UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE TRÊS LAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM GEOGRAFIA

RENAN DE ALMEIDA SILVA

EXPANSÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA: ANÁLISE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE COLONIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS SOBRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CO_2 EM SINOP (MT) (1984-2022).

TRÊS LAGOAS/MS
2024

RENAN DE ALMEIDA SILVA

EXPANSÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA: ANÁLISE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE COLONIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS SOBRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CO2 EM SINOP (MT) (1984-2022).

Defesa de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação – Doutorado em Geografia CPTL/UFMS. Área de Concentração: Análise Geoambiental e Produção do Território, linha de pesquisa: Dinâmica Ambiental e Planejamento, em cumprimento aos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Geografia, sob orientação da Profª Drª Patricia Helena Mirandola Garcia e coorientação do Prof Dr Carlos Antonio da Silva Junior.

TRÊS LAGOAS/MS
2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

EXPANSÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA: ANÁLISE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE COLONIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS SOBRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CO2 EM SINOP (MT) (1984-2022).

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

_____

Profª. Drª. Patrícia Helena Mirandola Garcia.
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Três Lagoas, MS.
Orientadora (Presidente)

_____

Drº Adalto Moreira Braz.
Especialista em Geoprocessamento – Eldorado Brasil Celulose S.A, Três Lagoas, MS.

_____

Prof. Drº Alécio Perini Martins.
Universidade Federal de Goiás – UFG, Jataí, GO.

_____

Prof. Drº Ary Tavares Rezende Filho.
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande, MS.

_____

Prof. Drº Vitor Matheus Bacani.
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Três Lagoas, MS.

TRÊS LAGOAS/MS
2024

Dedico...

É com um imenso prazer que dedico esse trabalho a minha mulher Patrícia, a minha filha Teresa, que no atual momento está sendo gerado no forninho, aos meus pais, Ana e Silvio, minha irmã Vanessa, seu marido Robson e meus sobrinhos. Juntos, formamos uma família singular e grandiosa! Base para todos os momentos da vida!

AGRADECIMENTO

Em primeiro momento, quero agradecer a Deus pelo dom da vida e todos os meus guias espirituais por me conduzir e sempre me mostrar os melhores caminhos da minha existência. Em ti eu consagrei essa etapa tão dura e valiosa e, hoje, venho agradecer imensamente por essa conquista!

Aos meus pais, Ana e Silvio, que por meio dos seus ensinamentos, me mostraram o que é viver e, principalmente, os valores da vida, do respeito, do amor, da educação, enfim, sem vocês, eu não seria o homem que sou hoje. Nenhuma titulação se compara com a educação que vocês me passaram!

A minha irmã, Vanessa, pelo companheirismo e todos momentos vividos ao seu lado. As nossas conversas, união e incentivos sempre foram importantes para todas as minhas conquistas.

Ao meu eterno primo, Jhon “in memoria”, que sempre me apoiou e conselhou em todas as minhas decisões. Tenho saudades das nossas conversas sobre o futuro, profissões e afins. Hoje, tenho certeza que de onde você estiver, sempre estará torcendo por mim, como sempre torceu. Sinto sua falta!

A minha grande orientadora, Patrícia, que muitas vezes agia e age como uma segunda mãe. Serei eternamente grato por todos os ensinamentos, brigas, conversas, orientação e os bons direcionamentos dos caminhos dessa profissão que eu amo tanto. Obrigado por me criar academicamente em minha graduação e pós-graduação.

Ao meu coorientador, Carlos, que aceitou caminhar junto comigo dentro dessa jornada árdua, me mostrando um novo olhar no mundo das ciências ambientais e novas metodologias dentro do sensoriamento remoto. Sua contribuição foi muito necessária nesse processo.

A minha banca de avaliação, o Profº Drº Ary Tavares Rezende Filho, Profº Drº Alécio Perini Martins, Profº Drº Adalto Moreira Braz e Profº Drº Vitor Matheus Bacani, por todas as dicas e correções feitas em minha tese. As considerações de vocês foram de grande valia para o avanço desse trabalho.

A todos os professores do curso de graduação e pós-graduação em Geografia Licenciatura da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, campus de Três Lagoas. Muito obrigado por todos ensinamentos, conversas e orientações. Carrego um pouquinho de cada um dia após dia em minha caminhada profissional.

A todos meus amigos (as), que sempre torceram por minhas vitórias e sempre me apoiaram a conquistar várias outras etapas. Assim como minha família, vocês são outro pilar que sustentam a minha vida.

Aos meus companheiros e amigos (as) do laboratório de Geoprocessamento e Práticas de Ensino (LAPEGEO) e Geotecnologia Aplicada em Agricultura e Floresta (GAAF). Obrigado pelas conversas, pesquisas, risos, companheirismos e por sempre me ajudarem em todas as minhas dificuldades.

Aos meus alunos, amigos e companheiros de trabalho do curso de Licenciatura em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat) campus de Sinop-MT. Obrigado pelo apoio e aprendizado diário que tenho com vocês.

A minha mulher, Patrícia, grande parceira de vida que tem sido minha fonte constante de amor, apoio e inspiração. Durante todos os momentos de desafios e conquistas que esta jornada acadêmica me trouxe, você esteve ao meu lado, oferecendo seu encorajamento inabalável e sua compreensão sem limites. Obrigado por ser minha rocha, minha confidente e meu amor. Sem você, esta realização não teria sido possível. Te amo.

Por fim, a todos os programas sociais que financiaram os meus estudos, desde o ensino fundamental a pós graduação. Assim, agradeço ao, Bolsa Escola, Bolsa Família, Bolsa Permanência, Auxilio Alimentação, Iniciação Cientifica, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e Bolsa CAPES. Sem esses incentivos, hoje não estaria me tornando um professor com o título de doutor.

RESUMO

Entender as mudanças no uso da terra motivados por políticas públicas que fomentaram principalmente o desmatamento na Amazônia é essencial para compreender os desafios atuais de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Ao longo das décadas, o governo brasileiro implementou diversas políticas para promover o desenvolvimento econômico da região, incentivando a ocupação e a exploração dos recursos naturais. Desta forma, o município de Sinop, localizado no norte do Estado de Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil, foi uns dos territórios que foram palcos de grandes transformações devido ao referido contexto, causando grande prejuízos ambientais. Nesse contexto, se definiu como objetivos deste estudo (i) analisar a dinâmica de uso da terra no período 1984-2022 e aspectos sociais e econômicos destas mudanças, e (ii) relacionar as variações da temperatura de superfície com a dinâmica de uso da terra e avaliar a eficiência da captura de carbono e o potencial de prestação de serviços ambientais. Os resultados a partir dos métodos descritos sugerem que no período de avaliação, a área de estudo possuiu uma média de alterações no uso da terra de 25%, sendo a classe floresta com maior decréscimo (-47%) e a classe ações antrópicas com maior acréscimo (42%). Este espaço geográfico perdeu floresta Amazônica para a inserção de diversas atividades econômicas, o que diminuiu a absorção de CO2 e aumentou a média da temperatura da superfície.

Palavras Chaves: Serviços ecossistêmicos, fluxo de CO_2, Implicações socioambientais.

ABSTRACT

Understanding the changes in land use driven by public policies that have mainly encouraged deforestation in the Amazon is a key to grasp the current challenges of environmental preservation and sustainable development. Over the decades, the Brazilian government has implemented several policies to promote the economic development of the region, encouraging the occupation and exploitation of natural resources. Therefore, the municipality of Sinop, in the northern region of Mato Grosso state, in the Brazilian Midwest, was one of the territories that were the scene of major transformations due to such context, causing massive environmental damage. In this context, the objectives of this study were (i) to analyze the dynamics of land use in the period 1984-2022 and the social and economic aspects of these changes, and (ii) relate surface temperature variations to land use dynamics and evaluate the efficiency of carbon capture and the potential for providing environmental services. The results from the methods described suggest that over evaluation period, the study area had an average change in land use of 25%, with the forest class having the greatest decrease (-47%) and the anthropic actions class having the greatest increase (42%). This geographic area lost Amazon rainforest to the insertion of diverse economic activities, which reduced CO2 absorption and increased the average surface temperature.

Keywords: Ecosystem services, CO_2 flow, Socio-environmental implications.

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1. Mapa da localização geográfica de Sinop (MT). 25
Figura 2. Elementos constituintes dos paradigmas mecanicista e sistêmico. 29
Figura 3. O pensamento sistêmico em análises urbanas: uma perspectiva para o problema da segregação socioespacial nas cidades. 30
Figura 4. O sistema socioambiental urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. 33
Figura 5. Teoria geral do sistema: Histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. 34
Figura 6. Diagrama ilustrativo das diferentes categorias de serviços ecossitêmicos.57
Figura 7. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da metodologia.....80
Figura 8. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da aquisição de materiais de trabalho.....85
Figura 9. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da calibração radiométrica.....89
Figura 10. Ilustração simplificada do processo de classificação Random Forest.....92
Figura 11. Classes da cobertura e do uso da terra Níveis I e II.....93
Figura 12. Cores das classes de mapeamento em RGB.....94
Figura 13. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro do uso e cobertura da terra.....95
Figura 14. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro do fluxo de dióxido de carbono. 98
Figura 15. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da temperatura de superfície.....102
Figura 16. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro das análises estatísticas. 109
Figura 17. Mapa de Geologia de Sinop (MT). 115
Figura 18. Mapa de Geomorfologia de Sinop (MT). 119
Figura 19. Mapa de Declividade de Sinop (MT). 123
Figura 20. Mapa de Pedologia de Sinop (MT).....127
Figura 21. Climograma de Sinop (MT). 130
Figura 22. Dados climatológicos de Sinop (MT).....131
Figura 23. Mapa de hierarquia fluvial nas bacias hidrográficas em Sinop (MT). 134

Figura 24. Mapa de vegetação de Sinop (MT). 139
Figura 25. Mapa de aptidão agrícola de Sinop (MT). 142
Figura 26. Foto de um madeireiro em seu caminhão. 151
Figura 27. Foto da malha urbana de Sinop em 1979. 161
Figura 28. Foto da malha urbana de Sinop em 1992. 162
Figura 29. Foto da malha urbana de Sinop em 2002. 164
Figura 30. Foto da malha urbana de Sinop em 2010. 166
Figura 31. Foto da malha urbana de Sinop em 2020. 167
Figura 32. Foto da UHE de Sinop. 168
Figura 33. Alterações dos usos e cobertura da terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 170
Figura 34. Cartograma de uso e cobertura da terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 171
Figura 35. Cartograma de alterações no uso e cobertura da terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 172
Figura 36. Média anual de temperatura na superfície no município de Sinop (MT) em graus Celsius ºC**.**.....175
Figura 37. Temperatura da Superfície nas camadas de Uso e Cobertura da Terra de Sinop (MT) em 1984 a 2022.....178
Figura 38. Foto da malha urbana de Sinop em 2020. 178
Figura 39. Foto do rio Teles Pires em Sinop. 179
Figura 40. Foto da lavoura de milho em Sinop.....180
Figura 41. Foto de área de pastagem em Sinop. 180
Figura 42. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT).....183
Figura 43. Foto de lavoura temporária em desenvolvimento em Sinop (MT).....183
Figura 44. Foto de área sendo preparada para o cultivo em Sinop (MT).....184
Figura 45. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT).....190
Figura 46. Foto de área sendo preparada para o cultivo em Sinop (MT).....191
Figura 47. Cartograma da média anual da temperatura da superfície de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 192
Figura 48. Média anual de fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT) em µmol m-² s−¹. 196
Figura 49. Fluxo de dióxido de carbono nas camadas de Uso e Cobertura da Terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.....199

Figura 50. Foto da cidade de Sinop (MT). 200
Figura 51. Foto do lago da UHE Sinop (MT). 201
Figura 52. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT)..... 202
Figura 53. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT)..... 205
Figura 54. Foto de lavoura temporária em desenvolvimento em Sinop (MT). 205
Figura 55. Foto da cidade de Sinop (MT). 206
Figura 56. Foto do rio Teles Pires. 206
Figura 57. Foto de arvores mortas dentro do lago da UHE Sinop (MT). 211
Figura 58. Cartograma da média anual do fluxo de dióxido de carbono de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 212
Figura 59. Alteração da cobertura florestal de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 215
Figura 60. Alterações das lavouras temporárias de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 218
Figura 61. Cartograma de uso e cobertura da terra, fluxo de carbono e temperatura da superfície de Sinop (MT) nos anos de 1984, 2004 e 2022. 225
Figura 62. Cartograma de hotspot de fluxo de carbono e temperatura da superfície de Sinop (MT) nos anos de 1984, 2004 e 2022. 226

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1. Classes de uso e cobertura da terra no município de Sinop (MT) de 1984 a 2022. 169
Tabela 2. Classes de média anual de temperatura da superfície no município de Sinop (MT) em 1984, 1994, 2004, 2014 e 2022. 181
Tabela 3. Classes de média anual de fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT) em 1984, 1994, 2004, 2014 e 2022. 203

LISTA DE QUADROS:

Quadro 1. Artigos relacionados a Teoria Geral dos Sistemas. 30
Quadro 2. Componentes e estrutura sob a Perspectiva Sistêmica. 36
Quadro 3. Políticas públicas ambientais que protegeram a floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022. 39
Quadro 4. Políticas públicas que fomentaram a degradação ambiental na floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022.....43
Quadro 5. Estudos acadêmicos sobre a prestação de serviços ecossistêmicos. 48
Quadro 6. Funções, bens e serviços dos ecossistemas naturais e seminaturais. 58
Quadro 7. Pesquisas que utilizam o sensoriamento remoto na análise dos serviços ecossistêmicos. 68
Quadro 8. Pesquisas que utilizam Co_2Flux na análise ambiental. 72
Quadro 9. Pesquisas que utilizam técnicas de sensoriamento remoto na análise da temperatura da superfície.....76
Quadro 10. Bibliotecas digitais e seus endereços eletrônicos onde foram adquiridas as referências bibliográficas. 81
Quadro 11. Arquivos vetoriais adquiridos de bancos de dados das fontes diversas. 82
Quadro 12. Imagens de satélites Landsat 5 e 8 utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa. 83
Quadro 13. Chave de interpretação das classes de uso e cobertura da terra no município de Sinop (MT). 90
Quadro 14. Geologia de Sinop (MT). 114
Quadro 15. Geomorfologia de Sinop (MT). 118
Quadro 16. Declividade de Sinop (MT). 122
Quadro 17. Tipos de Solos de Sinop (MT) 126
Quadro 18. Características da hierarquia das bacias hidrográficas dentro de Sinop (MT). 133
Quadro 19. Cobertura vegetal de Sinop (MT). 138
Quadro 20. Aptidão agrícola de Sinop (MT). 141
Quadro 21. Média anual de temperatura na superfície dentro do município de Sinop (MT) em ºC entre 1984 a 2022. 174
Quadro 22. Média anual de fluxo de dióxido de carbono dentro do município de Sinop (MT) em µmol m-² s−¹entre 1984 a 2022.....195

Quadro 23. Disposição das áreas florestais de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 213
Quadro 24. Disposições das áreas de lavouras temporárias de Sinop (MT) entre 1984 a 2022. 217

LISTA DE SIGLAS:

ANA - Agência Nacional de Águas

BDG - Banco de Dados Geoambientais

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico

DPI - Divisão de Processamento de Imagens

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Agropecuária

GIS - Geographic Information System

GPS - Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEF - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

MEA - Millennium Ecosystem Assessment

MDE - Modelo Digital de Elevação

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PDI - Processamento Digital de Imagens

RADAM - Radar da Amazônia

SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TM - Thematic Mapper

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO.....5

RESUMO.....7

ABSTRACT 8

LISTA DE FIGURAS:.....9

LISTA DE TABELAS: 12

LISTA DE QUADROS: 13

LISTA DE SIGLAS: 15

1. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA A SER ABORDADO.....19

1.1. OBJETIVOS 26

1.1.1. Objetivo Geral.....26

1.1.2. Objetivos Específicos 26

2. REVISÃO DE LITERATURA 28

2.1 Teoria geral de sistemas aplicada para estudos sócioeconômicos e ambientais28

2.2 Legislações e Políticas Públicas para a Amazônia: Da Preservação à Sustentabilidade (1970 - Atual). 38

2.3 Serviços ecossistêmicos – Princípios a partir da concepção do conceito ao planejamento do território municipal.....48

2.3.1 Serviço ecossistêmico na função de regulação de fluxo de dióxido de carbono e temperatura da superfície.....63

2.4 Sensoriamento remoto na quantificação dos serviços ecossistêmicos na função de regulação.....66

3. METODOLOGIA.....79

3.1. Aquisição de materiais de trabalho.....81

3.2. Calibração radiométrica dos dados de satélite da área.....86

3.3. Uso e cobertura da Terra 90

3.4. Fluxo de dióxido de carbono. 96

3.5. Temperatura da superfície. 99

3.6. Análises estatísticas. 103

4. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL 111

4.1. Caracterização da Geologia em Sinop (MT). 111

4.2 Caracterização da Geomorfologia em Sinop (MT). 116

4.2.1 Caracterização da declividade em Sinop (MT). 120

4.3 Caracterização da Pedologia em Sinop (MT). 124

4.4 Caracterização do Clima em Sinop (MT) 128

4.5 Hidrografia em Sinop (MT). 131

4.6 Caracterização da Vegetação em Sinop (MT) 135

4.7 Caracterização da aptidão agrícola em Sinop (MT). 140

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES. 144

5.1 Avaliação temporal da classificação de uso e cobertura da terra no município de Sinop (MT) (1984-2022). 144

5.2. Análise da temperatura da superfície no município de Sinop (MT) nos anos de 1984 a 2022. 173

5.3 Análise dos dados de fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT) nos anos de 1984 a 2022. 193

5.4 Correlação entre uso e cobertura da terra, temperatura da Superfície e fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT). 213

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 228

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 237

8. APÊNDICES 276

[1]

INTRODUÇÃO

[1] Catedral Sagrado Coração de Jesus, Sinop (MT).
Fonte: CenárioMT.

1. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA A SER ABORDADO

A tese "Expansão agrícola na Amazônia: Análise das políticas públicas de colonização e seus impactos sobre a temperatura da superfície e fluxo de co_2 em Sinop (MT) (1984-2022)", parte de pesquisas (Apêndice I) que abordaram que as políticas de colonização e desenvolvimento implementadas a partir de 1970 no Brasil, estabeleceram um marco para a abertura de áreas no sul da Amazônia para a agricultura, pecuária e extração de madeira e, assim, trouxeram consigo um impacto ambiental devastador, com áreas extensivas de floresta sendo desmatadas para dar lugar a pastagens e plantações.

Em vista disso, a presente pesquisa pretende trazer essa discussão para o município de Sinop (MT), grande expoente da região norte mato-grossense e, além de abordar como as políticas públicas nacionais fomentaram as transformações socioeconômicas e ambientais ocorridas nesse território ao longo desse período, este trabalho visa analisar as alterações dos componentes naturais, classificando a cobertura da terra e avaliar as implicações ambientais dessas alterações, como o impacto nos serviços ecossistêmicos de regulação dos fluxos de dióxido de carbono local e no aumento da temperatura da superfície. Além disso, serão discutidos os fatores socioeconômicos que impulsionaram tais mudanças, relacionando o crescimento populacional e as pressões sobre os recursos naturais do município de Sinop (MT).

Pretende-se oferecer uma visão integrada da interação entre população, ambiente e uso da terra, considerando também as políticas de conservação implementadas na área ao longo dessas quatro décadas. Desta forma, a realização desta tese baseia-se em temas críticos que demandam transformações urgentes para enfrentar as injustiças ambientais, a desigualdade social e a exploração da natureza, assim como da própria humanidade, que têm sido tratadas como meros objetos de consumo e exploração (Ministério da Educação, 2007).

Diante disso, a Geografia desempenha um papel fundamental para este fim, proporcionando uma compreensão integrada dos processos naturais e das atividades antrópicas. Ao analisar a distribuição espacial dos fenômenos, essa ciência contribui com a identificar padrões e relações que são essenciais para a formulação de políticas de conservação e desenvolvimento sustentável. Portanto, um problema ambiental complexo como é o caso do desmatamento, pode ser abordado pela Geografia de

maneira abrangente, considerando fatores físicos, biológicos e socioeconômicos (Brown et al., 2019).

As alterações humanas nos diversos cenários terrestres em razão dos interesses econômicos, proporcionam influências negativas nos ecossistemas em que o constituem, logo, despontam consequências ambientais em elementos essenciais para a vida humana. A substituição das matas originárias pelo cultivo de monoculturas, são as principais causadoras de desmatamento, queimadas e a eutrofização de rios, lagos e lagoas, o que compromete os principais benefícios oferecidos pelos diversos ecossistemas para a humanidade e deturpa os constituintes ecossistêmicos existentes naquele espaço de vivência, especialmente em regiões endêmicas ou em Hot Spot[2] (Fearnside, 2000).

As modificações de forma imprópria no uso e cobertura da terra, principalmente na cobertura vegetal, modificam as trocas de fluxos de inúmeros elementos entre a atmosfera e a superfície da terra. Consequentemente, os ciclos biogeoquímicos (água, dióxido de carbono, nitrogênio e fósforo) e os fatores biofísicos (albedo, eficiência da evapotranspiração e rugosidade da superfície) são afetados de forma negativa e, os mesmos, são fatores responsáveis pela alteração dos serviços ecossistêmicos (Davin e Noblet-Ducoudré, 2010).

Assim, os serviços ecossistêmicos[3] são consequências de complexas inter-relações entre os elementos bióticos e abióticos existentes dentro de um ecossistema. São considerados como benefícios dessas complexas inter-relações a produção de alimentos, fibras e energia para o consumo humano, recreação, turismo, inspiração cultural e artística, provisão e qualidade da água, polinização, dentre outros (MEA, 2005). Daily (1997) corrobora informando que os serviços ecossistêmicos são considerados produtos do vínculo das condições, métodos e as espécies presentes em um ecossistema, garantindo e atendendo o bem estar da humanidade. Constanza et al. (1997) julgam a relação dos serviços ecossistêmicos com a provisão de capital humano e produzido, certificadores do bem estar social.

---

[2] Os HotSpot são regiões do globo com uma vasta biodiversidade, mas que foram arrasadas pela intervenção humana. "Hotspot é um conceito desenvolvido por um ecologista britânico em 1988. Ele buscou, com essa noção, identificar áreas que possuem grande potencial de diversidade biológica para o planeta e ligar a essas áreas aquelas que enfrentam um grande perigo de destruição (Ribeiro, 2022).

[3] Serviços ecossistêmicos são os benefícios que os seres humanos obtêm direta ou indiretamente da natureza. Eles são essenciais para o bem-estar humano e para a sustentabilidade das atividades econômicas e ambientais. https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/conservacao-1/servicos-ecossistemicos

A vista disso, é essencial a presença dos serviços ecossistêmicos para segurar a qualidade da vida humana e de todos os seres vivos presentes no planeta terra por meio de processos e fluxos de matérias ou energias produzidas pelos ecossistemas (Daily, 1997). Destarte, variados serviços ecossistêmicos são vistos como recursos universais, isto é, proveitos, insumos e voláteis partilhados pela humanidade (Ostrom, 1990).

Fearnside (2005) alerta que ainda existem grandes áreas que não foram modificadas pelo homem, entretanto, sofrem grande pressão do avanço recorrente dos interesses capitalista, principalmente no “arco do desmatamento”, região localizada nas áreas do norte, nordeste e centro-oeste do Brasil que está ligada a ascensão da fronteira agrícola frente as áreas ambientais da Amazônia Legal brasileira.

Posto isto, a extensão norte do Mato Grosso, região sul da floresta Amazônica e cenário do arco do desmatamento, têm sido marcadas por profundas explorações dos recursos naturais em consequências dos projetos de colonizações apoiadas pelas políticas de ocupação do governo federal iniciada no ano de 1970 (Silva; Souza e Ferreira, 2022). Assim sendo, essa região se tornou objeto de intensos debates e pesquisas acadêmicas (Borges de Lima, I. Buszynski, L. (2011), Soares-Filho, B. S., et al. (2014), Almeyda, A. M., et al. (2016), Fearnside, P. M. (2016), Ferreira, J., et al. (2020), Barretto, A. G. O., et al. (2013), Nepstad, D. C., et al. (2014), Michalski, F., et al. (2018), Santos, J. A., et al. (2021) e Gutiérrez, M. A., et al. (2017)), pois segundo Souza et al. (2020), as políticas de incentivo ao agronegócio e à exploração madeireira, associadas a uma fiscalização ambiental insuficiente, contribuíram de maneira substancial para a expansão das fronteiras agrícolas, resultando na degradação da floresta. Da mesma forma, Alves et al. (2019) apontam que mudanças na legislação fundiária e a regularização de terras facilitaram a conversão de florestas em áreas de pastagem e cultivo, exacerbando o desmatamento.

Além disso, Fearnside (2017) destaca que as políticas de infraestrutura, como a construção de estradas, têm intensificado o acesso a áreas anteriormente remotas, aumentando a pressão sobre os recursos florestais. Esses estudos (Apêndice I), mostram a complexa relação entre políticas públicas e o meio ambiente, evidenciando que, embora possam promover o desenvolvimento econômico, frequentemente resultam em impactos adversos significativos sobre a floresta amazônica.

Se feito de forma desordenada e sem planejamento, o crescimento econômico vertiginoso das cidades afeta negativamente a qualidade de vida da população e a biodiversidade existente nesse espaço geográfico, concebendo um desconforto urbano; logo as áreas urbanas e seus serviços ecossistêmicos ostentam um papel importante nessa conjuntura, propiciando aos cidadãos possibilidades de recreação e lazer (Munoz e Freitas, 2017).

Desta forma, Embrapa (2019) ressalta que para que se atinja a harmonia entre a produção dos municípios e a sua conservação ambiental, deve-se trabalhar em prol da multifuncionalidade das paisagens, tendo o uso adequado da terra um papel fundamental para trazer benefícios econômicos, ambientais e sociais. Nesse contexto, o uso e cobertura da terra, quando corretamente manejado, é responsável pela provisão de diversos serviços ecossistêmicos que vão além da provisão de alimentos, como o estoque de dióxido de carbono, regulação do ar, controle da erosão e a provisão e regulação da água, entre outros (Embrapa, 2019).

Dentro dessa realidade, encontra-se o município de Sinop (MT), local onde segundo Silva e Santos (2022), também está inserido no contexto da expansão da fronteira agrícola, incentivada por políticas de subsídios e crédito rural, um dos principais motores do desmatamento nessa região. O Apêndice II apresenta estudos recentes que analisam as causas e os impactos desse fenômeno, destacando a complexa interação entre as políticas públicas, a expansão agrícola e o desenvolvimento econômico desse território.

Oliveira e Costa (2021) observaram que as mudanças no uso da terra nesse município, impulsionadas pela demanda crescente por *commodities* agrícolas, têm levado à conversão de floresta em terras agrícolas, contribuindo para a perda de cobertura florestal. Assim sendo, o município de Sinop (MT) destacou-se economicamente nessa região devido ao seu desenvolvimento pautado no cultivo de agricultura temporária, oferta de serviços e, consequentemente, da expansão de sua área urbana, sendo por vezes considerada a capital da região norte do Mato Grosso (Silva; Souza e Ferreira, 2022).

O Sebrae (2018) destaca que a localização do município em relação a malha viária federal (Br-163) contribuiu massivamente para esta distinção, tornando Sinop (MT) um portfólio de investimento externo para produção agrícola e do setor terciário, apresentando um passo de desenvolvimento de 10% ao ano, números que têm

auxiliado na atração de novos investidores, consolidação do setor terciário e, assim, expansão do seu território urbano para chegada de novos trabalhadores.

O Apêndice III traz uma base teórica de artigos que tiveram como foco, pesquisar a importância econômica de Sinop (MT) e evidenciaram que esse município desempenha um papel estratégico tanto na economia estadual quanto nacional devido à sua forte vocação agropecuária. Os autores comentam que a agricultura altamente mecanizada e produtiva, faz com que a cidade se destaca como um dos principais polos de produção de grãos, como soja e milho, contribuindo significativamente para o agronegócio brasileiro. Além disso, os pesquisadores ressaltam que sua localização privilegiada no eixo da BR-163 facilita o escoamento da produção agrícola para os grandes centros de exportação, consolidando, assim, como um hub logístico para o agronegócio.

Por fim, é valido mencionar que todo esse dinamismo econômico também impulsiona outros setores, como a indústria de alimentos e a prestação de serviços, tornando a cidade um motor de desenvolvimento regional e um importante contribuinte para a balança comercial do país.

Logo, para o entendimento da realidade dos fenômenos naturais e antrópicos (e da relação destes), e para que haja uma integração nos estudos ambientais a fim de compreender de forma holística os processos que nos cercam, os municípios se tornam um campo de estudo apropriado, visto que possuem uma importância que reflete primeiramente na necessidade de organização territorial contra a exploração desordenada do meio ambiente, onde bem delimitada o planejamento urbano no espaço transparece de maneira mais evidente suas interações físicas de forma integrada, assim, facilitando a interpretação dos fenômenos de forma holística.

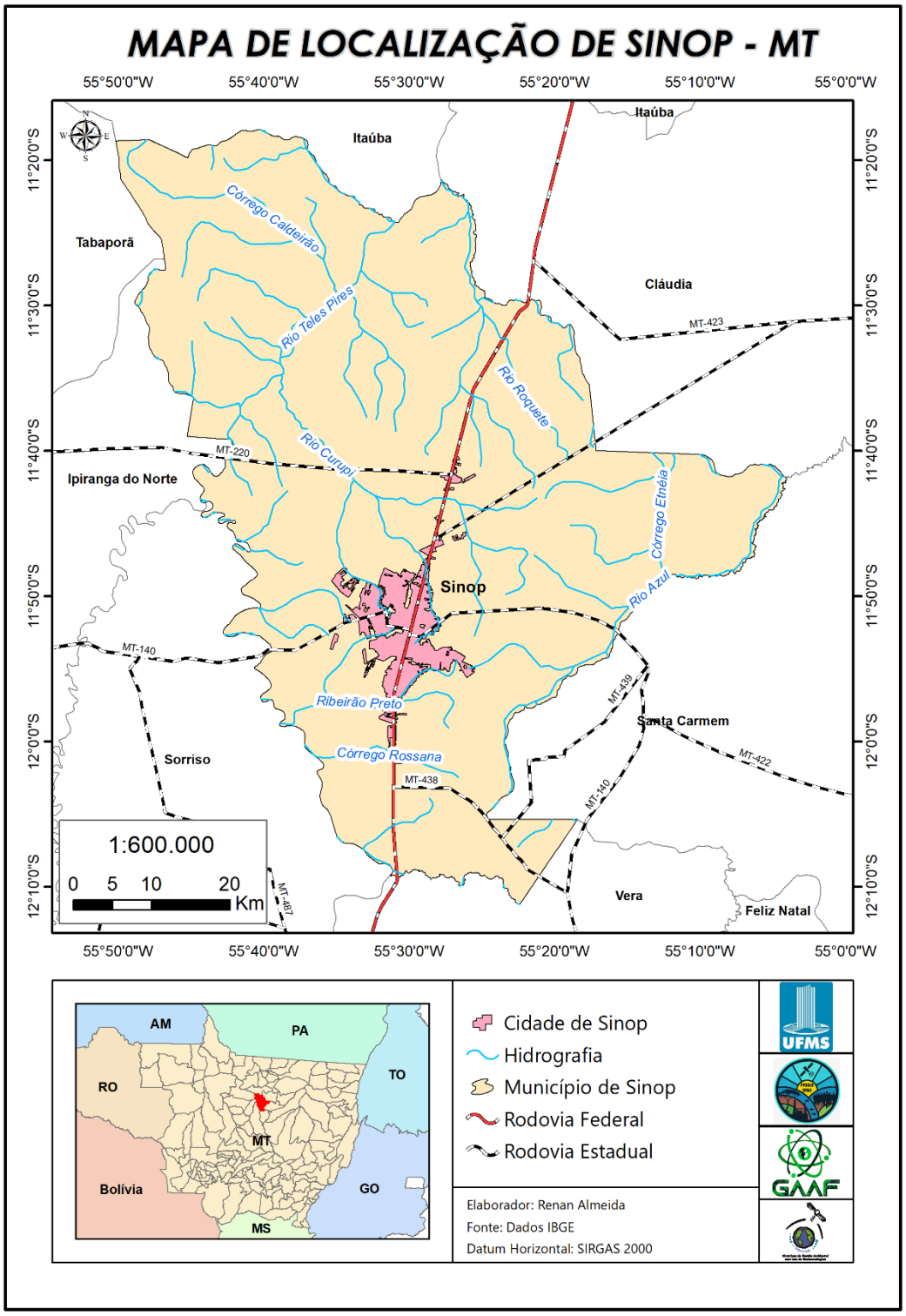
Deste modo, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de ir além de entender as políticas públicas e econômicas que fomentaram as alterações ambientais dentro de Sinop (MT), mas, sim, destacar entre eles, qual foi o período econômico em conjunto com as políticas públicas desde a década de 80 aos primeiros decênios de 2000, que mais contribuiu para a autoprogressão dos desmatamentos e das áreas plantadas das comodities (principalmente soja e milho) e, assim, realçar quais os impactos que essas ações causaram nesse espaço geográfico, como o aquecimento da superfície terrestre e a alteração do fluxo de dióxido de carbono devido a diminuição dos sumidouros de CO_2.

Considerando a função atribuída aos serviços ecossistêmicos, em regular elementos provenientes a qualidade da existência humana, a hipótese a ser trabalhada nessa tese é que as transformações no uso e cobertura da terra fomentados pelas políticas públicas de colonização da Amazônia, principalmente na série histórica no início dos anos 2000, motivou o salto dos desmatamentos e das áreas plantadas das comodities (principalmente soja e milho) dentro do município de Sinop (MT) e influenciou diretamente no aumento das médias anuais de temperatura da superfície e na redução dos fluxos de dióxido de carbono dentro desse município.

Portanto, a análise das mudanças no uso e cobertura da terra fomentados pelas políticas públicas de colonização da Amazônia, seus impactos na regulação dos serviços ecossistêmicos e temperatura da superfície, permitem estudar de forma sistêmica a dinâmica deste espaço geográfico, buscando entender as mudanças na estrutura e funcionamento dos ambientes, como resultado não só de fenômenos e processos naturais, mas da ação da sociedade humana, possibilitando prever uma possível evolução desses ambientes, promovendo auxilio técnico e material com vistas à utilização no planejamento ambiental, instigando ações para evitar ou mitigar essas mudanças.

A área de estudo (Figura 1) possui uma área de 399.033,87 hectares (ha), população estimada de 196.312 habitantes (estimativa IBGE Dezembro/2022) e está localizada na região Centro-Oeste do Brasil, no estado de Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas: 11°43'48.24" e 12° 1'44.24" de Latitude Sul e 55°22'10.77" e 55°38'8.40" de Longitude Oeste.

Figura 1. Mapa da localização geográfica de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra e suas influências sobre o potencial da paisagem para regulação de serviços ecossistêmicos no município de Sinop (MT).

1.1.2. Objetivos Específicos

Em termos específicos, podem ser alinhados os seguintes propósitos:

I. Investigar a dinâmica de uso e cobertura da terra no período de 1984 a 2022;

II. identificar os impactos do desmatamento e da urbanização nas variações térmicas superficiais;

III. Avaliar a eficiência dos ecossistemas locais na captura de dióxido de carbono.

[4]

REVISÃO DA LITERARTURA

[4] Parque florestal de Sinop (MT).
Fonte: Descubra Mato Grosso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Ao se orientar pela proposta da pesquisa apresentada, é necessário conceber e designar referenciais teóricos aptos a colaborarem na leitura de determinadas realidades ambientais existentes no município de Sinop (MT). De fato, o estudo proporcionará desafios, principalmente quando se trata em analisar as mudanças do uso e cobertura da terra e seus impactos no papel de regulação de serviços ecossistêmicos para fins de propor um modelo de organização do espaço geográfico a fim de consolidar os usos compatíveis com o potencial natural do território.

2.1 Teoria geral de sistemas aplicada para estudos sócioeconômicos e ambientais

O presente trabalho apoia-se no enfoque sistêmico, fundamentada por Ludwig Von Bertalanffy (1968), como referencial para a integração dos componentes geoambientais e socioeconômicos do município de Sinop (MT). Pois, acredita-se que a análise sendo pautado na perspectiva da abordagem sistêmica, a qual consiste no exame do ambiente de forma holística e integrada (Mirandola, 2006; Izippato, 2013), irá trazer uma compreensão mais plausível sobre as políticas públicas e os fatores econômicos de âmbitos nacionais que influenciaram nas alterações do uso e cobertura da terra no sul da Amazônia e impactaram os serviços ecossistêmicos de regulação e da temperatura da superfície na área de estudo em questão. Sendo assim, destaca-se o Brasil como sendo o sistema, na qual está inserida o sul da Amazônia (subsistema) e a parte componente, o município de Sinop (MT).

A Teoria Geral de Sistemas aplicada a estudos socioeconômicos e ambientais é uma teoria interdisciplinar que busca entender e analisar a sociedade e o meio ambiente como sistemas complexos. Esta teoria, desenvolvida inicialmente por Ludwig von Bertalanffy na década de 1936, foi inicialmente concebida como uma forma de unificar diferentes campos científicos.

Sua diferenciação entre outras teorias está associada em estudar o problema existente seja ele presente em qualquer área do conhecimento, pensando em seu todo e não de forma isolada e fragmentada (Figura 2).

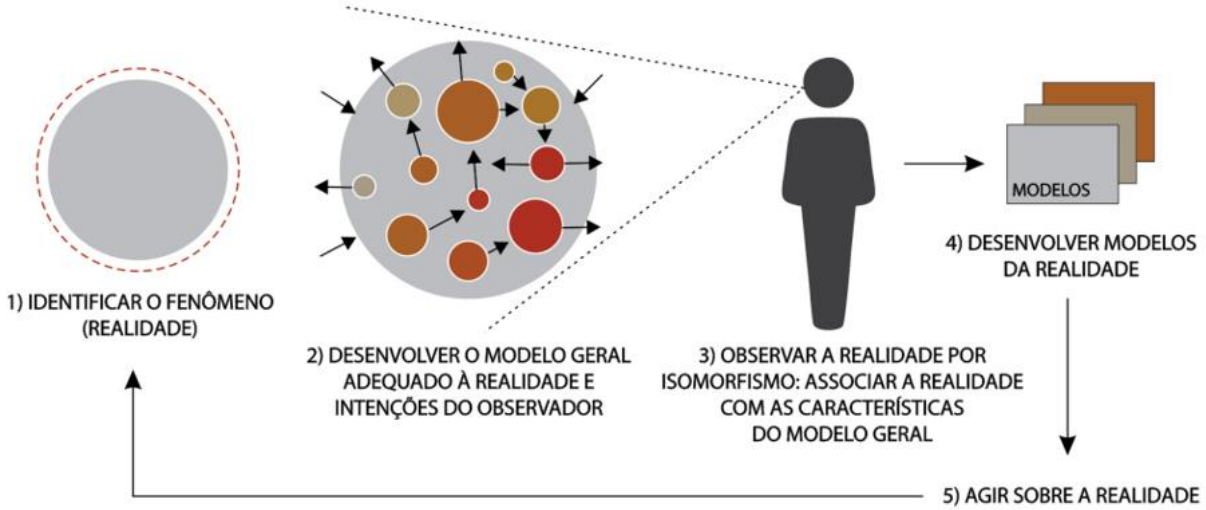
Figura 2. Elementos constituintes dos paradigmas mecanicista e sistêmico.

Fonte: Andrade (2006). Elaboração: Silva (2024).

