviço ecossistêmico de sequestro de carbono de São Geraldo do Araguaia foi avaliado em US\$53.899.867,42 (cinquenta e três milhões, oitocentos e noventa e nove mil, oitocentos e sessenta e sete dólares e quarenta e dois cents) nas projeções até 2021. Pela projeção, o valor total de carbono para 2021 foi de 32.666.586,32 MgC/px (Trinta e dois milhões, seiscentos e sessenta e seis mil, quinhentos e oitenta e seis vírgula trinta e dois megagrama de carbono por pixel) de carbono sequestrado. A perda de carbono no período de 30 anos avaliado foi de 25.156.055,01 MgC/px (vinte e cinco milhões, cento e cinquenta e seis mil, cinquenta e cinco megagramas de carbono por pixel), estimado em uma perda de US\$41.507.490,76 (quarenta e um milhões, quinhentos e sete mil, quatrocentos e noventa dólares e setenta e seis centavos) .

De acordo com a distribuição geográfica do valor econômico do carbono sequestrado, pode haver aglomerados de locais com altos valores agrupados em torno de áreas de preservação com alto potencial de sequestro de carbono, onde a perda de valor econômico pode ser detectada juntamente com a vegetação. Como resultado da perda de vegetação e cultivos e aumento das áreas de pastagem, as emissões de gases de efeito estufa têm aumentado ao longo do tempo.

As partes envolvidas, incluindo defensores do meio ambiente, especialistas em sustentabilidade, proprietários de terras e criadores de gado, podem obter vantagens com a aplicação de abordagens interdisciplinares para mensurar, mapear e valorizar a retenção e captura de carbono. Essa abordagem direta e o uso aplicado de informações contribuem para a análise da relevância substancial dos serviços ecossistêmicos urbanos, evidenciando sua importância para um ambiente saudável e sustentável.

No contexto de São Geraldo do Araguaia, foi empregado o modelo InVEST, baseado no uso da terra, para calcular a atual capacidade de captura de carbono, estimar o potencial de diferentes classes de uso e cobertura da terra (LULC) e avaliar o saldo entre emissões e captura de carbono no município. Os resultados corroboraram a previsão de que áreas cobertas por vegetação florestal apresentaram maiores índices de captura de carbono (LI et al., 2017). A captura de carbono se destaca como um dos serviços ecossistêmicos reguladores mais proeminentes (ADRALI et al., 2018; LYU et al., 2019), fornecendo assim subsídios essenciais para os planejadores urbanos e administradores na implementação de estratégias de conservação florestal e práticas de gestão. Com o declínio nas taxas de cobertura florestal e a acelerada expansão de áreas urbanizadas, as análises das taxas de alteração na capacidade de retenção de carbono resultaram em valores negativos, em concordância com as conclusões anteriores de Mallick et al. (2022).

**Tabela 2.** Estatísticas do InVEST da quantidade de Carbono anual (em MgC/px).

|                    | <b>1991</b>    | <b>2001</b>    | <b>2011</b>    | <b>2021</b>    |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Valor Mínimo       | 2.16           | 2.16           | 2.16           | 2.16           |
| Valor Máximo       | 21.77          | 21.78          | 21.78          | 21.78          |
| Intervalo          | 19.61          | 19.61          | 19.61          | 19.61          |
| Soma               | 57.822.641,33  | 36.629.170,72  | 33.400.934,54  | 33.208.761,80  |
| Valor Médio        | 16.17          | 10.25          | 9.35           | 9.29           |
| Desvio Padrão      | 7.54           | 7.12           | 6.60           | 6.59           |
| Soma dos Quadrados | 202.958.757,61 | 181.388.837,41 | 155.658.095,81 | 155.081.568,90 |

Nesse viés, é possível antecipar, com base nos dados adquiridos, que aproximadamente 6.88 MgC será desprendido da vegetação. O progresso da atividade agropecuária, por conseguinte, provocou uma diminuição na absorção de carbono entre os anos de 1991 e 2021. De acordo com as previsões efetuadas, essa redução será ainda mais significativa entre 2021 e 2051. Isso acarretará no aumento do carbono nas zonas urbanas à custa das áreas de vegetação e propriedades rurais, apontando para futuras mudanças climáticas. Para as florestas, essa perda terá o impacto de emissões de gases de efeito estufa, em oposição ao seu tradicional papel de armazenamento (ZHAO et al., 2019).

A perda de carbono ocorre em geral quando as coberturas de terra naturais, especialmente florestas, mudam para coberturas de terra antropogênicas, como terras cultivadas, terras áridas, infraestrutura de transporte, áreas residenciais ou coberturas de terras naturais, como pastagens (HAN et al., 2018). A quantidade de armazenamento e sequestro de carbono oferecida pelo município de São Geraldo do Araguaia como um serviço ecossistêmico diminuiu drasticamente como consequência da degradação florestal e do crescimento dos usos de terra feitas pelo homem, corroborando descobertas semelhantes de outras regiões do mundo (HUI et al., 2014; CHUN et al., 2019; LAHIJI et al., 2020; LU et al., 2020; ABDO, 2021; DIDA et al., 2021).

Do ponto de vista econômico, o município de São Geraldo do Araguaia é um importante centro agropecuário; portanto, é indigno de comprometer o crescimento econômico e o desenvolvimento da infraestrutura do município. Como os processos de avanço da agricultura estão se desenvolvendo em um ritmo mais rápido, os planos e regulamentos adaptativos podem ser difíceis de implementar no futuro próximo.

Construir capacidade de resiliência agrícola em vez de gestão agrícola de curto prazo seria mais aplicável a região. Além disso, pode construir um equilíbrio entre as capacidades de autorregulação do ambiente e as iniciativas de gestão humana (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2021).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises apresentadas, é evidente que o município de São Geraldo do Araguaia enfrenta desafios significativos em relação ao uso e cobertura de solo, especialmente no que diz respeito à conversão de áreas naturais em pastagens e agricultura. O período entre 1991 e 2021 foi marcado por uma considerável degradação da vegetação nativa, com a perda de extensas áreas de floresta e formações naturais não florestais. Devido à expansão das atividades agropecuárias, houveram impactos substanciais na dinâmica do carbono armazenado, resultando em uma diminuição do sequestro de carbono ao longo do tempo.