O surgimento dessa forma de olhar e compreender os acontecimentos presentes no mundo, contribuiu para o favorecimento de uma apreciação integrada da natureza, determinando reflexões mais abarcantes e diferenciadas dos pensamentos reducionistas. Posto isto, é claro que a ideia de sistemas possui como alicerce a antinomia dos pensamentos praticados pela ciência clássica, ocorrendo assim uma revolução científica entre os grandes pensadores da época (Hammond, 2019).

Portanto, Bertalanffy (2008) assegura que a essência praticada pela TGS está direcionada na compreensão da organização das estruturas, relações internas e externas e as influências dos ambientes de todos os componentes envolvidos dos fenômenos que estão sendo estudados. A partir dessa visão de análise (Figura 3), pode-se afirmar que essa teoria estava capacitada a superar os problemas característicos das diferentes ciências e, assim, promover o isomorfismo entre elas, consentindo as suas aproximações e ocupando os vazios existentes entre as mesmas.

Figura 3. O pensamento sistêmico em análises urbanas: uma perspectiva para o problema da segregação socioespacial nas cidades.



Fonte: Naciff (2006).

A presente pesquisa está alicerçada em trabalhos publicados (Quadro 1) que buscaram entender toda essa trajetória e, principalmente, os impactos que essa nova forma de ver e estudar o mundo, arremeteu nas ciências e concordam que essa perspectiva sistêmica pode fornecer *insights* valiosos para a análise de interações humanas, redes sociais e processos coletivos, tornando-se uma ferramenta útil para o estudo das sociedades contemporâneas.

Quadro 1. Artigos relacionados a Teoria Geral dos Sistemas.

Pesquisa	**Descrição**	**Fonte**
System approaches of Weiss and Bertalanffy and their relevance for systems biology today.	o artigo enfatiza que as abordagens sistêmicas de Weiss e Bertalanffy são fundamentais para o entendimento contemporâneo de como os sistemas operam de maneira integrada e dinâmica, o que proporciona uma base teórica sólida e essencial para avanços em áreas como a biotecnologia e análise ambiental.	Drack, M & Wolkenhauer, O. Elsevier. DOI: 10.1016/j.semcancer.2011.05.001.
The legacy of Ludwig von Bertalanffy and its relevance for our time.	O artigo analisa a relevância da TGS para os desafios contemporâneos, como a globalização, as mudanças climáticas e a gestão sustentável de recursos, sugerindo que a abordagem sistêmica é essencial para entender e lidar com problemas complexos.	Hammond,D. Systems Research and Behavioral Science. DOI: https://doi.org/10.1002/sres.2598.

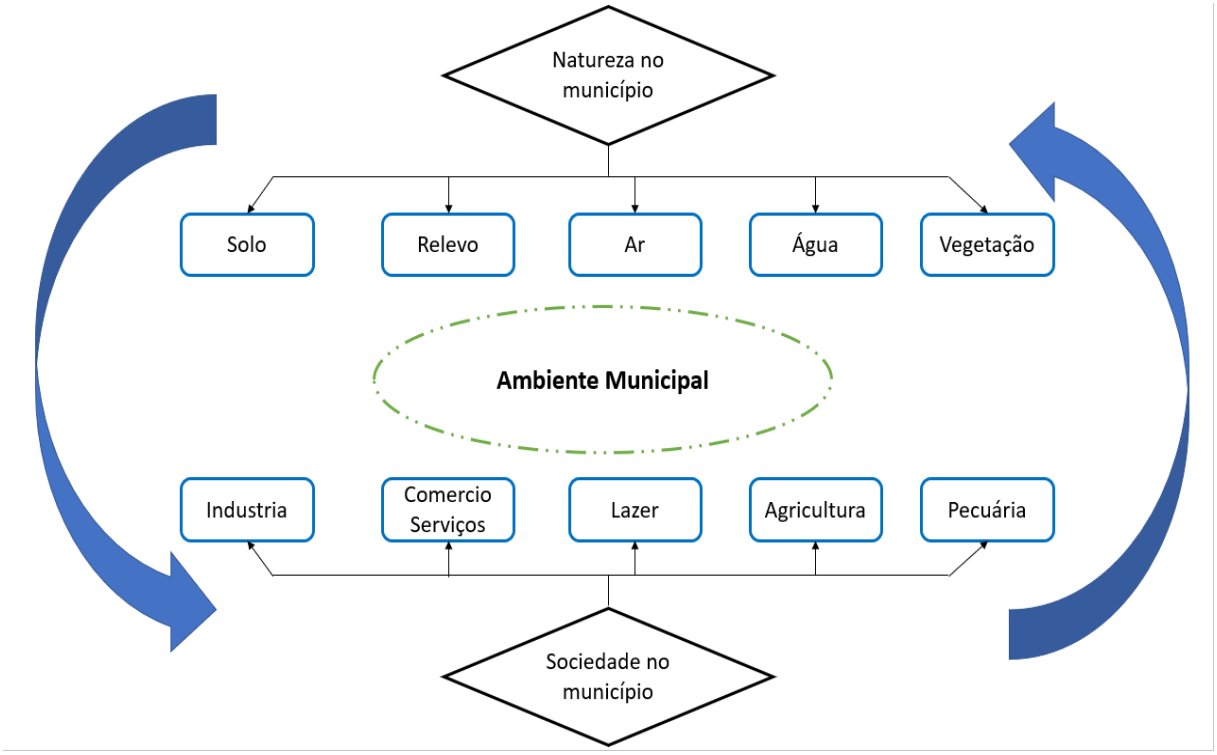
Pesquisa	Descrição	Fonte
Ludwig von Bertalanffy and his enduring relevance: Celebrating 50 years General System Theory.	O artigo discute o impacto da TGS em campos como a cibernética, ecologia, sociologia, psicologia, administração e ciências da computação, mostrando como a visão sistêmica de Bertalanffy ajudou a moldar o pensamento moderno sobre complexidade, organização e interdependência. Em especial, a Teoria Geral dos Sistemas proporcionou uma estrutura teórica que permitiu a integração do conhecimento entre disciplinas diversas, promovendo uma abordagem interdisciplinar para a solução de problemas.	Assche, K. Valentinov, V e Verschraegen, G. Systems Research and Behavioral Science. DOI: https://doi.org/10.1002/sres.2589.
The social, the ecological, and the adaptive. Von Bertalanffy's general systems theory and the adaptive governance of social-ecological systems.	O artigo conecta os insights de Bertalanffy com as práticas modernas de governança adaptativa, destacando como a Teoria Geral dos Sistemas pode ser aplicada para entender e enfrentar os desafios da sustentabilidade em sistemas socioecológicos complexos. A obra conclui que a abordagem sistêmica de Bertalanffy continua sendo uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão em um mundo em constante mudança.	Assche, K. Verschraegen, G. Valentinov, V e Gruezmacher, M. Systems Research and Behavioral Science. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/sres.2587
Social relations: Building on Ludwig von Bertalanffy.	O artigo destaca como a Teoria Geral dos Sistemas oferece uma abordagem rica para entender as complexidades das relações sociais. Ao aplicar os princípios da TGS às ciências sociais, o artigo demonstra como essa perspectiva sistêmica pode fornecer insights valiosos para a análise de interações humanas, redes sociais e processos coletivos, tornando-se uma ferramenta útil para o estudo das sociedades contemporâneas.	Hofkirchner, W. Systems Research and Behavioral Science. DOI: https://doi.org/10.1002/sres.2594
A forgotten message? von Bertalanffy's puzzle.	O artigo convida a uma redescoberta das ideias originais de Ludwig von Bertalanffy e à reavaliação de sua relevância para os desafios contemporâneos.	Zeeuw, G. Dijkum, C e Scott, V. Emerald Group Publishing Limited. DOI: https://doi.org/10.1108/03684920610653728.
Pesquisa	**Descrição**	**Fonte**

Self-Organization and Explanatory Pluralism: Avoiding the Snares of Reductionism in Developmental Science.	O artigo defende a importância de uma abordagem pluralista nas ciências do desenvolvimento, que reconheça a complexidade dos sistemas auto-organizados e evite as simplificações do reducionismo. O texto propõe que essa perspectiva pluralista é fundamental para alcançar uma compreensão mais rica e completa dos processos de desenvolvimento em sistemas vivos.	Witherington, D. Psychology Press. DOI: https://doi.org/10.1080/15427609.2014.874763
General principles of systems.	O artigo apresenta uma visão abrangente e unificada dos princípios que regem os sistemas em diferentes áreas do conhecimento. Ele destaca a importância de entender sistemas de forma integrada, levando em consideração suas interações internas e externas, processos de feedback e capacidade de adaptação, oferecendo uma base teórica sólida para a análise de sistemas complexos, tanto naturais quanto artificiais.	Korn, J. Emerald Publishing Limited. DOI: https://doi.org/10.1108/K-09-2017-0348
Recent developments in general system theory.	O artigo oferece uma visão abrangente dos avanços e inovações na TGS, destacando sua relevância contínua e adaptabilidade em um mundo complexo e interconectado. Através da interdisciplinaridade, novas tecnologias e conceitos emergentes, a TGS continua a ser uma ferramenta valiosa para a análise e compreensão de sistemas em diversas áreas do conhecimento.	Drack, M e Schwarz, G. Systems Research and Behavioral Science. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/sres.1013

Elaboração: Silva (2024).

Portanto, toma-se a teoria sistêmica como base para análise, interpretação e compreensão dos componentes existentes dentro da área de estudo desta tese, pois essa teoria colabora no desdobramento da pesquisa em um olhar sistêmico para fins de entender as variadas ligações complexas das partes integrantes existentes dentro do município e os impactos e conexões que esse território recebe de outros sistemas vigentes (Figura 4).

Figura 4. O sistema socioambiental urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade.



Fonte: Mendonça (2004). Elaboração: Silva (2024).

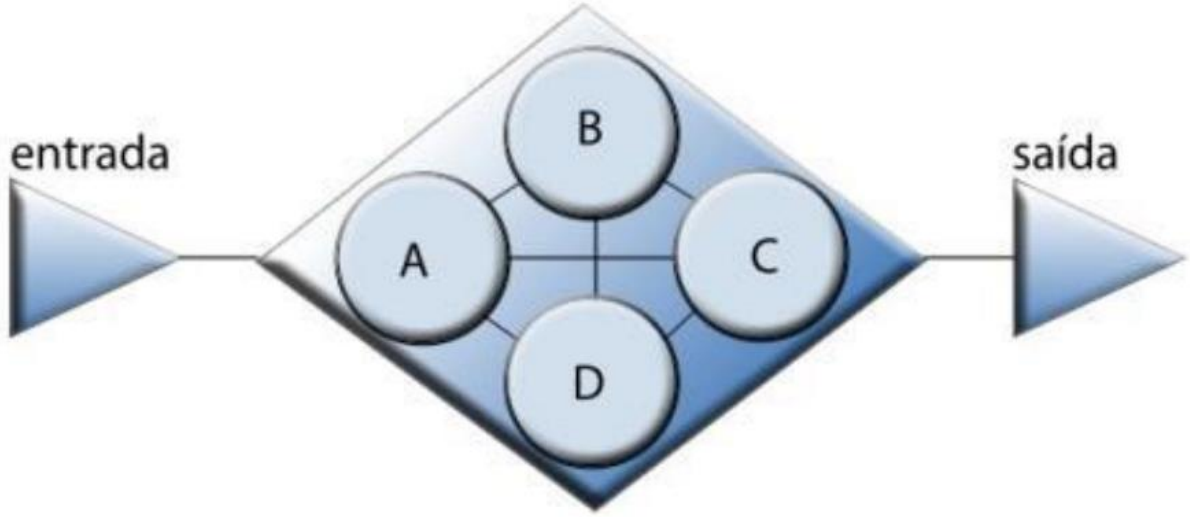
A partir dessa conjuntura, novas formas de pensar/entender os municípios e cidades passaram a serem praticados, pois os pensamentos clássicos não estavam sendo suficientes para explicar os entrelaces existentes nos centros urbanos que se encontravam em pleno desenvolvimento. Posteriormente, várias pesquisas foram realizadas nesse campo de estudo, o que confirmou a existência de diversas conexões complexas entre os inúmeros elementos que o compõem e as múltiplas influências dos integrantes presentes em outros sistemas interligados, assegurando o espaço geográfico dos municípios, um cenário ideal para a aplicação do pensamento sistêmico (Oliveira e Portela 2006).

Cada área possui as suas variáveis e interligações abstrusas que devem ser entendidas como um todo, nas áreas urbanas podemos observar as estruturas dos bairros e ruas, organização dos órgãos públicos e privados, ofertas de empregos e situações de moradia das pessoas que vivem nesse espaço, já na zona rural apreciamos a distribuição das produções agrícolas e pecuária, respeito da legislação ambiental e, também as situações dos moradores rurais que da mesma forma que as

pessoas que residem nas cidades, necessitam de uma estrutura adequada para obter um mínimo de qualidade de vida.

Beaujeu-Garnier (1980) corrobora com essa ideia afirmando que os municípios podem ser considerados um campo de estudo bem complexo, pois se trata de um elo presente dentro de uma corrente de sistemas com relações internas e externas. Essas relações interdependentes possuem como principais características de um sistema aberto (Figura 5) que permite a entrada (energia, matérias-primas e etc.) e saída (resíduos, produtos fabricados, dentro outros) de energia e a compreensão dessas trocas energéticas são prioritárias para o entendimento desse território como um todo.

Figura 5. Teoria geral do sistema: Histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem.



Fonte: Vale (2012).

Seguindo esse pensamento, é importante basear-se na primeira lei da termodinâmica que informa que toda energia não pode ser gerada, mas sim transformada, o que pode tornar os municípios insustentáveis, pois a energia de entrada nesse sistema como as matérias-primas, combustíveis fósseis, dentre outros, possui prazo de validade e, assim, tem como resultados resíduos que se mal remanejado, causam prejuízos humanos e ambientais (Vale, 2012). Vale (2012) ressalta também que outra informação importante que se pode observar é que esse sistema sempre estará designado a insustentabilidade, pois o mesmo não poderá ter um ciclo fechado, isso significa que esses territórios sempre estarão precisando de

novas energias de entrada, já que não conseguem se alimentar por grande tempo das energias transformadas em seu interior.

Esse complexo municipal está em pleno desenvolvimento e reconfigura suas estruturas a partir dos interesses econômicos e dos avanços tecnológicos que surtem influências internas e externas dentro desse sistema. Se todos esses avanços foram feitos de forma desordenada e não planejada, podem repercutir impactos negativos dessa má gestão como desconforto térmico para os moradores da cidade e, principalmente, prejuízos incalculáveis para a fauna e flora que estão inseridas dentro do meio ambiente em que o compõe e presentes nos sistemas aos arredores (Oliveira e Portela, 2006).

A partir disso, De Oliveira (1998) afirma os municípios como sendo palco das atuações humanas sobre esse espaço geográfico, onde os sinais da sua evolução (econômicos e sociais) são marcadas dentro e fora dos elementos presentes dentro desse território. As consequências desses avanços arremetem em novos artifícios e atividades que impactam de forma positiva e negativa tanto os cidadãos quanto os elementos ambientais, resultando em transformações dinâmicas e complexas que fazem esse sistema se auto estruturar e se organizar de acordo com as influências recebidas.

Deste modo, Oliveira e Portela (2006) asseguram que todas as interações dos componentes existentes dentro dos municípios são dinâmicas e suficiente para serem analisados dentro de uma visão sistêmica e, que esse olhar é o mais adequado para conseguir compreender todas as trocas de energia incessantes existentes com o meio e a distribuição com todos os segmentos para sustentar seu equilíbrio.

Entretanto, Neto e Leite (2010) observam que para a área de estudo ser considerado apto de ser analisada dentro da perspectiva sistêmica, algumas características devem ser analisadas para assim definir como um campo complexo com a presença de componentes conectados e estruturados como um sistema (Quadro 2).

Quadro 2. Componentes e estrutura sob a Perspectiva Sistêmica.

Conceito	Significado
Interação	Trata-se da ação recíproca que modifica o comportamento ou a natureza dos elementos componentes de um sistema. Pressupõe uma ação de via dupla, de troca entre elementos. Destacam-se as relações de causa-efeito; relação temporal de um evento para outro; relação de causa-efeito; relação temporal de um evento para outro; relação de retroação e interação indireta envolvendo dois ou mais elementos.
Totalidade	Pressupõe-se que um sistema não é igual a soma das suas partes, de forma cartesiana. O todo é mais complexo, pois apresenta qualidades que não existem, individualmente, nas partes. Pressupõem a noção de hierarquia nos sistemas, desde os mais simples aos mais complexos, conforme a diversidade dos elementos que o compõe.
Organização	Uma das principais categorias de análise dos sistemas pressupõe o arranjo de relações entre os componentes, produzindo nova unidade, possuidora de propriedades não contidas nos componentes. Implica os aspectos estruturais, representados por um organograma e aspecto funcional, que pode ser representado como um programa. A organização se caracteriza pelo seu grau de estabilidade.
Complexidade	Está diretamente ligada ao número de elementos e o número de tipos de relações que ligam, entre si, os elementos do sistema. Caracteriza a originalidade do sistema e mede a riqueza de informações nele contida. A complexidade não pode ser definida apenas pela quantidade de elementos componentes de um sistema.

Elaboração: Silva (2024). Fonte: Durand,1981.

Os autores destacam que o espaço geográfico precisa ser constituído por componentes variados que possuem usos e desempenhos diversos; o funcionamento desses elementos deve apresentar desenvolvimentos com características de progressão ou regressão de acordo com as suas influências ou feedbacks de informações de outros componentes e, por fim, toda a estrutura organizacional desse sistema devem possuir peças que possuem uma grande multiplicidade de interdependências.

Assim sendo, a partir dos componentes e estrutura sob a perspectiva sistêmica, podemos considerar que os municípios são sistemas complexos e eficientes que se interagem entre si e com os meios em que estão alocados através de trocas de informações e conexões mutáveis recorrentes das diferentes formas que se relacionam e os feedbacks que recebem. Todos esses complexos existentes dentro dos sistemas presentes nos municípios são resultados de uma interdependência entre outros sistemas, subsistemas e partes componentes, em outras palavras, dependente das interações entre as estruturas dos bairros e ruas, organização dos órgãos públicos e privados, ofertas de empregos e situações de moradia das pessoas que vivem dentro dos espaços urbanos e a distribuição das produções agrícolas e pecuária, respeito da legislação ambiental entre outros existentes dentro das zonas rurais. Além das sujeições entre as interações entre o sistema urbano e da zona rural que também acontecem dentro dos municípios.

Dessa forma, os estudos dos territórios municipais dentro do olhar sistêmico busca desenvolver análises abordando e entendendo todos os entrosamentos das partes componentes internas e externas dessa estrutura que estão em plena evolução e se auto regulando a partir do momento que surtem e recebem influências. Assim, é considerável as ponderações da Teoria Geral dos Sistemas em pesquisas que possuem um campo de estudo bem complexos igual aos municípios.

Sendo assim, destaca-se o estado de Mato Grosso como o sistema, na qual está inserida o subsistema definido como a microrregião de Sinop e a parte componente, o município de Sinop (MT). Nessa visão, Cazula (2012) destaca que as pesquisas rejeitam a perspectiva exclusivamente setorial que destaca cada elemento de forma isolada, seja a flora, a água, os minerais, seja o próprio ser humano, focando na análise integrada e nas relações orientadas pelos princípios. Importa ressaltar que,

segundo esse ponto de vista, qualquer mudança realizada no sistema e no subconjunto tem um impacto direto na parte constituinte.

2.2 Legislações e Políticas Públicas para a Amazônia: Da Preservação à Sustentabilidade (1970 - Atual).

O presente tópico aborda um contexto histórico dos principais incentivos fiscais, subsídios governamentais e as políticas públicas que incluem as legislações, subsídios e os programas ambientais que atuaram e atuam no Brasil e impactaram diretamente a região Sul amazônica, assim, o município de Sinop (MT), para fins de embasar teoricamente a discussão das alterações de uso e cobertura da terra que aconteceram dentro desse território entre os anos de 1970 até a atualidade.

A proteção da Floresta Amazônica tem sido um desafio contínuo desde o ano de 1970, período em que o Brasil começou a implementar políticas públicas visando a preservação deste bioma (Isa, 2020). As ações governamentais para a proteção da Floresta Amazônica evoluíram significativamente desde a sua implementação até o ano de 2024, refletindo uma complexa interação entre a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico, o que revela uma trajetória de discussões em relação as estruturas econômicas e políticas (MMA, 2014).

Entre 1970 e 2022, diversas políticas públicas foram implementadas com o objetivo de proteger a floresta amazônica, conforme apresentado no Quadro 6. Essas medidas, como a criação de áreas protegidas e o fortalecimento do controle ambiental, buscavam preservar os ecossistemas da Amazônia frente às crescentes ameaças de desmatamento e exploração. No entanto, a hipótese trabalhada nesta tese propõe que as transformações no uso e cobertura da terra fomentados pelas políticas públicas de colonização da Amazônia, principalmente na série histórica no início dos anos 2000, motivou o salto dos desmatamentos e das áreas plantadas das comodities (principalmente soja e milho) dentro do município de Sinop (MT) e influenciou diretamente no aumento das médias anuais de temperatura da superfície e na diminuição dos fluxos de dióxido de carbonos dentro desse território municipal.

O Quadro 3, elenca as principais políticas públicas, legislações, subsídios e programas ambientais que obtém como objetivo, a atenuação da proteção da floresta amazônica desde os anos de 1970 até o momento atual desta pesquisa.

Quadro 3. Políticas públicas ambientais que protegeram a floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022.

Políticas públicas	Descrição	Período de Atuação	Fonte
Código Florestal.	Estabelece normas para a proteção das florestas e áreas de preservação.	1965 – 2012.	BRASIL. Código Florestal. Lei nº 4.771/1965.
Projeto Radambrasil.	Mapeamento geológico e de recursos naturais da Amazônia.	1965 – 1975.	BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto Radambrasil: levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: MME, 1973-1983.
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).	Pesquisas científicas e conservação da biodiversidade da Amazônia.	1973 – Atualidade.	INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA). Relatório anual de atividades. Manaus: INPA, 2022.
Lei de Proteção da Fauna.	Define a proteção da fauna silvestre e suas áreas de habitat.	1981 – Atualidade.	BRASIL. Lei de Proteção da Fauna. Lei nº 5.197/1967.
Programa de Proteção das Florestas Tropicais (PPTFT).	Conservação das florestas tropicais, com foco na Amazônia.	1981 – 1990.	PROGRAMA DE PROTEÇÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS (PPTFT). Relatório de atividades. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2021.
Constituição Federal.	Inclui a proteção ambiental como um direito fundamental e responsabilidade do Estado.	1988 – Atualidade.	BRASIL. Constituição Federal. Emenda Constitucional nº 1, de 1988.
Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB).	Acordo internacional focado na conservação da biodiversidade, com impacto na Amazônia.	1992- Atualidade.	CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA (CDB). Convenção sobre Diversidade Biológica: texto consolidado. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.
Lei da Política Nacional do Meio Ambiente.	Cria a Política Nacional do Meio Ambiente e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação.	1992 – Atualidade.	BRASIL. Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.938/1981.
Lei de Crimes Ambientais.	Define crimes contra o meio ambiente e suas sanções.	1998 – Atualidade.	BRASIL. Lei de Crimes Ambientais. Lei nº 9.605/1998.
Lei de Unidades de Conservação.	Regulamenta a criação e gestão das unidades de conservação.	2000 – Atualidade.	BRASIL. Lei de Unidades de Conservação. Lei nº 9.985/2000.

Políticas públicas	Descrição	Período de Atuação	Fonte
Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM).	Programa federal com ações para reduzir o desmatamento e proteger a Amazônia.	2004 – 2008.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM) – Fase 3. Brasília: MMA, 2013.
Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/12).	Regulamenta o uso da terra e proteção de áreas de vegetação nativa.	2004 – Atualidade.	BRASIL. Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Lei nº 12.651/2012.
Criação da Reserva Extrativista (RESEX) do Rio Juruá.	Área protegida para preservar o modo de vida dos extrativistas e a biodiversidade.	2005 – Atualidade.	BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Reserva Extrativista do Rio Juruá: plano de manejo. Brasília: ICMBio, 2015.
Lei de Acesso à Biodiversidade.	Regula o acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado.	2006 – Atualidade.	BRASIL. Lei de Acesso à Biodiversidade. Lei nº 13.123/2015.
Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA).	Expansão das áreas protegidas para conservação da biodiversidade.	2007 – Atualidade.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA): relatório de atividades 2020. Brasília: MMA, 2021.
Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal II (PPCDAM II).	Atualização do PPCDAM com novas estratégias e metas para proteção.	2008 – 2011.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal II (PPCDAM II). Brasília: MMA, 2009.
Criação do Fundo Amazônia.	Fundo para financiar projetos de conservação e combate ao desmatamento na Amazônia.	2010 – Atualidade.	BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Fundo Amazônia: relatório de atividades 2020. Rio de Janeiro: BNDES, 2021.
Políticas públicas	**Descrição**	**Período de Atuação**	**Fonte**

Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal 2011-2020 (PPCDAM III).	Continuação das políticas de combate ao desmatamento com novos objetivos e abordagens.	2011 – 2020.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal 2011-2020 (PPCDAM III). Brasília: MMA, 2013.
Código Florestal.	Atualiza as regras do Código Florestal, incluindo aspectos da proteção da Amazônia.	2012 – Atualidade.	BRASIL. Novo Código Florestal. Lei nº 12.651/2012.
Criação do Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia (SUCAM).	Expansão das áreas protegidas na Amazônia para aumentar a proteção ambiental.	2014 – Atualidade.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia (SUCAM): relatório de criação. Brasília: MMA, 2004.
Lei de Proteção à Vegetação Nativa.	Define a proteção de vegetação nativa em áreas de reserva legal e áreas de proteção permanente.	2014 – Atualidade.	BRASIL. Lei de Proteção à Vegetação Nativa. Lei nº 12.727/2012.
Programa de Regularização Ambiental (PRA).	Programa para regularizar áreas de reserva legal e proteção permanente.	2016 – Atualidade.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Regularização Ambiental (PRA): diretrizes e procedimentos. Brasília: MMA, 2019.
Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS).	Incentivo ao desenvolvimento sustentável em áreas da Amazônia.	2017 – Atualidade.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS): diretrizes e implementação. Brasília: MMA, 2017.
Alterações na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/12).	Modificações controversas que facilitaram a conversão de terras em áreas de preservação.	2019 – Atualidade.	BRASIL. Alterações na Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Lei nº 12.651/2012.
Decreto de Regularização Ambiental.	Regulamenta o processo de regularização ambiental e a atuação de atividades sustentáveis na Amazônia.	2020 – Atualidade.	BRASIL. Decreto de Regularização Ambiental. Decreto nº 10.333/2020.
Políticas públicas	**Descrição**	**Período de Atuação**	**Fonte**

Lei da Proteção e Conservação da Amazônia (LPCA).	Lei recente para fortalecer as políticas de proteção e conservação da Amazônia.	2021 – Atualidade.	BRASIL. Lei da Proteção e Conservação da Amazônia. Lei nº 14.119/2021.
Plano de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (PDSA).	Lançado para promover o desenvolvimento sustentável com foco na conservação ambiental.	2021 – Atualidade.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (PDSA): diretrizes e estratégias. Brasília: MMA, 2010.

Elaboração: Silva (2024).

Para conhecer mais sobre a descrição de cada política pública ambiental e seus impactos na região sul amazônica, o Apêndice IV traz um compêndio das políticas públicas ambientais que protegeram a floresta amazônica entre os anos de 1970 até a atualidade.

No contexto dos incentivos fiscais, como isenções de impostos e subsídios à produção agropecuária, têm incentivado o uso intensivo da terra, muitas vezes à custa da derrubada de vastas áreas de floresta. O financiamento de projetos agrícolas e pecuários na região, que frequentemente inclui benefícios como empréstimos subsidiados e incentivos à exportação, tem promovido a conversão de áreas de floresta em pastagens e áreas de cultivo. Além disso, subsídios destinados a infraestruturas, como estradas e hidrelétricas, têm facilitado o acesso e a exploração de áreas anteriormente remotas e preservadas (Lima et al., 2016).

Estudos indicam que as políticas de incentivos fiscais e subsídios têm contribuído significativamente para o desmatamento. Por exemplo, o trabalho de Assunção et al. (2015) evidenciam que o aumento dos subsídios agrícolas está correlacionado com o aumento das taxas de desmatamento na Amazônia. Além disso, a pesquisa de Nepstad et al. (2014) sugere que a expansão de infraestrutura e a concessão de créditos agrícolas desempenham um papel central na degradação da floresta. Essas políticas, em combinação com a falta de fiscalização e controle adequados, criam um ambiente propício para a expansão agrícola predatória.

Além dos incentivos fiscais, os subsídios também desempenham um papel crucial. Subsídios diretos para a produção agropecuária e para o desenvolvimento de infraestrutura, como estradas e portos, têm facilitado o acesso a áreas remotas da floresta, permitindo a expansão da atividade agrícola e pecuária em regiões

anteriormente inacessíveis (Soares-Filho et al., 2010). Esse apoio financeiro reduz o custo de exploração das terras e aumenta a atratividade econômica da conversão da floresta, acelerando o processo de desmatamento (Nepstad, D., McGrath, D., & S. S. (2009).

A interação entre políticas de incentivo fiscal e subsídios tem contribuído para um ciclo vicioso de desmatamento e degradação ambiental. Estudos indicam que a expansão da agricultura e da pecuária, fomentada por essas políticas, é um dos principais motores do desmatamento na Amazônia, com implicações significativas para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos da região (Fearnside, 2005).

Os incentivos fiscais e subsídios desempenharam um papel significativo no processo de desmatamento da Amazônia, especialmente durante as décadas de 1970 a 2000. O impacto dessas políticas foi variado, e seu estudo é crucial para entender as causas subjacentes da degradação ambiental na região.

O quadro abaixo elenca as principais políticas públicas (incentivos fiscais e subsídios) que fomentaram a degradação na floresta amazônica desde os anos de 1970 até os momentos atuais.

Quadro 4. Políticas públicas que fomentaram a degradação ambiental na floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022.

Políticas Públicas	**Descrição**	**Período de Atuação**	**Impactos na região sul amazônica**	**Referências Bibliográficas**
Política de Integração Nacional (PIN).	Incentivos a colonização da Amazônia e a construção de infraestrutura para desenvolver a região.	1970-1980.	A construção de estradas, como a Rodovia Transamazônica, e a promoção de projetos de colonização incentivaram a entrada de produtores rurais na região amazônica, resultando na conversão de vastas áreas de floresta em terras agrícolas e pastagens	BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Política de Integração Nacional (PIN): diretrizes e objetivos. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2015.
Políticas Públicas	**Descrição**	**Período de Atuação**	**Impactos na região sul amazônica**	**Referências Bibliográficas**

Programas de Colonização Agrícola.	Incentivos para a colonização e ocupação de terras na Amazônia, como o Projeto de Assentamento Dirigido.	1970-1980.	Incentivou a imigração e a instalação de agricultores em áreas até então pouco exploradas, oferecendo subsídios, créditos e benefícios para estimular a produção agrícola e o crescimento econômico na região	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programas de Colonização Agrícola: diretrizes e implementação. Brasília: MAPA, 2010.
Programa de Incentivo ao Crescimento da Agropecuária (PICAP).	Subsídios e benefícios fiscais para atividades agropecuárias na Amazônia.	1970-1980.	Incentivou a ocupação da Amazônia por meio de grandes projetos de colonização e infraestrutura o que facilitou o acesso a áreas remotas e levou à expansão da fronteira agrícola, resultando em uma intensa derrubada de florestas.	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa de Incentivo ao Crescimento da Agropecuária (PICAP): diretrizes e objetivos. Brasília: MAPA, 2015.
Programa de Crédito Rural.	Crédito subsidiado para agricultores na Amazônia, incentivando o cultivo agrícola.	1970-1980.	Incentivou a expansão da fronteira agrícola, levando à conversão de vastas áreas de floresta amazônica em pastagens e lavouras.	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa de Crédito Rural: diretrizes e procedimentos. Brasília: MAPA, 2020.
Lei do Incentivo à Agricultura (Lei nº 5.848/1972).	Isenção de impostos e outros benefícios fiscais para o setor agrícola na Amazônia.	1972-1980.	Trouxe implicações ambientais significativas, particularmente no que diz respeito ao desmatamento da Amazônia, onde os incentivos proporcionados resultaram em um aumento substancial na conversão de áreas de floresta tropical em terras agrícolas e pastagens	BRASIL. Lei do Incentivo à Agricultura. Lei nº 5.848/1972.
Políticas Públicas	**Descrição**	**Período de Atuação**	**Impactos na região sul amazônica**	**Referências Bibliográficas**

Incentivos à Colonização da Amazônia.	Benefícios fiscais e crédito para projetos de colonização e ocupação de terras.	1970-1980.	Expansão massiva da fronteira agrícola, levando à conversão de grandes áreas de floresta em terras agrícolas e pastagens	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Incentivos à Colonização da Amazônia: diretrizes e objetivos. Brasília: MAPA, 2010.
Programa de Desenvolvimento da Amazônia (PDA).	Programa que visava promover o desenvolvimento agrícola e industrial na região amazônica.	1970-1980.	Levou à abertura de novas áreas para cultivo e pastagem, facilitada pela construção de estradas, onde esses projetos foram acompanhados de incentivos para a ocupação e exploração de terras, resultando em um aumento significativo da fronteira agrícola na Amazônia.	BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Programa de Desenvolvimento da Amazônia (PDA): diretrizes e ações. Brasília: MDR, 2018.
Lei da Terra (Lei nº 6.383/1976).	Incentivava a ocupação de terras públicas na Amazônia.	1976-1988.	Gerou consequências ambientais adversas significativas, especialmente no que se refere ao desmatamento da Amazônia, pois incluiu a aceleração do desmatamento e a conversão de vastas áreas de floresta em terras agrícolas e pastagens.	BRASIL. Lei do Terra. Lei nº 6.383/1976.
Incentivos Fiscais ao Setor Agropecuário.	Benefícios fiscais para a expansão de pastagens e agricultura na Amazônia.	1980-1990.	Incentivou a expansão das fronteiras agrícolas e pecuárias para áreas anteriormente cobertas por florestas tropicais, resultando na conversão de grandes extensões de floresta amazônica em pastagens e áreas de cultivo e acelerando o ritmo do desmatamento	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Incentivos Fiscais ao Setor Agropecuário: diretrizes e medidas. Brasília: MAPA, 2015.

Políticas Públicas	Descrição	Período de Atuação	Impactos na região sul amazônica	Referências Bibliográficas
Financiamento de Projetos Agropecuários.	Empréstimos subsidiados para expansão de atividades agropecuárias e agrícolas na região.	1990-2010.	Incentivou a expansão da fronteira agrícola na Amazônia, uma vez que com o acesso mais fácil a recursos financeiros, produtores rurais foram estimulados a desmatar áreas de floresta para criar novas áreas de cultivo e pastagem.	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Financiamento de Projetos Agropecuários: diretrizes e procedimentos. Brasília: MAPA, 2020.
Subvenção para Infraestrutura.	Subvenções para construção de estradas e infraestrutura, que facilitaram o acesso em novas áreas.	2000-2015.	Facilitou o acesso a áreas previamente inexploradas, o que muitas vezes leva à expansão da fronteira agrícola e pecuária.	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Subvenção para Infraestrutura: diretrizes e critérios. Brasília: MAPA, 2021.
Incentivos para Extração Mineral.	Subsídios e incentivos para a exploração de recursos minerais.	2000-2022.	A construção de infraestruturas para mineração, como estradas e acessos aos locais de extração, frequentemente leva ao desmatamento de grandes áreas de floresta para permitir o acesso e a operação das minas.	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Incentivos para Extração Mineral: diretrizes e procedimentos. Brasília: MME, 2020.
Revisão das Políticas Ambientais e Redução da Fiscalização.	Redução da fiscalização ambiental e enfraquecimento das políticas de proteção ambiental.	2016-2018.	Com a diminuição das restrições legais e regulatórias, atividades como a agricultura extensiva, a pecuária e a mineração têm se expandido, contribuindo para o aumento do desmatamento.	BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Revisão das Políticas Ambientais e Redução da Fiscalização: diretrizes e análises. Brasília: MMA, 2021.
Política de Desenvolvimento Agropecuário e Extrativista.	Políticas de desenvolvimento agropecuário.	2018-2022.	Incentivou à expansão da fronteira agrícola e à exploração extrativista, o que levou ao desmatamento de	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Política de Desenvolvimento

			grandes áreas de floresta para dar lugar a cultivos agrícolas e pastagens, além de atividades extrativas como a mineração e o corte de madeira.	Agropecuário e Extrativista: diretrizes e estratégias. Brasília: MAPA, 2022.
Políticas Públicas	**Descrição**	**Período de Atuação**	**Impactos na região sul amazônica**	**Referências Bibliográficas**
Regularização Fundiária.	Medidas para legalizar terras ocupadas ilegalmente, incluindo áreas desmatadas.	2017 – Ainda vigente.	Legitimou ocupações irregulares em áreas de floresta, incentivando o desmatamento.	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regularização Fundiária: diretrizes e procedimentos. Brasília: MAPA, 2022.
Política de Infraestrutura.	Construção de estradas, hidrelétricas e outras obras de infraestrutura na Amazônia.	2019 – Ainda vigente.	Grandes projetos de infraestrutura, como a construção de hidrelétricas e rodovias, resultaram na destruição de habitats naturais, levando à extinção local de espécies e à perda de biodiversidade.	BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Política de Infraestrutura: diretrizes e objetivos. Brasília: MInfra, 2021.
Incentivos ao Agronegócio.	Subsídios e incentivos fiscais para atividades agropecuárias.	2019 – Ainda vigente.	Aceleração do desmatamento. Grandes áreas de floresta foram derrubadas para abrir espaço para a criação de pastagens para gado e o cultivo de soja e outras commodities.	BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Incentivos ao Agronegócio: diretrizes e programas. Brasília: MAPA, 2022.
Exploração Minerária.	Facilitação da exploração mineral em áreas protegidas e terras indígenas.	2020 – Ainda vigente.	A mineração na Amazônia está diretamente associada ao desmatamento, já que grandes áreas de floresta são desmatadas para a construção de minas, estradas, e infraestrutura de apoio.	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Exploração Minerária: diretrizes e regulamentações. Brasília: MME, 2020.

Elaboração: Silva (2024).

Para se informar mais sobre a descrição de cada política pública que fomentou o desmatamento na região sul amazônica, o Apêndice V traz um compêndio das políticas públicas que fomentaram a degradação ambiental na floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022.

2.3 Serviços ecossistêmicos – Princípios a partir da concepção do conceito ao planejamento do território municipal.

O presente tópico visa discutir a idealização de serviços ecossistêmicos, a partir do surgimento do seu conceito ao planejamento do território municipal, deste modo é de grande valia apontar pesquisas que debateram e contribuíram para o melhor entendimento do leitor para essa temática.

Assim, o Quadro 5 traz como base pesquisas que procuraram abranger todo o caminho histórico desse conceito, partindo de fatores que favoreceram o início das discussões até as influências que essa nova concepção surtiu nas ciências, no sistema econômico e na vida da comunidade.

Quadro 5. Estudos acadêmicos sobre as prestações de serviços ecossistêmicos.

Autores	Título	Revista	Descrição	Ano de publicação
Costanza et al.,	The values of the world's ecosystem services and natural capital.	Nature.	O artigo apresenta uma discussão sobre a importância de quantificar os valores dos serviços que os ecossistemas fornecem, como polinização, regulação do clima, purificação da água e proteção contra desastres naturais, enfatizando que esses serviços são essenciais para o bem-estar humano e a sustentabilidade.	1997 e atualizado em 2017
Daily	Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems.	Livro.	O livro reúne uma variedade de estudos e contribuições que discutem como os ecossistemas sustentam a vida humana, fornecendo serviços essenciais, como a purificação da água, a polinização, a regulação do clima e a fertilidade do solo.	1997
Autores	**Título**	**Revista**	**Descrição**	**Ano de publicação**

Ehrlich e Mooney	Extinction, substitution, and ecosystem services.	BioScience.	O artigo discute como a perda de biodiversidade, impulsionada por atividades humanas como desmatamento, poluição e mudanças climáticas, pode afetar a capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços essenciais, como polinização, controle de pragas e regulação do clima.	1983
Jansson et al.,	Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability.	Livro.	O livro aborda a importância do capital natural e como sua preservação e investimento são fundamentais para a sustentabilidade e o bem-estar humano.	1994
Lebel et al.,	Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems.	Ecology and Society.	O artigo examina como a governança influencia a capacidade das comunidades e regiões para gerenciar a resiliência em sistemas sociais-ecológicos.	2006
Nicholson et al.,	Priority research areas for ecosystem services in a changing world.	Journal of Applied Ecology.	O artigo identifica e discute áreas prioritárias de pesquisa relacionadas aos serviços ecossistêmicos em um contexto de rápidas mudanças ambientais e sociais.	2009
Potschin e Haines-Young	Mapping ecosystem services.	Nature and Society.	O artigo aborda a importância e as metodologias envolvidas no mapeamento dos serviços ecossistêmicos, que são os benefícios que os ecossistemas proporcionam à sociedade.	2017
Schleifer e Hermann	The concept of ecosystem services regarding landscape research: a review.	Landscape research.	O artigo apresenta uma análise abrangente da aplicação do conceito de serviços ecossistêmicos dentro do campo da pesquisa paisagística.	2011
Autores	**Título**	**Revista**	**Descrição**	**Ano de publicação**
Balvanera et al.,	Ecosystem services research in Latin America:	Ecosystem Services.	O artigo oferece uma análise abrangente do estado atual da pesquisa sobre serviços ecossistêmicos na América	2012

	the state of the art. Ecosystem Services.		Latina, destacando as principais tendências, avanços e lacunas existentes na área.	

Elaboração: Silva (2024).

As alterações humanas nos cenários terrestres em razão dos novos interesses econômicos, proporcionaram influências negativas nos sistemas em que o constituem, logo, despontaram-se consequências ambientais em elementos essenciais para a vida humana como as florestas, rios e solos. Fearnside (2000) comenta que a substituição das matas originárias por elementos constituintes do agronegócio como o cultivo de monoculturas são as principais causadoras de desmatamento, queimadas e a eutrofização de rios, lagos e lagoas, o que compromete os benefícios oferecidos pelos ecossistemas para a humanidade e deturpa os elementos ecossistêmicos existentes naquele espaço de vivência, especialmente em regiões endêmicas ou em Hot Spot[1].

Sendo assim, o autor ressalta que deva haver uma organização em todos esses progressos econômicos em áreas ambientais visando a diminuição dos danos na flora e fauna, por isso, um bom caminho a ser percorrido é o entendimento das necessidades humanas para conseguir analisar todas as possíveis interferências nos espaços naturais para assim garantir menores impactos nas dinâmicas dos ecossistemas ali presentes.

Nicholson et al., (2009) também contribuem com essa ideia argumentando que é essencial a compreensão de todas as demandas humanas em conjunto com as funções ecológicas, pois assim, conclui-se que essas funções podem ser caracterizadas como serviços ecossistêmicos e são de extrema importância para o equilíbrio e sustentação do meio ambiente, vida humana, assim como o fornecimento de bens naturais que são a base dos produtos industrializados. Nessa vertente, Sachs (2007) expõe que é apropriado frisar a importância do entendimento dos fatores como conforto e qualidade de vida das comunidades, preservação ambiental e desenvolvimento econômicos de forma indivisíveis e, os mesmos, podem ser agrupados dentro de um modelo de desenvolvimento que o autor destaca como ecossocioeconomia.

Portanto, o aprimoramento desses pensamentos proporcionou nos últimos tempos uma abordagem dos problemas socioambientais dentro de um ponto de vista dos serviços ecossistêmicos. Potschin e Haines-Young (2017) discorrem que essa temática está cada dia mais aceita nos projetos das esferas políticas e econômicas e esses feitos possuem grande valia para o entendimento das conexões existentes entre os seres humanos e a natureza e, deste modo, os planejamentos executados dentro dessa visão podem garantir um melhor aproveitamentos dos recursos naturais sem que haja grandes prejuízos para o meio ambiente.

Muñoz e Freitas (2017) afirmam que os serviços ecossistêmicos ganharam força nos últimos tempos pelo fato da conscientização mundial sobre a importância do atrelamento entre a humanidade e os ecossistemas em que ela está inserida. Lebel et al (2006) contribuem com essa afirmação expressando que é indispensável dominar a relação homem-natureza e buscar entender as dinâmicas ecossistêmicas para melhor responder às carências dos seres humanos, bem como se orientar em deliberações ambientais embasadas a fim de uma gestão e conservação dos ecossistemas em diferentes espaços.

À vista disso, Dietz, Ostrom & Stern (2003) ressaltam que a compreensão entre as relações homem-natureza provê informações em diferentes escalas de análise e essas apreciações devem ser incluídas pelos órgãos políticos em delineamentos afins de buscar práticas e gestões pertinentes, atestando o cuidado com a oferta de serviços fundamentais para a vida humana e pelos órgãos educacionais que buscam formar futuros cidadãos aptos a viver em comunidade e mais conscientes ambientalmente.

Dentro de uma perspectiva histórica, Schleifer e Hermann (2011) colocam que a noção de serviços ecossistêmicos começou a ser apresentada na comunidade científica em 1977 com o nome de serviços da natureza. A princípio, tinha-se a ideia de que os proventos oferecidos pelos ecossistemas presentes dentro da natureza possuíam uma importância na regulação da vida humana e, eventualmente, poderiam ser apreciados pelo corpo social para fins de deliberações cabíveis em projetos incorporados em uma administração ambiental.

Ehrlich e Mooney (1983) relatam que em 1981, na Universidade de Stanford, partindo da finalidade de entusiasmar os diversos setores da sociedade local para um

olhar de preservação ambiental, que a terminação serviços ecossistêmicos foi apresentado por Enrlich e Enrlich. Na época, os autores evidenciaram que a atenuação da biodiversidade por meio das alterações humanas no meio ambiente, proporciona impactos negativos nas funções ecossistêmicas, podendo prejudicar diretamente a qualidade de vida das sociedades.

Posteriormente, Jansson et al., (1994) ressaltam que houve um aperfeiçoamento da ideia de ecossistemas como fator base importante para o provimento da vida humana e manutenção dos recursos naturais, os resultados dos trabalhos elaborados naquela época cada vez mais conseguiam perceber os impactos diretos que esses conjuntos exerciam na qualidade de vida das sociedades e aos interesses econômicos que dependiam desses meios para a sobrevivência dos seus processos. Desta feita, em 1970, surge a noção de capital natural que aborda os recursos provenientes do meio ambiente como sendo fonte principal dos processos industriais e de atividades essenciais e valiosas para o homem como o funcionamento do seu sistema econômico instaurados nos diversos países presentes no mundo.

Entretanto, Costanza et al., (2017) alertam que o capital natural não pode ser entendido apenas como reservas de componentes naturais existentes apenas para a manutenção dos interesses humanos mas, sim, como agrupamentos complexos e interligados entre outros conjuntos que também asseguram a estabilidade dos funcionamentos ecológicos nos variados espaços geográficos, portanto, a sua alteração de forma inapropriada pode remeter várias consequências incalculáveis nos ambientes humanos e naturais.

Mais adiante, entraria em vigor o termo função dos ecossistemas caracterizado como os benefícios atribuídos aos funcionamentos dos múltiplos fatores ambientais em uma cadeia de operações ecossistêmicas dentro de um sistema abstruso e conectado entre outros conjuntos inseridos nos espaços naturais e geográficos. Essas funcionalidades produzidas por esses ecossistemas possuem diversas atribuições significativas, sendo assim, designadas como serviços ecossistêmicos que fornecem proveitos diretos e indiretos para a humanidade (Costanza et al., 2017).

Vários pesquisadores como De Groot et al., (2002), Kosanic e Petzold (2020), Calvacanti (2012), Costanzacet al., (1997) e Daily (1997) determinaram que os serviços ecossistêmicos são consequências de complexas inter-relações entre os

elementos bióticos e abióticos e, os mesmos, podem ser facilmente perturbados pelos interesses econômicos antrópicos que realizam modificações nos espaços geográficos e desconfigura toda sistemática existentes dentro dos ecossistemas que foram impactados por essas alterações. Além disso, os autores ressaltam que por mais da necessidade da humanidade do consumo desses serviços provenientes dos ecossistemas, ainda não se vê grande relevância na apropriação desse conceito em momentos de planejamento e gestão das alterações dos espaços e, consequentemente, tem-se diminuído a preservação dos ecossistemas, assim, diminuindo as provisões dos benefícios derivados dos processos naturais.

Desta forma, esse conceito torna-se importante para a sociedade ao ponto de possuir ligações entre todos os ecossistemas presentes nos variados espaços naturais e geográficos com os processos que asseguram e atendem as necessidades da sobrevivência humana no planeta terra. Desta forma, Constanza et al. (1997) consideram que o entendimento e respeito desses recursos ecossistêmicos associado aos processos econômicos desenvolvidos pelos seres humanos, pode garantir vantagens naturais e assegurar o bem estar das comunidades.

Posto isso, as discussões em cima dos serviços ecossistêmicos passaram a ter grande valor nas variadas conferências ambientais, políticas e econômicas. Destas, podemos destacar a Conferência Eco-92 (Rio-92) que aconteceu em 1992 na cidade do Rio de Janeiro. O evento teve a participação de políticos, diplomáticos e cientistas que publicaram seus trabalhos dentro dessa temática e deram um ponta pé inicial nas discussões pautadas no desenvolvimento econômico atrelado a meios de produção sustentáveis.

Esses eventos, além dos vários objetivos, possuíam como frente a discussão das alterações realizadas nos espaços geográficos de forma desorganizada que estavam impactando direta ou indiretamente as trocas de fluxos de inúmeros elementos entre a atmosfera e a superfície da terra. Consequentemente, os ciclos biogeoquímicos (água, dióxido de carbono, nitrogênio e fósforo) e os fatores biofísicos (albedo, eficiência da evapotranspiração e rugosidade da superfície) estavam sendo afetados de forma negativa e, os mesmos, são fatores responsáveis pela alteração da regulação dos serviços ecossistêmicos (Davin; Noblet-ducoudré, 2010).

Além disso, podemos citar aqui nesse tópico outros importantes feitos que contribuíram com as discussões ambientais nos meios econômicos como o desenvolvimento do Millennium Ecosystem Assessment (MEA) e, posteriormente, a divulgação do livro Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems.

A criação do MEA surgiu com o objetivo de incentivar práticas sustentáveis que buscam a diminuição ou até mesmo a reversão das consequências provocadas pelo mau aproveitamento dos recursos naturais pelos seres humanos. Deste modo, foi estruturado por meio de uma avaliação dos mais renomados cientistas da área sobre as condições, funcionamentos e benefícios providos pelos ecossistemas aos seres humanos juntos com alternativas e gestões menos impactantes e mais benéficas tanto ao meio ambiente quanto para os interesses econômicos que buscassem em meio às modificações espaciais, o uso sustentável dos recursos naturais e a proteção e preservação dos ecossistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Mediante o relatório elaborado pelo MEA, o IPBES (Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) concebe pareceres e direciona a elaboração, execução e progressão de projetos pretendendo assessorar os órgãos públicos e privados no momento de tomadas de decisões (IPBES, 2020).

Já com a publicação do livro Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems'', em 1997, a autora Gretchen C. Daily, cientista ambiental americana e ecologista tropical, foi uma das precursoras em analisar que a vida humana, bem como todos os entrelaces da economia vigente, depende de bens e serviços fornecidos pelos sistemas naturais da Terra e, que os crescentes impactos humanos no meio ambiente, estão perturbando profundamente o funcionamento dos sistemas naturais e colocando em risco a prestação desses serviços. Tal contribuição foi tão importante para a comunidade de cientistas ambientais que a mesma foi abraçada pelo Guia dos Relatórios de Avaliação na Millennium Ecosystem Assessment em 2005 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

MEA (2005) ressalta como benefícios produzidos pelos os ecossistemas a produção de alimentos, fibras e energia para o consumo humano, recreação, turismo, inspiração cultural e artística, provisão e qualidade da água, polinização, dentre outros. Esse feito favoreceu a divulgação entre as populações sobre os variados benefícios que até então eram desconhecidos pela comunidade (regulação da

temperatura, fluxo de dióxido de carbono, evapotranspiração e produção de oxigênio entre outros), assim como motivaram ações comunitárias de preservação do meio ambiente, uma vez que esses conceitos passaram a estar mais lúcidos entre todos sobre a sua importância socioeconômica (Kay et al., 2008).

Assim, pode-se ponderar que os serviços ecossistêmicos são considerados produtos do vínculo das condições, ações e interligações das espécies presentes em um ecossistema e, suas funções, garantem e atendem o bem estar da humanidade (Daily, 1997). Desta forma, o conceito tornou-se importante frente à política, economia e na área científica, sendo introduzido nos acordos e balanços ambientais, agricultura, índice de desenvolvimento humano e organizações internacionais (MEA, 2005).

De acordo com Wunder (2005) uns dos caminhos que pode encorajar o setor econômico a buscar alternativas sustentáveis visando a preservação das áreas ambientais e assim amenizar a diminuição dos serviços ecossistêmicos é a organização de setores responsáveis pela remuneração dos serviços ambientais. O autor ainda comenta que os provedores de serviços ambientais podem estar inseridos dentro dos setores público ou privado, sendo elas física ou jurídica, desde que preserve, regenere ou até mesmo recupere os estados dos ecossistemas dos locais de interesse econômicos.

Portanto, essa estratégia torna-se um caminho formidável a ser seguido pelos agentes públicos e privados quando se trata de preservação, regeneração ou manutenção dos ecossistemas presentes dentro dos espaços geográficos. Tais atos trazem benefícios tanto para a fauna e flora, que se manterão em pleno equilíbrio, quanto para as sociedades ao seu entorno que se beneficiarão com regulação da temperatura, qualidade do ar, fornecimento de água potável, além da remuneração pagas para aqueles que preservam, regeneram ou até mesmo melhoram as condições ambientais em seu espaço de vivência.

Entretanto, o MEA (2005) destaca que atualmente ainda existe uma confusão no entendimento dos conceitos de serviços ecossistêmicos e serviços ambientais dentro das comunidades e a sua compreensão faz-se necessária para não existir desentendimentos nas essências e importâncias que ambos possuem. Deste modo, é indispensável o esclarecimento desses dois conceitos dentro desta tese e, para isso, foram selecionados autores importantes que discutem essas diferenciações. Para o

Serviços ecossistêmicos, Daily (1997) esclarece que essa concepção pode ser entendida como os benefícios que os ecossistemas oferecem para a humanidade e os mesmos são vitais para o bem-estar dos seres humanos, além de poderem ser aproveitados como produtos dentro das atividades econômicas. Já os Serviços ambientais é entendido por Chomitz et al., (1999) como sendo as ações do homem que se propõem com a preservação e melhorias ambientais e colabora com o aprimoramento dos benefícios gerados pelos ecossistemas à humanidade.

Em relação ao enquadramento dos serviços ecossistêmicos na legislação brasileira, segundo o Diário Oficial da União, publicado em 14 de janeiro de 2021, edição 9, o tema em questão se enquadra dentro da lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021 que “Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nº 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política.”

Deste modo, o site do Senado federal informa que o artigo 1 desta lei:

> Art. 1º Esta Lei define conceitos, objetivos, diretrizes, ações e critérios de implantação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), institui o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), dispõe sobre os contratos de pagamento por serviços ambientais e altera as Leis nº 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973.

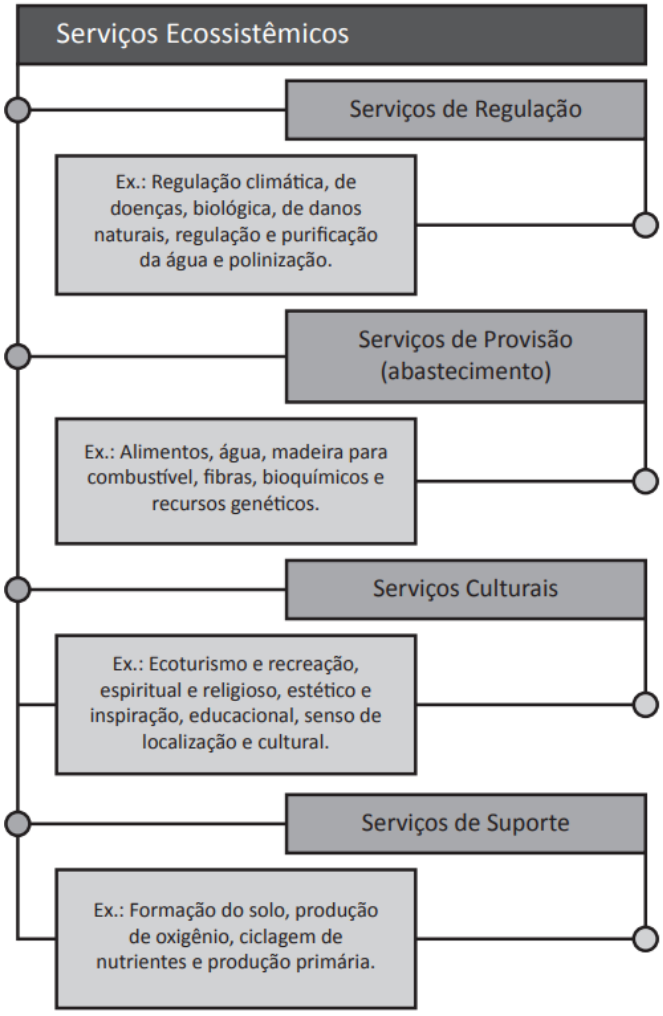
Posteriormente, o site do Senado federal enquadra os serviços ecossistêmicos dentro do artigo 2 desta lei (Figura 6):

- Art. 2º Para os fins desta Lei, consideram-se:
- I - Ecossistema: complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microrganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional;
- II - Serviços ecossistêmicos: benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais, nas seguintes modalidades:
- a) serviços de provisão: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros;

- b) serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético;
- c) serviços de regulação: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o fluxo de dióxido de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas;

  d) serviços culturais: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros;

Figura 6. Diagrama ilustrativo das diferentes categorias de serviços ecossitêmicos.



Fonte: MEA (2003).

Para esta pesquisa, não enfocaremos os pagamentos de serviços ambientais e, sim, os benefícios dos serviços ecossistêmicos apenas na função de regulação por meio da análise do fluxo de dióxido de carbono e temperatura da superfície oferecidos a população do município de Sinop (MT).

Dentro dessa vertente de benefícios oferecidos pelos ecossistemas, De Groot et al. (2002) expõem que o papel da regulação está relacionada com a competência dos ambientes originários em regular os recursos ecológicos e proporcionar suporte à vida através de ciclos biogeoquímicos e outros processos biosféricos. Outrossim, essas funções são capazes de condicionar a rigidez dos ecossistemas que contribuem com o fornecimento de serviços que acarretam benfeitorias também para os seres humanos (como ar, água e solo limpos e serviços de controle biológico).

Em seu trabalho, Groot et al. (2002) destacam que a preservação de todos os processos existentes dentro da biosfera terrestre, complexo este responsável pela base da vida humana no planeta terra, necessita de uma estabilidade de todos os processos correntes nos variados ecossistemas existentes nos espaços geográficos e naturais. Como mostrado no Quadro 6, o autor destaca várias importâncias de regulação que um bom funcionamento desses ecossistemas pode garantir para a sobrevivência dos seres vivos.

Quadro 6. Funções, bens e serviços dos ecossistemas naturais e seminaturais.

Funções	**Processos e componentes do ecossistema**	**Bens e serviços (exemplos)**
Funções de regulação.	Manutenção de processos ecológicos essenciais e sistemas de suporte à vida.	
Regulação de gás	Papel dos ecossistemas nos ciclos biogeoquímicos (por exemplo, balanço de CO_2 /O_2, camada de ozônio, etc.).	1.1 Proteção UVb por O_3 (prevenção de doenças). 1.2 Manutenção da (boa) qualidade do ar. 1.3 Influência no clima (ver também função 2.)
Regulação climática	Influência da cobertura do solo e do biol. processos mediados (por exemplo, produção de DMS) sobre o clima.	Manutenção de um clima favorável (temp., precipitação, etc) para, por exemplo, habitação humana, saúde, cultivo.

Funções	Processos e componentes do ecossistema	Bens e serviços (exemplos)
Prevenção de distúrbios	Influência da estrutura do ecossistema no ambiente de amortecimento de distúrbios.	3.1 Proteção contra tempestades (por exemplo, por recifes de coral). 3.2 Prevenção de inundações (por exemplo, por zonas húmidas e florestas).
Regulação da água	Papel da cobertura da terra na regulação do escoamento e descarga do rio.	4.1 Drenagem e irrigação natural. 4.2 Meio para transporte.
Abastecimento de água	Filtragem, retenção e armazenamento de água doce (por exemplo, em aquíferos).	Fornecimento de água para uso consuntivo (por exemplo, para beber, irrigação e uso industrial).
Retenção do solo	Papel da matriz radicular da vegetação e da biota do solo na retenção do solo.	6.1 Manutenção de terras aráveis.
Formação do solo	Intemperismo da rocha, acúmulo de matéria orgânica.	7.1 Manutenção da produtividade em terras aráveis.
Regulação de nutrientes	Papel da biota no armazenamento e reciclagem de nutrientes (por exemplo, N, P&S).	Manutenção de solos saudáveis e ecossistemas produtivos.
Tratamento de esgoto	Papel da vegetação e biota na remoção ou degradação de nutrientes e compostos xênicos.	9.1 Controle de poluição/desintoxicação. 9.2 Filtragem de partículas de poeira.
Polinização	Papel da biota no movimento dos gametas florais.	10.1 Polinização de espécies de plantas silvestres. 10.2 Polinização de culturas.
Controle biológico	Controle populacional através de relações trófico-dinâmicas.	11.1 Controle de pragas e doenças. 11.2 Redução da herbivoria (danos às culturas).

Fonte: De Groot et al. (2002). Elaboração: Silva (2024).

Groot et al. 2002 alegam que todos esses processos são condicionados pelas relações dos fatores abióticos com organismos vivos por meio de uma sistemática que possui um determinado controle e se encontra em constante desenvolvimento. Porém, é ressaltado que para se obter a continuidade do gozo de todos esses benefícios dos serviços ecossistêmicos pela humanidade, é necessário garantir a sua preservação e a plenitude desses ecossistemas e processos naturais.

Entretanto, Galford et al (2010) relatam que os usos antrópicos de forma irregular interferem nos processos biogeoquímicos e biogeofísicos do ambiente e, consequentemente, exacerba as emanações de gases agravantes do efeito estufa. Um exemplo claro dessas alterações é a emissão de gás dióxido de carbono que é perdido no processo de desmatamento e na queima das florestas, sendo 1,1% liberado como metano (CH_4) e o restante em forma de dióxido de carbono (CO_2).

Partindo dessas informações, o avanço incessante da urbanização reproduz paisagens cada vez mais uniformes, provocando a perda de biodiversidade, dos desempenhos ecológicos e, por consequência, a atenuação da oferta dos serviços ecossistêmicos (Alberti, 2010). Se feito de forma desordenada e sem planejamento, o crescimento vertiginoso das cidades afeta negativamente a qualidade de vida da população e a biodiversidade existente nesse espaço geográfico, logo as áreas urbanas e seus serviços ecossistêmicos ostentam um papel importante nessa conjuntura, propiciando aos cidadãos além de um conforto urbano, possibilidades de recreação e lazer (Muñoz e Freitas, 2017).

Desta forma, Embrapa (2019) ressalta que para que se atinja a harmonia entre a produção dos municípios e a sua conservação ambiental, deve-se trabalhar em prol da multifuncionalidade das variadas paisagens, tendo o uso adequado da terra um papel fundamental para trazer benefícios econômicos, ambientais e sociais. Nesse contexto, o uso e cobertura da terra, quando corretamente manejado, é responsável pela provisão de diversos serviços ecossistêmicos que vão além do fornecimento de alimentos, como o estoque de dióxido de carbono, regulação do ar, controle da erosão e a provisão e regulação da água, entre outros (Embrapa, 2019).

Todavia, Zhou et al., (2019) evidenciam que os municípios estão passando por intensas alterações que ocorrem tanto nos ambientes urbanos quanto nos rurais e, essas modificações antrópicas possuem como base as lógicas capitalistas que fazem expandir as fronteiras urbanas devido as necessidades de novas moradias bem como locais adequados para a construção da malha industrial e remodelam os usos e cobertura da terra presentes no meio agrário, o que causam grandes consequências ecossistêmicas, principalmente nos solos, água e florestas que muitas vezes são invadidas para fins de novas áreas para plantio.

Concordando com este exposto, Elliot et al., (2019) discorrem que o desenvolvimento de um município a partir dos fatores econômicos vai além da expansão urbana ou alterações nos elementos presentes nos espaços rurais, os autores comentam que esse progresso requer um aumento nas procuras por matérias-primas, serviços em geral, comércio, transportes, consumo, o que resulta em perturbações inevitáveis para a fauna e flora.

Além das consequências ambientais, os progressos dentro dos municípios também causam vários problemas na saúde dos seres humanos se realizado de forma desorganizada, Chien et al., (2016) comentam que o aumento exponencial dos desmatamento das áreas verdes para fins de construções, rede de transportes e outros fenômenos do desenvolvimento, expõe a população a níveis danosos de radiação ultravioleta ou os mais variados tipos de poluições tendo como consequências o aparecimento de doenças respiratórias e cardiovasculares provocada pelo dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de dióxido de carbono (CO) ou outros elementos particulado em suspensão no ar, o que faz aumentar a procura dos serviços médicos.

Desta forma, várias pesquisas (Zhou et al., 2019; Elliot et al., 2019; Chien et al., 2016; Loboda e Angelis, 2005; Zheng et al., 2020; Pulighe et al., 2016; Rockström 2015; Breuste e Artmann 2015) possuem como foco a análise dos prejuízos e benefícios que as transformações dos progressos capitalistas, sejam elas industriais, agrários ou comerciais podem acarretar em um determinado município e, principalmente, buscam alcançar alternativas sustentáveis para as articulações entre a evolução das cidades e modificações dos elementos espaciais presentes na zona rural com a preservação do meio ambiente ou até mesmo a recuperação de áreas que foram degradadas pelo mau remanejamento realizado.

Toda transformação realizada nos espaços dos municípios, seja ela no avanço da malha urbana ou introdução de uma nova cultura no meio agrário, repercute significativamente na vida da população (urbana ou rural) e interferem na sistemática dos ecossistemas ali presente, o que impacta diretamente nos benefícios dos serviços ecossistêmicos oferecidos aos seres humanos. Portanto, Pulighe et al., (2016) ressaltam a importância da discussão de diretrizes sustentáveis nos planos diretores das cidades que devam procurar criar propostas que busquem o avanço do

desenvolvimento econômico em concomitância com o meio ambiente. Desta forma, os autores alertam a importância do entendimento dos serviços ecossistêmicos nesse momento de planejamento territorial e evidenciam que a aplicação desse conceito é primordial para se alcançar o objetivo de se ter um espaço geográfico desenvolvido e sustentável.

Contudo, pesquisas como (Breuste e Artmann, 2015; Chan et al. 2016 e Rockström, 2015) destacam que atualmente existem dificuldades entre o gerenciamento dos municípios conciliado com a sistemática dos ecossistemas. Assim sendo, os autores relatam que muitas vezes não são pensadas estratégias que contribuem com o aperfeiçoamento dos serviços ecossistêmicos, a exemplo da inserção de áreas verdes principalmente nos terrenos urbanos e, isso proporciona consequências não somente para a biodiversidade, mas, também, interfere no bem estar da população como conforto térmico ou até mesmo psicológicos/emocionais.

As áreas verdes, especialmente em cidades, além promover a preservação da biodiversidade e garantir os serviços ecossistêmicos como qualidade do ar, regulação climática, diminuição das poluições, dentre outros, servem como áreas de recreação, lazer e até mesmo turismo para as populações, o que impacta diretamente em sentimentos agradáveis para as pessoas que gostam de estar conectadas com a natureza. Richards et al., (2019) concordando com essa visão, corroboram com a ideia afirmando que os serviços ecossistêmicos possuem uma grande representatividade na vida dos seres vivos e, deste modo, podem ser considerados essenciais para um bom desenvolvimento da vida humana com muita qualidade e conforto.

No entanto, de acordo com Elmqvist et al (2015), os espaços naturais existentes nos municípios, principalmente dentro das cidades, estão favoráveis à deterioração devido aos avanços da malha urbana por meios de empreendimentos que não possuem como base e o respeito à preservação do meio ambiente. Em vista disso, Zhu et al., 2019 colocam que além dessa temática estar presente e bem discutida em reuniões que deliberam operações visando as modificações dos distintos espaços geográficos, deve-se ter o compromisso com a prática tanto dos órgãos públicos como dos privados no momento da execução desses projetos, pois somente a argumentação desse conceito nas assembleias não resulta em benefícios ambientais para a sociedade.

2.3.1 Serviço ecossistêmico na função de regulação de fluxo de dióxido de carbono e temperatura da superfície.

Não é de hoje que pesquisadores de várias disciplinas vem alertando sobre as consequências ambientais das alterações nos espaços geográficos devidos interesses econômicos. Em 2005, com objetivo de abordar essa temática mais a fundo, a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) constatou a regressão vertiginosa dos serviços ecossistêmicos, principalmente no que se refere aos de regulação como o fluxo de dióxido de carbono e aumento da temperatura da superfície (MEA, 2005).

Entre os resultados apresentados, os estudos apontaram um considerável aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, dos quais o dióxido de carbono (CO_2) é levantado como uns dos principais contribuintes uma vez que o mesmo se mantém por muito tempo na atmosfera e é encarregado por aproximadamente 60% desse processo (Hansen et al., 2013).

Os documentos do Millennium Ecosystem Assessment, em 2005, apontaram um aumento significativo de 32% de dióxido de carbono presente na atmosfera desde o avanço da primeira revolução industrial em 1760. Os dados alertaram que o gás passou de 280 para 376 parte por milhão no ano de 2003 (MEA, 2005).

Esse crescimento está diretamente relacionado com os avanços econômicos dos países que estão emitindo cada vez mais o dióxido de carbono na atmosfera por meio da queima de combustíveis fósseis para geração de energia e o aumento do desmatamento das áreas nativas (principais sumidouros de CO_2) para adquirir matérias primas para o desenvolvimento dos seus produtos tecnológicos (Houghton et al., 2012).

O aumento de CO_2 na atmosfera pode acarretar em um estremecimento entre o fluxo radiativo solar absorvido pela Terra e o fluxo radiativo emitido pela mesma no infravermelho, visto que as moléculas desse gás possuem a competência de absorver e emanar radiação nesse comprimento de onda do espectro eletromagnético (Santos, 2012). Portanto, o aumento das concentrações de CO_2 na atmosfera influencia na temperatura média global e causa alterações climáticas como o aquecimento global, que pode desencadear crises ambientais, sociais e econômicas (Ostermann, 2007).

Isto posto, os serviços ecossistêmicos por meio da regulação de fluxo de dióxido de carbono se tornam uns dos benefícios mais importante para a humanidade,

pois tem a competência de diminuir os impactos das mudanças climáticas causadas pela degradação ambiental (Smith et al., 2013).

Logo, as florestas se tornam uns dos elementos presentes dentro dos ecossistemas com grande importância para o funcionamento adequado do sistema natural, pois possui grandes responsabilidade como proteger os mananciais hídricos, solos, preservação da biodiversidade, fornecimento de refúgio aos animais, alimentos, além de regulação climática e na preservação no ciclo do CO_2 (Bonan, 2008).

Para mais, Bonan (2008), destaca que as florestas acumulam em torno de 45% do CO_2 terrestre e participam com cerca de 50% da produção primária líquida, sendo capaz de sequestrar grandes quantidades desse gás da atmosfera por ano. Martinelli e Camargo (1996) corroboram informando que na vegetação está presente aproximadamente 560 x 1015g de dióxido de carbono, onde 75% estão presentes em florestas. Houghton (2005), reforça a ideia expressando que o fluxo de dióxido de carbono está relacionado com o desenvolvimento das plantas que precisam desse gás no processo de fotossíntese e, consequentemente, na evolução de sua biomassa florestal.

Assim sendo, esse componente ambiental é de extrema importância para o balanceamento global de dióxido de carbono e, por conseguinte, na regressão dos impactos negativos do aquecimento global. Sua proteção é uma ótima alternativa para mitigação das mudanças climáticas e garantir um equilíbrio natural dos ambientais e benefícios para todos os seres vivos.

Entretanto, o que vemos na realidade é a humanidade caminhando na contra mão, dado que a evolução dos seus interesses econômicos na forma de desmatamento das florestas, ampliação das monoculturas, queimadas, ampliação das áreas urbanas, dentre outros, está ligada diretamente na liberação de dióxido de carbono na atmosfera, assim colaborando com os problemas das mudanças climáticas (Qureshi; Pariva e Hussain, 2012).

Outro serviço muito importante para as comunidades e é provido pelo bom funcionamento dos ecossistemas, é a regulação da temperatura da superfície. A temperatura de superfície terrestre (TST) é importante parâmetro nos estudos termais dos diversos ambientes municipais e suas dinâmicas (Weng, 2009). As trocas e o balanço de energia superficial são funções da interação da radiação com a cobertura

da terra, as quais podem desdobrar apontamentos em relação ao clima urbano, ao nível de planejamento e a qualidade de vida da população (Weng, 2009).

Um dos impactos ambientais nos municípios que podem ser considerados no processo de conversão de uso e cobertura, é a mudança no campo térmico por meio da substituição dos elementos superficiais naturais e apropriação destes espaços para atividades antrópicas. Substituição essa que implica em elevação de temperatura, causando desde simples desconforto térmico até fenômenos mais robustos como os registrados em grandes cidades, chamados de ilha de calor (Souza e Ferreira, 2012).

As alterações nos espaços geográficos devido os anseios dos interesses antrópicos persuadem o clima local (Hartmann, 1994). Dentre as modificações, podemos destacar os desmatamentos de florestas para a inserção das práticas da agricultura e pecuária, o processo da urbanização, a retirada de matérias primas da natureza para a produção de bens de consumos, dentre outros. Como consequências, essas mudanças nos elementos presentes nos espaços para fins econômicos, impactam diretamente nas características atmosféricas das localidades, uma vez que esses locais, que antigamente eram cobertos por matas nativas, passam a obter áreas com solos impermeabilizados a exemplos das estradas, ruas e avenidas, como também, a presença de construções para fins urbanos e rurais (Wu, 2003). Isto posto, Oke (1987) ressalta que toda deturpação recorrente nos variados espaços geográficos, principalmente naquelas que envolvem a extração de componentes naturais para a alocação de construções civis e/ou práticas agrícolas, influenciam na absorção e armazenamento de calor, além da diminuição da evaporação nos ambientes, o que gera vicissitudes nos elementos condicionantes do clima daquela localidade.

Desta maneira, Brandão (2003) corrobora com a ideia alertando que as trocas de elementos naturais por edificações, principalmente nas áreas urbanas, arremetem em um maior armazenamento de calor, resultando na modificação do balanço de energia dos espaços alterados. Ademais, o autor ainda comenta que o arrefecimento das matas nativas por construções antrópicas, acresce a detenção da radiação eletromagnética, poluição atmosférica e resulta em um fenômeno caracterizado como ilhas de calor. Isso acontece, pois o desenvolvimento de edificações nos espaços influencia na comutação do albedo, condutância termal e aptidão térmica das

superfícies, resultando em uma desenvolução do albedo, gradação da capacidade térmica e, por fim, a acumulação da condutividade térmica (Gartland, 2010).

Cabe destacar que os rigores das altas temperaturas, especialmente nas áreas de clima tropical continental, naturalmente propiciam desconforto térmico para a população, que são acentuados pelas ilhas de calor. Além disso, intensidades de temperaturas diferenciadas entre as áreas construídas e não construídas propiciam movimentos advectivos do ar, contribuindo para o transporte de poluentes atmosféricos e de materiais particulados para as áreas mais quentes e densamente edificadas, onde se encontra a maioria da população.

Este fato pode contribuir para o aumento de problemas respiratórios, típicos da estação seca de grande parte do território nacional. Deste modo, as ilhas de calor além de afetarem diretamente o conforto dos indivíduos contribuem para o aumento de doenças relacionadas à qualidade do ar.

Desta forma, é de extrema importância entender os impactos que as alterações dos elementos presentes nos diversos espaços geográficos, principalmente no que se refere as trocas dos elementos naturais por edificações antrópicas, causam nas sociedades. Pois esses processos podem acarretar no aquecimento da superfície, alterar as características atmosféricas das localidades e proporcionar o aparecimento de ilhas de calor que trazem grandes prejuízos para comunidade como doenças e desconforto térmico. Desta forma, analisar os espaços municipais com o olhar integrador proporcionado pela Geografia, com fins de compreensão de todas as dinâmicas que estão acontecendo nos lugares, pode promover uma grande base para se construir um adequado planejamento territorial, e agraciar a comunidade com áreas mais adequadas para o convívio humano.

2.4 Sensoriamento remoto na quantificação dos serviços ecossistêmicos na função de regulação.

Recentemente, estudos de sensoriamento remoto têm sido empregada em investigações ambientais com maior recorrência. Consoante Meneses (2012), o sensoriamento remoto configura-se como uma técnica científica que almeja o avanço na obtenção de representações visuais da superfície terrestre por meio da identificação e mensuração das respostas provenientes das interações entre a

radiação eletromagnética e os materiais em sua superfície. Conforme destacado por Florenzano (2007), esta abordagem utiliza-se da obtenção de representações visuais e outras informações relativas à superfície terrestre.

A radiação eletromagnética refletida e liberada pelos elementos terrestres constitui sua fonte de informações que são captadas pelos sensores abordo de satélite dentro de procedimentos de identificações de feições, assim, possibilitando mensurar a energia espectral refletida e/ou emitida pelos elementos, e dessa forma, analisar suas características principais. Portanto, os instrumentos remotos são sensores inalienáveis para a execução de levantamentos, mapeamento e de supervisão dos recursos naturais (Moraes, 2002).

De acordo com a história, a observação remota tem sido empregada para supervisionar alterações no uso e cobertura da terra e, portanto, aprimorando operações de campo. Com a emergência de satélites mais recentes e avançados, os dados de monitoramento terrestre conseguiram aprimorar a identificação e mapeamento dos rudimentos ambientais que proporcionam os serviços ecossistêmicos (Paudyal et al., 2015).

Compreender minuciosamente o procedimento de transformação no uso e cobertura da terra é crucial para o planejamento e administração dos recursos naturais e, por meio da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, é viável mapear a natureza e as alterações antrópicas de maneira ágil e eficiente, possibilitando a detecção, avaliação e acompanhamento das variações em escalas espaciais e temporais (Engelbrecht et al., 2000)

Com os progressos nas tecnologias e, notadamente, nas espaciais, as informações derivadas de observação remota têm se tornado cada vez mais difundidas e imprescindíveis para compreender a dinâmica existente entre as atividades humanas e os ecossistemas (Muchoney e Williams, 2010). Estudos indicam que, apesar de algumas restrições, o aprimoramento dos dados provenientes de dispositivos de monitoramento remoto com resoluções superiores e com maior exatidão nos dados, possibilita diversas aplicações (Pereira et al., 2016); dentre elas está a análise dos serviços resultantes do adequado funcionamento dos ecossistemas.