A transformação da paisagem foi projetada pelo uso de ferramentas como o plugin MOLUSCE, que permitiu mapear as mudanças nas classes de uso e cobertura do solo, e o modelo InVEST, que quantificou a capacidade de captura e retenção de carbono. A expansão das zonas de pastagem e agricultura, à custa das florestas naturais, gerou um efeito notável na capacidade de retenção e reserva de carbono, com prognósticos de degradação substancial no horizonte futuro.

Um dos principais obstáculos enfrentados durante a condução deste estudo esteve relacionado à criação de cenários prospectivos. Nesse contexto, o plugin MOLUSCE revelou-se obsoleto para operar na versão 3.30.3 do software QGIS, o que obrigou os autores a recorrer a uma versão mais antiga que não incorporava todas as recentes ferramentas presentes no modelo atualizado. Adicionalmente, o MOLUSCE apresenta restrições ao seu funcionamento em notebooks, limitando-o exclusivamente a desktops, o que resultou em atrasos na obtenção de resultados satisfatórios.

A perda do SE do carbono ficou evidenciada como uma grande causadora de impactos na área de SGA por ser um importantíssimo serviço regulador, de clima e de qualidade ambiental. Visto que, a agropecuária degradou quase toda as áreas que não estão protegidas por lei, o que demonstra a falta de preocupação com o manejo correto com o solo pós colheita e pós remanejamento dos bovinos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, Z. A. Modelagem da dinâmica urbana e sequestro de carbono em Adis Abeba, Etiópia, usando imagens de satélite. *Árabe.J.Geosci.*, v. 14, p. 1–8, 2021.

AĐRALI, S.; ÜÇTUĐ, F.G.; TÜRKMEN, B.A. Um modelo de otimização para captura e armazenamento/utilização de carbono versus comércio de carbono: um estudo de caso de usinas movidas a combustíveis fósseis na Turquia. *J. Environ. Gerenciar.*, v. 215, p. 305-315, 2018.

AGIDEW, A. SINGH. K.N. The implications of land use and land cover changes for rural household food insecurity in the Northeastern highlands of Ethiopia: the case of the Teleyayen subwatershed, *Agric. Food Secur.*; v. 6 (56), p. 1-14. 2017. doi.org/10.1186/s40066-017-0134-4

ALAM, N. SAHA, S. GUPTA, S. CHAKRABORTY, S. Prediction modeling of riverine landscape dynamics in the context of sustainable management of floodplain: a Geospatial approach. *Annals of GIS*, 2021a. https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1870558

ALIX-GARCIA, J.; GIBBS, H. K. Forest conservation effects of Brazil's zero deforestation cattle agreements undermined by leakage. *Global Environmental Change*, v. 47, p. 201-217. 2017. [HdA1] doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.08.009

ANEESHA SATYA, B.; SHASHI, M.; DEVA, P. Future land uses land cover scenario simulation using open source GIS for the city of Warangal, Telangana, India. *Applied Geomatics*, v. 12, p. 281–290, 2020. https://doi.org/10.1007/s12518-020-00298-4

ASHISH P.; SUSHIL K. H.; S.K. MISHRA; VIJAY P. S. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *Catena*. v. 147, p. 595-620, 2016. doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002

ASTUTI, I.S.; SAHOO, K.; MILEWSKI, A.; MISHRA, D. R. Impact of Land Use Land Cover (LULC) Change on Surface Runoff in an Increasingly Urbanized Tropical Watershed. *Water Resour Manage* v. 33, p. 4087–4103. 2019. doi.org/10.1007/s11269-019-02320-w

AZEVEDO, L. M. N. Calibração, validação e aplicação do modelo InVEST para a estimativa de benefícios aos serviços ecossistêmicos na bacia do Ribeirão Pipiripau (DF/GO). PPGEFL. DM. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98p. 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/31495. Acesso em: 21 jan. 23.

AZEVEDO, T.; MATIAS, L. F. Dinâmica da alteração do uso e ocupação agrícola na Amazônia maranhense: Uma análise a partir de dados do MapBiomas. In: Anais do evento em comemoração aos 20 anos do programa de pós-graduação em geografia (Ilg-Unicamp), v. 1, p. 89–103. 2022. Disponível em:

<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/20anosppgg/issue/view/103>. Acesso em: 20 Jan. 2023.

BACCINI, A.; WALKER, W.; CARVALHO, L.; FARINA, M; SULLA-MENASHE, D.; HOUGHTON, R. A. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, v. 358, n. 6360, p. 230-234. 2017.

[doi.org/10.1126/science.aam5962](https://doi.org/10.1126/science.aam5962).

BAJA, S. Perencanaan tata guna lahan em pengembangan wilayah. Yogyakarta: Penerbit ANDI YOGYAKARTA, 2012. ISBN/ISSN 978-979-29-3192-1.

BAJA, S.; MUSTAFA, M.; ARIEF, S. Spatial dynamics of land use / land cover in south sulawesi, indonesia. In: ASIA GEOSPATIAL FORUM, 2011, Jakarta. Proceedings... Jakarta: Geospatial Media and Communications, 2011. p. 1-12. DOI: 10.13140/RG.2.1.1333.7128.

BARRETO, C., LINDO, Z. Response of soil biodiversity to global change. *Pedobiologia*. Volume 90. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150792>.

BEWKET, W.; ABEBE, S. Land-use and land-cover change and its environmental implications in a tropical highland watershed, Ethiopia *Int. J. Environ. Stud.*; v. 70 (1), p. 126-139. 2013. [doi.org/10.1080/00207233.2012.755765](https://doi.org/10.1080/00207233.2012.755765).