O Quadro 7 mostra pesquisas que validam a importância do sensoriamento remoto para a análise ambiental, adentrando principalmente em estudos que buscaram discutir a revisão dessa técnica na análise dos serviços ecossistêmicos.

Quadro 7. Pesquisas que utilizam o sensoriamento remoto na análise dos serviços ecossistêmicos.

Pesquisa	Descrição	Fonte
Assessment of Ecosystem Services in Urban Areas Using Remote Sensing	Este estudo analisa como o sensoriamento remoto pode ser usado para mapear e avaliar os serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, focando na cobertura do solo e na saúde ambiental.	Liao, C., et al. (2023). Remote Sensing. DOI: 10.3390/rs15020345
Monitoring Land Use Change and Ecosystem Services in Africa	O artigo investiga as mudanças no uso da terra e como estas impactam os serviços ecossistêmicos na África, utilizando dados de satélite para análises temporais.	Adger, W. N., et al. (2023). Remote Sensing of Environment. DOI: 10.1016/j.rse.2023.112345
Ecosystem Services Valuation in Coastal Areas	Este trabalho aplica técnicas de sensoriamento remoto para a avaliação de serviços ecossistêmicos em áreas costeiras, destacando a importância da vegetação marinha.	Guo, W., et al. (2024). Remote Sensing. DOI: 10.3390/rs16193614
Assessing Carbon Storage Using Satellite Data	O estudo examina como dados de sensoriamento remoto podem ser utilizados para estimar o armazenamento de dióxido de carbono em florestas tropicais.	Zhang, J., et al. (2023). Global Change Biology. DOI: 10.1111/gcb.16879
Spatial Analysis of Water Services in Urban Landscapes	Os autores utilizam sensoriamento remoto para mapear serviços de água em ambientes urbanos, analisando a distribuição espacial de serviços hídricos.	Liu, Y., et al. (2022). Ecological Indicators. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109155
Integrating Remote Sensing with Ecosystem Services Framework	Este artigo discute a integração de dados de sensoriamento remoto com frameworks de serviços ecossistêmicos para uma análise mais eficaz dos serviços fornecidos pelos ecossistemas.	Turner, W., et al. (2023). Biodiversity and Conservation. DOI: 10.1007/s10531-023-02567-1
Remote Sensing of Soil Moisture and Ecosystem Functioning	O artigo investiga a relação entre a umidade do solo, obtida via sensoriamento remoto, e a funcionalidade do ecossistema em regiões agrícolas.	Zhang, H., et al. (2023). Agricultural and Forest Meteorology. DOI: 10.1016/j.agrformet.2023.109602
Pesquisa	**Descrição**	**Fonte**

Ecosystem Service Assessment in Tropical Forests	Este estudo utiliza imagens de satélite para avaliar a disponibilidade de serviços ecossistêmicos em florestas tropicais e seu impacto nas comunidades locais.	Mardani, A., et al. (2022). Ecological Applications. DOI: 10.1002/eap.2643
Remote Sensing for Biodiversity Conservation	O artigo analisa como o sensoriamento remoto pode auxiliar na conservação da biodiversidade, mapeando habitats e identificando áreas críticas.	Pettorelli, N., et al. (2023). Frontiers in Ecology and the Environment. DOI: 10.1002/fee.2725
Evaluating Ecosystem Services in Agricultural Landscapes	Os autores discutem a avaliação de serviços ecossistêmicos em paisagens agrícolas utilizando técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento de mudanças.	Dandois, J. P., et al. (2023). Remote Sensing of Environment. DOI: 10.1016/j.rse.2023.112360

Elaboração: Silva (2024).

Além dos avanços tecnológicos que auxiliam positivamente nas aplicações de monitoramento remoto em espaços ambientais e em pesquisas voltadas aos serviços ecossistêmicos, é adequado citar os avanços científicos alcançados por vários pesquisadores que dedicaram suas carreiras em busca de metodologias dentro do sensoriamento remoto que melhorassem o entendimento dos componentes naturais presentes nos espaços geográficos.

Dentre os vários procedimentos descobertos, menciona-se o entendimento dos comportamentos dos elementos naturais frente aos diferentes comprimentos de ondas para a criação dos índices de vegetação. Os Índices de Vegetação foram concebidos com a finalidade de elucidar de maneira mais abrangente as características espectrais da vegetação, empregando especialmente as regiões do visível e do infravermelho próximo.

Tais índices estão associados a princípios biofísicos da vegetação e são capazes descrever características como a sua biomassa, extensão de sua copa, produtividade de uma cultura específica, além de mitigarem implicações da luminosidade no espaço e inclinação no plano que impactam na reflectância da vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2010). O propósito dos índices é enfatizar a discrepância espectral entre as plantas e o terreno, e as informações podem ser adquiridos por meio de imagens de satélite (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

A utilização simultânea de índices de vegetação em pesquisas ambientais, revelam-se eficientes ferramentas capazes de avaliar e monitorar as condições da cobertura vegetal de uma região geográfica, em virtude de sua precisão, praticidade e caráter multiespectral (Ponzoni e Shimabukuro, 2010). Entre os vários índices de vegetações criados, destaca-se o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), proposto por Rouse et al., (1973) que é extensivamente empregado para supervisionar o desenvolvimento e vitalidade vegetativa das culturas, NDWI (Normalized Difference Water Index), elaborado por Gao (1996) que possibilita realçar características de água e reduzir o restante dos objetivos e o EVI (Enhanced Vegetation Index), elaborado por Huete et al. (1997) que toma em conta as bandas do vermelho e infravermelho à semelhança do NDVI, contudo utiliza a faixa do azul para compensar influências atmosféricas. Esses indicadores colaboram para a compreensão da dinâmica da vegetação, analisando atributos como a densidade, o vigor, a flutuação sazonal e a disposição no solo (Ponzoni e Shimabukuro, 2010), dados de considerável importância para uma gestão mais efetiva das unidades de conservação ambiental (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

Além as pesquisas que buscam o entendimento das propriedades espectrais da vegetação, encontra-se o desafio de relacionar por meio de técnicas de sensoriamento remoto, a importância da vegetação frente a crescente poluição do ar provenientes das ações antrópicas, entre ela, o fluxo de gases causadores do aquecimento global, principalmente o dióxido de carbono (CO_2). Iniciativas de diminuição das emissões de gases de efeito estufa estão orientando pesquisas no que diz respeito à redução do aquecimento global, considerando tanto suas manifestações naturais quanto intervenções humanas. Nesse contexto, torna-se cada vez mais relevante o desenvolvimento de novas abordagens para medição e valoração das vegetações. Nessa perspectiva, as tecnologias geoespaciais desempenham um papel crucial para o monitoramento tanto da cobertura vegetal como para a vigilância dos gases de efeito estufa (Andrade et al., 2013).

A necessidade por métodos que mensurem o fluxo de CO_2 em ambientes florestais tem aumentado de forma significativa. Diversas pesquisas estão sendo direcionadas à avaliação do serviço ecossistêmico de regulação como o fluxo de dióxido de carbono em florestas nativas (Gorgens et al., 2005). As vegetações

desempenham diversas atividades ambientais, e um desses procedimentos em evidência atualmente é a absorção e reserva de Dióxido de carbono (Ribeiro et al., 2009), sendo considerado atualmente um indicador crucial para a manutenção de níveis adequados de CO_2.

Pesquisadores dedicaram suas pesquisas relacionando à observação remota por meio dos índices de vegetação e CO_2 em diversos ecossistemas terrestres. Dentre eles, destaca-se Rahman et al. (2000) que apresentaram um novo indicador, denominado CO_2flux, para avaliar a eficácia do procedimento de aprisionamento de dióxido de carbono pela vegetação. Conforme Rahman et al. (2000), a absorção de dióxido de carbono pela vegetação está condicionada à integração do NDVI e do PRI, ambos índices espectrais do tipo "diferença normalizada". O índice NDVI reflete a discrepância de reflectância entre a região de absorção no vermelho (660 nm) e o aumento de albedo que se manifesta nos espectros de vegetação após o início do infravermelho próximo (800 nm). Por outro lado, o PRI traduz a diferença entre a região de absorção no azul (531 nm) e o pico de reflectância no verde (570 nm). Diversas pesquisas recentes indicam que o índice espectral PRI pode ser associado às taxas de fotossíntese e, como mencionado anteriormente, o NDVI está correlacionado com a absorção de dióxido de carbono. Isso é prontamente compreendido, uma vez que quanto mais intensiva for a atividade fotossintética, mais proeminentes serão as regiões de absorção nas faixas do azul e do vermelho, resultando em valores mais significativos.

Jensen (2009) corrobora afirmando que as plantas captam mais energia nas faixas espectrais que correspondem às áreas do azul e do vermelho, refletindo mais na região do infravermelho próximo. A porção do espectro eletromagnético compreendida entre 400 nm e 720 nm é denominada região visível, correspondendo à radiação fotossinteticamente ativa absorvida para o acúmulo de biomassa (Moreira, 2011). A maior parte dessa radiação é absorvida pelos pigmentos constituídos pelas clorofilas "a" e "b" presentes nos cloroplastos, com picos de absorção nas bandas do vermelho e do azul, respectivamente, embora os carotenoides, xantofilas e antocianinas também contribuam com menor intensidade nessa absorção na região do mesófilo das folhas (Moreira, 2011). Conforme Novo (2010), a reflectância é reduzida (inferior a 20%) até 700 nm, predominando a absorção da radiação incidente

pelos pigmentos das plantas em 480 nm (carotenoides) e em 620 nm (clorofila). Em 560 nm, ocorre um leve aumento de reflectância, não ultrapassando 20%, o que resulta na percepção da cor verde da vegetação. Portanto, a coloração das folhas é o fator crucial para a baixa reflectância e absorção da energia incidente. Quando as plantas estão em estágio de senescência, ocorre alteração na pigmentação e no teor de água das plantas (Jensen, 2009), consequentemente, uma diminuição de clorofila aumentará a reflectância na faixa do vermelho.

O Quadro 8 mostra pesquisas que elucidam a importância do indicador Co_2Flux apresentado por Rahman et al. (2000) na análise ambiental e no entendimento das dinâmicas dos fluxos de dióxido de carbono em diferentes espaços geográficos.

Quadro 8. Pesquisas que utilizam o Co_2Flux na análise ambiental.

Pesquisa	**Descrição**	**Fonte**
Carbon fluxes in tropical forests: A case study using Co2Flux	Este artigo analisa os fluxos de dióxido de carbono em florestas tropicais, utilizando o Co2Flux para modelar as emissões de CO2 em diferentes condições climáticas.	Rahman, A., et al. (2020). Journal of Environmental Management. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111234
Assessing CO2 emissions from urban areas with Co2Flux	O estudo investiga como as áreas urbanas contribuem para as emissões de CO2, aplicando o Co2Flux em ambientes urbanos.	Rahman, A., et al. (2019). Urban Climate. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100036
Use of Co2Flux to evaluate the carbon balance in agricultural landscapes	Pesquisa sobre o balanço de dióxido de carbono em paisagens agrícolas, demonstrando como o Co2Flux pode ajudar a entender as emissões de CO2.	Rahman, A., et al. (2021). Agricultural Systems. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103180
Evaluating ecosystem services in wetlands using Co2Flux	Este artigo utiliza o Co2Flux para avaliar os serviços ecossistêmicos em zonas úmidas, focando nas emissões de dióxido de carbono.	Rahman, A., et al. (2022). Wetlands Ecology and Management. DOI: 10.1007/s11273-022-09923-3
Carbon flux dynamics in mountain ecosystems with Co2Flux	O estudo analisa a dinâmica dos fluxos de dióxido de carbono em ecossistemas montanhosos, empregando o Co2Flux para medir as emissões.	Rahman, A., et al. (2018). Mountain Research and Development. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00019.1
Pesquisa	**Descrição**	**Fonte**

Co2Flux for carbon accounting in forest management	A pesquisa discute o uso do Co2Flux para contabilidade de dióxido de carbono em práticas de manejo florestal.	Rahman, A., et al. (2020). Forestry. DOI: 10.1093/forestry/cpz029
Impact of land use change on carbon flux using Co2Flux	O artigo examina como a mudança no uso da terra afeta os fluxos de dióxido de carbono, utilizando o Co2Flux para as análises.	Rahman, A., et al. (2021). Land Use Policy. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.104272
Application of Co2Flux in carbon sequestration studies	Este trabalho investiga como o Co2Flux pode ser aplicado em estudos de fluxo de dióxido de carbono em diferentes biomas.	Rahman, A., et al. (2019). Global Change Biology. DOI: 10.1111/gcb.14833
Role of Co2Flux in assessing global carbon cycle	A pesquisa avalia o papel do Co2Flux na avaliação do ciclo global do dióxido de carbono, enfatizando sua importância em políticas ambientais.	Rahman, A., et al. (2022). Biogeosciences. DOI: 10.5194/bg-19-123-2022
Utilizing Co2Flux for monitoring CO2 emissions in forestry practices	O artigo discute como o Co2Flux pode ser utilizado para monitorar as emissões de CO2 em práticas de manejo florestal.	Rahman, A., et al. (2020). Forest Ecology and Management. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118122

Elaboração: Silva (2024).

Além das pesquisas que possuíram como fins a criação de indicadores de fluxos de dióxido de carbono nos elementos presentes nos variados espaços geográficos, a exemplo do trabalho de Rahman et al. (2000) com a criação do CO_2flux, vale ressaltar a importância dos trabalhos científicos que possuíram como objetivos a validação dos modelos com alta cobertura e baixo custo que são fundamentais para o monitoramento dos fluxos de dióxido de carbono (CO_2) nos ecossistemas, como é o caso do CO2flux. Para o desenvolvimento desta tese, destaca-se dois trabalhos fundamentais para se apoiar na validação do modelo CO2flux e, assim, executar os processos metodológicos para fins de aquisição de dados de fluxos de dióxido de carbono.

O primeiro trabalho foi o de Santos e colaboradores, publicado no ano de 2021, que teve como um propósito a validação do CO_2Flux utilizando dados multiespectrais em áreas preservadas e em sucessão ecológica. A pesquisa aplicou o Co_2Flux para

uma modelagem espectral em 11 cenas do sensor OLI (Landsat-8). No encadeamento de ratificação, o estudo correlacionou os dados de fluxos de CO_2 auferidos em superfície com o uso de torres micrometeorológicas considerando intervalos de meia hora, uma e duas horas com o momento de passagem do satélite Landsat-8.

Os resultados do ensaio mostraram que o modelo CO_2flux mostrou-se coadunável para aferição dos indicadores de estimativas dos fluxos de CO_2 na área de estudo quando colacionados com fluxos de CO_2 do pixel similar ao posicionamento da torre com correlações exibindo valores alternando de -0,86 a -0,72. O modelo apontado expôs alta correspondência com os dados examinados alcançando R^2 = 0,81 e RSME = 1,6, verificando um amoldamento competente para a estimativa dos fluxos de CO_2 e grande potencial no uso de imagens multiespectrais para o monitoramento do fluxo de CO_2 capturando os efeitos das mudanças sazonais da dinâmica dos fluxos de dióxido de carbono.

Outra pesquisa importante foi a desenvolvida por Della-Silva e colaboradores, publicada no ano de 2022. O estudo teve como objetivo comparar o modelo CO_2Flux utilizando quatro sistemas de imagens diferentes (Landsat 8, PlanetScope, Sentinel-2 e AisaFenix) na parte norte do estado de Mato Grosso, sul da Amazônia brasileira. Os resultados alcançados indicam que os sistemas de imagens PlanetScope, MSI/Sentinel-2, OLI/Landsat-8 e AisaFENIX são capazes de serem escalados de forma análoga, ou seja, a variabilidade dos dados ao longo de uma cena heterogênea em floresta tropical perene é semelhante. Desta maneira, os resultados do ensaio forneceram um melhor entendimento sobre como a fusão e/ou combinação de desiguais conjuntos de dados aéreos e orbitais podem fornir estimativas confiáveis de emissão e absorção de dióxido de carbono em diferentes ecossistemas terrestres no sul da Amazônia, como é o caso desta pesquisa.

Outra consequência das alterações inadequada dos espaços geográficos pelas ações antrópicas e afetam diretamente os serviços ecossistêmicos de regulação é o aumento da temperada da superfície (Ayoade, 2011). Desta forma, as técnicas de sensoriamento remoto também são empregadas para analisar o aumento da temperatura superficial que impactam principalmente as áreas urbanas e rurais. Uma das formas de analisar os espaços urbanos de uma determinada área é por meio da utilização de informações do comprimento de onda do infravermelho termal para

identificar as propriedades de temperatura das superfícies municipais. Rao (1972) foi o pioneiro a evidenciar que regiões urbanas poderiam ser identificadas através de análises de dados na faixa do infravermelho térmico capturados por um satélite. Jensen (2009) também empregou sistemas de observação remota infravermelha térmica para registrar o impacto da ilha de calor em áreas urbanas, além de extrair informação de temperatura da superfície de diversos materiais. Uma contribuição significativa foi a divulgada por Chander et al. (2009), que abordaram e aplicaram equações de coeficientes de calibração radiométrica e obtenção de temperaturas em graus Celsius ºC, para imagens TM/Landsat-5 canais 6.

Desta forma, fica evidente que uma das maneiras de avaliação do balanço de energia nas situações de modificação no uso da terra, é pelos padrões da temperatura de superfície (Land Surface Temperature ou LST), uma vez que essa metodologia investiga a aproximação da temperatura radiométrica do corpo da superfície fundamentada na emissão do fluxo do infravermelho térmico capturado pelo sensor instantaneamente e sob determinado ângulo de medição (Prata et al., 1995). Possuir a variabilidade espacial da LST é uma vantagem devido à abundante disponibilidade de dados dos satélites, como o da série Landsat na resolução espacial de 100m (reamostrada da original de 120m no termal), contudo com composição longa de 16 dias, e dos satélites Terra/Aqua com duas aferições diárias e resolução espacial de 250 m.

Jensen (2009) respalda essa afirmação ao declarar que os dados acerca da temperatura superficial podem ser adquiridos por meio de observação remota, considerando que o calor interno de um objeto é convertido em energia radiante, e para a maioria dos objetos existe uma forte correlação positiva entre a temperatura cinética real do objeto e o fluxo radiante emanado dos mesmos. Nesse contexto, a temperatura de superfície refere-se ao fluxo de calor proporcionado pela energia que ingressa e parte do objeto, sendo de extrema importância para a compreensão das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. Desta forma, o autor comenta que a faixa mais adequada que possibilita uma maior transmissão da energia irradiada pela Terra, alcançando o sensor na área do infravermelho térmico do espectro eletromagnético, é o intervalo de 8,0 a 14,0 µm (Steinke et al., 2010). Por fim, um dos benefícios da observação remota térmica é fornecer simultaneamente uma extensa

rede de dados de temperatura de regiões na superfície terrestre, além de viabilizar a vigilância e o estudo de longo prazo dessas áreas (Jensen, 2009).

O Quadro 9 mostra pesquisas que elucidam a importância do sensoriamento remoto na análise da temperatura da superfície e no estudo dessa variável usando dados do satélite Landsat.

Quadro 9. Pesquisas que utilizam técnicas de sensoriamento remoto na análise da temperatura da superfície.

Pesquisa	Descrição	Fonte
PyLST: A remote sensing application for retrieving land surface temperature (LST) from Landsat data	O artigo apresenta uma aplicação para a recuperação da temperatura da superfície terrestre a partir de dados do Landsat, discutindo métodos e resultados de validação.	Jimenez-Munoz, J., & Sobrino, J. A. (2008). Environmental Earth Sciences. DOI: 10.1007/s12665-008-0027-6
Analyzing effects of environmental indices on satellite remote sensing land surface temperature	Estuda a relação entre índices ambientais e a temperatura da superfície, utilizando modelos de regressão espacial para análise.	He, X., Xu, T., et al. (2020). Applied Geomatics. DOI: 10.1007/s12518-020-00270-2
Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives	Uma revisão abrangente sobre o status atual e as perspectivas futuras para a derivação da temperatura da superfície terrestre a partir de satélites Landsat.	Li, Z.-L., Wu, H., et al. (2013). Remote Sensing of Environment. DOI: 10.1016/j.rse.2013.01.002
Urban Heat Island analysis using Landsat TM data	O estudo utiliza dados do Landsat para analisar o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas, discutindo como a urbanização afeta a temperatura da superfície.	Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Remote Sensing. DOI: 10.3390/rs3071535
Effects of urban expansion on land surface temperature patterns	Análise dos efeitos da expansão urbana nas temperaturas da superfície, utilizando dados do satélite Landsat e métricas de paisagem para comparação.	Madanian, M., et al. (2018). Environmental Monitoring and Assessment. DOI: 10.1007/s10661-018-6462-0
Satellite remote sensing of global land surface temperature: definition, methods, products, and applications.	Este artigo fornece uma visão abrangente sobre as definições, métodos e produtos relacionados à temperatura da superfície da Terra, utilizando dados de satélites.	Li, Z., Wu, H., Duan, S.B., Zhao, W., Ren, H., Liu, X., Zhou, C. (2023). Review of Geophysics, 61(1), e2022RG000777. DOI: 10.1029/2022RG000777
Pesquisa	**Descrição**	**Fonte**
Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat 8 OLI	O estudo compara diferentes métodos de recuperação da temperatura da superfície terrestre utilizando dados do	Jiménez-Muñoz, J.C., Cristóbal, J., Sobrino, J.A., Sòria, G., Ninyerola, M.,

and TIRS: A Comparative Analysis Between Radiative Transfer Equation-Based Method and Split-Window Algorithm	Landsat 8, destacando a precisão de cada abordagem.	Pons, X. (2009). Remote Sensing in Earth Systems Sciences. DOI: 10.1007/s41940-019-00025-4
Analyzing urban heat island effect using Landsat satellite data: A case study of Hangzhou, China.	Este estudo analisa o efeito da ilha de calor urbano em Hangzhou, China, usando dados de temperatura da superfície do Landsat.	Huang, J., Yang, Y., and Li, S. (2017). Remote Sensing, 9(10), 1093. DOI: 10.3390/rs9101093
Estimation of land surface temperature from Landsat 8 TIRS data using a single-channel algorithm.	Este artigo apresenta um algoritmo de canal único para estimar a temperatura da superfície a partir de dados do Landsat 8 TIRS, demonstrando a eficácia do método.	Guo, H., Zhao, Z., and Jin, Y. (2019). Remote Sensing, 11(3), 327. DOI: 10.3390/rs11030327
Monitoring Land Surface Temperature Change with Landsat Images during Dry Seasons in Bac Binh, Vietnam.	O estudo investiga as mudanças na temperatura da superfície terrestre em Bac Binh, Vietnam, utilizando imagens do Landsat ao longo de várias estações secas.	Chen, Y., Li, C., and Zheng, Y. (2020). Remote Sensing, 12(24), 4067. DOI: 10.3390/rs12244067

Elaboração: Silva (2024).

Desta forma, estudar a temperatura da superfície do espaço geográfico por meio de imagens de satélite Landsat é de fundamental importância para diversas áreas do conhecimento, principalmente para a gestão ambiental e o planejamento urbano. O monitoramento das temperaturas superficiais permite a identificação de ilhas de calor urbano, a análise de mudanças climáticas, a avaliação do uso e cobertura da terra, bem como a gestão de seus impactos para a sociedade (Weng e Schubring, 2004).

Assim, as imagens de satélite Landsat, com suas séries históricas e alta resolução espacial, oferecem dados valiosos para a análise temporal e espacial das temperaturas superficiais, servindo essencialmente para a elaboração de políticas públicas eficazes e para a tomada de decisões que visam à mitigação dos impactos ambientais e à adaptação às mudanças climáticas (Liang, 2004).

5

METODOLOGIA

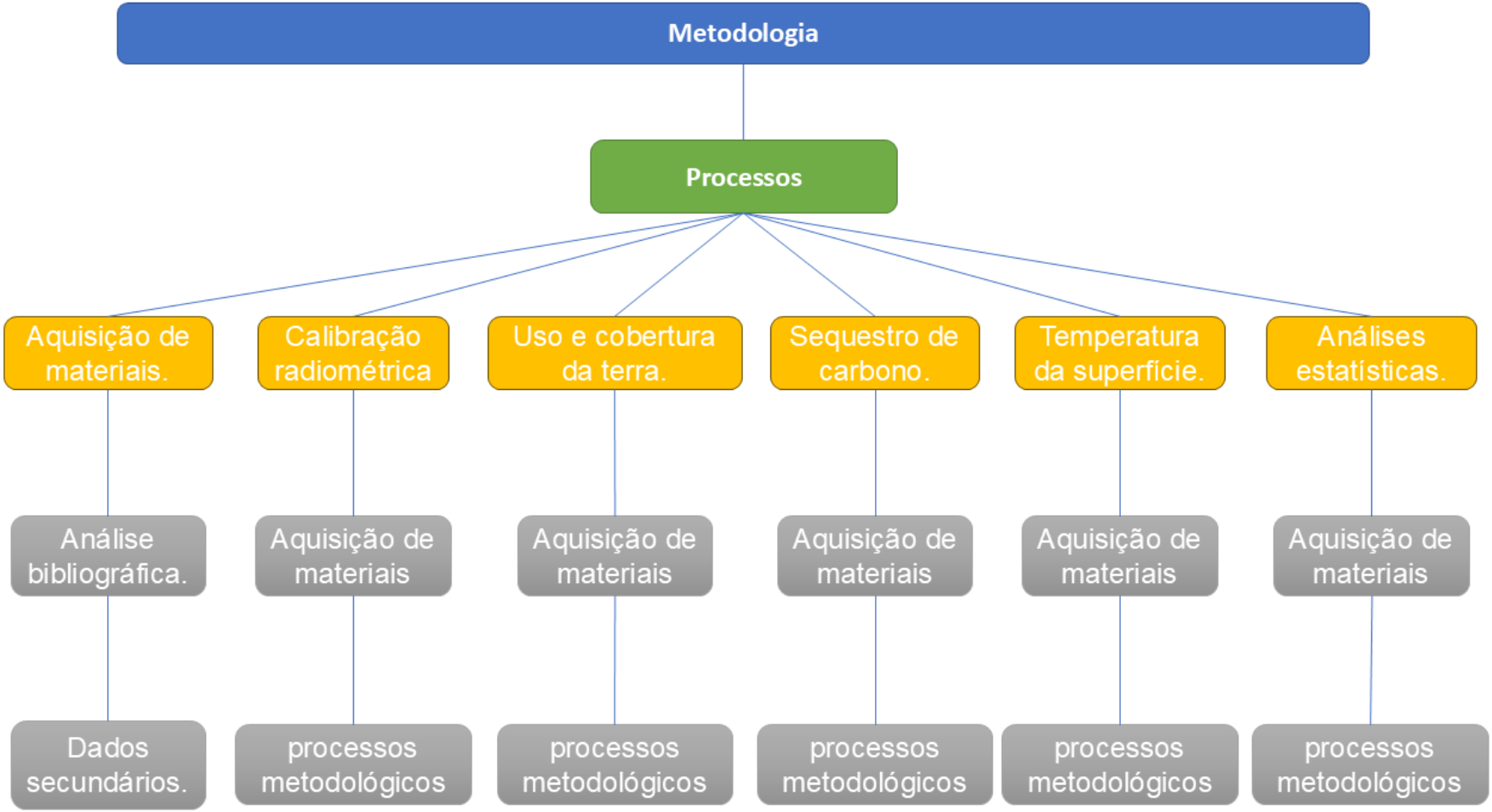
[5] Praia Do Cortado, Sinop (MT).
Fonte: MT Foco.

3. METODOLOGIA

O conjunto de ações realizadas na metodologia empregada para a investigação do município de Sinop (MT) será exposto, levando em conta as principais constatações referentes às atividades de campo, laboratórios e escritórios. Dessa forma, os procedimentos metodológicos deste estudo foram elaborados em quatro etapas e estão vinculados ao alcance de cada objetivo específico proposto.

Esta metodologia integra diversas dimensões de análise ambiental e geoespacial. Iniciou-se com a organização, controle de qualidade dos dados de satélites e calibração radiométrica para garantir a precisão e confiabilidade dos dados capturados, fundamentais para análises subsequentes. Em seguida, focou-se no uso e cobertura da terra, classificando e analisando dinâmicas territoriais através de informações geográficas detalhadas. A dimensão do fluxo de dióxido de carbono é explorada para entender e mitigar os impactos das mudanças climáticas. A temperatura da superfície é monitorada para avaliar variações climáticas e ambientais. Por fim, realizou-se análises estatísticas para interpretar os resultados, assegurando uma compreensão abrangente dos sistemas ambientais estudados. Essa abordagem integrada permite uma avaliação precisa e holística dos impactos ambientais e das tendências de uso da terra.

Figura 7. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da metodologia.



Elaboração: Silva (2024).

3.1. Aquisição de materiais de trabalho.

Os primeiros procedimentos executados nessa fase compreenderam a análise bibliográfica de obras e periódicos científicos que abordam o tema, visando o respaldo teórico e metodológico para a condução desta pesquisa. As pesquisas nos principais meios de buscas de trabalhos acadêmicos como Scielo, Scopus, Google Acadêmico, Sciencie Direct, Periódico CAPES (Quadro 10), dentre outros, se direcionaram a partir das palavras chaves como *"analise por meio da perspectiva sistêmica; serviços ecossistêmicos na função de regulação; análise ambiental em municípios; geotecnologias aplicada a análise ambiental; determinação do índice de vegetação padronizada; exploração de município e emprego de tecnologias geoespaciais na avaliação ambiental e técnicas de sensoriamento remoto na análise de fluxo de dióxido de carbono e temperatura da superfície."*

Quadro 10. Bibliotecas digitais e seus endereços eletrônicos onde foram adquiridas as referências bibliográficas.

Biblioteca digital	Endereço eletrônico
Scielo	https://www.scielo.br/
Scopus	https://www.elsevier.com/pt-br/products/scopus
Google Acadêmico	https://scholar.google.com.br/?hl=pt
Sciencie Direct	https://www.sciencedirect.com/
Periódico CAPES	https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?

Elaboração: Silva (2024).

Posteriormente, foram efetuados levantamentos, aquisições e compilações de uma base de dados secundários em formato shapefile, conforme demonstrado no Quadro 11. Tais informações são cruciais para a construção da caracterização geoambiental e o entendimento dos aspectos físicos da área de estudo, uma vez que abordam as configurações e formações locais. Nesse sentido, foram compiladas e analisadas categorias de dados relacionados a mapas Geológicos, Geomorfológicos, Solos, Vegetação, Aptidão agrícola, arquivos vetoriais provenientes de bancos de dados das seguintes fontes: sistema estadual de informações cartográficas (INTERMAT), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Departamento

Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e FOREST-GIS, os quais guardam pertinência com a pesquisa desenvolvida em municípios.

Quadro 11. Arquivos vetoriais adquiridos de bancos de dados das fontes diversas.

Instituição	Arquivo	Site	Formato	Metadado
IBGE	Pedologia do estado de Mato Grosso.	https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads	.Shp	Macrozoneamento 1984/1985 Escala 1:250.000.
	Cobertura vegetal do estado de Mato Grosso.	https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=downloads	.Shp	Macrozoneamento 1984/1985 Escala 1:250.000.
	Geologia do estado de Mato Grosso.	https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15822-geologia-1-250-000.html?=&t=downloads	.Shp	Escala 1:250.000.
	Divisão dos estados e cidades do Brasil	https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads	.Shp	Escala 1:500.000.
GEOMETADADOS DO MT	Aptidão agrícola de Mato Grosso	https://metadados.geo.mt.gov.br/geonetwork/srv/api/records/39d966e7-f4b2-4cca-bbcf-78c14cc9f83b	.Shp	Escala 1:250.000
DNIT	Rodovias estaduais e federais.	https://ide.geobases.es.gov.br/layers/geonode:dnit_rodovias_es_31984/metadata_detail	.Shp	--
FORESTGIS	Divisão dos países da América do Sul.	https://forest-gis.com/download-gis-base-de-dados/	.Shp	Escala 1:1.000.000.
ANA	Hidrografia Ottocodificada.	https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f	.Shp	Escala 1:350.000

Elaboração: Silva (2024).

No que se refere aos dados raster, foi utilizada a plataforma Earth explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) para adquirir os arquivos em formato .tiff. O primeiro dado se refere a imagem do radar SRTM 1 Arc-Second Global, carta SC-21-Z-C-VI-4, resolução espacial de 30 metros e escala 1:600.000 para ser gerado e analisado as informações de declividade.

O segundo dado foram as imagens de satélites com as menores porcentagens de presença de nuvens de cada ano do Landsat 5/TM, pontos 226/227 e órbita 68, nos anos de 1984 a 2012 e Landsat 8/OLI e TIRS, pontos 226/227 e órbita 68, nos anos de 2013 a 2022 (Quadro 12) durante o período da seca para ser gerado e analisado o uso e cobertura da terra. Vale salientar que os dados dos satélites Lansat 5 e 8 foram utilizados no processo de aquisição do uso e cobertura da terra e, os mesmos, foram escolhidos por exibirem séries temporais favoráveis para essa pesquisa, além de uma resolução espectral adequada para o mapeamento de vários gêneros com escalas minuciadas (Jensen, 2009). Os arquivos foram adquiridos no catálogo de imagens do Earth Explorer pertencente ao site do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS) em Landsat Collection 2 level-1 (Quadro 15).

Quadro 12. Imagens de satélites Landsat 5 e 8 utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

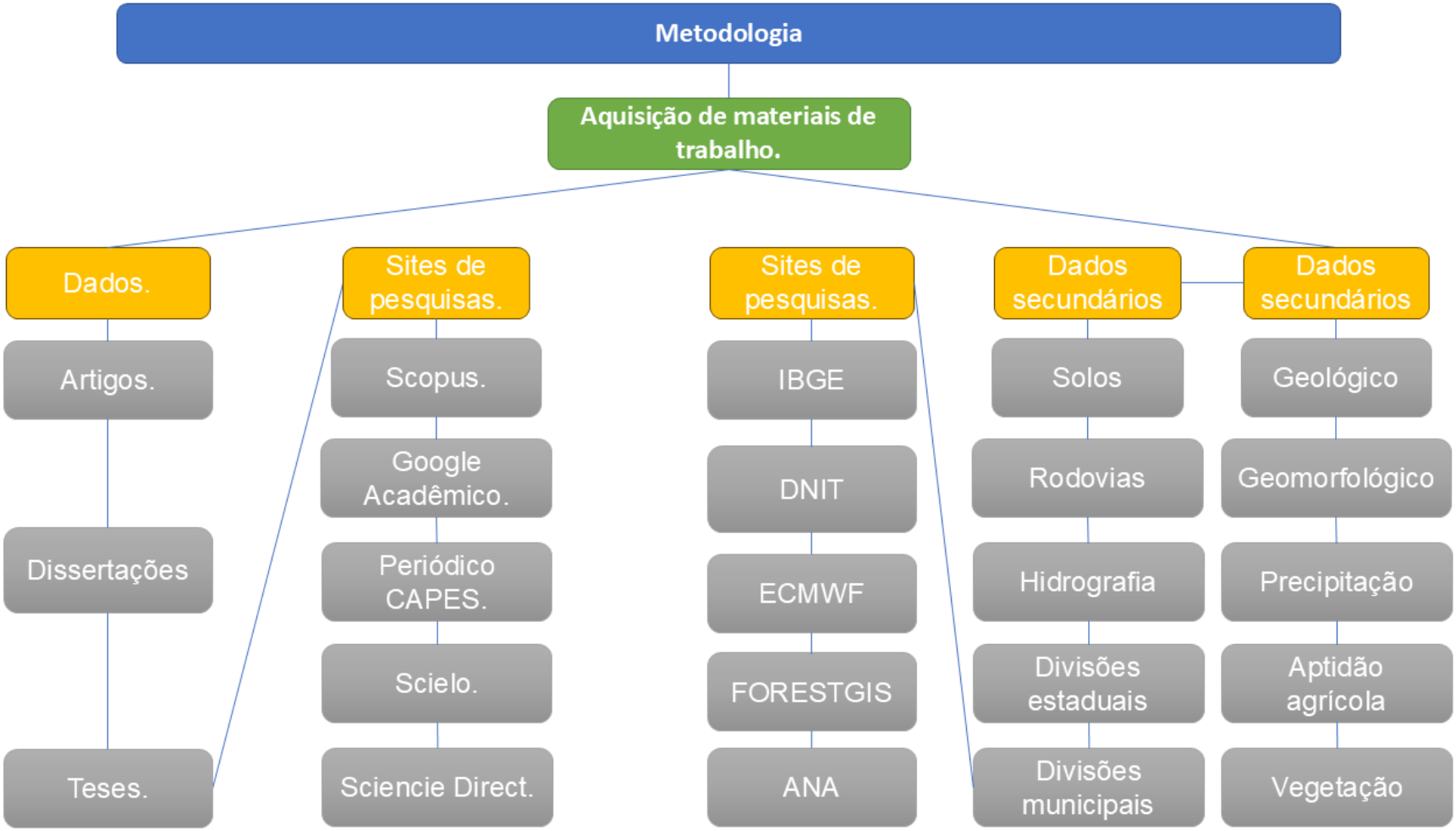
Imagens de satélites Landsat 5					
Data	**Ponto**	**Órbita**	**Data**	**Ponto**	**Órbita**
11/04/1984	226	68	21/06/1984	227	68
19/07/1985			26/07/1985		
07/08/1986			27/06/1986		
25/07/1987			13/05/1987		
12/08/1988			19/08/1988		
31/08/1989			21/07/1989		
15/06/1990			24/07/1990		
18/06/1991			25/06/1991		
14/07/1992			13/07/1992		
09/07/1993			16/07/1993		
12/07/1994			03/07/1994		
16/08/1995			07/08/1995		
01/07/1996			24/07/1996		
21/08/1997			28/08/1997		
23/07/1998			30/07/1998		
24/06/1999			15/06/1999		
26/06/2000			01/06/2000		
29/06/2001			19/05/2001		
28/06/2002			20/05/2002		
05/07/2003			28/07/2003		
06/06/2004			28/06/2004		
10/07/2005			01/07/2005		
29/07/2006			05/08/2006		
01/08/2007			08/08/2007		

18/07/2008			09/07/2008		
21/07/2009			12/07/2009		
22/06/2010			13/06/2010		
13/09/2011			04/09/2011		
12/07/2012			05/08/2012		
Imagens de satélites Landsat 8					
13/05/2013	226	68	21/06/2013	227	68
04/08/2014			11/08/2014		
20/06/2015			27/06/2015		
24/07/2016			31/07/2016		
09/06/2017			16/06/2017		
28/06/2018			05/07/2018		
02/08/2019			09/08/2019		
03/07/2020			10/07/2020		
22/07/2021			29/07/2021		
25/07/2022			01/08/2022		

Elaboração: Silva (2024).

Em relação aos dados de precipitação, desmatamento da Amazônia em Mato Grosso (PRODES), áreas plantadas de cultura agrícola temporária e produção pecuária de Sinop (MT), foram adquiridos em formato .xls. Vale ressaltar que os dados de precipitação foram adquiridos no site http://www.meteomanz.com/pr1?pind=17026&l=1&run=18, os dados de desmatamento da Amazônia em Mato Grosso (PRODES), foram adquiridos no site https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br e os dados de áreas plantadas de cultura agrícola temporária e produção pecuária de Sinop (MT) foram adquiridos no site https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnadct/tabelas.

Figura 8. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da aquisição de materiais de trabalho.



Elaboração: Silva (2024).

3.2. Calibração radiométrica dos dados de satélite da área

A calibração radiométrica é um processo fundamental no sensoriamento remoto, que visa garantir que os valores de reflectância capturados pelos sensores correspondam adequadamente à realidade física. Ela envolve a preparação dos equipamentos, medições com padrões de referência, e o processamento dos dados para ajustar as imagens de forma que seus valores de pixel reflitam corretamente a quantidade de energia eletromagnética refletida ou emitida por uma superfície

Essa etapa foi necessária, pois apesar de fazer parte da mesma série, os satélites utilizados na pesquisa não possuem o mesmo tipo de sensor, foram utilizados o sensor Thematic Mapper do Landsat 5 e Operational Land Imager e Thermal Infrared Sensor do Landsat 8 (Kalaf et al. 2013).

Consequentemente, serão realizadas duas etapas de processamento digitais com cálculos diferentes para cada satélite na realização da calibração radiométrica.

Com as imagens do satélite Landsat 5, será convertido o número digital dos pixels de cada banda em radiância espectral monocromática por meio do cálculo de radiação espectral, para isso será utilizada a fórmula de acordo com Markham e Barker (1987) apud Neto (2008).

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}}\right)(Q_{cal} - Q_{calmin}) + L_{min\lambda}\ (Equação\ 1)$$

Em que:

Lλ = é a radiância espectral registrada no sensor [W/m2 sr μm].

Qcal = valor do pixel calibrado [DN].

Qcal min = valor de DN mínimo correspondente.

Qcalmax = valor de DN máximo correspondente ao LMAXλ [DN].

LMINλ = radiância espectral registrada no sensor que é escalonado em relação ao Qcal min [W/m2 sr μm].

LMAXλ = radiância espectral registrada no sensor que é escalonado em relação ao Qcal max [W/m2 sr μm].

Posteriormente, serão utilizados os dados convertidos em radiância para realizar o processo de conversão para dados de reflectância aparente. O cálculo da reflectância estratosférica no topo da atmosfera é realizado por meio da equação de acordo com Markham e Barker (1987) apud Neto (2008):

$$\rho\lambda = \frac{\pi \; x \; L_\lambda \; x \; d^2}{ESUN_\lambda \; x \; cos\Theta_s} \; (Equação \; 2)$$

Em que:

Pλ = Reflectância planetária no topo da atmosfera [adimensional].
π = Constante matemática igual a ~3,14159 [adimensional].
Lλ = Radiância espectral no sensor [W/m2 sr μm].
d = Distância Terra-Sol [unidade astronômica].
ESUNλ = Irradiância solar estratosférica média [W/m2 sr μm].
Θs = Ângulo zenital Solar [graus].

Para o satélite Landsat 8, a primeira etapa do processamento também incidirá no cálculo da radiação espectral em cada banda, entretanto, as formulas utilizadas nesses cálculos são diferentes das que foi usada para calcular a correção das bandas do Landsat 5, deste modo, Santos et at (2014), informam que as bandas deverão serem processadas com base na seguinte equação:

$$L_\lambda = \; M_L Q_{cal} + \; A_L \; (Equação \; 3)$$

Em que:

Lλ: Radiância espectral no topo da atmosfera (W/m2srad).
ML: Fator multiplicativo reescalonado da radiância para a banda específica.
Qcal: Número digital (ND) do pixel.
AL: Fator aditivo reescalonado da radiância para a banda específica.

Em seguida, Santos et at (2004) declaram a conversão dos números digitais das bandas em reflectância planetária sem correção pela formula:

$$\rho\lambda = M_p Q_{cal} + A_\rho \ (Equação\ 4)$$

Em que:

Pλ: Reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar.
Mp: Fator multiplicativo reescalonado da reflectância para a banda específica.
Qcal: Número digital (ND) do pixel.
Ap: Fator aditivo reescalonado da reflectância para a banda específica.

A reflectância planetária corrigida será obtida pela seguinte equação:

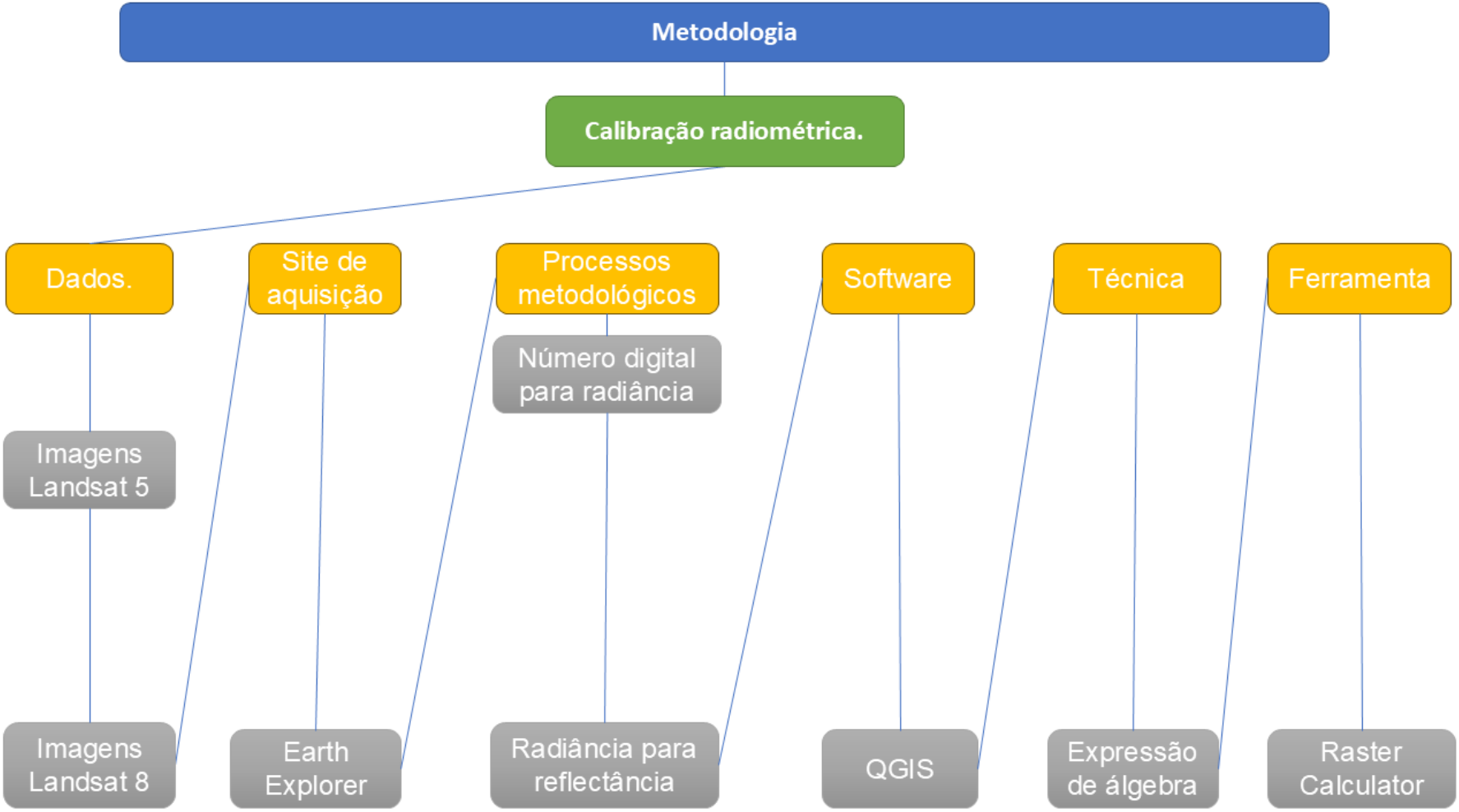
$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda}{sen\ (\Theta_{SE})} = \frac{\rho\lambda}{cos\ (\Theta_{SZ})}\ (Equação\ 5)$$

Em que:

Pλ = Reflectância exoatmosférica ou do topo da atmosfera.
Θse = Ângulo de elevação solar local equivalente ao valor SUN_ELEVATION
Θsz = Ângulo solar zenital local (Θsz = 90 - Θse)

Para a concretização dessas tarefas e a realização dos cálculos necessários para a calibração radiométrica, foi executada uma expressão de álgebra de mapa por meio da ferramenta raster calculator disponibilizada no QGIS Desktop 3.22.8.

Figura 9. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da calibração radiométrica.



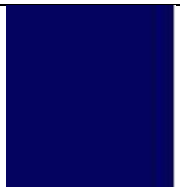
Elaboração: Silva (2024).

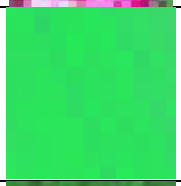
3.3. Uso e cobertura da Terra

O uso e cobertura da terra nos distintos anos desta pesquisa foram adquiridos por meio da classificação das imagens Landsat 5 e 8 realizadas em cinco etapas (coleta de amostras testes, classificação supervisionada, avaliação de acurácia, vetorização dos resultados e correção manual dos polígonos que possuíram classificação de forma incorreta) com a utilização do Semi-automatic Classification Plugin (SCP) nas três primeiras etapas e da ferramenta “Polygonize (raster to vector)” no quarto passo. Vale ressaltar que ambos instrumentos estão inseridos no software QGIS Desktop 3.22.8.

Portanto, o procedimento se iniciou com a seleção e aquisição de 100 (cem) amostras aleatória estratificada testes em formato shapefile a partir de uma chave de interpretação apresentada no Quadro 13, por vetorização de polígonos em tela mediante interpretação de composições coloridas RGB 543 (Landsat 5) e RGB 654 (Landsat 8) de cinco classes de interesse, baseadas no Manual de Uso e Cobertura da Terra do IBGE, para a escala 1:100.000: Área urbanizada (malha urbana de Sinop (MT)); Corpos d’água continental (rios, lagos e lagoas), Florestal (Floresta amazônica, áreas de preservação permanente, reserva legal e afins), Lavouras temporárias (culturas agrícolas de curta ou média duração) e Pastagem (áreas destinas para o criadouro de animais pertencentes a cultura da pecuária).

Quadro 13. Chave de interpretação das classes de uso e cobertura da terra no município de Sinop (MT).

CLASSE	AMOSTRA	COR	CARACTERISTICAS
Corpos d’água continental		Cor azul (material em suspensão) ou preta (água limpa)	Textura lisa, forma irregular, linear retilínea ou curvilínea para os rios.
Pastagem		Magenta e ciano	Textura lisa e forma regular/geométrica.

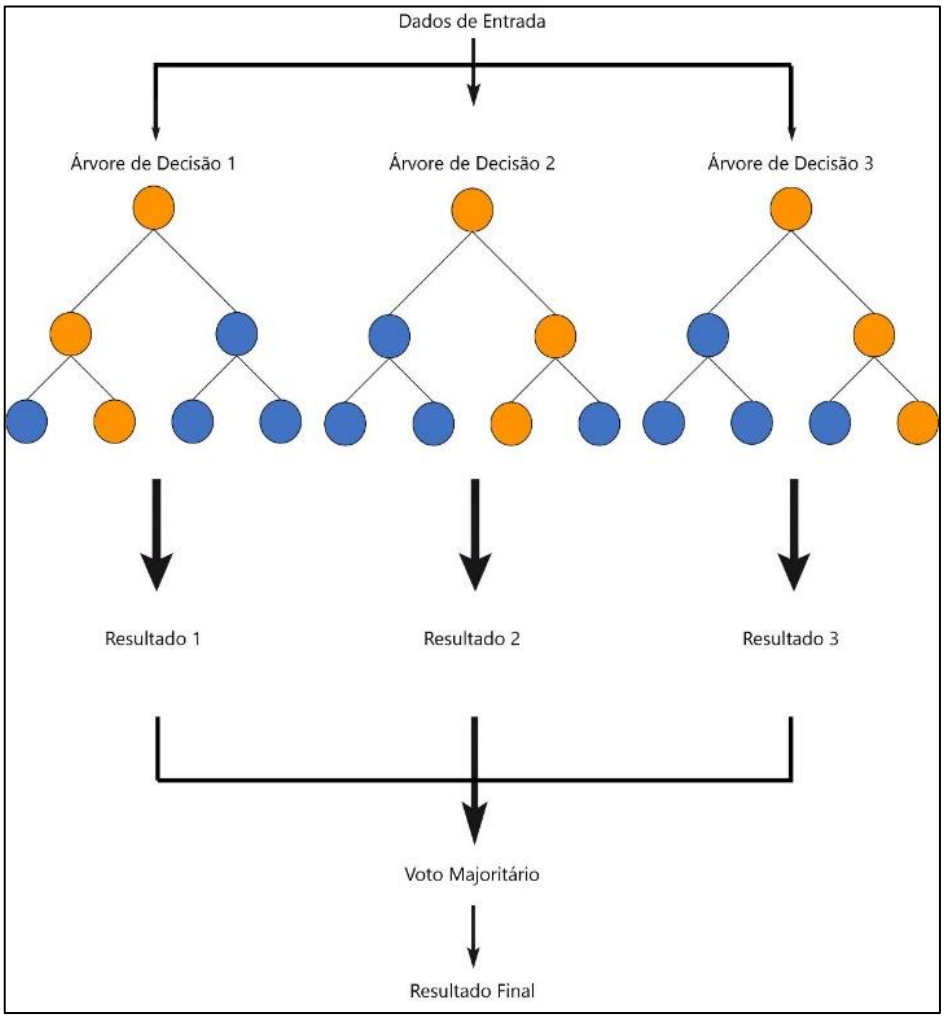
Área urbanizada		Magenta	Textura ligeiramente rugosa, forma irregular, localização junto a rodovias.
Lavouras temporárias		Verde claro	Textura lisa e forma regular/geométrica.
Florestal		Verde escuro	Textura rugosa, forma irregular.

Elaboração: Silva (2024).

Posteriormente, inseriu-se as amostras no plugin SCP[6] como dados de entradas para serem usufruídas como parâmetros de identificação das classes de interesse e utilizou-se o algoritmo Random Forest (RF) para realização da classificação supervisionada. Esse classificador faz parte da família de algoritmos de machine learning que dispõe de árvores de decisões como método para elaborar sua classificação e avaliar os valores adquiridos por meio dos retornos dos resultados (Maxwell; Warner e Fang, 2018). Como posto na Figura 10, em seu processo de classificação, o Random Forest (RF) utiliza-se do método *bagging* para fracionar os dados em dois subconjuntos (treinamento e teste), o subconjunto do treinamento é caracterizado por possuir dois terços dos dados e é empregado para capacitar o modelo enquanto o subconjunto de teste é utilizado posteriormente no momento das classificações (Belgiu e Drăgut., 2016).

[6] O **Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)** é um plugin gratuito e de código aberto para o software QGIS, amplamente utilizado para a classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto. Ele oferece ferramentas para facilitar o processo de classificação, como o download de imagens de satélite, geração de assinaturas espectrais e a execução de classificações supervisionadas e não supervisionadas. O SCP permite que os usuários processem grandes volumes de dados de forma eficiente, tornando-o uma solução popular em análises ambientais e de uso da terra, além de ser uma ferramenta essencial para quem trabalha com imagens de satélite no QGIS. https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/

Figura 10. Ilustração simplificada do processo de classificação Random Forest.



Fonte: Kohersen (2017). Elaboração: Silva (2024).

Para analisar a acurácia dos resultados da classificação supervisionada alcançados nesse estudo foi utilizado a ferramenta SCP para atingir as matrizes de confusão entre os dados classificados e os dados de referência. Nesse processo, o plugin foi alimentado com 100 (cem) aquisições distintas das amostras coletadas para a etapa de treinamento da classificação supervisionada para servir como dados de referência para calcular o coeficiente Kappa[7] Congalton & Green (2008).

[7] Em síntese, o Coeficiente Kappa é delineado como um parâmetro de associação entre dois valores e é utilizado para aferir o grau de consonância em uma classificação de imagem de satélite (Kotz e Johnson, 1983). Os seus valores de acurácia vão de 0 quando o resultado não apresenta concordância entre os dados classificados e as amostras de referência até 1 quando apresenta uma concordância muito alta.

Posteriormente, realizou-se a vetorização dos resultados das classificações empregando a ferramenta Polygonize (raster to vector)” inserida no software QGIS Desktop 3.22.8 e a correção manual dos polígonos classificados de forma errada utilizando as imagens de satélites de cada ano respectivo.

Após a produção de todas as informações geográficas de uso e cobertura da terra, a próxima etapa a ser seguida foi à criação e edição do resultado final, o mapa temático. Para a elaboração do mapa, utilizou-se o módulo Visão de Layout do QGIS. Deste modo, para a elaboração dos mapas desta tese, foram seguidos um padrão de *layout* desenvolvido no *software* QGIS.

Um dos passos mais cruciais na elaboração de um mapa é o processo de seleção e utilização das tonalidades que irão representar os elementos de interesse, neste contexto, as categorias de uso e cobertura da terra que foram cartografadas. Assim, foi seguida a sugestão do guia técnico de uso da terra disponível na biblioteca online do site do IBGE para estabelecer os nomes e especificar as cores das categorias temáticas, (Figura 11).

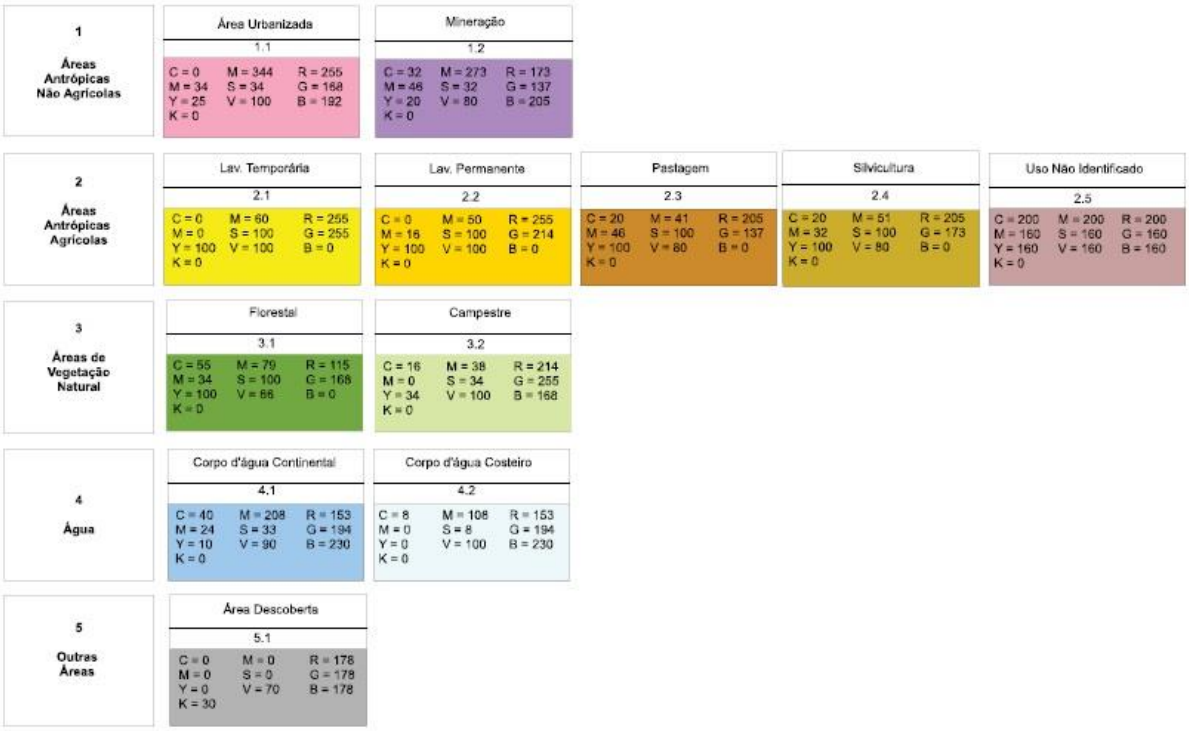
Figura 11. Classes da cobertura e do uso da terra Níveis I e II.

NÍVEL I	NÍVEL II	
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Área Urbanizada
	1.2	Área de Mineração
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1	Cultura Temporária
	2.2	Cultura Permanente
	2.3	Pastagem
	2.4	Silvicultura
	2.5	Uso Não Identificado
3. Áreas de Vegetação Natural	3.1	Florestal
	3.2	Campestre
4. Água	4.1	Corpo d'Água Continental
	4.2	Corpo d'Água Costeiro
5. Outras Áreas	5.1	Área Descoberta

Fonte: IBGE (2013).

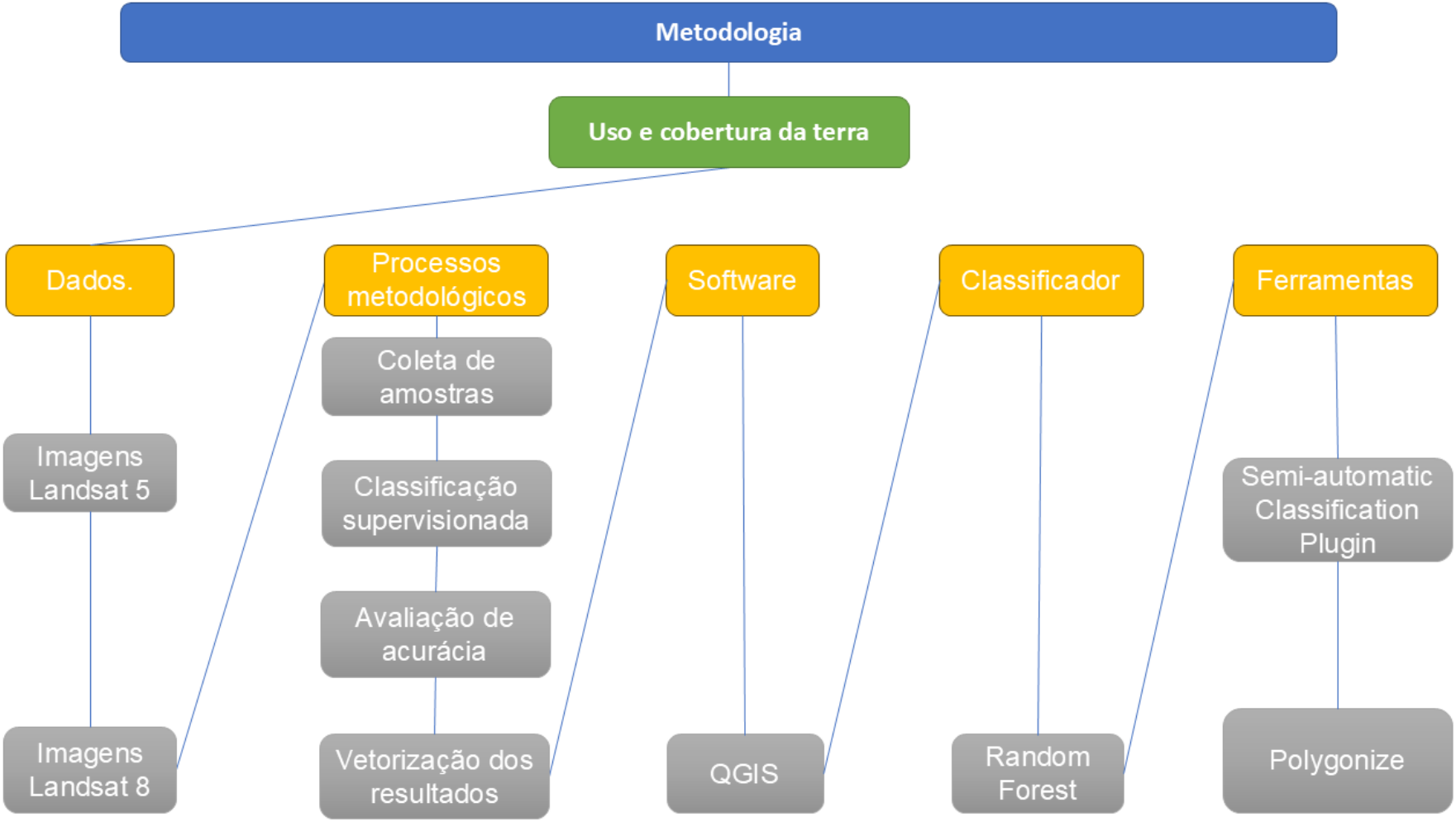
O manual apresenta o desenho esquemático dos fluxos existentes no processo de levantamento e classificação da cobertura e do uso da terra (Figura 12).

Figura 12. Cores das classes de mapeamento em RGB.



Fonte: IBGE (2013).

Figura 13. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro do uso e cobertura da terra.



Elaboração: Silva (2024).

3.4. Fluxo de dióxido de carbono.

O índice CO_2flux, mede a eficiência do fluxo de dióxido de carbono pela vegetação fotossinteticamente ativa. Os valores elevados do CO_2eflux caracterizam as áreas com maiores atividades fotossintéticas, simbolizando maiores fluxos de dióxido de carbono na atmosfera, enquanto os valores mais baixos representam as áreas com menores atividades fotossintéticas, caracterizando menores fluxos de dióxido de carbono. Por fim, são observadas maiores feições de absorção nas faixas do azul e do vermelho (Rahman et al., 2000; Baptista, 2004).

Desta maneira, o CO_2flux é a assimilação do índice de reflectância fotoquímica (PRI), que retrata a competência da utilização da luz na fotossíntese, com o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), que constitui na robustez da vegetação fotossinteticamente ativa. Assim, a equação a seguir descreve a integração desses dois índices que resulta na possibilidade de compreender as feições de absorção consequentes do fluxo de dióxido de carbono (Rahman et al., 2001).

$$CO_2\text{flux} = \text{NDVI} * \text{sPRI} \ (Equação\ 6)$$

Contudo, o modelo apresenta coeficientes lineares e angulares referenciados com os índices de vegetação NDVI e PRI e devem ser adequados de acordo com as características ambientais do espaço geográfico analisado. Destarte, os valores do CO_2Flux (µmol m^{-2} s^{-1}) foram estimados anualmente tomando a mediana anual da série temporal (Eq. 5). Os fatores utilizados na equação 7 foram calibrados com base no método de Covariância de Vórtices Turbulentos em torres micrometeorológicas (Boas dos Santos, 2017; Della-silva et al., 2022; Santos et al., 2021).

$$CO_2\text{flux} = 13{,}63 \ - \ 66{,}207 \ (\text{NDVI} * \text{sPRI}) \ (Equação\ 7)$$

Para medir a estimativa do balanço de Dióxido de carbono (CO_2) em µmol m^{-2} s^{-1} nos elementos presentes dentro das classes de uso e cobertura da terra do município de Sinop (MT), foi utilizado o modelo empírico baseado em sensoriamento remoto denominado CO_2Flux, que relaciona dois índices de vegetação, o Índice de

Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) mostrado na equação 8, e o Índice de Reflectância Fotoquímica escalonado (sPRI) exibido na equação 10. Para tal tarefa, foi usado a linguagem JavaScript como entrada na plataforma Google Earth Engine para calcular os valores médios anuais de todas as imagens de satélites disponíveis no catálogo do Earth Explorer pertencente ao site do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS) com porcentagens de nuvens abaixo que 10%, de janeiro a dezembro, entre 1984 a 2022 do índice de fluxo de CO_2.

Assim, Rouse et al (1973) propõe o cálculo do NDVI com a expressão:

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V}\right) (Equação\ 8)$$

Em que:

PIVP = Valor da reflectância na faixa do infravermelho próximo

PV = Valor da reflectância na faixa do Vermelho do visível

O PRI é empregado em pesquisas de estresse e de produtividade da vegetação e é calculado segundo a equação (Gamon et al., 1992):

$$PRI = \frac{BLUE - GREEN}{BLUE + GREEN} (Equação\ 9)$$

Em que:

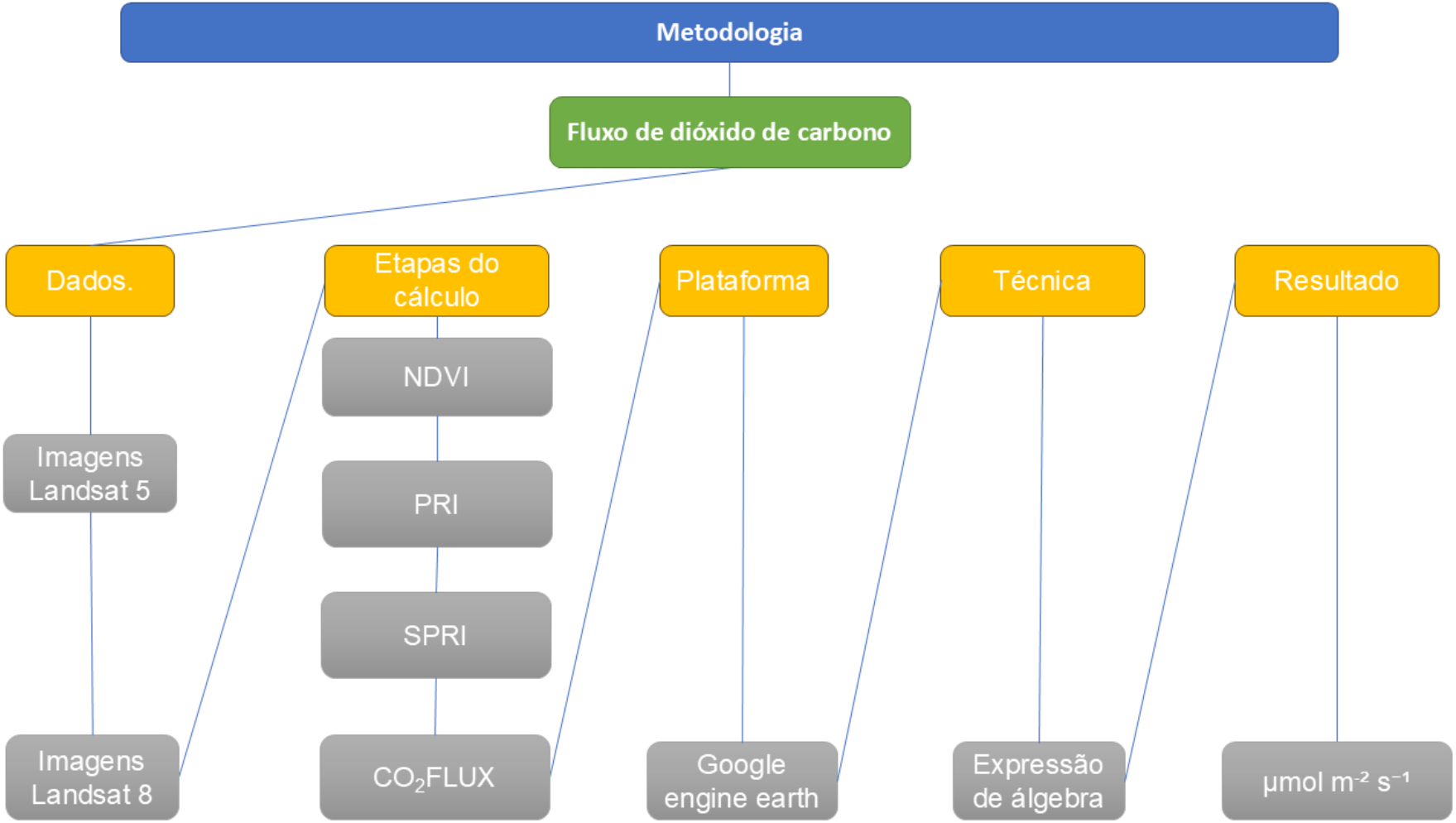
Blue = reflectância no azul.

Green = reflectância no verde.

Todavia, para se ajustar à escala do NDVI, Rahman et al. (2001) propõem um reescalonamento do índice PRI, por meio do Scaled Photochemical Reflectance Index (sPRI), sendo gerado um novo índice:

$$sPRI = \frac{PRI}{2} + 1\ (Equação\ 10)$$

Figura 14. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro do fluxo de dióxido de carbono.



Elaboração: Silva (2024).

3.5. Temperatura da superfície.

Para chegar aos resultados de valores médios anuais de temperatura da superfície nos anos de 1984 a 2022 dentro das classes de uso e cobertura da terra do município de Sinop (MT), foi usado a linguagem JavaScript como entrada na plataforma Google Earth Engine para calcular os valores médios anuais de todas as imagens de satélites disponíveis no catálogo do Earth Explorer pertencente ao site do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS) com porcentagens de nuvens abaixo que 10%, de janeiro a dezembro, com cálculos diferentes para cada satélite. Inicialmente, no satélite Landsat 5 foi utilizado a banda 6 (infravermelho termal, 10.4 – 12.5 µm e resolução espacial de 120 metros) do sensor TM com os números digitais dos pixels convertida em radiância espectral monocromática (Equação 2). Em seguida, foi aplicado a equação 11 com o objetivo de converter os valores de radiância espectral monocromática em temperatura de valor em Kelvin (Chander et al. 2009):

$$T = \frac{K_2}{In\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (Equação\ 11)$$

Em que:

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;
K2 = Constante de calibração = 1.260,56
K1 = Constante de calibração = 607,76
L ƛ= Radiância espectral em Watts / (metros quadrados).

Lopo após, os valores alcançados em kelvin foram transformados em graus Celsius (°C) por meio da subtração de seu valor absoluto (273,15), gerando um novo arquivo raster com os valores de temperatura.

No satélite Landsat 8 foi utilizado a banda 10 (infravermelho termal, 10.6 – 11.19 µm e resolução espacial de 100 metros) do sensor TIRS. Para aquisição dos valores de temperatura da superfície nesse satélite, precisou-se aplicar quatro cálculos diferentes (Radiância no topo da atmosfera, NDVI, Radiância da banda termal

corrigida e Temperatura da superfície com correção atmosférica) realizados na ferramenta raster calculator disponibilizada no QGIS Desktop 3.22.8 (Avdan e Ndossi, 2016).

A equação 3 foi utilizada para alcançar o resultado da primeira etapa (radiância no topo da atmosfera) e foi efetuada na banda 10. O NDVI (Equação 8), segunda etapa desse procedimento, foi executado por meio da equação 8 e foi usado nas bandas 4 e 5 (corrigidas radiometricamente) desse satélite.

Para se alcançar a terceira etapa (radiância da banda termal corrigida) é fundamental o cálculo de alguns fatores, o primeiro dele é o fator de cobertura, estabelecido pela equação:

$$F_c = \left(\frac{NDVI - NDVI_{mín}}{NDVI_{máx} - NDVI_{mín}}\right) 2 \ (Equação\ 12)$$

Em que:

NDVI máx = NDVI máximo possível igual a 1
NDVI mín = NDVI mínimo possível igual a -1

Adiante, é calculado a constante de emissividade pela equação:

$$\varepsilon_\theta = \varepsilon_v * F_c + \varepsilon_g * (1 - F_c) * (1 - 1{,}174 * F_c) + 1{,}7372 * F_c * (1 - F_c) \ (13)$$

Em que:

εv = Emissividade da vegetação (de valor 0.985 por Pavão, 2016)
εg = Emissividade do solo (de valor 0.960 por Pavão, 2016)
Fc= É o fator de cobertura previamente calculado na equação 12.

Por fim, é corrigido a radiância espectral da banda do espectro de infravermelho termal por meio do cálculo:

$$L_T = \frac{L_{toa} - L_u - (1 - \varepsilon_\theta) * L_d}{\varepsilon_\theta * \tau} \ (Equação\ 13)$$

Em que:

Ltoa = Radiância espectral no topo da atmosfera

ƐΘ = Emissividade da superfície previamente calculada

Lu = Radiância emitida pela superfície

Ld = Radiância recebida pela superfície

ț = Transmissividade da atmosfera.

Vale ressaltar que os dados de Lu, Ld e t foram adquiridos no site da Nasa http://atmcorr.gsfc.nasa.gov./.

No fim, é utilizado a formula a seguir para adquirir o arquivo raster com as informações de temperatura superficial com correção atmosférica em graus Celsius:

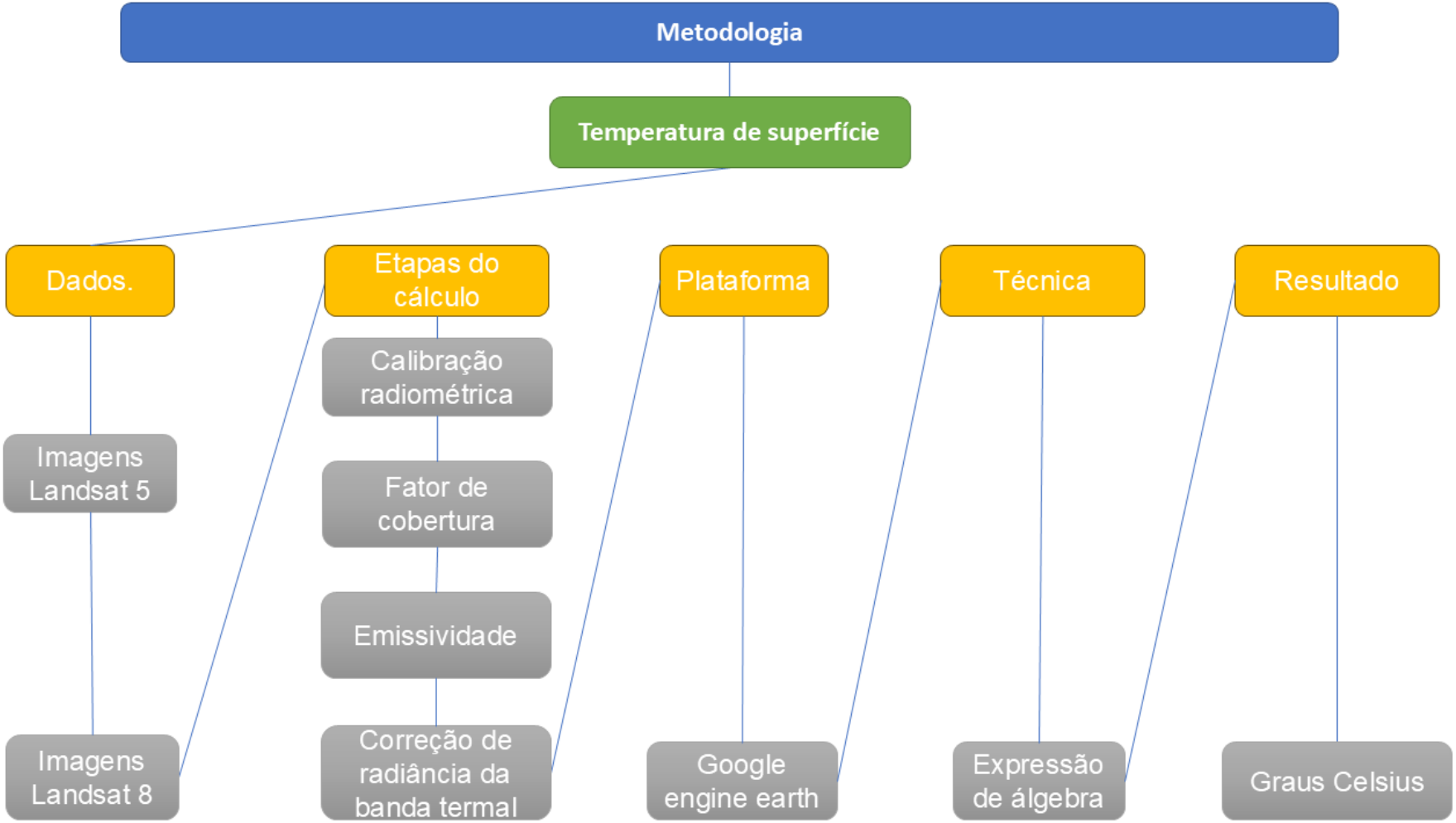
$$T_s = \frac{K_2}{In\ (\frac{K_1}{L_t} + 1)} - 273.15\ (Equação\ 14)$$

Em que:

K1 e k2 = Constantes termais para banda 10 espectral do infravermelho termal apresentadas nos metadados.