BOHAN, D.; POCOCK M. J. O.; WOODWARD G. Ecosystem Services: From Biodiversity to Society, Part 2. *Advances in Ecological Research*, v. 54. p. 15-182016. [doi.org/10.1016/S0065-2504\(16\)30009-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(16)30009-5).

BRASIL. Lei nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 dez. 1973.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, §1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano ABC+: bases conceituais. Brasília: Mapa, 2021.

CASTELO, T.; ALMEIDA, O. Desmatamento e uso da terra no Pará. *Revista De Política Agrícola*, v. 24, p. 99-111. 2015.

CASTRO, E. M. R.; CASTRO, C. P. Desmatamento na Amazônia, desregulação socioambiental e financeirização do mercado de terras e de commodities. *Novos Cadernos NAEA*. v. 25 n. 1 p. 11-36. 2022. [dx.doi.org/10.18542/ncn.v25i1.12189](https://doi.org/10.18542/ncn.v25i1.12189)

CASTRO, J. I. A. Utilização da plataforma InVEST para estimar serviços ecossistêmicos do Planalto do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo. Porto Alegre, Br-Rs, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/233207>. Acesso em: 20 Jan. 23.

CELENTANO, D. et al.. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 32, n. 92, p. 315–339, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5935/0103-4014.20180021>.

CHERUTO, M.C.; KAUTI, M.K.; KISANGAU, P.D.; KARIUKI, P. Assessment of land use and land cover change using GIS and remote sensing techniques: a case study of Makueni County, Kenya. *J. Remote Sens. GIS*, v. 5, p. 1-6. 2016. [doi.org/10.4172/2469-4134.1000175](https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000175)

CHRISTOFOLETTI, A. As Perspectivas dos Estudos Geográficos. In: *Perspectivas da Geografia*. São Paulo: DIFEL, p. 11-36, 1982. Disponível em: <https://sigcursos.tripod.com/perspetivas.pdf>. Acesso: 21 Jan 2023.

CHUN, J.; KIM, C. K; KANG, W.; PARK, H.; KIM, G.; LEE, W. K et al... *Gestão Sustentável do Serviço de Sequestro de Carbono em Áreas com Alta Pressão de Desenvolvimento: considerando Mudanças no Uso da Terra e Custos do Carbono.Sustentabilidade* , v.11, p .5116, 2019.

CLERICI, N., COTE-NAVARRO, F., ESCOBEDO, F. J., RUBIANO, K., & VILLEGAS, J. C. Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the Colombian Andes. *Science of The Total Environment*. 2019. [doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.275](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.275)

CONG, W.; SUN, X.; GUO, H.; SHAN, R. Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin. *Ecological Indicators*. v. 112. p. 106089. 2020. [doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106089](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106089).

CORRÊA, B. B. R. Oferta de serviço ecossistêmico relacionado ao carbono em paisagens com fisionomias florestais e campestres em Cerrado. 2020. 80f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2020. [doi.org/10.11606/D.41.2020.tde-30112020-015901](https://doi.org/10.11606/D.41.2020.tde-30112020-015901).

COSTANZA R.; DE GROOT R.; SUTTON P.; VAN DER PLOEG S.; ANDERSON S.J.; KUBISZEWSKI I.; FARBER S.; TURNER R.K. "Changes in the global value of ecosystem services". *Global Environ. Change*, v. 26. p. 152-158, 2014. [doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002).

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K. NAEEM, S.; O'NEILL, RV, PARUELO, J.; RASKIN, RG, SUTTON, P.

E VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>.

COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG, S.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, J.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158, 2014. doi:10.1016/j.

gloenvcha.2014.04.002.

DAILY, G.C.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M. Ecosystem services supplied by soil. In: Daily, G.C. (Ed.), *Nature Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC, p. 113–132. 1997.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. 1. ed. Belém, Pará:

Embrapa Amazônia Oriental, 2014. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf> Acesso em: 21 Ago. 2023.

DIDA, J.J. V; TIBURAN, C. L Jr.; TSUTSUMIDA, N.; SAIZEN, I... Estimativa do estoque de carbono de bacias hidrográficas selecionadas em Laguna.Filipe .Usando InVEST.Filipe.J.Sci., v .150, p .501–513 ,2021.

EEA. 2013. “Common International Classification of Ecosystem Services (CICES).” Versão 5.1. Disponível em: <https://cices.eu/>. Acesso em 30 abril 2023.

FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas.

Estatísticas Municipais Paraenses: São Geraldo do Araguaia. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. 2022. Disponível em:

<https://www.fapespa.pa.gov.br/node/201>. Acesso em: 16 Jan 2023.

FARBER, S.; COSTANZA, R.; CHILDERS, D.L.; ERICKSON, J.; GROSS, K.; GROVE, M.; HOPKINSON, C.; JANSSON, A.M.; LOWRANCE, R.; MAASS, M.; OLANDER, L.; POFF, N.; POLASKY, S.; STEFFEN, W.; SWANSON, F.; WALKER, B.; WEBER, E.; AND WHITE, D. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, v. 41, p. 375–392. 2002. doi.org/10.1016/S09218009(02)00088-5.

FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. *Revista Espaço aberto*, v. 6, n. 1, 2016.

doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5243

FICHINO, S. B. Trade-off entre serviços ecossistêmicos de provisão, suporte e regulação em Floresta de Araucária. Dissertação (Mestrado). *Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos*. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, 2014.

GOLMOHAMMADI, G.; PRASHER, S.; MADANI, A.; RUDRA, R. Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. *Hydrology*, v. 1, p. 20-39. 2014. <https://doi.org/10.3390/hydrology1010020>

GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J.; A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* V. 41, p. 393–408. 2002. [doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)

GUO, N.; SHI, C.; YAN, M.; GAO, X.; WU, F. "Modeling agricultural water-saving compensation policy: An ABM approach and application", *Journal of Cleaner Production*, 344, p. 131035. 2022. [doi:10.1016/j.jclepro.2022.131035](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131035).

HAILS, R. S.; ORMEROD, S. J. Ecological science for ecosystem services and the stewardship of natural capital. *Journal of Applied Ecology*, v 50, p. 807-810, 2013. [doi.org/10.1111/1365-2664.12127](https://doi.org/10.1111/1365-2664.12127)

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. B. Common international classification of ecosystem services (CICES) V5.1: Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, UK: Fabis-Consulting Ltd. 2018.[HdA2] Disponível em: <https://www.zemeunvalsts.lv/documents/view/8b6dd7db9af49e67306feb59a8bdc52c/C> ommon%20International%20Classification%20of%20Ecosystem%20Services%20Guidance-V51-01012018.pdf. Acesso em: 20 jan 2023.

HAN, Y.; KANG, W.; SONG, Y. Mapeando e quantificando variações nos serviços ecossistêmicos de espaços verdes urbanos: um caso de teste de sequestro de carbono em escala distrital para Seul. Coreia (1975–2015). *Int. Rev. Spat. Planejamento Sustentar. Dev.*, v. 6, p. 110-120, 2018.

HAREGEWEYN, N. TESFAYE, S. TSUNEKAWA, A. TSUBO, M. MESHESHA, D. ADGO, E. ELIAS. A. Dynamics of land use and land cover and its effects on hydrologic responses: case study of the Gilgel Tekeze catchment in the highlands of Northern Ethiopia. *Environ. Monit. Assess.* v. 187, p. 4090. 2015. [doi.org/10.1007/s10661-0144090-1](https://doi.org/10.1007/s10661-0144090-1)

HASSAN, Z. SHABBIR, R. AHMAD, S.S. MALIK, A.H. AZIZ, N. BUTT, A. ERUM. S. Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan. *Springer Plus*, 5 (812), p. 11. 2016. [doi.org/10.1186/S40064-016-2414-Z/FIGURES/6](https://doi.org/10.1186/S40064-016-2414-Z/FIGURES/6).

Hassan, Z., Shabbir, R., Ahmad, S.S., Malik, A.H., Aziz, N., Butt, A., Erum, S. Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan. *SpringerPlus*, v. 5, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2414-z>

HASSAN, Z.; SHABBIR, R.; AHMAD, S. S.; MALIK, A. H.; AZIZ, N.; BUTT, A.; ERUM SUMMRA. Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan. *SPRINGERPLUS*, 5 (812), 1-14. 2016. DOI: 10.1186/s40064-016-2414-z.

HEWITT, A.; DOMINATI, E.; WEBB, T.; CUTHILL, T.; Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. *Geoderma* v. 241–242, p. 107–114. 2015. doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.014

HUI, H.; ZHANG, J.J; XU, Q.; LUO, G.F O impacto da mudança no uso da terra no sequestro ecológico de carbono da cidade mineira. *Legal. Tecnol. Prac. Recuperação de Terras Mineiras.*, v. 1, p. 6, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área territorial brasileira 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/sao-geraldo-do-araguaia.html>. Acesso em 16/01/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal: Produção agropecuária/Rebanho de Bovinos. IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/pa>. Acesso em 19/08/2023.

IPAM – INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. "IPAM Amazônia | Brasil Perdeu 10% Do Território Em Vegetação Nativa Entre 1985 E 2019". [Ipam.Org.Br](https://ipam.org.br), 2020, Disponível Em: <<https://ipam.org.br/brasil-perdeu-area-devegetacao-nativa-equivalente-a-10-do-territorio-nacional-entre-1985-e-2019/>> Acesso em 21Jan. 2023.

Joly, C. A., Scarano, F. R., Bustamante, M., Gadda, T. M. C., Metzger, J. P. W., Seixas, C. S., Ometto, J. P. H., Pires, A. P. F., Boesing, A. L., Sousa, F. D. R., Quintão, J. M. B., Gonçalves, L. R., Padgurschi, M. de C. G., Aquino, M. F. dos S. de, Castro, P. F. D. de, & Santos, I. L. dos. (2019). Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: summary for policy makers. *Biota Neotropica*, 19(4). <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0865>.

JOLY, C. A.; QUEIROZ, H. L. de. Pandemia, biodiversidade, mudanças globais e bemestar humano. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 34, n. 100, p. 67-82, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.006>.

KEPNER, W.G.; RAMSEY, M.M.; BROWN, E.S.; JARCHOW, M.E.; DICKINSON, K.J.; MARK, A.F.; Hydrologic futures: using scenario analysis to evaluate impacts of forecasted land use change on hydrologic services. *ESA J.* v. 3, p. 1–25. 2012. doi.org/10.1890/ES11-00367.1

KUMAR, S., ARYA, S. Técnicas de detecção de mudanças para análise de mudanças na cobertura da terra usando conjuntos de dados espaciais: uma revisão.

Sensoriamento Remoto Terra Syst Sci 4, 172–185 (2021).  
<https://doi.org/10.1007/s41976-021-00056-z>

KURNIAWAN, A.; KROL, B. G. C. M. B. Spatio temporal analysis of land use change for supporting landslide exposure assessment. *Indonesian Journal of Geography*, v. 46, n. 1, p. 104-124, 2014. DOI: 10.22146/ijg.7898.

LA NOTTE, A.; D'AMATO, D.; MÄKINEN, H.; PARACCHINI, M. L.; LIQUETE, C.; EGOH, B.; GENELETTI, D.; CROSSMAN, N. D. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*, v. 74, p. 392–402. 2017. [doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2016.11.030](https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2016.11.030)

LAHIJI, R. N; DINAN, N.M; LIAGHATI, H.; GHAFFARZADEH, H.; VAFAEINEJAD, A... Estimativa baseada em cenário de armazenamento de carbono de captação: vinculando a alocação de terra multiobjetivo com o modelo InVEST em uma paisagem mista de agricultura e floresta. *Frente.Ciências da Terra.*,v .14, p .637–646 ,2020.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPELERS, E. Dynamics of land use/cover change in tropical regions *Annu. Rev. Environ. Resour.* v. 28, p. 205-241. 2003. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>  
Acesso em: 19 Jan. 2023.

LAMBIN, E.F.; GEIST H.J. (Eds.), *Land Use and Land Cover Change: Local Processes and Global Impacts*, Springer-Verlag, Heidelberg. 2006.