Lt = Radiância espectral corrigida.

Figura 15. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro da temperatura de superfície.



Elaboração: Silva (2024).

3.6. Análises estatísticas.

Para entender o comportamento dos fenômenos estudados presentes no município de Sinop (MT), realizou-se análises estatísticas nos dados de uso e cobertura da terra, nas médias anuais da temperatura da superfície e fluxo de dióxido de carbono dos anos de 1984 a 2022 por meio de quatro procedimentos de investigação de dados, teste normalidade de Shapiro-Wilk, teste de Mann-Kendall, teste de Pettitt e Boxplot.

O teste de Shapiro-Wilk é um exame de normalidade na estatística frequentista. Foi publicado em 1965 por Samuel Sanford Shapiro e Martin Wilk (Shapiro; Wilk, 1965).

O teste de Shapiro-Wilk experiencia a proposição inexistente de que uma unidade x1, ..., xn decorreu-se de elementos comumente distribuída. Segundo Shapiro e Wilk (1965) a equação da estatística de teste é dada como:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \ddot{x})^2} \ (Equação\ 15)$$

Em que:

$x_{(i)}$ = É a i ésima estatística de ordem;

$\ddot{x} = (x_1 + ... + x_n) /n$ é a média de amostra.

Os coeficientes a_i são estabelecidos pela seguinte equação:

$$(a_1, \ldots, a_n) = \frac{m^t V^{-1}}{C} \ (Equação\ 16)$$

Em que:

C é uma norma de vetor:

$$C = |V^{-1}m| = (m^t V^{-1} V^{-1} m)^{1/2} \ (Equação\ 17)$$

E o vetor m:

$$m = (m_1, \dots, m_n)^T \ (Equação\ 18)$$

É constituído pelos valores esperados das estatísticas de posição de variáveis aleatórias autônomas e distribuídas de maneira uniforme, amostradas da distribuição normal padrão. Por fim, V é a matriz de covariância dessas estatísticas de posição normal.

O teste de Mann-Kendall é uma análise estatística para dados não-paramétrico para fins de detectar padrões em valores de séries temporais. Mann (1945) propôs uma comparação entre aleatoriedade e tendência, enquanto Kendall (1975) havia sugerido um teste para detectar correlação, cuja aplicação é similar à situação apresentada por Mann.

A equação estatística do teste alvitrada por Kendall (1975) é dada por:

$$S = \sum_{i=n}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn\left(X_{j-} X_i\right) (Equação\ 19)$$

Estatística S do teste de Mann-Kendall

Em que:

n: quantidade de amostras de dados;

i e j (j>i) e sgn dada por:

$$sgn\left(X_{j-} X_i\right) = \begin{cases} +1, se\ X_{j-} X_i > 0 \\ 0, se\ X_{j-} X_i = 0 \\ -1, se\ X_{j-} X_i < 0 \end{cases} (20)$$

Função Sinal.

Kendall (1975) exibiu que a variável S é comumente disseminada com a média E(S) e variância Var(S). A equação de variância é dada como:

$$Var\ (S) = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i-1}^{m}[t_i\,(t_i-1)(2t_i+5)]\}}{18} (Equação\ 21)$$

Variância de S

Em que:

n: é o número de pontos dos dados,

m: é o número de grupos empatados e adverte a batelada de valores frequentes no i-ésimo grupo.

Se a quantidade de dados n for maior que 10, é utilizada a equação estatística de teste normal padrão a seguir:

$$Z_s = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var\ (S)}}, se\ S > 0 \\ \quad 0, se\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var\ (S)}}, se\ S < 0 \end{cases} \quad (Equação\ 22)$$

Estatística de teste Z

Resultados com valores positivos denotam tendências crescentes, ao mesmo tempo que resultados com valores negativos indicam tendências decrescentes. As tendências de teste são atingidas a altura de significância específica.

O teste de Pettit (PETTIT, 1979) aproveita a intercorrência do teste de Mann-kendall, para analisar a homogeneidade dos dados e constatar se houve uma ruptura na série histórica.

A estatística Ut,T é realizado por meio do apuramento da quantidade de vezes que o primeiro dado é superno ao segundo dado.

E equação segundo Pettit (1979) é dada da seguinte forma:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{T}{} sgn\left(X_{j-} X_j\right) para\ t = 2,..,T \quad (Equação\ 23)$$

Em que:

sgn(X) = 1 para X>0;

sgn(X) = 0 para X = 0; sgn(X) = -1 para X<0.

A estatística Ut,T finalmente é calculado para os valores de 1<t<T.
A estatística k(t) do teste de Pettitt é dado como:

$$k(t) \quad = MAX_{1<t<t}|U_{t,T|} \ (Equação\ 24)$$

Esta análise identifica o ponto onde ocorreu uma mudança abrupta na média de uma série temporal, que, para este estudo, dividiu a série de fluxos em original (antes do ponto de inflexão) e modificada (após o ponto de inflexão).

O Diagrama de Caixa (boxplot) é uma representação gráfica de um conjunto de dados que inclui uma linha que se estende do valor mínimo ao valor máximo, dentro de uma caixa contendo linhas verticais desenhadas no primeiro quartil, na mediana e no terceiro quartil. O quartil um, a mediana e o terceiro quartil, são três valores que dividem os dados ordenados em quatro grupos, com aproximadamente vinte e cinco porcento dos valores em cada grupo. Na Estatística Descritiva ou na análise exploratória e comparação de dados, o boxplot é um gráfico projetado para detectar os valores atípicos (valores discrepantes), que são valores bastante incomuns, pois estão significativamente distantes da maioria dos dados (Neto., eat al, 2017).

O Boxplot tem como finalidade estudar as grandezas estatística dos agrupamentos de dados, como propriedades de locação, variabilidade, média e outliers (Neto., eat al, 2017). O método foi alimentado com os dados das cem amostras coletadas de cada variável (fluxo de dióxido de carbono e temperatura da superfície) em todas as classes de uso e cobertura da terra nos anos estudados e foi desenvolvido com o software livre Rstudio[8] com o pacote ggplot2 instalado. Assim, essa parte teve como propósito conseguir visualizar a distribuição e valores discrepantes (outliers) dos dados de temperatura da superfície e fluxo de dióxido de carbono anos de 1984 a 2022, concedendo assim um meio complementar para

[8] O R Studio é uma plataforma visual para o R, que é uma linguagem de programação estatística de código aberto muito empregada por profissionais de dados e acadêmicos. Ele oferece funcionalidades avançadas para exploração de dados, representação gráfica e elaboração estatística.

aprimorar um ponto de vista sobre a probidade do comportamento dos dados dentro do município de Sinop (MT).

Por fim, foi utilizado o Hot Spot[9] para analisar os locais que mais foram impactados pelas médias anuais de temperatura da superfície e fluxo de dióxido de carbono no ano de 1984, 2004 e 2022. Para essa etapa metodológica, foi utilizado coletas de os dados de quatro mil amostras de cada variável (fluxo de dióxido de carbono e temperatura da superfície) nos anos de 1984, 2004 e 2022 para alimentar a ferramenta Hot Spot Analysis presente no software QGIS Desktop 3.22.8 que calcula a estatística Getis-Ord Gi*. Esses quatro mil pontos foram escolhidos dentro do SIG QGIS de forma aleatória e essa quantidade se justifica pelo fato de ser suficiente para cobrir todo o município de Sinop (MT).

A estatística Getis-Ord Gi* é dada como:

$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_{i,j}X_j - X \sum_{i=1}^{n} W_{i,j}}{S\sqrt{\frac{[\, n \sum_{i=1}^{n} w_{i,j}^2 - (\sum_{i=1}^{n} w_{i,j})^2]}{n-1}}} \; (Equação\ 25)$$

Em que:

Xj = É o valor do atributo da característica

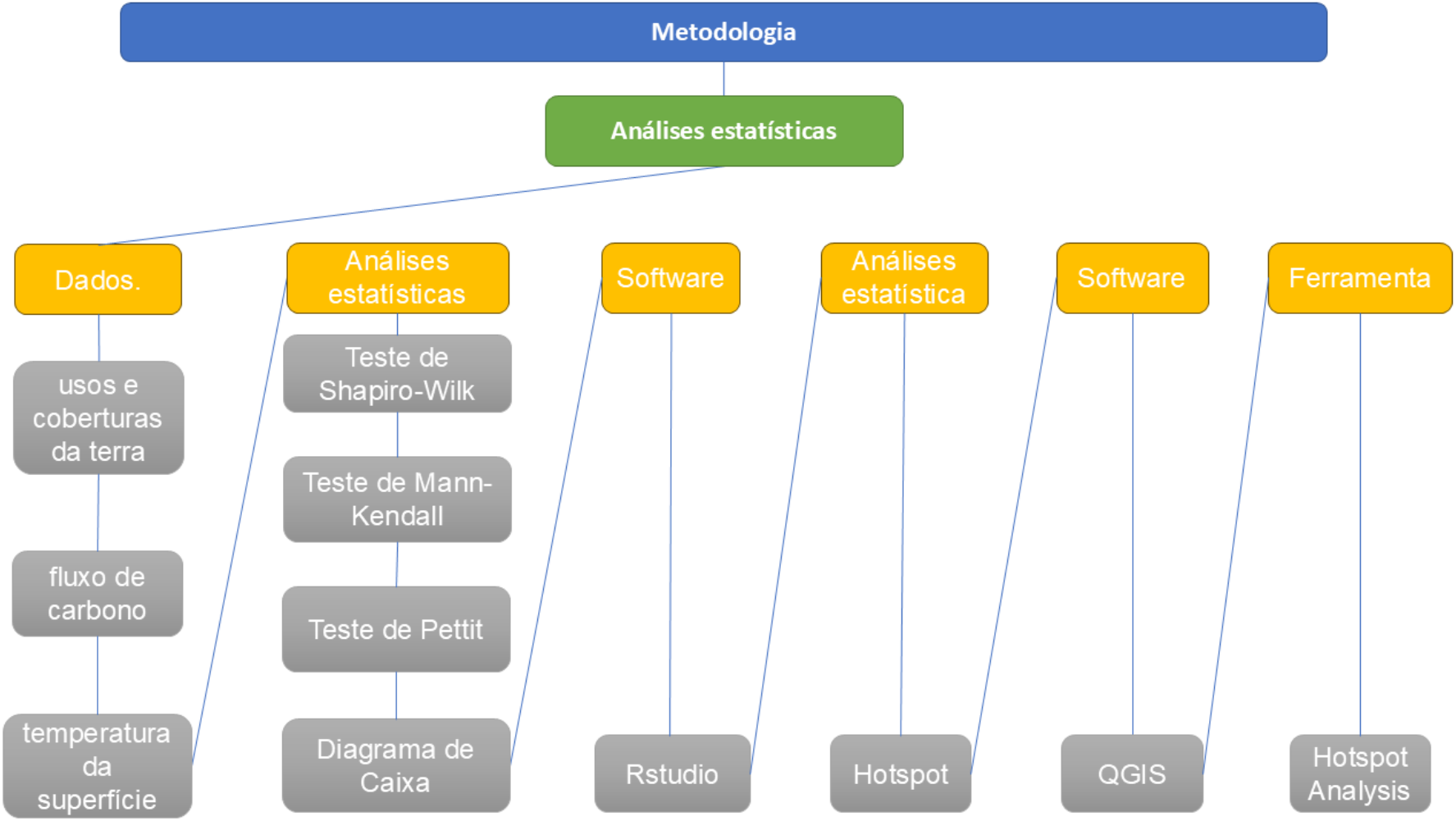
J, wi,j = É o peso espacial entre as características i e j, n é igual ao número total de características e:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_j}{n} \; (Equação\ 26)$$

[9] Este procedimento é uma técnica de análise e mapeamento espacial interessada na identificação de agrupamentos de fenômenos espaciais. Pode ser definido como uma área que possui maior concentração de eventos em comparação com o número esperado dada uma distribuição aleatória de eventos. A detecção de pontos quentes evoluiu do estudo de distribuições de pontos ou arranjos espaciais de pontos em um espaço (Chakravorty, 1995). Além de avaliar a densidade de pontos em uma determinada área, as técnicas de Hotspot também medem a extensão da interação de eventos pontuais para entender os padrões espaciais (Baddeley, 2010).

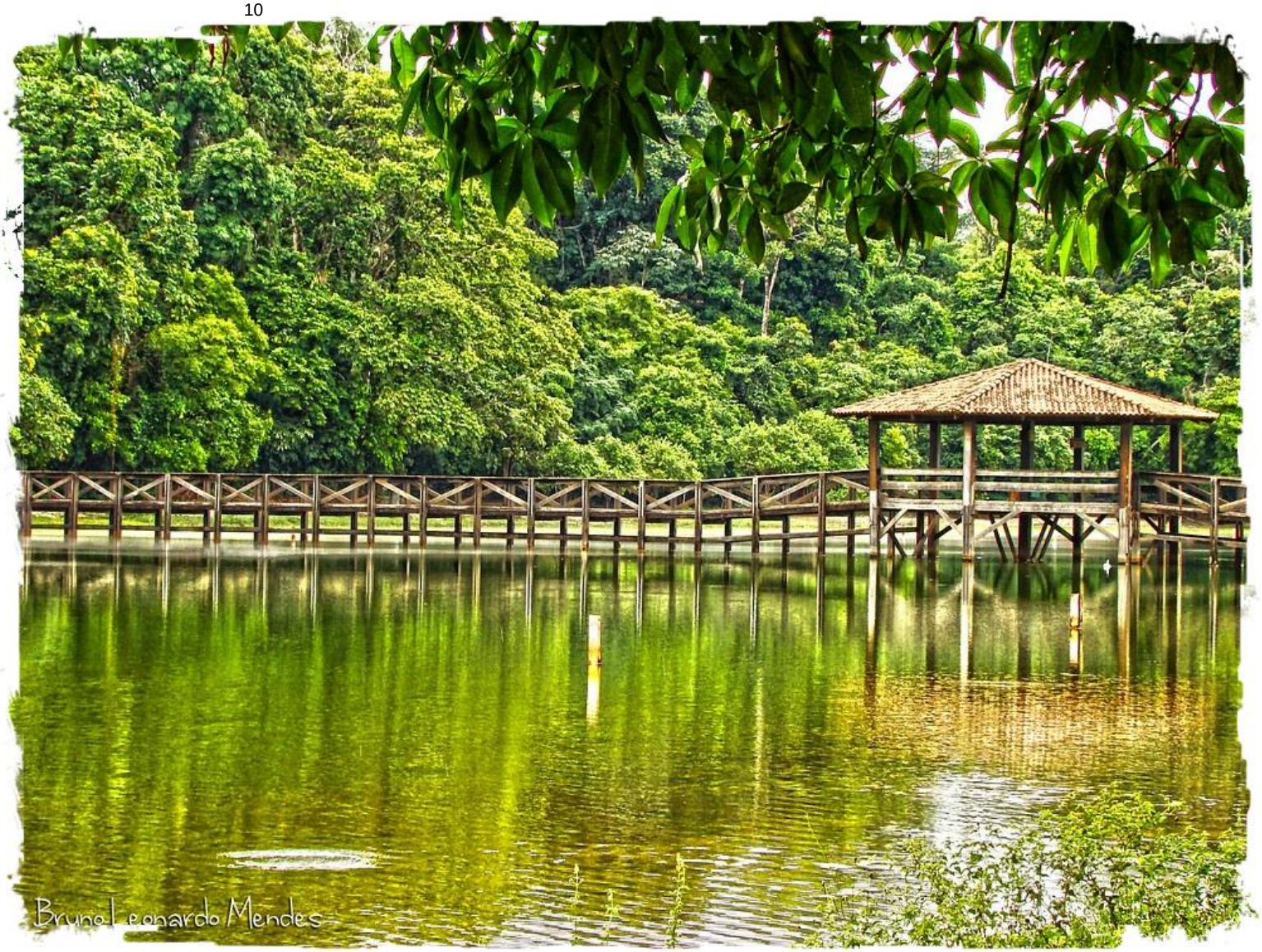
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} X_j^2}{n}} - (X)^2 \ (Equação\ 27)$$

Figura 16. Diagrama ilustrativo dos processos realizados dentro das análises estatísticas.



Elaboração: Silva (2024).

10



CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL

[10] Parque florestal de Sinop (MT).
Fonte: Bruno Leonardo Mendes.

4. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL

Compreender o espaço geográfico requer um breve diagnóstico das características do ambiente. Consequentemente, é importante conhecer os indicadores ambientais que fazem parte do local a ser estudado para estabelecer diretrizes para sua melhor conservação, a partir daí podemos citar informações como bioma, clima, precipitação, geologia, formação do relevo, pedologia, entre outras (Braz, 2017)

É importante monitorar a quantidade e a qualidade do uso e disponibilidade dos recursos naturais para garantir o planejamento e gestão adequados desses recursos (Moreira et al., 2010). No caso específico dos municípios o conhecimento das características físicas de uma determinada unidade pode garantir a maior efetividade de intervenções sustentáveis e, nesse contexto, o planejamento ambiental deve levar em consideração elementos importantes como a caraterização do ambiente em questão. Moura et al (2006) confirmam a importância das características físicas e geográficas para a concepção e implementação de projetos de infraestrutura.

4.1. Caracterização da Geologia em Sinop (MT).

De acordo com as informações adquiridas no banco de dados de Geologia do Brasil disponíveis no site do IBGE, os tipos de estruturas geológicas disponíveis no município de Sinop (MT) são a Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica, Dardanelos e Depósitos Aluvionares Holocênicos (Quadro 14).

Conforme os dados publicados no Quadro 17 e representado no mapa da Figura 17, a principal estrutura geológica do município de Sinop (MT) é a Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica presente em 315547.36 hectares de extensão, representando 79% do território (Quadro 17), situado principalmente na região central, leste, sul, norte e noroeste da área de estudo.

De acordo com Silva et al. (2019), a exploração dos materiais provenientes da Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica oferece vantagens econômicas, pois os recursos são de fácil extração e geralmente estão disponíveis perto das áreas de crescimento urbano, reduzindo os custos de transporte e logística. Os autores ainda comentam que essa estrutura geológica também contribui para a sustentabilidade ao

utilizar materiais locais, minimizando a pegada ambiental do setor de construção (Silva et al., 2019).

Na agricultura, Carvalho et al (2020) comentam que a Cobertura Detrito-Laterítica é valorizada por proporcionar solos com boa estrutura e capacidade de retenção de água, favorecendo o cultivo de culturas de grande escala, como soja, milho e algodão. Os autores ainda ressaltam que essas características tornam o manejo agrícola mais eficiente, uma vez que as propriedades do solo permitem a utilização de tecnologias agrícolas modernas, como o plantio direto, que reduz a erosão e melhora a fertilidade a longo prazo.

Em relação a construção civil, Oliveira & Santos (2017) alegam que a Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica, desempenha um papel significativo devido à abundância de materiais como laterita, cascalho e argila, essenciais para obras de infraestrutura. Os autores ainda salientam que a laterita, em particular, é amplamente utilizada como material de base em pavimentações e na construção de rodovias, graças à sua resistência e estabilidade quando compactada. Além disso, a argila extraída dessa formação geológica é fundamental na fabricação de tijolos e cerâmicas, amplamente utilizadas em construções residenciais e comerciais (Oliveira & Santos, 2017).

A segunda estrutura geológica com maior representatividade no município de Sinop (MT) foi o Dardanelos, presente principalmente na região norte (Figura 17) com uma extensão de 72687.71 hectares, sendo 18% do total da área de estudo (Quadro 14).

No que tange ao favorecimento econômico, Silva & Almeida (2018) destacam que a Cobertura Dardanelos, caracterizada por solos e formações geológicas específicas da região de Dardanelos, em Mato Grosso, é crucial para a agricultura local devido às suas propriedades físicas e químicas. Os autores ainda frisam que essa cobertura é composta por uma combinação de solos aluviais e lateríticos, que favorecem a retenção de umidade e a fertilidade, tornando a região altamente produtiva para o cultivo de diversas culturas, como soja, milho e algodão.

Ferreira et al., 2020 corroboram informando que a qualidade dos solos na cobertura Dardanelos permite a utilização de técnicas modernas de cultivo, como a rotação de culturas e o plantio direto, que são essenciais para a preservação da estrutura do solo e a mitigação da erosão. Os pesquisadores ainda abordam que a

fertilidade dos solos, influenciada pela composição mineralógica e pela presença de matéria orgânica, garante altas taxas de produtividade, essenciais para o desenvolvimento econômico da região.

No tocante da construção civil, Oliveira & Ferreira (2019) salientam que a Cobertura Dardanelos é de grande relevância para esse setor, pois é caracterizada pela presença de solos argilosos e lateríticos, que são utilizados na produção de tijolos, cerâmicas e outros materiais essenciais para a construção.

Santos et al (2020) corroboram informando que a argila extraída dessa cobertura, possui propriedades que a tornam adequada para a fabricação de tijolos e telhas, garantindo resistência e durabilidade às construções. Além disso, os autores ressaltam que o cascalho e a areia presentes na região com essa estrutura geológica são amplamente utilizados na pavimentação de estradas e na elaboração de concretos, essenciais para a infraestrutura urbana e rural.

Por fim, a terceira estrutura geológica com maior representatividade na área de estudo foi Depósitos Aluvionares Holocênicos, localizado na região sudoeste aos arredores do rio Teles Pires (Figura 17) com uma extensão de 8618.71 hectares, sendo 2% do total da área de estudo (Quadro 14).

Souza & Lima (2018) externam que os depósitos aluvionares holocênicos, formados por sedimentos transportados e depositados por rios durante o Holoceno, são de grande importância para a agricultura. Os autores alegam que esses depósitos são frequentemente ricos em nutrientes, o que resulta em solos altamente férteis, favorecendo o crescimento de diversas culturas agrícolas, como arroz, milho e soja.

Ferreira et al (2019) apoiam a ideia informando que a estrutura física dos solos aluvionares, que geralmente apresenta uma boa capacidade de retenção de umidade, permite a irrigação natural das culturas, mesmo em períodos de seca. Os pesquisadores ainda ressaltam que essa característica é fundamental para a sustentabilidade agrícola, uma vez que contribui para a produção em larga escala e garante a segurança alimentar nas regiões dependentes da agricultura.

No que concerne na construção civil, Pereira & Martins, 2019 expõem que os depósitos aluvionares holocênicos, têm um papel significativo nesse setor, pois esses depósitos são frequentemente compostos por materiais como areia, cascalho e argila, que são amplamente utilizados em diversas aplicações da construção civil. Oliveira et

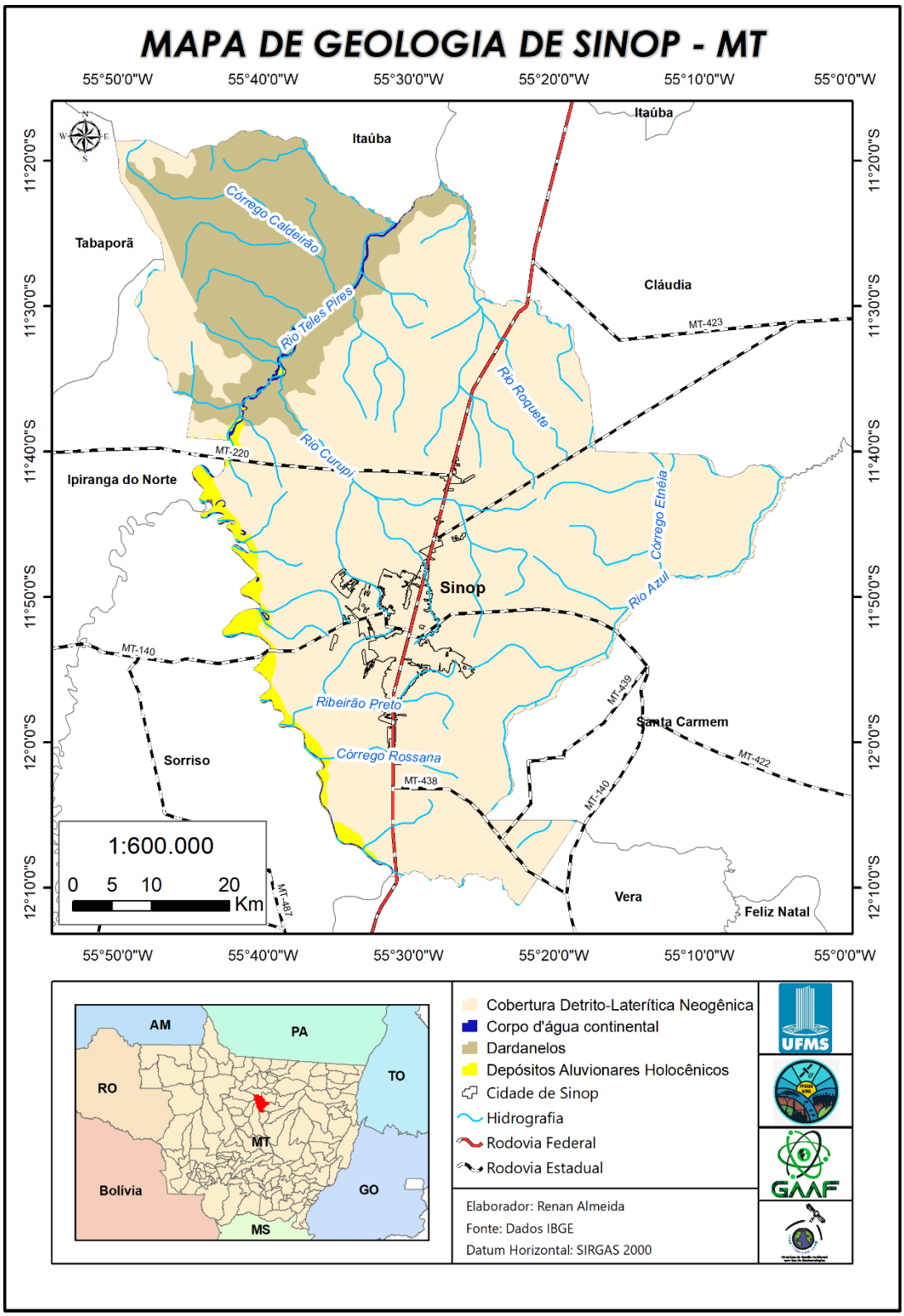
al (2020) sancionam que a areia e o cascalho extraídos desses depósitos são essenciais para a fabricação de concretos e argamassas, componentes fundamentais na construção de edificações, pavimentação de estradas e infraestrutura urbana. Os autores ainda informam que a qualidade dos materiais aluvionares, que geralmente apresentam boa granulometria e resistência, garante durabilidade e segurança nas obras.

Quadro 14. Geologia de Sinop (MT).

Estrutura Geológica	**Área (ha)**	**Área (%)**
Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica	315547.36	79
Corpo d'água continental	2180.09	1
Dardanelos	72687.71	18
Depósitos Aluvionares Holocênicos	8618.71	2
Total	399033.87	100

Fonte: IBGE. Elaboração: Silva (2024).

Figura 17. Mapa de Geologia de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

4.2 Caracterização da Geomorfologia em Sinop (MT).

De acordo com as informações adquiridas no banco de dados de Geomorfologia do Brasil disponíveis no site do IBGE, as geomorfologias presentes no município de Sinop (MT) foram os Planalto do Alto Xingu, Planalto dos Parecis e a Planície Amazônica (Quadro 15).

O Planalto dos Parecis (Figura 18), com 335305.37 hectares (Quadro 18), representando 84% da área total, este é o tipo de relevo dominante na região, também conhecido por sua altitude relativamente elevada e terrenos planos a ondulados, esta característica geográfica é significativa para atividades como a agricultura, visto que oferece condições favoráveis de drenagem e uso da terra.

Segundo Silva e Ribeiro (2017), o Planalto dos Parecis se destaca como uma das principais áreas agrícolas do Brasil, pois o seu relevo suavemente ondulado, aliado a solos profundos e bem drenados, como os Latossolos, favorece a mecanização agrícola e o cultivo em larga escala de culturas como soja e milho. Os autores ainda ressaltam que o desenvolvimento da agricultura nesse tipo de relevo foi impulsionado pelo avanço da fronteira agrícola e pela incorporação de tecnologias de manejo de solos e irrigação.

No que se refere a construção civil no Planalto dos Parecis, Santos e Oliveira (2019) informam que o relevo plano facilita a construção de rodovias e a expansão de áreas urbanas, enquanto os solos, como Latossolos, apresentam boas condições para a fundação de edificações e infraestruturas. No entanto, os autores alertam que obras de infraestrutura devem ser precedidas por estudos geotécnicos detalhados para avaliar a capacidade de carga do solo e as necessidades de drenagem, especialmente em áreas sujeitas a fortes chuvas.

Já o Planalto das Cabeceiras do Xingu (Figura 18), ocupa uma área de 47925 hectares, ou 12% da área total (Quadro 15), este planalto representa uma parte importante da topografia da região, essas áreas são cruciais para a conservação de bacias hidrográficas, pois frequentemente são regiões de nascentes de importantes rios.

De acordo com Lopes et al. (2018), a expansão agrícola na região dessa unidade geomorfológica tem sido facilitada pela topografia plana e suavemente ondulada, que permite a mecanização das lavouras. No entanto, os pesquisadores

evidenciam que o manejo adequado no Planalto das Cabeceiras do Xingu é essencial para manter a sustentabilidade agrícola, pois sem o uso de práticas conservacionistas, há um risco de degradação do solo, que pode afetar a qualidade da água nas nascentes dos rios presentes nessa localidade, desta forma, práticas como plantio direto, rotação de culturas e sistemas de integração lavoura-pecuária são recomendadas para preservar a fertilidade do solo e a integridade ambiental.

Na construção civil, Martins e Oliveira (2020) dizem que o relevo predominantemente plano facilita a construção de infraestrutura rodoviária e edificações, mas os solos, em particular os Latossolos, podem apresentar limitações devido à sua baixa capacidade de retenção de água e resistência mecânica. Os autores indicam que o uso de técnicas de estabilização de solo, como adição de cimento ou cal, é essencial para garantir a estabilidade das obras de infraestrutura nessa unidade geomorfológica. Além disso, sistemas de drenagem adequados são fundamentais para evitar a saturação do solo e a erosão, principalmente em áreas com intensa pluviosidade.

A Planície Amazônica (Figura 18), com 13623.9 hectares e constituindo 3% da área total (Quadro 15), na região pode ser caracterizada por um relevo mais baixo e plano, geralmente próximo a cursos d'água. Esta área é importante para a biodiversidade e pode ter implicações específicas para o manejo de recursos hídricos e preservação de ecossistemas úmidos. Os Corpos d'água continental, é a menor parte da área, com 2179.6 hectares, equivale a 1% do total (Quadro 18), esta classificação inclui lagos, rios e outras massas de água, fundamentais para o ecossistema local, abastecimento de água, recreação e biodiversidade.

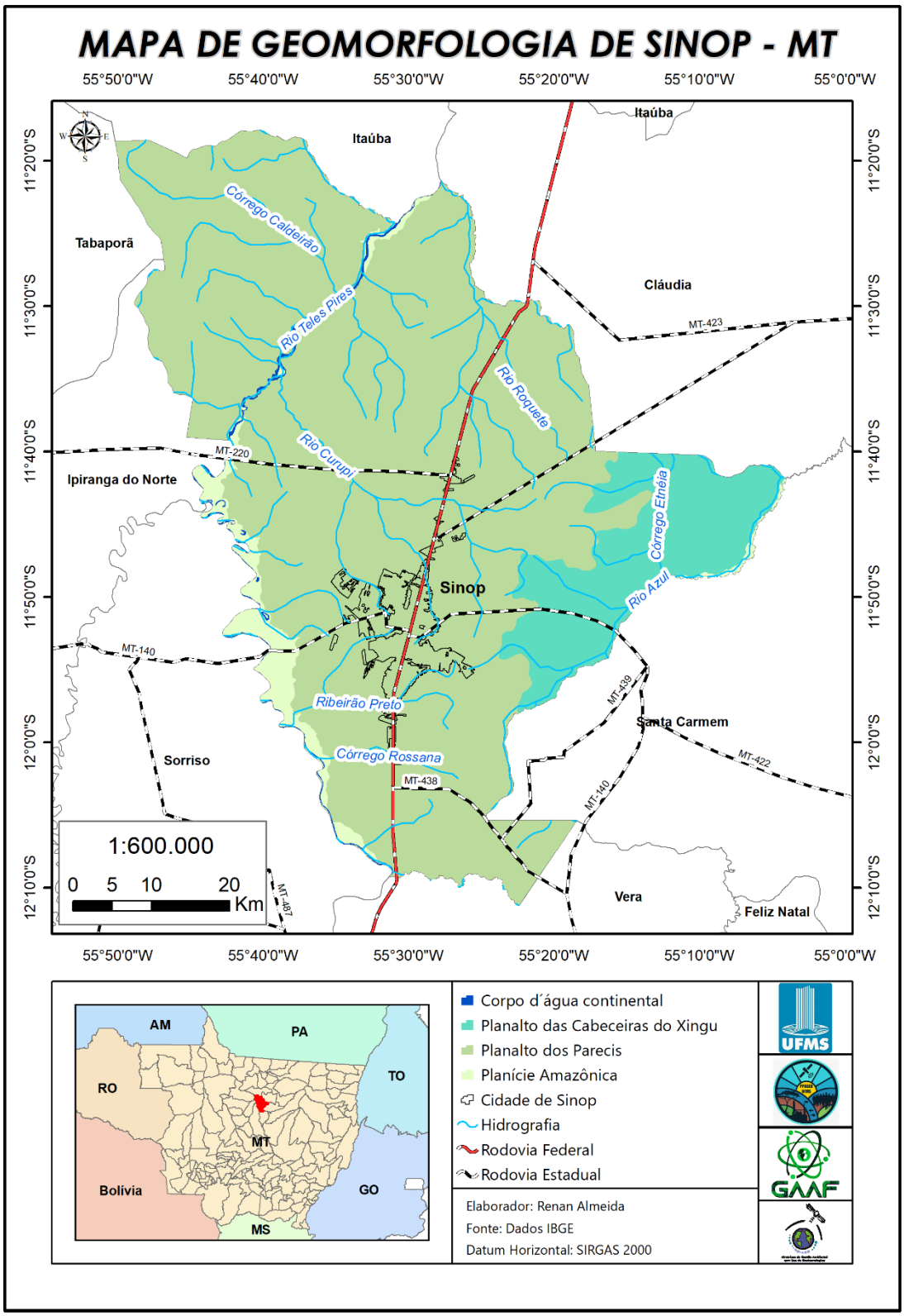
Assim, a distribuição do relevo na região apresenta uma predominância marcante do Planalto dos Parecis, indicando um terreno majoritariamente elevado e estável, propício para a agricultura e outras atividades humanas. O Planalto das Cabeceiras do Xingu e a Planície Amazônica adicionam diversidade à topografia, contribuindo para a gestão de recursos naturais e conservação ambiental. Corpos d'água continentais, embora menores em área, desempenham um papel vital no ecossistema e na manutenção da biodiversidade.

Quadro 15. Geomorfologia de Sinop (MT).

Geomorfologia	Área (ha)	Área (%)
Corpos d'água continental	2179.6	1
Planalto das Cabeceiras do Xingu	47925	12
Planalto dos Parecis	335305.37	84
Planície Amazônica	13623.9	3
Total	399033.87	100

Fonte: IBGE. Elaboração: Silva (2024).

Figura 18. Mapa de Geomorfologia de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

4.2.1 Caracterização da declividade em Sinop (MT).

De acordo com Embrapa (1979) o relevo da área de estudo caracteriza-se em sua maior parte como plano. Esses índices clinográficos proporcionam uma perca de solo por motivos de erosão relativamente baixa. Analisando os dados fornecidos sobre a declividade e o relevo na região de Sinop (MT), podemos observar a seguinte distribuição de áreas e características topográficas (Quadro 16 e Figura 19).

Relevo Plano (0 – 3% de Declividade): Esta categoria, abrangendo 140520.77 hectares, representa 35% da área total, com terrenos planos são geralmente mais fáceis para a agricultura, construção e outras atividades de desenvolvimento devido à sua baixa inclinação e facilidade de acesso.

Relevo Plano (3 – 6% de Declividade): Com 151342.72 hectares e representando 38% da área total, esta categoria também se enquadra na classificação de relevo plano, mas com uma ligeira inclinação maior, podendo influenciar o escoamento da água e a erosão do solo, requerendo um manejo diferenciado em comparação com áreas completamente planas.

Relevo Suave-Ondulado (6 – 10% de Declividade): Esta faixa de declividade, cobrindo 71864.43 hectares ou 18% da área total, indica um relevo mais irregular, mas ainda relativamente suave, essas áreas apresentam desafios adicionais para a agricultura e desenvolvimento urbano devido a inclinações moderadas.

Relevo Suave-Ondulado (10 – 15% de Declividade): Com 27009.29 hectares, ou 7% da área total, esta categoria representa um relevo mais inclinado, que pode impor restrições mais significativas ao uso da terra, especialmente para a agricultura e construção.

Relevo Ondulado (> 15% de Declividade): Representando apenas 2% da área total com 8296.67 hectares, esta é a categoria de relevo mais íngreme, o que a torna menos adequada para a maioria das atividades agrícolas e desenvolvimento urbano, mas potencialmente valiosa para a conservação e ecoturismo.

Em suma, a maior parte do território de Sinop (MT) é caracterizada por terrenos planos a suavemente ondulados, que são favoráveis à agricultura e desenvolvimento urbano. As áreas com declividades superiores a 10% são menos comuns e podem requerer práticas específicas de gestão do solo e conservação para mitigar a erosão e outros impactos ambientais. A distribuição dessas categorias de declividade é

fundamental para o planejamento do uso da terra, práticas agrícolas, desenvolvimento urbano e conservação ambiental na região.

Além dos aspectos relacionados aos processos erosivos, a declividade pode influenciar diretamente na quantidade de radiação solar que chega às diferentes encostas e explicar as diferenças observadas na distribuição e nas propriedades dos solos em encostas (Chagas et al., 2013), no desenvolvimento das redes de drenagem e distribuição do escorrimento superficial que, por sua vez, estão relacionados com as perdas de solo (Romkens; Helming e Prasad, 2001).

Outro fator importante que se deve ser analisado é em consideração as práticas agrícolas. Esse aspecto do terreno é uma das principais características geomorfológicas limitantes à utilização de máquinas agrícolas uma vez que está intimamente ligada às condições de tráfego, pois afeta a velocidade de deslocamento e a estabilidade das máquinas. A declividade também condiciona o acúmulo de matéria orgânica do solo em lavouras. Maiores conteúdos de matéria orgânica foram observados em agriculturas (declividade de 3%) enquanto que, em locais com declividades entre 9 % e 15 %, conteúdos menores de matéria orgânica do solo foram observados, o que pode ser explicado pela menor perda de solo e dióxido de carbono por erosão (Iori et al., 2014). Como demonstrado por Römkens, Helming e Prasad (2001), a perda de sedimentos aumenta com a declividade independente da condição da superfície do solo. Devido a isso, a declividade foi considerada como uns dos fatores determinante, além das condições climáticas e tipos dos solos, pela presença da grande quantidade do cultivo de agriculturas temporárias e permanentes na área de estudo.

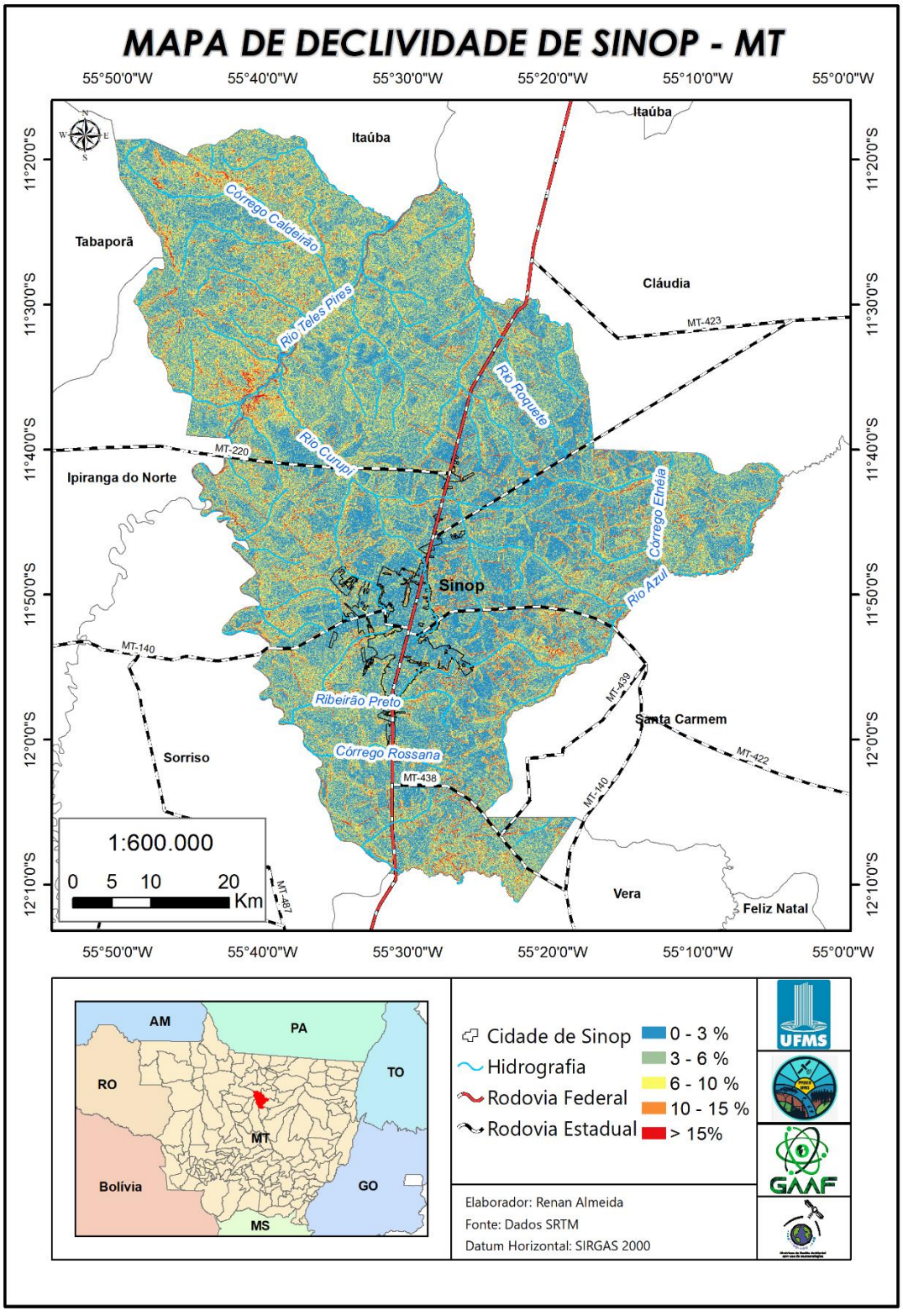
Por fim, vale salientar que os dados de geomorfologia do município de Sinop (MT) são resultantes de informações contidas no banco de dados elaborado em atendimento ao contrato IBGE/CISCEA (Projeto SIVAM) cujos trabalhos, incluindo a interpretação de imagens de satélites Landsat TM e campanhas de campo, foram realizados pelas equipes de Geomorfologia das Unidades Estaduais do IBGE na Bahia e em Goiás e na Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais da DGC entre 1999 a 2002.

Quadro 16. Declividade de Sinop (MT).

Declividade	Relevo	Área (ha)	Área (%)
0 – 3%	Plano	140520.77	35
3 – 6%	Plano	151342.72	38
6 – 10%	Suave-ondulado	71864.43	18
10 – 15%	Suave-ondulado	27009.29	7
> 15%	Ondulado	8296.67	2
Total		399033.87	100

Elaboração: Silva (2024).

Figura 19. Mapa de Declividade de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

4.3 Caracterização da Pedologia em Sinop (MT).

De acordo com as informações disponíveis no banco de dados de Pedologia Brasileira no site do IBGE[11], os tipos de solo encontrados na área de estudo foram: FFc - Plintossolo Pétrico Concrecionário, GXbd - Gleissolo Háplic Tb Distrófico, LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e LVd - Latossolo Distrófico vermelho (Quadro 17).

A predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) é notável, ocupando uma vasta área de 250642.29 hectares, o que representa 63% do total. Isso indica que este tipo de solo, conhecido por sua baixa fertilidade natural e forte lixiviação, é a característica mais marcante da paisagem local.

Na agricultura, Freitas et al. (2019) comentam que o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico é amplamente utilizado, principalmente após intervenções corretivas, como calagem e adubação. Os autores ressaltam que a sua grande profundidade e boa estrutura física permitem que as raízes das plantas se desenvolvam, o que o torna propício para o cultivo de culturas como soja, milho e cana-de-açúcar.

Freitas et al. (2019) ainda expõem que a aplicação de corretivos de solo e práticas de manejo sustentável têm demonstrado eficiência no aumento da produtividade agrícola em Latossolos, incluindo o Latossolo Vermelho-Amarelo, assim, o uso de sistemas integrados, como o plantio direto e a rotação de culturas, melhora a capacidade de retenção de água e a disponibilização de nutrientes no solo.

Na construção civil, Oliveira e Carvalho (2020) informam que o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico é frequentemente utilizado como material de fundação em obras de infraestrutura, particularmente em áreas rurais. Os pesquisadores mostram que devido à sua capacidade de compactação, esse solo pode ser usado na construção de estradas, rodovias e pequenas edificações, desde que sejam adotadas práticas de engenharia adequadas.

Outro solo encontrado na área de estudo é o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), que abrange cerca de 128619.99 hectares, equivalente a 32% da área total.

[11] https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia.html

Este solo, também caracterizado por baixa fertilidade e acidez, sugere que a região pode requerer manejo cuidadoso para práticas agrícolas sustentáveis.

Na agricultura, Melo et al. (2017) exprimem que o Latossolo Vermelho Distrófico apresenta uma boa estrutura física que favorece o desenvolvimento radicular profundo, mas, devido à sua baixa capacidade de retenção de nutrientes e alta acidez, requer práticas corretivas como a calagem e a adubação. Os autores ainda externam que a aplicação de técnicas de manejo conservacionista, como o plantio direto, aumenta a eficiência do uso de água e nutrientes dentro desse solo, o que melhora o desempenho de culturas como soja e milho. Além disso, práticas como a rotação de culturas e a adubação verde são essenciais para recuperar a fertilidade do solo.

Na construção civil, Ferreira et al. (2019) explanam que o Latossolo Vermelho Distrófico tem grande importância como material de fundação e suporte em obras de infraestrutura, como estradas e edifícios de pequeno porte. Os autores justificam que devido à sua alta capacidade de compactação e resistência, ele é utilizado em obras de terraplenagem, sendo um bom material para construção de base e sub-base de pavimentos. No entanto, é necessário tomar cuidados especiais devido à sua alta permeabilidade, que pode comprometer a estabilidade em áreas com alta incidência de chuvas, assim, técnicas de estabilização, como a adição de cal ou cimento, podem ser necessárias para aumentar sua durabilidade e reduzir os riscos de erosão (Ferreira et al. 2019).

Os Gleissolos Háplicos Tb Distróficos (GXbd) e Plintossolos Pétricos Concrecionários (FFc), com 9064.03 e 8557.66 hectares respectivamente, somam 4% da área total, indicando a presença de solos hidromórficos e pedregosos em menor escala (Quadro 17).

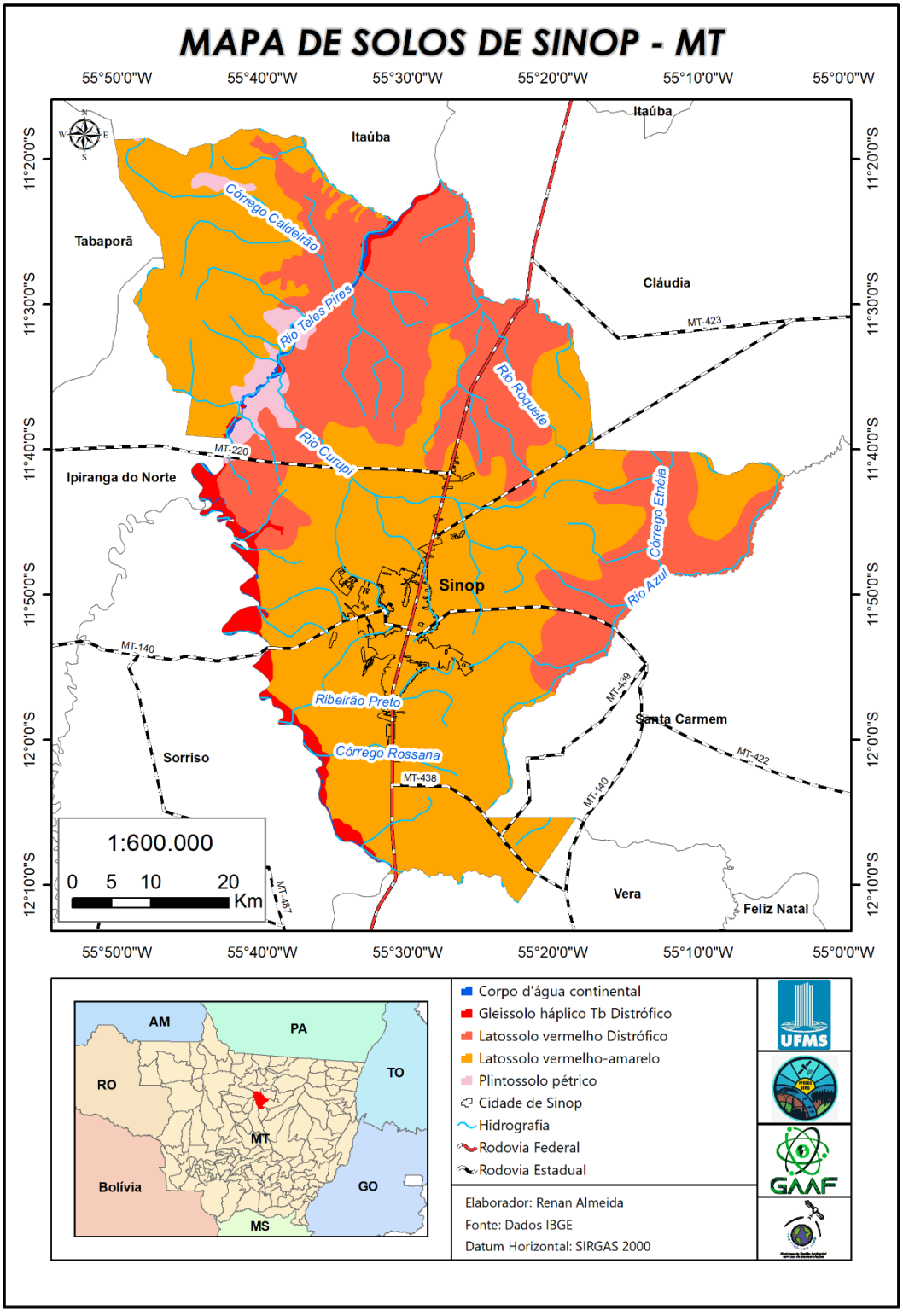
Além disso, os corpos d'água continentais ocupam 2149.9 hectares, representando 1% da área, evidenciando a importância da conservação desses ecossistemas aquáticos na região. Este mosaico de solos ressalta a diversidade pedológica da área, cada um com suas implicações específicas para uso da terra, manejo agrícola e conservação ambiental. (Figura 20).

Quadro 17. Tipos de Solos de Sinop (MT)

Tipo de solo	Área (ha)	Área (%)
Corpo d'água continental	2149.9	1
FFc - Plintossolo Pétrico Concrecionário	8557.66	2
GXbd - Gleissolo Háplico Tb Distrófico	9064.03	2
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	250642.29	63
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico	128619.99	32
Total	399033.87	100

Fonte: IBGE. Elaboração: Silva (2024).

Figura 20. Mapa de Pedologia de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

4.4 Caracterização do Clima em Sinop (MT).

Segundo a classificação climática de Köppen, o município de Sinop (MT) está situado em uma região com o clima do tipo Am (Tropical úmido ou subúmido). Esse tipo climático é uma transição entre o tipo climático Af e Aw. Caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18ºC apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação. Esse tipo de clima predomina no nordeste do Espírito Santo, faixa costeira interior da Bahia, Pará, Amapá, oeste de Roraima, partes do Amazonas, Acre, Rondônia, norte do Mato Grosso e noroeste do Maranhão (Golfari et al., 1978).

Os dados do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF) organizado pelo Climate-date.org em uma escala temporal de 1991 até 2021, apontaram uma temperatura média anual de aproximadamente 25.4 °C e uma precipitação média anual de 1801 mm no município Sinop (MT). De acordo com o climograma apresentado na Figura 21, o mês que possui uma menor média mensal de precipitação durante esse período foi o mês de julho com valores aproximado de 2 mm. Em contra partida, com uma diferença de precipitação de 309 mm em relação ao mês mais seco, janeiro despontou como uma maior média mensal de precipitação com 311 mm. Vale lembrar que essa área de estudo está localizada próximo da linha do equador o que dificulta a definição das estações anuais devido à grande intensidade solar recebida durante o ano todo (Clima-date, 2023).

A imagem apresentada é um gráfico climático que mostra os dados mensais de temperatura e precipitação para uma localização específica, situada a uma altitude de 372 metros. No eixo vertical esquerdo, temos a temperatura em graus Fahrenheit (°F) e Celsius (°C), e no eixo vertical direito, a precipitação é medida em milímetros (mm) e polegadas (inch). O eixo horizontal representa os meses do ano, de janeiro (01) a dezembro (12).

As barras azuis representam a precipitação mensal, e notamos que os meses mais chuvosos são janeiro, fevereiro, março e dezembro, com precipitações superiores a 225 mm (aproximadamente 9 polegadas), já os meses de maio a agosto são os mais secos, com maio e agosto apresentando as menores precipitações, quase chegando a zero.

A linha vermelha indica a temperatura média mensal, mostrando que a temperatura é relativamente estável ao longo do ano, mantendo-se em torno de 25.4 °C (77.6 °F), com ligeiras variações. Não há uma variação significativa na temperatura que possa ser correlacionada com a precipitação.

Este padrão de dados sugere um clima que tem uma estação chuvosa concentrada nos meses de verão e uma estação seca nos meses de inverno, o que é característico de regiões com clima tropical ou subtropical. A distribuição regular da temperatura ao longo do ano apoia essa suposição.

A análise desses dados pode ser útil para diversas aplicações, como planejamento agrícola, gestão de recursos hídricos, e estudos ambientais e climáticos na região representada pelo gráfico.

Em relação as médias mensais de temperatura durante esse período de dados levantados (Figura 22), os meses de janeiro e fevereiro despontaram com as menores médias mensais com valores de 24.4ºC, diferenciando de aproximadamente 3,2ºC do mês de setembro que foi caracterizado como uma média mensal mais alta (27.6ºC). Outras informações importantes a ser comentada é a umidade relativa do ar e os dias chuvosos que também apontou o mês de janeiro com valores hegemônicos (89.02% de umidade relativa do ar e 20 dias chuvosos) e agosto com médias mensais mais inferiores entre os outros meses (42% de umidade relativa do ar e apenas 1 dia chuvoso).

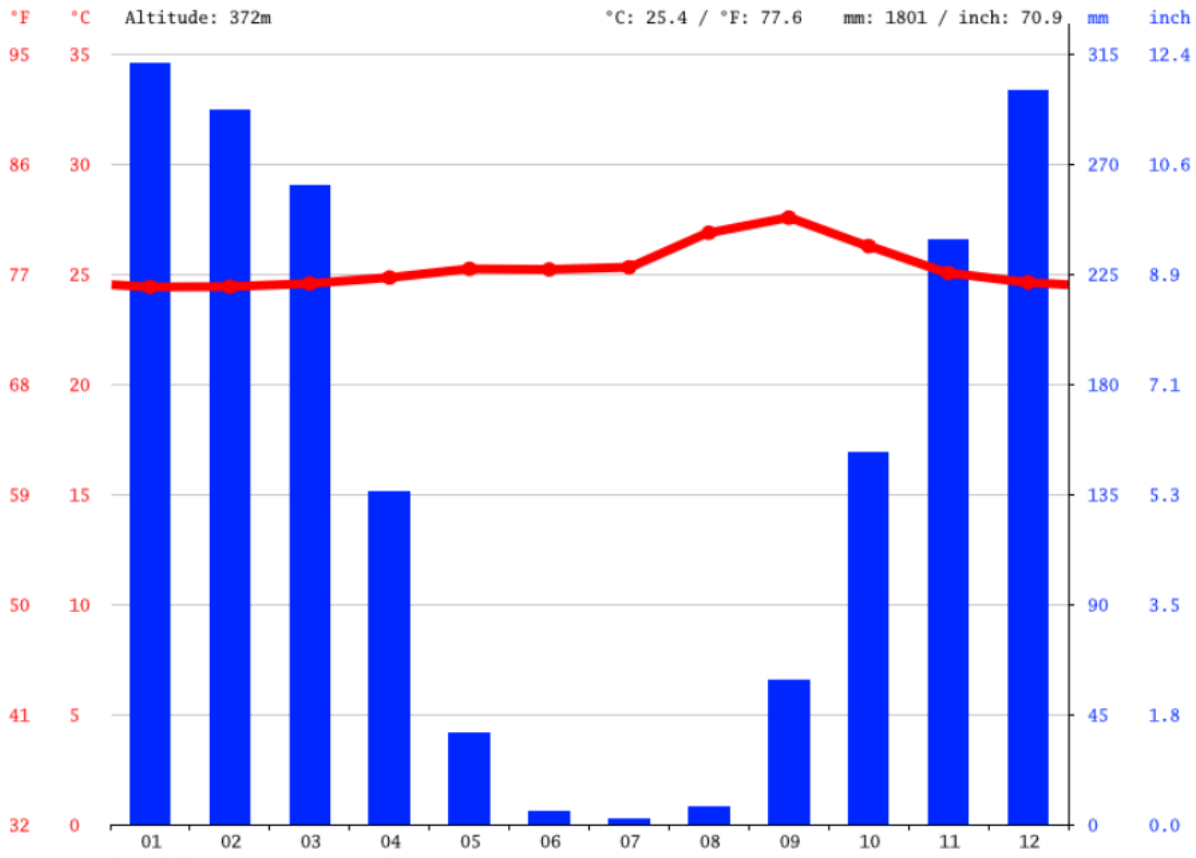
Portanto, com características climáticas de transição entre o Cerrado e a Amazônia, incluindo alta umidade, temperaturas elevadas e uma estação chuvosa bem definida, o clima de Sinop (MT) é um dos principais fatores que influenciam a agricultura local e favorece o cultivo de várias culturas, como soja, milho e algodão (Almeida et al., 2019).

De acordo com Almeida et al., (2019), a estação chuvosa em Sinop (MT) é crucial para o desenvolvimento das principais culturas agrícolas, uma vez que as chuvas abundantes durante este período garantem a disponibilidade de água para as plantas, o que favorece o crescimento e o rendimento das safras. No entanto, os pesquisadores informam que a irregularidade das chuvas, como períodos de excesso de precipitação, pode causar inundações e afetar negativamente a produção agrícola.

Souza e Ferreira (2020) respaldam que as temperaturas elevadas em Sinop (MT), que variam entre 20°C e 35°C ao longo do ano, são adequadas para o cultivo de culturas tropicais. Entretanto, autores constatam que essas temperaturas também podem acelerar o ciclo de desenvolvimento das plantas, o que requer um manejo adequado para evitar a colheita prematura ou perdas por maturação antecipada.

Oliveira et al., (2021), alertam que durante a estação seca, o déficit hídrico pode representar um desafio significativo para a agricultura em Sinop. Os pesquisadores comentam que a falta de chuva durante este período exige a implementação de sistemas de irrigação eficientes para garantir a continuidade da produção agrícola. Além disso, a seca pode levar à compactação do solo, exigindo práticas de manejo específicas para manter a saúde do solo e a produtividade das culturas (Oliveira et al., 2021).

Figura 21. Climograma de Sinop (MT).



Fonte: ECMWF (2023). Elaboração: Silva (2024).

Figura 22. Dados climatológicos de Sinop (MT).

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	24.4	24.4	24.6	24.8	25.2	25.2	25.3	26.9	27.6	26.3	25	24.6
Temperatura mínima (°C)	21.8	21.7	21.7	21.5	20.8	19.9	19.6	20.8	22.2	22.4	22	21.9
Temperatura máxima (°C)	28.5	28.6	28.9	29.4	30.5	31.4	32	33.9	34	31.7	29.5	28.7
Chuva (mm)	311	292	261	136	37	5	2	7	59	152	239	300
Umidade(%)	89%	89%	88%	84%	70%	57%	49%	42%	55%	76%	86%	88%
Dias chuvosos (d)	20	19	19	14	5	1	0	1	7	15	18	20
Horas de sol (h)	7.4	7.3	7.1	7.6	9.1	10.0	10.3	10.5	10.3	9.2	8.0	7.8

Fonte: ECMWF (2023). Elaboração: Silva (2024).

4.5 Hidrografia em Sinop (MT).

A hidrografia de Sinop (MT) é caracterizada por uma densa rede de rios e córregos que compõem a bacia do Rio Teles Pires, um dos principais afluentes do Rio Tapajós. Moraes e Santos, (2018) relatam que os rios presentes dentro desse município fornecem uma fonte confiável de água para a irrigação das principais culturas agrícolas, como soja, milho e algodão. Os pesquisadores ainda comentam que a presença de corpos hídricos próximos às áreas cultivadas facilita o uso de sistemas de irrigação eficientes, que são essenciais para manter a produtividade durante períodos de seca.

Desta forma, analise-se que o município de Sinop (MT) está localizado inteiramente dentro da bacia hidrográfica do rio Amazonas, onde está subdividida em dois afluentes deste conjunto superior, definidas pelas bacias hidrográficas do rio Tapajós, abrangendo cerca de 274867,82 hectares, correspondendo um total de 69% da área total e a bacia hidrográfica do rio Xingu que completa o restante dos 31% do território sinopense, compreendendo um total de 124166.05 hectares. Vale salientar que a bacia hidrográfica do rio Tapajós está subdivida dentro da área de estudo pelo seu afluente da margem direita, a bacia hidrográfica do rio Teles Pires e a bacia hidrográfica do rio Xingu, está subdivida dentro da área de estudo pelo seu afluente da margem esquerda, a bacia hidrográfica do rio Azul.

Segundo a classificação de Strahler (1952), dentro do município de Sinop (MT) prevalece dois importantes rios com uma hierarquia fluvial de quarta ordem, o Rio

Teles Pires (afluente do rio Tapajós) e o de terceira ordem, o rio Azul (afluente do rio Xingu) (Figura 23). A bacia hidrográfica do rio Teles Pires apresenta uma área total dentro do município de 274867,82 hectares e um perímetro de 313,25 km, enquanto a bacia hidrográfica do rio Azul apresenta uma área total dentro do município de 124166.05 hectares e um perímetro de 247,67 km.

De acordo com o mapa da Figura 23, quantificado no Quadro 18, o comprimento total dos cursos d'água dentro do município de Sinop (MT) é de 981,49 km, distribuídos por 50 canais. O percentual de bacias hidrográficas de primeira ordem é elevado em relação às demais ordens, sendo que dos 50 canais, 36 são de primeira ordem, os quais representam 43% dos canais dentro da área de estudo, ou seja, estes canais de 1ª ordem apresentam um comprimento de 426,26 km de extensão dentro do município de Sinop (MT).

As bacias hidrográficas de segunda ordem dentro do município de Sinop (MT) alcançam um total de 10 canais, sendo nomeados pelo córrego Caldeirão (35,52 km), córrego Etnéia (29,90 km), córrego Maria (29,40 km), ribeirão Araciaba (21,59 km), ribeirão Helena (10,26 km), ribeirão Preto (26,83 km), ribeirão Selma (27,60 km), ribeirão Caiabi (19,47 km), córrego do Suplício (28 km) e o ribeirão Índio Possesso (32,32 km), os quais representam cerca de 27% dos canais dentro da área de estudo, isto é, exibindo um comprimento total em torno de 263.89 km de extensão dentro do território sinopense (Quadro 18).

As bacias hidrográficas de terceira ordem presentes dentro do município são nomeadas pelo o rio Curupi, com um comprimento em torno de 45,48 km, o rio Roquete, com um comprimento de 43,77 e o rio Azul que banha o município com um canal que passa dentro da área e estudo com um comprimento em torno de 68,43 km. Ao todo, os afluentes de terceira ordem representam cerca de 16% dos canais fluviais presentes dentro da área de estudo, ou, um comprimento total cerca de 157.68 km (Quadro 13).

Por fim, o rio Teles Pires foi a única bacia hidrográfica considerada com uma hierarquia fluvial de quarta ordem. No total, esse rio possui um comprimento total em torno de 1.300 km, no entanto, dentro do município de Sinop (MT), o mesmo banha o território com um comprimento do seu canal em torno de 133.66 km, sendo uns dos

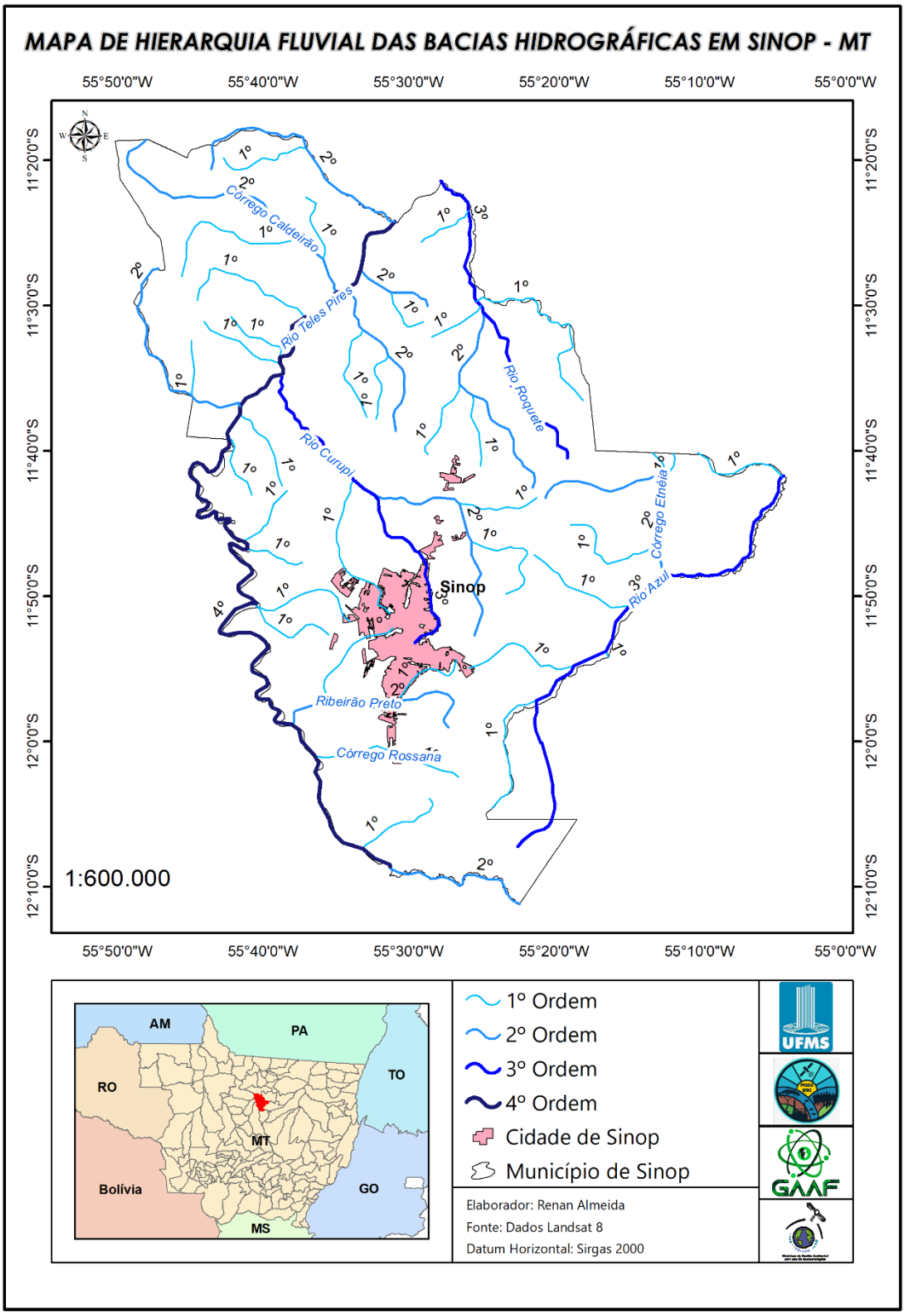
principais rios utilizados para a economia, lazer, pesca e abastecimento de água pelos os seus moradores (Quadro 21).

Quadro 18. Características da hierarquia das bacias hidrográficas dentro de Sinop (MT).

Características da hierarquia das bacias hidrográficas dentro de Sinop (MT)			
Hierarquia dos canais	**Números de canais**	**Comprimentos totais dos canais (km)**	**%**
1ª Ordem	36	426.26	43
2ª Ordem	10	263.89	27
3ª Ordem	3	157.68	16
4ª Ordem	1	133.66	14
Total	50	981.49	100

Fonte: IBGE. Elaboração: Silva (2024).

Figura 23. Mapa de hierarquia fluvial nas bacias hidrográficas em Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

4.6 Caracterização da Vegetação em Sinop (MT).

As informações sobre a cobertura vegetal no município de Sinop (MT) são de grande importância tanto para a proteção ambiental quanto para as questões financiais. No setor econômico, Barreto e Silva (2009) informam que a exploração madeireira neste território impulsionou o crescimento urbano e a infraestrutura local, especialmente nas décadas iniciais do desenvolvimento do município. De acordo com Fearnside (2005), as espécies de madeiras mais comumente exploradas nessa localidade foi o Ipê (Tabebuia spp.) uma das madeiras mais valorizadas no mercado devido à sua resistência, durabilidade e aparência atraente; o Cedro (Cedrela odorata), conhecida por sua facilidade de manuseio e aplicação na fabricação de móveis e instrumentos musicais; o Cumaru (Dipteryx odorata) muito utilizada na produção de pisos devido à sua densidade e resistência a condições adversas; o Jatobá (Hymenaea courbaril) muito apreciada para a confecção de pisos e móveis por sua coloração e durabilidade e o Angelim (Dinizia excelsa) que é utilizada principalmente em construções pesadas, devido à sua robustez e resistência a pragas.

As informações das vegetações de Sinop (MT) foram obtidas por meio do Mapeamento de Recursos Naturais (MRN), um projeto conduzido pela Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do IBGE. Este trabalho, parte integrante da Diretoria de Geociências do IBGE, é fundamental para a compreensão e gestão ambiental, pois envolve a produção, compilação, armazenamento e disseminação de informações cruciais sobre recursos naturais.

De acordo com as informações adquiridas no banco de dados de vegetação do do Brasil disponíveis no site do IBGE, os tipos de vegetações presentes no município de Sinop (MT) foram a Floresta Ombrófila Aberta Submontana, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Estacional Semidecidual Submontana e a Savana Florestada (Figura 24 e Quadro 19).

Analisa-se nos dados do Quadro 22 e espacializado na Figura 24 que a vegetação dominante na área de estudo foi a Floresta Estacional Semidecidual Submontana com uma dimensão de 345228.69 hectares, estando presente de norte a sul, leste a oeste em 87% do total da área de estudo.

Nessa formação, podem ser citadas espécies arbóreas como Tabebuia chrysotricha (Mart. ex DC.) Standley (pau-d`arco-amarelo), Cordia sp. (freijó), Plathymenia foliolosa Benth. (amarelo), Tabebuia avellanedae Lorentz ex Griseb (pau-d'arco-roxo), Pithecolobium polycephalum Benth. (camondongo) e Caesalpinia echinata Lam. (pau-brasil) (Embrapa, 2006).

Segundo Ribeiro et al. (2015), a Floresta Estacional Semidecidual Submontana desempenha um papel vital na conservação da biodiversidade, pois abriga uma rica variedade de espécies vegetais e animais, muitas das quais são endêmicas e ameaçadas de extinção. Além disso, os autores comentam que essa característica de vegetação é crucial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, como a proteção do solo contra a erosão e a conservação de mananciais de água doce.

Em relação a exploração madeireira, Silva e Andrade (2017) ressaltam que a Floresta Estacional Semidecidual Submontana tem grande relevância econômica, sendo uma fonte significativa de espécies madeireiras de alto valor comercial, como o cedro, ipê e aroeira. No entanto, os pesquisadores expõem que o manejo inadequado pode levar à degradação da floresta, comprometendo a regeneração natural e a diversidade genética das espécies.

Outro tipo de vegetação encontrada na área de estudo é a Floresta Ombrófila dividida entre os tipos Aberta Submontana, presente na região leste da área de estudo com 5690.30 hectares (1% de abrangência na área de estudo) e o Densa Aluvial, localizada aos arredores do rio Teles Pires com 23992.04 hectares, representando 6% da área total do município de Sinop (MT).

A floresta Ombrófila é uma formação florestal pluriestratificada, de grande porte, com dossel de 20 a 30 metros de altura e emergentes que atingem até 45 metros. Predominam espécies perenifólias. Epífitas são muito frequentes, assim como lianas e plantas escandentes. Ocorre na área tropical mais úmida, sem período biologicamente seco (até 60 dias) durante o ano, com precipitação bem distribuídas e temperaturas elevadas, sendo, portanto, sua característica principal, a ocorrência de ambientes ombrófilos (SEPLAN-MT, CNEC, 2002b).

De acordo com Souza e Pereira (2019), a Floresta Ombrófila desempenha um papel fundamental na manutenção do equilíbrio ambiental global, principalmente devido à sua capacidade de sequestrar grandes quantidades de dióxido de carbono

(CO_2), contribuindo para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Além disso, os autores informam que ela é responsável pela regulação do ciclo hidrológico, uma vez que a alta pluviosidade típica dessas áreas alimenta rios e aquíferos, essenciais para o abastecimento de água doce.

Na exploração de madeira, Silva e Oliveira (2018) reiteram que a Floresta Ombrófila possui uma rica diversidade de espécies madeireiras de alto valor econômico, como o mogno, cedro e a castanheira. No entanto, os autores alegam que a exploração insustentável dessas espécies tem levado à degradação de grandes áreas, à perda de biodiversidade e ao enfraquecimento das funções ecológicas da floresta.

Por último, outro tipo de vegetação existente na região noroeste e norte do município de Sinop (MT), possuindo um total de 23365.03 hectares, ou seja, 6% do total da área de estudo, encontra-se a Savana Florestada.

A Savana Florestada ou Cerradão é considerado uma expressão florestal da Savana ou Cerrado. Nele as árvores que formam o dossel possuem troncos grossos e geralmente sem a tortuosidade das árvores da Savana Arborizada ou Cerrado Típico. Não há um estrato arbustivo nítido. O estrato graminoso só ocorre nas bordas entremeando plantas lenhosas de pequeno porte. As plantas mais altas atingem 18 metros e em média medem de 9 a 12 metros de altura (SEPLAN-MT, CNEC, 2002b).

Conforme Santos e Nunes (2020), a Savana Florestada desempenha um papel fundamental na conservação da biodiversidade, sendo um ecossistema rico em espécies vegetais e animais adaptadas às condições de estresse hídrico e incêndios naturais. Ademais, os pesquisadores dizem que essas áreas atuam na proteção dos recursos hídricos, pois suas raízes profundas ajudam a armazenar água nos solos e alimentam aquíferos subterrâneos.

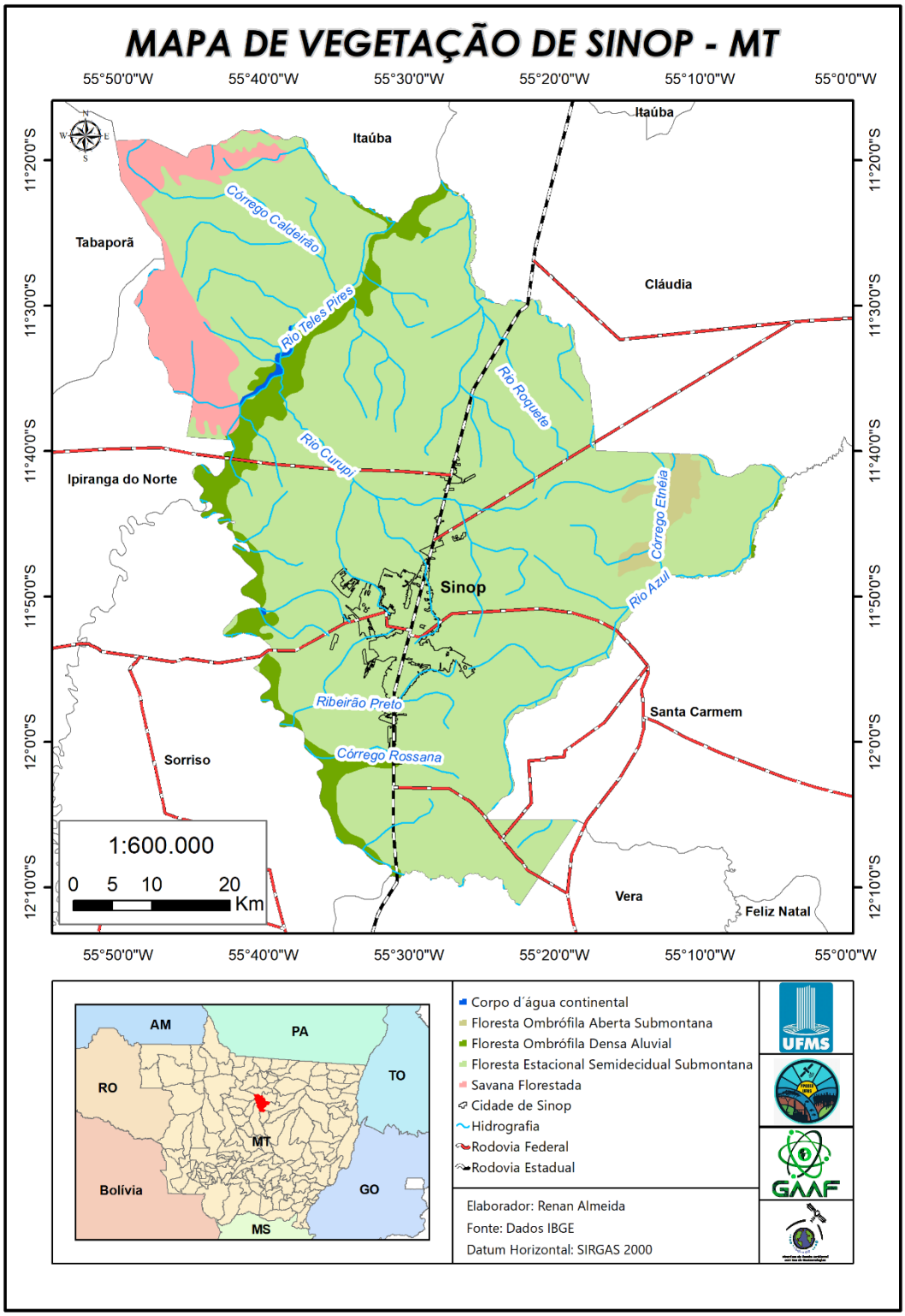
Na exploração de madeira, Silva e Ferreira (2019) analisam que a Savana Florestada abriga várias espécies arbóreas de valor comercial, como o pequi, aroeira e o ipê, que são utilizadas na produção de madeira, carvão e outros produtos florestais. Entretanto, os autores alertam que devido à fragilidade ecológica desse bioma, a exploração madeireira precisa ser manejada de forma sustentável, para não comprometer a regeneração natural e a manutenção das funções ecológicas da savana.