LANDUYT, D.; BROEKX, S.; GOETHALS, P. Bayesian belief networks to analyse trade-offs among ecosystem services at the regional scale, *Ecological Indicators*, v. 71, p. 327-335. 2016. [doi:10.1016/j.ecolind.2016.07.015](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.015).

LANGHANS, K. E.; SCHMITT, R. J.; CHAPLIN-KRAMER, R.; ANDERSON, C. B.; BOLAÑOS, C. V.; CABEZAS, F. V.; DAILY, G. C. Modeling multiple ecosystem services and beneficiaries of riparian reforestation in Costa Rica. *Ecosystem Services*, v. 57, p. 101470. 2022. [doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101470](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101470).

LATERRA, P.; BARRAL, P.; CARMONA, A.; NAHUELHUAL, L. ECOSER: Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socioecológica para el ordenamiento territorial. 2015. Disponível em: <https://www.ecoser.com.ar/ecoser-documentos.php>. Acesso em: 20 jan. 2022.

LATERRA, P.; CASTELLARINI, F.; ORÚE, E.; ECOSER: Un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. In:

LATERRA, P.; JOBBÁGY, E.G.; PARUELO, J.M. (Org.) *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: INTA. p. 359-389. 2011. Disponível em: <https://www.ecoser.com.ar/ecoser-documentos.php>. Acesso: 20 Jan 2023.

LI, J., DONG, S., LI, Y., WANG, Y., LI, Z., & LI, F. Effects of land use change on ecosystem services in the China–Mongolia–Russia economic corridor. *Journal of Cleaner Production*, v. 360, p. 124153. 2022.

<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132175>

LI, Z. et al. Padrão espacial de sequestro de carbono e sustentabilidade urbana: análise do uso da terra e emissão de carbono em Guang'an. *Queixo. Sustentar.*, v. 9, p. 1951, 2017.

LIVE Carbon Prices Today. Carbon Credits. Disponível em:

<https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LU, Y.N.; YAO, S.; DING, Z.; DENG, Y.; HOU, M... Os gastos do governo com o projeto grão para verde ajudaram o aumento do sequestro de carbono florestal em Yunnan.China?.*Terra*,v .9, p .54 ,2020.

LÜKE, A.; HACK, J. Comparing the Applicability of Commonly Used Hydrological Ecosystem Services Models for Integrated Decision-Support. *Sustainability*. v.10, p.346. 2018. <https://doi.org/10.3390/su10020346>

LYU, R. et al. Modelagem dos efeitos da expansão urbana no armazenamento regional de carbono ao combinar o modelo SLEUTH-3r e o modelo InVEST. *Eco. Res.*, v. 34, p. 380-393, 2019.

MACIEL, M. A. Vista da Fragmentação à complexidade: os saberes tradicionais amazônicos e a relação ser humano - Natureza na Amazônia sob uma compreensão em Edgar Morin. *Revista Epistemologia*. v.3, n.3, 2022. Disponível em:

<https://epistemologia.com.br/academico/index.php/RevistaEpismologia/article/view/12>. Acesso em: 18 set. 2022.

MAITIMA, J.M.; MUGATHA, S.M.; REID, R.S.; GACHIMBI, L.N.; MAJULE, A.; LYARUU, H.; POMERY, D.; MATHAI, S.; MUGISHA S. The linkages between land use change, land degradation and biodiversity across East Africa. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* v. 3, p. 310-325. 2009.

MALLICK, J. Almesfer M. K. Alsubih M. Ahmed M. Kahla N. B. Estimating Carbon Stocks and Sequestration With Their Valuation Under a Changing Land Use Scenario: A Multi-Temporal Research in Abha City, Saudi Arabia. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 10, p. 905799, jun. 2022. Doi: 10.3389/fevo.2022.905799.

MALLICK, J.; ALMESFER, M.K.; ALSUBIH, M.; AHMED, M.; BEN KAHLA, N. Estimating Carbon Stocks and Sequestration With Their Valuation Under a Changing Land Use Scenario: A Multi-Temporal Research in Abha City, Saudi Arabia. *Front. Ecol. Evol.*, v. 2022, 03 jun. 2022. DOI: 10.3389/fevo.2022.905799.

MARTÍN-LÓPEZ, B.; INIESTA-ARANDIA, I.; GARCÍA-LLORENTE, M.; PALOMO, I.;

CASADO-ARZUAGA, I.; AMO, D. G. D.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.;  
OTEROSROZAS, E.; PALACIOS-AGUNDEZ, I.; WILLAARTS, B.; GONZÁLEZ, J. A.;  
SANTOSMARTÍN, F.; ONAINDIA, M.; LÓPEZ-SANTIAGO, C.; MONTES, C.

Uncovering

Ecosystem Service Bundles through Social Preferences. *Plos One*, v. 7, n. 6. 2012.  
doi.org/10.1371/journal.pone.0038970.t001.

MARTIN-ORTEGA, J.; OJEA, E.; ROUX, C.; Payments for water ecosystem services  
in Latin America: a literature review and conceptual model. *Ecosyst. Serv.* v. 6, p. 122–  
132. 2013. doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.008.

MASIERO, M., PETTENELLA, D., BOSCOLO, M., BARUA, S.K, ANIMON, I. &  
MATTA, J.R. Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and  
project developers. *Forestry Working Paper*. Rome, FAO. v. 11 p. 216. 2019.  
Disponível em: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA2886EN/>. Acesso em:  
22 Jan. 2023.

MCBRATNEY, A.B.; FIELD, D.J.; KOCH, A.; The dimensions of soil security.  
*Geoderma*. v. 213, p. 203–213. 2014. doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. Relatório-Síntese da avaliação  
ecossistêmica do milênio. 2005. Disponível em:  
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf>.  
Acesso em: 14/05/2022

MINALLAH, M. N.; GHAFAR, A.; RAFIQUE, M.; MOHSIN, M. Urban growth and  
socio-economic development in Gujranwala, Pakistan: a geographical analysis.  
*Pakistan Journal of Science*, v. 68, n. 1, p. 176-183, 2016. DOI:  
10.18687/PJS.2016.68.1.176.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente E dos  
Recursos Naturais Renováveis. Manual de valorização de serviços ecossistêmicos.  
Brasília, DF: MMA/IBAMA, 2013.

MOUCHET, M. A.; REGA, C.; LASSEUR, R.; GEORGES, D.; PARACCHINI, M-L.;  
RENAUD, J. S.; SCHULP, C. J. E.; VERBURG, P. J.; VERKERK, P. J.; LAVOREL, S.  
Ecosystem service supply by European landscapes under alternative land-use and  
environmental policies. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem  
Services Management*, v. 13, n. 1, p. 342-354. 2017. [HdA3]  
dx.doi.org/10.1080/21513732.2017.1381167.

MZAVA, P.; NOBERT, J.; VALIMBA, P. Land Cover Change Detection in the Urban  
Catchments of Dar es Salaam, Tanzania using Remote Sensing and GIS  
Techniques. *Tanzania Journal of Science*, v. 45, p. 315–329, 2019.

NEXTGIS. MOLUSCE-quick and Convenient Analysis of LandCoverChanges. 2017.  
Disponível em: <https://nextgis.com/blog/molusce/>. Acesso em: 03 maio 2023.

NOGUEIRA, C.; OSOEGAWA, D.; ALMEIDA, R. Políticas desenvolvimentistas na Amazônia: Análise do desmatamento nos últimos dez anos (2009-2018). *Revista Culturas Jurídicas*. v. 6. p. 145-169. 2019. doi.org/10.22409/rcj.v6i13.752

NOGUEIRA, N. O regime internacional das mudanças climáticas e a necessidade de maior proteção das áreas úmidas. In: Congresso Internacional de Direitos Humanos de Coimbra, v. 7, n. 1, 2022. Disponível em: <http://trabalhoscidhcoimbra.com/ojs/index.php/anaiscidhcoimbra/article/view/1234>. Acesso em: 21 Jan. 2023.

OLIVEIRA, A. P. A construção participativa do plano de uso público do setor 03 do Parque Estadual Serra das Andorinhas e da APA Araguaia, estado do Pará. Dissertação (Mestrado) INPA, Manaus, 2013. Disponível em: [https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/12863/1/tese\\_inpa.pdf](https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/12863/1/tese_inpa.pdf). Acesso em: 22 Jan. 2023.

PEREIRA, B. W. F. Análise da estrutura da paisagem da microbacia do rio Peixe-Boi, nordeste paraense, com base na fragmentação da vegetação arbórea. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém/PA, 2012.

PEREIRA, G. S. Resultados preliminares da aplicação do módulo SDR da ferramenta computacional InVEST para a determinação da estimativa de perda de solo na UGRHI 21–São Paulo. In: Anais ENEPE. Unoeste., p. 2618-2631. 2021. Disponível em: [https://www.unoeste.br/areas/eventos/content/documentos/eventosanais/688/geografia .pdf](https://www.unoeste.br/areas/eventos/content/documentos/eventosanais/688/geografia.pdf). Acesso: 22 Jan. 2023.

PEROVIĆ, V.; JAKŠIĆ, D.; JARAMAZ, D.; KOKOVIĆ, N.; ČAKMAK, D.; MITROVIĆ, M.; PAVLOVIĆ, P. Spatio-temporal analysis of land use/land cover change and its effects on soil erosion (Case study in the Oplenac wine-producing area, Serbia). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7025-4>.

PIMENTA, L., BELTRÃO, N., GEMAQUE, A., PONTES, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra em municípios prioritários: uma análise no município de Moju, Pará no período de 2008 a 2014. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, n.o 14. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. p. 267-281, 2018. dx.doi.org/10.17127/got/2018.14.011

PROJETO MAPBIOMAS. 7ª Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/produtos>. Acesso em: 06 nov. 2022.

QIU, J.; TURNER, M.G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed. *Pnas* v. 110. p.12149-12154. doi.org/10.1073/pnas.1310539110.[HdA4] 2013.

QUIJAS, S.; BOIT, A.; THONICKE, K.; MURRAY-TORTAROLO, G., MWAMPAMBA, T., SKUTSCH, M., SIMOES, M., ASCARRUNZ, N., PEÑA-CLAROS, M., JONES, L., ARETS, E., JARAMILLO, V. J., LAZOS, E., TOLEDO, M., MARTORANO, L. G., FERRAZ, R.; BALVANERA, P. Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamic vegetation model. *Ecosystems and People*, v. 15, n. 1, p. 42-60, 2019. <https://doi.org/10.1080/26395908.2018.1542413>

ROBINSON, D.A.; EMMETT, B.A.; REYNOLDS, B.; ROWE, E.C.; SPURGEON, D.; KEITH, A.M.; LEBRON, I.; HOCKLEY, N.; Soil natural capital and ecosystem service delivery in a world of global soil change. In: Hester, R.E.; Harrison, R.M. (Eds.), *Soils and Food Security. Issues in Environmental Science and Technology Series*, p. 41–6. 2012.

ROCHA, N. C. V. Avaliação do uso e cobertura do solo e fragmentação florestal utilizando dados do projeto terraclass no município de Prima Vera-PA em 2004 e 2014.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental e Manejo de Paisagem, Belém, 2017.

RODRIGUES, C. C. F.; PEZZI, L. P.; KAMPEL, M. Análise temporal da produtividade primária do bioma cerrado via sensoriamento remoto. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr2019/papers/analise-temporal-da-produtividade-primaria-do-bioma-cerrado-viasensoriamento-remoto?lang=pt-br>. Acesso em: 18 jan. 2023.

ROSAN, T. M.; ALCÂNTARA, E. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Matogrossense: o estudo de caso do município de Cláudia (MT). *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68 p. 979-990. 2016.

SAAD, S. I., MOTA DA SILVA, J., SILVA, M. L. N., GUIMARÃES, J. L. B., SOUSA JÚNIOR, W. C., FIGUEIREDO, R. DE O., & ROCHA, H. R. DA. Analyzing ecological restoration strategies for water and soil conservation. *PLOS ONE*, 13(2). 2018. doi:10.1371/journal.pone.0192325

SAMUEL, S. S; MAURÍCIO, F. M; ALEXANDER, W. P. R. Análise da dinâmica temporal da paisagem do município Amazônico de São Geraldo do Araguaia-PA, Brasil. In: Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, V. 11, N.1, p. 27-42, 2021. doi.org/10.36403/espacoaberto.2021.39541

SANTOS, E. J. Agronegócio, meio ambiente e desenvolvimento regional; perspectivas e contradições recentes da produção de grãos no Oeste baiano. Tese (Doutorado em Economia), Universidade Federal da Bahia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/36158/1/Tese%20%28Vers%c3%a3o%20Final%20%29-%20Edilene%20Santos.pdf> Acessado em: 20 jan. 2022.

SANTOS, G. R. D.; SILVA, R. P. D.; SANTANA, A. S. D. Agricultura na Amazônia: desflorestamento, escala e desafios à produção sustentável. IPEA, Brasília, p. 215250. 2022. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11408..> Acessado em 18 set 2022

SANTOS, T. L. Estoque de carbono no Solo em Área de Blowdown na Floresta Tropical Úmida da Amazônia Central. Dissertação (Mestrado) - INPA, Manaus, 2014. Disponível em: [https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/5140/1/Leandro\\_Santos.pdf](https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/5140/1/Leandro_Santos.pdf). Acesso em: 21 Jan 2022.

SAPUTRA, M.H.; LEE, H.S. Prediction of land use and land cover changes for North Sumatra, Indonesia, using an artificial-neural-network-based cellular automaton. Sustainability (Switzerland), v. 11, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11113024>.

SHARP, R.; TALLIS, H.T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A.D.; WOOD, S.A.; CHAPLINKRAMER, R.; NELSON, E.; ENNAANAY, D.; WOLNY, S.; OLWERO, N.; VIGERSTOL, K.; PENNINGTON, D.; MENDOZA, G.; AUKEMA, J.; FOSTER, J.; FORREST, J.; CAMERON, D.; ARKEMA, K.; LONSDORF, E.; KENNEDY, C.; VERUTES, G.; KIM, C.K.; GUANNEL, G.; PAPPENFUS, M.; TOFT, J.; MARSIK, M.; BERNHARDT, J.; GRIFFIN, R.; GLOWINSKI, K.; CHAUMONT, N.; PERELMAN, A.; LACAYO, M.; MANDLE, L.; HAMEL, P.; VOGL, A.L.; ROGERS, L.; BIERBOWER, W. InVEST 3.3.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy and World Wildlife Fund, Stanford. 2016.

SHARP, R.P.; DOUGLASS, J.; WOLNY, S.; ARKEMA, K.K.; BERNHARDT, J.; BIERBOWER, W.; CHAUMONT, N.; DENU, D.; FISHER, D.; GLOWINSKI, K.; JOHNSON, J.; HAMEL, P.; KENNEDY, C.; KIM, C.K.; LACAYO, M.; LONSDORF, E.; MANDLE, L.; ROGERS, L.; SILVER, J.; TOFT, J.; VERUTES, G.; VOGL, A.L.; WOOD, A.L.; WYATT, K. InVEST User's Guide. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, The Natural Capital Project. 2020.

SILVA, L.F. A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA): uma proposta metodológica. 2007. 214 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, R. O. A pesquisa científica e a gestão ambiental no Parque

Martírios/Andorinhas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 4, n. 2, p. 325-327. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1981-81222009000200009>

Silva, S. S., Mendes, M. F., & Ramos, A. W. P. Análise da Dinâmica Temporal da Paisagem do Município Amazônico de São Geraldo do Araguaia-PA, Brasil. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, V. 11, N.1, p. 27-42, 2021.

<https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2021.39541>

SINGH, P.; GUPTA, A.; SINGH, M. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, v. 17, p. 111–121, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.003>

SMITH, P., HABERL, H., POPP, A., ERB, K.-H., LAUK, C., HARPER, R., TUBIELLO, F.N., DE SIQUEIRA PINTO, A., JAFARI, M., SOHI, S., MASERA, O., BÖTTCHER, H., BERNDT, G., BUSTAMANTE, M., AHAMMAD, H., CLARK, H., DONG, H., ELSIDDIG, E.A., MBOW, C., RAVINDRANATH, N.H., RICE, C.W., ROBLEDOR ABAD, C., ROMANOVSKAYA, A., SPERLING, F., HERRERO, M., HOUSE, J.I. AND ROSE, S. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals?. Global Change Biology, v.19, p. 2285- 2302. 2013. <https://doi.org/10.1111/gcb.12160>.

SOUMIT K. B., SHRUTI M., NAYAN S., MANIKA, N., SHIV N. S., SONIK A., RAHUL K., RAGIB H., ANIL K. V., NALINI P. Assessment of carbon sequestration potential of tropical tree species for urban forestry in India, Ecological Engineering. v. 181. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106692>.

SOUZA, C.M.; JR.; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M.R.; PARENTE, L.L.; A. ALENCAR, A.; RUDORFF, B.F.T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; G. FERREIRA, L.; SOUZA-FILHO, P.W.M.; DE OLIVEIRA, S.W.; ROCHA, W.F.; FONSECA, A.V.; MARQUES, C.B.; DINIZ, C.G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E.R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E.J.; LENTI, F.E.B.; PATERNOST, F.F.; PAREYN, F.G.C.; SIQUEIRA, J.V.; VIERA, J.L.; NETO, L.C.F.; SARAIVA, M.M.; SALES, M.H.; SALGADO, M.P.G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V.V.; AZEVEDO, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. Remote Sens. v. 12, p. 2735. 2020. [doi.org/10.3390/rs12172735](https://doi.org/10.3390/rs12172735).

SOUZA, I.; SILVA, L.; SOARES, P. V.; TEIXEIRA, D.; MORAES, T.; GRILO, L. Análise da dinâmica do desmatamento da Amazônia legal com ênfase no estado do Pará. EnAmb. Universidade de São Paulo. v. 3. p. 8. 2019.

SPARKS. L. D. Environmental Soil Chemistry 2 ed. Chemistry of Soil Organic Matter. Academic Press.; p. 75-113, 2003. [doi.org/10.1016/B978-012656446-4/50003-7](https://doi.org/10.1016/B978-012656446-4/50003-7).

SPAWN, S. A.; GIBBS, H. K. Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. 2020. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1763>

SZABOLCS, I.; The concept of soil resilience. In: Greenland, D.; Szabolcs, I. (Eds.), Soil Resilience and Sustainable Land Use. CAB International, Wallingford, UK, p. 33– 39. 1994.

TALLIS, H.T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A.D.; WOOD, S.A.; SHARP, R.; NELSON, E.; ENNAANAY, D.; WOLNY, S.; OLWERO, N.; VIGERSTOL, K.; PENNINGTON, D.; MENDOZA, G.; AUKEMA, J.; FOSTER, J.; FORREST, J.; CAMERON, D.; ARKEMA, K.; LONSDORF, E.; KENNEDY, C.; VERUTES, G.; KIM, C.K.; GUANNEL, G.; PAPENFUS, M.; TOFT, J.; MARSIK, M.; BERNHARDT, J.; GRIFFIN, R.; GLOWINSKI, K.; CHAUMONT, N.; PERELMAN, A.; LACAYO, M. InVEST 2.5.6 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford. 2013.

TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Um guia rápido para os bens e os serviços ecossistêmicos e serviços de apoio. 2009. Disponível em: [www.teebweb.org](http://www.teebweb.org). Acesso em 18 set 2022.

TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. 2010. Disponível em [http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials\\_teeb/TEEB\\_SynthReport\\_English.pdf](http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials_teeb/TEEB_SynthReport_English.pdf). Acesso em: 22 Jan 2023.

TEKALIGN M.; FLASSE C.; FRANKL A.; VAN ROMPAEY A.; POESEN J.; NYSSSEN J.; MUYS B. Forest cover loss and recovery in an East African remnant forest area: understanding its context and drivers for conservation and sustainable ecosystem service provision. *Appl. Geogr.*; v. 98. p. 133-142, 2018. [doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.014](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.014).

TOLESSA, T.; SENBETA, F.; KIDANE, M. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem Service*, v. 23, p. 47-54, 2017. doi: 10.1016/j.ecoser.2016.11.010.

TORRES, P. C.; MORSELLO, C.; PARRY, L.; PARDINI, R. Who Cares about Forests and Why? Individual Values Attributed to Forests in a Post-Frontier Region in Amazonia. *Plos ONE*, v. 11, n. 12, p. 1–18, 2016. [doi.org/10.1371/journal.pone.0167691](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167691)

TSCHARNITKE, T.; KLEIN, A.M.; KRUESS, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; THIES, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity. *ecosystem service management*. *Ecol. Lett.* v. 8. p. 857-874. 2005. [doi.org/10.1111/j.14610248.2005.00782.x](https://doi.org/10.1111/j.14610248.2005.00782.x).

TYUKAVINA, A.; BACCINI, A.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; STEHMAN, S.;

HOUGHTON, R. A.; KRYLOV, A. M.; TURUBANOVA, S; GOETZ, S. J. Aboveground carbon loss in natural and managed tropical forests from 2000 to 2012. *Environmental Research Letters*, v. 10, n. 7, 2015.[HdA6] doi.org/10.1088/1748-9326/10/7/074002.

VIGLIZZO E. F.; FRANK F, BERNARDOS J, BUSCHIAZZO DE, CABO S. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 117, p. 109-134, 2006. doi.org/10.1007/s10661-006-7981-y.

VIGLIZZO, E.F.; PORDOMINGO, A.J.; CASTRO, M.G.; LERTORA F. A. Environmental assessment agriculture at a regional scale in the pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 87, p. 169-195, 2003. doi.org/10.1023/A:1024654316879.

WOLFF, C. B. Avaliação de serviços ecossistêmicos em paisagens agrícolas dos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS) com o protocolo ECOSER. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em ciências do solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/174090>. Acesso em: 22 Jan. 2023.

WU, J. Landscape Sustainability Science: Ecosystem Services and Human Well-Being in Changing Landscapes. *Landscape Ecology*, v. 28, p. 999-1023. 2013. doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9.

WWF – World Wide Fund Inc. Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland. 2020. Disponível em: [https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/279c656a32\\_ENGLISH\\_FULL.pdf](https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/279c656a32_ENGLISH_FULL.pdf). Acesso em: 22 Jan. 2023.

XU, J., CHEN, J., LIU, Y., & FAN, F. Identification of the geographical factors influencing the relationships between ecosystem services in the Belt and Road region from 2010 to 2030. *Journal of Cleaner Production*, v. 275. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124153>

YI, H.; GÜNERALP, B.; FILIPPI, A. M.; KREUTER, U. P.; GÜNERALP, İ. Impacts of land change on ecosystem services in the San Antonio River Basin, Texas, from 1984 to 2010. *Ecological Economics*, v. 135, p. 125-135, 2017. doi:10.1016/j.ecolecon.2016.11.019.

ZHANG, X.; SONG, W.; LANG, Y.; FENG, X.; YUAN, Q.; WANG, J. Mudanças no uso da terra na zona costeira da província chinesa de Hebei e os impactos correspondentes na qualidade do habitat. *Land Use Policy*, v. 99, p. 104957. 2020. Doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104957.cccct





Universidade do Estado do Pará  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia - CCNT  
Curso de Graduação em Engenharia Florestal  
Campus V – Belém  
Tv. Dr Enéas Pinheiro, 2626, Marco  
66095-015. Belém - PA [www.uepa.br](http://www.uepa.br)