Quadro 19. Cobertura vegetal de Sinop (MT).

Tipo de Vegetação	Características e Localização	Área (ha)	Área (%)
Corpo d'água continental	Corpo d'água continental	757.81	0%
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	Vegetação de transição entre a Floresta Amazônica e áreas extra-amazônicas, localizada na região leste de Sinop (MT).	5690.30	1%
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	Relacionada com ambientes nas margens de cursos de água e áreas úmidas, encontrada aos arredores do rio Teles Pires.	23992.04	6%
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Formações de ambientes menos úmidos do que aqueles onde se desenvolve a floresta ombrófila densa	345228.69	87%
Savana Florestada (Cerradão)	Expressão florestal da Savana ou Cerrado, localizada na região noroeste e norte de Sinop (MT).	23365.03	6%

Fonte: IBGE. Elaboração: Silva (2024).

Figura 24. Mapa de vegetação de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

4.7 Caracterização da aptidão agrícola em Sinop (MT).

De acordo com as informações adquiridas no banco de dados de Aptidão agrícola do Mato Grosso disponível no Atlas de Mato Grosso, os tipos de aptidões agrícolas disponíveis no município de Sinop (MT) são a Aptidão Para Pastagem, Terras com Aptidão boa, Terras com Aptidão regular e Terras sem aptidão (Quadro 20).

Segundo os dados publicados no (Quadro 20) e espacializado no mapa da Figura 25, a principal aptidão agrícola do município de Sinop (MT) é a Terra com aptidão boa presente em 207634.96 hectares de extensão, representando 52% do território, situado principalmente na região central em direção ao sul e uma pequena parte no noroeste da área de estudo.

Segundo SEPLAN-MT, CNEC (2002b), a aptidão descrita como Terras com aptidão boa constitui de terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado. Há um mínimo de restrições que não reduzem a produtividade ou benefícios de modo expressivo e não aumentam os insumos acima de um nível aceitável. Em relação a lavoura, essa classe é apta a cultura temporária ou permanente que possui limitações de uso, que não comporte manejo intensivo do solo, que não seja apta à mecanização, ou seja, com condições e restrições relacionadas a fatores que diminuam a produtividade, tais como erosão, drenagem, clima, solos rasos e relevo (SEPLAN-MT, CNEC, 2002b).

A segunda aptidão agrícola com maior expressão no município de Sinop (MT) foi a Aptidão para pastagem, estando principalmente na região sudeste e norte (Figura 25) com uma extensão de 172663.36 hectares, sendo 43% do total da área de estudo.

A classe classificada como Aptidão para pastagem são terras consideradas impróprias a exploração de lavouras temporárias ou permanentes por possuírem limitações fortes à produção vegetal sustentável, mas que podem ser utilizadas sob forma de pastagem mediante manejo e melhoramento (SEPLAN-MT, CNEC, 2002b).

A classe Terra com aptidão regular se apresentou como a terceira aptidão agrícola mais expressiva na área de estudo. Está localizada principalmente na região nordeste e aos arredores do rio Teles Pires, com 16125.15 hectares, sendo 4% da área total do município de Sinop (MT).

Conforme SEPLAN-MT, CNEC (2002b), a aptidão descrita como Terras com aptidão regular constitui de terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos de forma a aumentar as vantagens globais a serem obtidas do uso. Essas vantagens são sensivelmente inferiores as da classe Terras com aptidão boa.

Em relação a lavoura, essa classe de terra é apta a cultura temporária ou permanente que possui limitações de uso, que não comporte manejo intensivo do solo, que não seja apta à mecanização, ou seja, com condições e restrições relacionadas a fatores que diminuam a produtividade, tais como erosão, drenagem, clima, solos rasos e relevo (SEPLAN-MT, CNEC, 2002b).

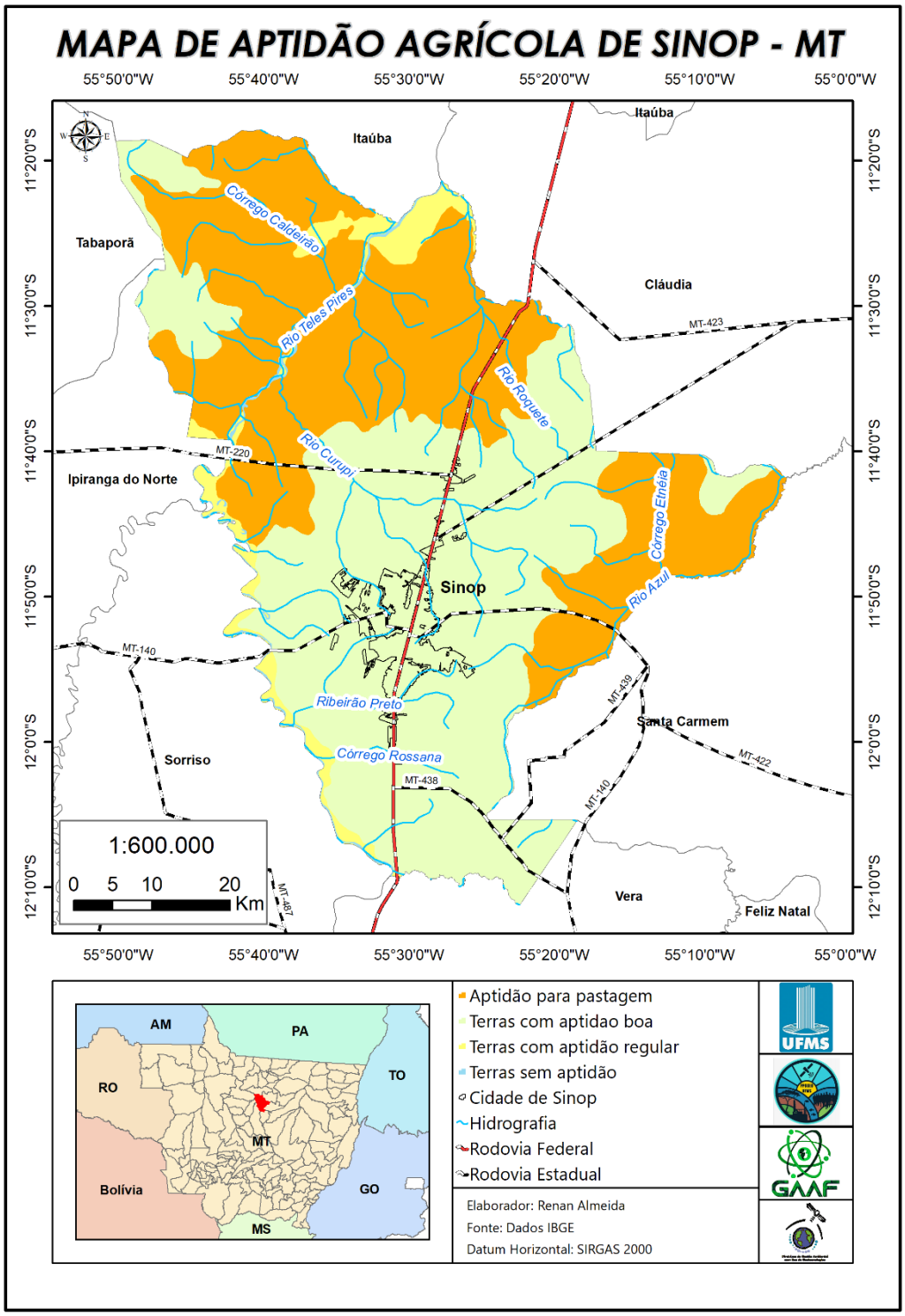
Por fim, a quarta classe com maior representatividade de aptidão agrícola é a Terras sem aptidão, possuindo uma área total de 2610.4 hectares, sendo 1% da área de estudo. As terras consideradas como sem aptidão apresentam condições que parecem excluir a produção sustentada do tipo de utilização em questão. Ao contrário das demais, esta classe não é representada por símbolos. As terras consideradas sem aptidão têm suas possibilidades analisadas para usos menos intensivos (pastagem plantada, silvicultura ou pastagem natural). No entanto, as terras classificadas como sem aptidão para os diversos tipos de utilização considerados têm, como alternativa, serem indicadas para a preservação da flora e da fauna, recreação ou algum outro tipo de uso não agrícola (SEPLAN-MT, CNEC, 2002b).

Quadro 20. Aptidão agrícola de Sinop (MT).

Aptidão Agrícola	**Área (ha)**	**Área (%)**
Aptidão para pastagem	172663.36	43
Terra com aptidão boa	207634.96	52
Terra com aptidão regular	16125.15	4
Terras sem aptidão	2610.4	1
Total	399033.87	100

Fonte: IBGE. Elaboração: Silva (2024).

Figura 25. Mapa de aptidão agrícola de Sinop (MT).



Elaboração: Silva (2024).

12

RESULTADOS

[12] Fazenda Perdizes, Sinop (MT).
Fonte: SLC Agrícola.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

5.1 Avaliação temporal da classificação de uso e cobertura da terra no município de Sinop (MT) (1984-2022).

Antes de discutir sobre as transformações que aconteceram no espaço geográfico de Sinop (MT), é válido apresentar os valores Kappa e porcentagem de acurácia realizados dentro das classificações supervisionadas do Random Forest (RF) em todos os anos dessa pesquisa. Por meio da análise dos dados do Apêndice VI, se baseando na metodologia de Congalton (1997), medidos na equivalência de Landis e Koch (1977), percebe-se que os resultados de classificação de uso e cobertura da terra por meio do classificador RF se mostraram eficientes e dentro dos padrões de interpretação de concordância como muito alta por ter alcançados valores de classificação igual ou superar a 0,8 e precisão superiora a 91%, o que gerou mais credibilidade ao classificador e confiança nos resultados alcançados.

Para essa pesquisa, a análise dos dados de uso de cobertura da terra se iniciará a partir do ano de 1984, ou seja, 12 anos após as primeiras aberturas de estradas para abrigar as primeiras famílias que chegavam até à região. Rememora-se que essa data inicial foi utilizada nessa pesquisa devido ao ano do fornecimento dos primeiros produtos do satélite Landsat 5.

Ao analisar as informações do uso e cobertura da terra entre os anos de 1984 a 2022, observa-se por meio dos dados da Tabela 1 e da Figura 33, representado nos mapas das Figura 34 e 35, a retração da categoria Florestal em cerca de 205860 hectares pelo território de Sinop (MT), ou seja, uma redução de 51,6% durante esses 38 anos analisados.

Por mais da temporalidade da pesquisa seja dos anos de 1984 a 2022, a exploração dos dados de uso e cobertura da terra dentro da área de estudo, acontecerá entre os intervalos de dez em dez anos, respeitando essas duas realidades distintas de queda dos valores dos dados. Isso se deve para fins de otimizar a análise e melhor compreender as realidades que se desencadearam dentro do município de Sinop (MT) e motivaram as alterações de todas as classes dentro desse período de estudo.

De modo geral, no ano de 1984, observa-se por meio da Figura 34 e quantificada na Tabela 1 a preponderância da classe Florestal, estendendo-se em uma área de 348660.45 hectares, atingindo 87% da área total. Nessa época, por meio da análise da classificação, pode-se perceber que a classe está distribuída por todo território e ao entorno dos afluentes do canal do rio Teles Pires, o que gerava um certo otimismo no quesito de proteção ambiental.

Após um período de 10 anos, a espacialização das classes existentes dentro do município de Sinop (MT), entrou em um processo evidente de mudança, transformando a paisagem da região e levantando, assim, a necessidade de análise espacial das áreas que contribuem para o equilíbrio ambiental.

Em relação ao desmatamento no estado de Mato Grosso, os dados compilados do Apêndice VII indicam uma flutuação significativa nas taxas de desarborização ao longo do período estudado, especificamente, houve um incremento de 16% nas áreas desmatadas de 1988 a 1989, uma notável redução de aproximadamente 110% do ano de 1989 até 1991 e, subsequentemente, um acréscimo de cerca de 119% na taxa de desmatamento de 1991 a 1994.

Analisando o intervalo completo de 1988 a 1994, constata-se uma redução de 21% das áreas florestais amazônicas dentro do Mato Grosso, correspondendo a um aumento no corte de vegetação nativa que se traduz em aproximadamente 108.000 hectares.

No que se refere a legislação ambiental, o Quadro 3 informa que nessa época estava em vigência o Código Florestal. Lei nº 4.771/1965, que estabelecia normas para a proteção das florestas e áreas de preservação e teve um período de atuação de 1965 a 2012, a Lei de Proteção da Fauna. Lei nº 5.197/1967, onde define a proteção da fauna silvestre e suas áreas de habitat com criação no ano de 1981 e tem uma atuação até o período atual desta tese, a Constituição Federal, Emenda Constitucional nº 1, de 1988 que inclui a proteção ambiental como um direito fundamental e responsabilidade do Estado, criada em 1988 com atuação até a atualidade desta pesquisa e a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.938/1981, criada em 1992 e com atuação até o momento deste estudo, onde possui como objetivo criar a Política Nacional do Meio Ambiente e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Vale lembrar que nesse período também atuou o Instituto

Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), criado em 1973 e ainda se encontra ativo em suas atividades, o Programa de Proteção das Florestas Tropicais (PPTFT) com atuação de 1981 a 1990 e a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), criada em 1992 e ainda ativa até o momento de defesa desta tese.

Nesse ínterim, os dados da Tabela 1 e Figura 34 apontam que durante 1984 a 1994 essas medidas não surtiram muito impacto dentro do município de Sinop (MT), uma vez que houve uma perda em áreas verdes em torno de 11,6% (46352.06 hectares). Todavia, pode-se analisar de modo geral, a hegemonia da classe Florestal no ano de 1994 com uma área aproximada de 302308.39 hectares (76% do total da área do território Sinop (MT)).

Uns dos fatores que contribuíram para essa devastação florestal estão relacionados as políticas públicas que fomentavam essas ações pelas populações que ali moravam. Segundo os dados do Quadro 4 estava em vigência nessa época a Lei do Terra (Lei nº 6.383/1976), que incentivava a ocupação de terras públicas na Amazônia, muitas vezes levando ao desmatamento para expansão agrícola, com um período de atuação de 1976 a 1988, os incentivos fiscais ao setor agropecuário, onde os produtos obtinham benefícios fiscais para a expansão de pastagens e agricultura na Amazônia, com um período de atuação de 1990 a 2010 e, também os financiamentos de Projetos Agropecuários, que eram empréstimos subsidiados para expansão de atividades agropecuárias e agrícolas na região, atuando desde 1990 até o ano de 2010.

Feito essas considerações, após a análise das alterações do uso e cobertura da terra nesse período inicial de 10 anos, percebe-se por meio dos dados da Tabela 1, espacializado nos mapas da Figuras 27 e 28 que entre os anos de 1994 a 2004 os desmatamentos presentes dentro da floresta Amazônica, movidos pelos interesses econômicos, continuaram intensificadamente.

No que diz respeito as informações das áreas ambientais durante esse período, os dados do PRODES (Apêndice VII) alerta um crescimento em torno de 90% de perda de floresta Amazônica dentro do estado de Mato Grosso entre os anos de 1994 a 2004. Conforme os dados do Apêndice VII, o desmatamento em 1994 que girava em torno de 622000 hectares passou para 1181400 hectares em 2004.

No que concerne a legislação nacional, o Quadro 3 informa que nessa época ainda estava em vigência o Código Florestal. Lei nº 4.771/1965, a Lei de Proteção da Fauna. Lei nº 5.197/1967, a Constituição Federal, Emenda Constitucional nº 1, de 1988 e a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.938/1981. Como novidade, nota-se a criação da Lei de Crimes Ambientais. Lei nº 9.605/1998, que define crimes contra o meio ambiente e suas sanções, criada em 1998 e está atuando até o momento desta pesquisa e a Lei de Unidades de Conservação. Lei nº 9.985/2000, criada no ano 2000 e ainda vigente até o presente momento desta tese, onde regulamenta a criação e gestão das unidades de conservação.

De toda forma, dentro do território Sinop (MT), essas leis não repercutiram tanto sucesso assim, pois o desmatamento ainda continuava progressivamente. Para a temporalidade de 1994 a 2004, o regresso das matas esteve em 42% de suas extensões, ou seja, perda de aproximadamente 167645.7 hectares das áreas de matas desde o ano de 1984 (Tabela 1 e Figura 34).

Ao mesmo tempo que se tinha essas legislações que visavam a proteção das florestas, existia as políticas públicas que andavam na contramão e fomentava a exploração florestal. Para esse período, o Quadro 4 expõe que além dos financiamentos de Projetos Agropecuários que ainda estavam vigentes, o governo criou mais duas ações no ano 2000 que ajudou na geração de maiores desfloração. Destaca-se a subvenção para infraestrutura, que eram subvenções para construção de estradas e infraestrutura, onde facilitaram o acesso e o desmatamento em novas áreas e os incentivos para extração mineral que eram subsídios e incentivos para a exploração de recursos minerais, levando ao desmatamento para mineração.

Por mais de todos esses eventos, a classe Florestal em 2004 continuou se despontando como a categoria hegemônica entre os outros domínios classificados. Ao todo, os campos de floresta Amazônica que em 1994 representava 76% da área total de estudo (302308.39 hectares), passou a representar 45% (181014.77 hectares) em 2004, retraindo em uma grandeza de 121293.62 hectares maiormente para a exploração madeireira (Tabela 1 e Figura 34).

Em continuação, percebe-se que o período entre 2004 a 2014 desencadearam outros rumos ambientais, que está relacionado com uma fiscalização mais rígida das leis ambientais. Vale lembrar que o resultado do teste de Pettitt para os valores de

áreas da classe Florestal entre os anos de 1984 a 2022 constatou uma ruptura na série histórica no ano de 2003.

Analisa-se por meio dos dados da Tabela 1, representados nos mapas da Figuras 27 e 28 que os desmatamentos das áreas nativas perderam um pouco a sua força e causaram menores danos em relação aos anos anteriores, entretanto os valores apresentados não deixaram de ser alarmantes.

Observa-se durante esse período uma queda do desmatamento em torno de 999% nas áreas do bioma amazônico localizado dentro do estado de Mato Grosso. Em conformidade com os dados do Apêndice VII, analisa-se que no ano de 2004, o estado de Mato Grosso desmatava cerca de 1181400 hectares de suas matas nativas e passou a desflorestar 107500 hectares em 2014. Ao se inserir no contexto de legislação ambiental, Castelo (2017) destaca que o desmatamento dentro da Amazônia Legal passou por variações a partir do ano 2000 graças as intensificações dos cumprimentos das leis ambientais por meio de ações governamentais.

Um marco histórico importante dessa temporalidade é o novo Código Florestal de 2012[13], obra da atuação da comunidade, debatido impetuosamente dentre as 33 audiências públicas executadas nos diversos Estados do Brasil, ao contrário dos Códigos Florestais de 1934 e 1965, onde o surgimento de suas cláusulas não calhou pela triagem do povo. O novo Código Florestal - Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, foi oriundo do Projeto de Lei nº 1876, de 10 de outubro de 1999, criado pelo deputado Sérgio Carvalho, na ocasião, membro da bancada ruralista na Câmara dos Deputados. A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, com modificações advindas da Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, e do Decreto Federal nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, procura criar um Código Florestal que represente a realidade brasileira, cujas normas sejam absorvidas e cumpridas efetivamente pela sociedade.

Além deste marco, o Quadro 3 expõe que nessa época ainda estava em vigência a Lei de Proteção da Fauna. Lei nº 5.197/1967, a Constituição Federal, Emenda Constitucional nº 1, de 1988, a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.938/1981 e a Lei de Unidades de Conservação. Lei nº 9.985/2000. Como excentricidade destaca-se a Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Lei nº 12.651/2012, criada em 2004 com o objetivo de regulamentar o uso da terra e proteção de áreas de

[13] https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

vegetação nativa e a Lei de Acesso à Biodiversidade. Lei nº 13.123/2015, criada em 2006 com o propósito de regular o acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado.

Vale ressaltar as criações de programas que além da legislação ambiental, ajudaram na diminuição do desmatamento da Amazônia Legal. Assim, destaca-se o Programa Plurianual (2004-2007), responsável por desenvolver diferentes planos e roteiros de combate aos crimes ambientais e desenvolvimento sustentável, a exemplo estão o PPCAD (2004) (Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal) e o PAS (2008) (Plano Amazônia Sustentável). Tais planos obtiveram desempenho na esfera nacional e estadual, contando com a participação dos governadores dos estados presentes dentro da Amazônia Legal que apoiaram esses ordenamentos territoriais e contribuíram com táticas de fiscalização e gestão das atividades sustentáveis (Castelo, 2019).

A respeito do município de Sinop (MT), após 30 anos de transformações devidos aos fatores econômicos e políticos, analisa-se a perda da hegemonia da classe Florestal para a categoria Lavouras temporárias. As áreas de matas que em 2004 representava 45% da área total do município, dez anos após, em 2014, não representavam 40% do território total, pois alcançou 158205.09 hectares da totalidade (Tabela 1). Explorando os mapas das Figuras 27 e 28, ressalta-se que nesse período de tempo, as áreas mais afetadas pelos desmatamentos foi a região noroeste de Sinop (MT) que até então se mantinham com maior preservação das áreas ambientais.

Por mais da retração nos desmatamentos devido a intensificação das ações do governo de combate ao desmatamento e proteção dos recursos naturais da região, ainda existia políticas governamentais que fomentava o avanço do desmatamento nas áreas de matas do bioma amazônico. O Quadro 4 ressalta que entre os anos de 2004 a 2014 ainda estava vigente a subvenção para Infraestrutura que iria se findar no ano de 2015 e os incentivos para extração mineral com prazo de atuação até 2022.

Em conclusão a análise temporal da classe Florestal para fins de compreender as dinâmicas ambientais que aconteceram dentro do município de Sinop (MT), identifica-se no intervalo entre 2014 a 2022, última temporalidade analisada nessa

pesquisa, alguns destaques distintos dos anos anteriores como a estabilização das áreas florestais e significativa diminuição dos desmatamentos.

Para as áreas de matas (classe Florestal), um panorama de estudos do PRODES (Apêndice VII) dentro dos estados integrantes da Amazônia legal alertou que a taxa de desmatamento na Amazônia cresceu 29% em 2016 em relação ao ano 2015.

Essas consequências são atribuídas a ampliação da supressão da madeira de forma irregular, à reforma do Código Florestal e à especulação da terra. A exploração da madeira ilegal segue sendo um dos principais motivos para a degradação florestal e o desmatamento (PRODES, 2023). Dentro do estado de Mato Grosso, os dados do Sistema de Alerta do Desmatamento (SAD), do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), expuseram que o desflorestamento na área da Amazônia Legal em Mato Grosso aumentou 190% nos meses de fevereiro e março de 2016 em comparação com o mesmo período do ano passado (PRODES, 2023).

No contexto das políticas públicas, foram criadas várias ações governamentais que favoreciam a proteção do meio ambiental, destas, o Quadro 3 destaca a criação do Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia (SUCAM), a Lei de Proteção à Vegetação Nativa. Lei nº 12.727/2012, o Programa de Regularização Ambiental (PRA), o Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS), as alterações na Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Lei nº 12.651/2012, o Decreto de Regularização Ambiental. Decreto nº 10.333/2020, a Lei da Proteção e Conservação da Amazônia. Lei nº 14.119/2021 e o Plano de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (PDSA).

Assim sendo, dentro da realidade do município de Sinop (MT), averígua-se que esses aparatos governamentais foram um importante fator para a queda nos desmatamentos entre 2014 a 2022 em relação aos períodos antes estudados aqui nessa tese. Nota-se que essas zonas praticamente estabilizaram o percentual de perdas em áreas entre esses dois anos, contudo, ao comparar os dados da Tabela 1, percebe-se uma perda em áreas verde de aproximadamente 15404.67hectares, em outros termos, 4% a menos de floresta amazônica durante esses 8 anos.

De toda forma, vale lembrar que ainda existiam políticas públicas entre 2014 a 2022 que repercutia em resultados negativos ao meio ambiente, pois fomentava a expansão de áreas como a do agronegócio. Além da vigência dos incentivos para

Extração Mineral que pendurou até o ano de 2022, o Quadro 4 relata a criação de mais duas ações governamentais dentro desse viés que foi a revisão das políticas ambientais e redução da fiscalização no ano de 2016 até 2018 com os fins de redução da fiscalização ambiental e enfraquecimento das políticas de proteção ambiental e a Política de Desenvolvimento Agropecuário e Extrativista no ano de 2018 até 2022 com o enfoque em políticas de desenvolvimento agropecuário que podem ter impactado o desmatamento.

Em relação a categoria Lavouras temporárias, no ano de 1984, essa classe foi significativamente representada na área analisada, ocupando 2423.75 hectares, correspondendo a 1% do total estudado. Nesse período específico, Veríssimo et al. (1998) apontaram que a dinâmica econômica de Sinop (MT) se concentrava na extração madeireira (Figura 26) e na preparação de terrenos para futuras atividades agrícolas, tanto perenes quanto cíclicas (Tabela 1 e Figura 34).

Figura 26. Foto de um madeireiro em seu caminhão.

Fonte: Blog Prof. Poliana.

Assim três fatores principais impulsionaram a indústria madeireira na região naquele tempo: o primeiro foi o desenvolvimento de vias de acesso, que facilitaram a exploração de áreas florestais remotas; o segundo, a aquisição de madeira a custos relativamente baixos; e o terceiro, a exaustão dos recursos madeireiros no sul do

Brasil, combinada com o crescimento econômico nacional, gerando alta demanda por madeira da Amazônia Barreto e Silva (2009).

No que concerne a agriculta temporária, os dados do Apêndice VIII informam os valores de produção das principais commodities presentes dentro do território de Sinop (MT) nos anos de 1984 a 2021, onde além da exploração de madeira, o plantio de algumas sementes como a soja, milho e, principalmente, o arroz se mostravam presentes e importantes para a economia local.

Nota-se que em 1984 a agricultura temporária não possuía valores significativos em áreas plantadas, uma vez que representava 1% (2423.75 hectares) do total do território estudado (Tabela 1 e Figura 34). Macedo e Ramos (2015) comentam que a solidificação da agricultura em Sinop (MT) aconteceu de fato em meados de 1998. Isso se deve, pois, precedente aquela época, existiam inseguranças em cima da economia brasileira somada a diversos planos de estabilização econômicas que não deram certos. Deste modo, fatores como a hiperinflação e juros excessivos descorçoavam os produtores em arriscar um investimento particular para fins de concretizar essa produção no local.

Como já mencionado, após 10 anos de desenvolvimento socioeconômicos e ambientais, a espacialização das classes existentes dentro do município de Sinop (MT), entrou em um processo evidente de mudança, transformando a paisagem da região. Dentre as alterações recorrentes, analisa-se o avanço das classes que caracterizam as ações antrópicas sobre a classe Florestal, realçando a evolução econômica que ainda estava sendo alavancada principalmente pela exploração do bioma amazônico.

No que se refere a classe Lavouras temporárias, que no ano de 1984, possuía uma área aproximada de 2423.75 hectares, sendo encontrada principalmente próxima a cidade de Sinop (MT), no ano de 1994, teve um aumento significativo em 16%, ou seja, uma expansão de 65035.5 hectares de áreas agrícolas que se estenderam em direção ao sul e nordeste do município de Sinop (MT) (Apêndice VIII, Tabela 1 e Figura 34).

Examina-se nos valores entre 1984 a 1994 o aumento das produções das commodities de milho e soja que saltaram de áreas plantadas nesse período de 10 anos em destaque. A soja que em 1984 apresentava uma área plantada de 700

hectares, segundo os dados disponibilizados pelo IBGE, saltou para 4.100 hectares em 1994. O milho percorreu o mesmo caminho com um crescimento aproximado de 1.036 hectares de áreas plantadas nesse mesmo período, saindo de 1464 hectares em 1984 para 2500 em 1994 (Apêndice VIII).

Oliveira et al., (2020) destacam que esse avanço pode ser explicado por uma série de fatores econômicos, tecnológicos, políticos e sociais que transformaram o setor agrícola do país. O autor comenta em primeiro momento sobre as políticas econômicas implementadas durante este período que tiveram um impacto considerável. Destes, o pesquisador destaca os planos econômicos, como o Plano Cruzado de 1986, que apesar de seus desafios e críticas, visaram estabilizar a economia e controlar a inflação, onde esses esforços ajudaram a criar um ambiente econômico mais favorável para investimentos agrícolas, aumentando a confiança dos produtores.

Além disso, Silva & Souza, (2019) ressaltam os avanços tecnológicos que foram fundamentais para esse crescimento como a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) que desempenhou um papel crucial ao introduzir novas variedades de sementes mais produtivas e resistentes a pragas. O autor ainda expõe que a disseminação de tecnologias modernas, incluindo o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, também contribuiu para o aumento da produtividade das lavouras temporárias.

Por fim, Gomes & Lima, (2022) afirmam que outro fator importante foi a crescente demanda por produtos agrícolas, tanto no mercado interno quanto no externo. Os pesquisadores denotam que o crescimento populacional e a urbanização acelerada no Brasil aumentaram a demanda por alimentos, enquanto a globalização e a abertura comercial ampliaram as oportunidades de exportação, o que incentivou os agricultores a expandir suas áreas de cultivo e adotar práticas mais eficientes.

No entanto, por mais do crescimento desses produtos ligados a lavoura temporária, é valido lembrar que a realidade que estava acontecendo dentro do município de Sinop (MT) andou na contra mão aos fatos que se perpetrava dentro da política nacional.

Segundo Fearnside (2005), no período de 1987 a 1991, o Brasil enfrentou crises econômicas que resultaram em restrições orçamentárias governamentais,

afetando a construção de novas estradas e a implementação de projetos de assentamento, o que contribuiu para a redução das taxas de desmatamento. Além disso, o autor destaca o impacto do confisco de poupanças pelo presidente Fernando Collor em 1990, o que impediu os agricultores de expandir as fronteiras do desmatamento em suas propriedades.

No período de 1994 a 2004, a categoria Lavoura temporária possuiu praticamente o mesmo ritmo de crescimento do período anterior, com uma evolução de aproximadamente 67142.94 hectares, assim dizendo, um aumento de 17% de áreas plantadas que se expandiram principalmente para a região noroeste do município de Sinop (MT) que até então, se mantinham intactas (Apêndice VIII, Tabela 1 e Figura 34).

Dentro da realidade dos plantios de sementes, os dados dos do Apêndice VIII apontaram que os valores de produção da agricultura temporária como a soja, milho, arroz e o algodão continuaram surtindo uma evolução significativa até o ano de 2001, apresentando valores de produção com bastantes variabilidades.

Assim sendo, nota-se que as mercadorias da agricultura temporária se mantiveram com resultados de rendimento assentes até o ano de 2001 e, posteriormente, foram alavancando a partir do ano de 2002, principalmente para o cultivo da soja, que teve um aumento significativo de 120% em áreas plantadas em um período curto de tempo (2003 a 2004).

Ferreira et al., (2017) comentam que a estabilidade econômica alcançada com o Plano Real, implementado em 1994, foi um dos principais impulsionadores do crescimento agrícola. Os autores ainda ressaltam que a estabilização da moeda e o controle da inflação proporcionaram um ambiente econômico mais favorável para os agricultores, permitindo melhor planejamento e investimentos no setor.

Em termos tecnológicos, Silva & Carvalho, (2019) expõe que houve avanços significativos, especialmente com a disseminação de práticas de agricultura de precisão e biotecnologia com a introdução de sementes geneticamente modificadas (GMOs) que aumentou a produtividade e a resistência a pragas e doenças, reduzindo custos e aumentando a eficiência das lavouras temporárias. A mecanização também se intensificou, com a adoção de maquinários mais modernos e eficientes, resultando em maior produtividade (Melo et al., 2020).

Gonçalves & Silva, (2021) indicam que outro fator que também foi relevante, está relacionado ao crescimento da demanda internacional por commodities agrícolas brasileiras, impulsionado pela globalização e pela abertura de novos mercados. Os pesquisadores alegam que países como China e Índia aumentaram suas importações de produtos agrícolas, como soja e milho, estimulando a expansão do cultivo de lavouras temporárias no Brasil.

Por fim e não menos importante, vale lembrar que o setor agrícola também se beneficiou de políticas públicas e programas de incentivo, como o Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), que forneceu crédito e suporte técnico aos pequenos agricultores, promovendo a inclusão e o desenvolvimento sustentável (Pires & Santos, 2018).

Em continuação, percebe-se que o período entre 2004 a 2014 desencadearam outros rumos econômicos e ambientais, o primeiro se deve aos incentivos políticos, principalmente para o setor da agricultura temporária e o segundo está relacionado com uma fiscalização mais rígida das leis ambientais. Entretanto, destaca-se o próspero envolvimento econômico da agricultura temporária dentro dessa classe.

Como observa-se nos dados do Apêndice VIII, os plantios de soja e milho tiveram um salto de áreas plantadas bem significativo quando se analisa o período entre 2004 a 2014, assim, nota-se um aumento de 73% para as novas áreas de soja (passando de 84495 hectares em 2004 para 146000 hectares em 2014) e uma gradação de 351% para as novas áreas de milho (17526 hectares em 2004 para 79000 em 2014).

Como justificativa para esse fator, Silva & Souza, (2018) evidenciam que o cenário econômico estava favorável, pois nesse período, era caracterizado pelo crescimento econômico acelerado e pela estabilidade macroeconômica, onde proporcionou um ambiente propício para o desenvolvimento agrícola. Os autores ainda elucidam que a expansão do crédito rural, com programas como o Plano Safra, ofereceu melhores condições de financiamento aos agricultores, permitindo investimentos em tecnologia e infraestrutura.

Pereira & Lima, (2021) corrobora com essa ideia mostrando que os programas de subsídio e incentivos fiscais, juntamente com a expansão da assistência técnica e extensão rural, ajudaram a melhorar a capacitação dos agricultores e a adoção de

melhores práticas agrícolas. Os autores ainda ressaltam como importância o fortalecimento de instituições como a Embrapa que continuou fornecendo suporte crucial em pesquisa e desenvolvimento.

Além dos incentivos governamentais que essas culturas receberam a partir de 2002, esse episódio também esteve favorecido por causa do boom dos preços das commodities que aconteceu no mundo a partir dos anos 2000. Deste modo, entre os anos de 2003 a 2011, Black (2015) explica que dentro do contexto internacional, as cotações de commodities apresentaram expressiva valorização nominais e reais, o que impactou em melhorias financeiras para os países exportadores desses produtos, inclusive o Brasil.

Ferreira (2018) salienta que após momentos de instabilidades econômicas e variabilidades nos preços das commodities, a partir de 2002, esses produtos passaram por vários momentos de valorização. O autor cita que em 2003, o salto foi devido ao aumento dos preços de combustíveis e metais, posteriormente, essa elevação acontece no ano de 2006 e atinge seu valor máximo no índice global em julho de 2008. Por mais crise do subprime que aconteceu nos Estados Unidos e aborreceu uma queda nos valores das commodities, logo adveio a sua recuperação o que provocou novos aumentos no ano de 2011. Logo adiante, o autor comenta a queda não somente dos preços das commodities, mas também dos metais e combustíveis, apesar dos derivados de petróleo terem um pico no ano de 2012 devido as tensões geopolíticas que estavam acontecendo.

Por fim, Melo et al., (2020) reiteram que a inovação tecnológica continuou a desempenhar um papel crucial para esse crescimento de produção com a adoção de biotecnologia, incluindo o uso disseminado de sementes transgênicas, que elevou a produtividade das culturas ao aumentar a resistência a pragas e doenças. Além disso, os pesquisadores destacam a agricultura de precisão e o uso de maquinário avançado que melhoraram a eficiência e a gestão das propriedades agrícolas. A modernização dos processos agrícolas, com a integração de tecnologias de informação e comunicação (TIC), também contribuiu para a otimização da produção (Oliveira & Santos, 2019).

Em conclusão a análise temporal da classe Lavouras temporárias para fins de compreender as dinâmicas socioeconômicas que aconteceram dentro do município

de Sinop (MT), identifica-se no intervalo entre 2014 a 2022, última temporalidade analisada nessa pesquisa, alguns destaques distintos dos anos anteriores como a fixação das áreas destinadas aos usos econômicos como a agricultura temporária.

A queda livre dos preços das commodities agropecuárias, metálicas e minerais exportadas pelo Brasil, afetou fortemente o crescimento de produção dos produtos da agricultura temporária como a soja e o milho. Os dados indicam que, entre 2014 e 2022, houve um aumento considerável na produção de soja e milho, com crescimentos de 14% e 51%, respectivamente. Contudo, essa taxa de crescimento foi modesta se comparada ao período de 2004 a 2014, onde a produção de soja e milho disparou, registrando aumentos de 73% e 351%, respectivamente (Apêndice VIII).

De acordo com informações do Senado Federal (2023), uma queda nos preços das commodities afetou negativamente a balança comercial brasileira, que ainda assim apresentou superávit em 2015, uma consequência da retração econômica que levou a uma diminuição das importações em relação às exportações. Relatórios da Secretaria de Comércio Exterior (Secex) e do Ministério do Desenvolvimento e Comércio Exterior (Mdic) revelaram que o Brasil deixou de ganhar cerca de US$ 25 bilhões em exportações em 2015 devido à queda dos preços internacionais de produtos chave como a soja, o minério de ferro, o petróleo e seus derivados.

Segundo Adami (2022), a partir de maio de 2020, houve um expressivo aumento nos preços dos produtos agrícolas, impulsionado pelos efeitos econômicos globais da pandemia de covid-19. Este fenômeno beneficiou o Brasil, um dos principais exportadores de alimentos do mundo, resultando em sucessivos recordes de vendas internacionais para o setor do agronegócio, o ponto máximo deste crescimento ocorreu em março de 2022, com os preços das commodities atingindo um patamar 59% maior que o índice anterior e 72% acima do registrado em abril de 2020. Este incremento representou os valores mais altos em dois anos, além de configurar o pico mais significativo em termos de valores nominais em dólares.

Outro setor econômico que também se praticava no município de Sinop (MT) desde o ano de 1984, foi a pecuária por meio da criação de gados, cavalos e porcos. De acordo com os dados da do Apêndice IX, especializado no cartograma da Figura 34, observa-se que no ano de 1984, essa prática econômica estava presente em

aproximadamente 11% do território do município, sendo encontradas em torno de 43521.92 hectares (Tabela 1).

Em relação a produção da pecuária, de acordo com os dados disponibilizados no Apêndice IX, observa-se que a maior criação dentro dessa prática econômica era a bovina, ao todo, esse animal representava cerca de 47.106 cabeças criados de formas intensivas (onde não há necessidade de grandes áreas de terra) e extensivas vivendo principalmente em áreas de desmatamentos. A criação de suínos e equinos também já participavam dessa atividade e possuía um quantitativo de 6.802 cabeças de porcos criados principalmente de forma intensiva e 658 cabeças de cavalos espalhados sobretudo de forma extensiva. Assim como aconteceu com a agricultura, devido à falta de estrutura adequada em conexões com os grandes centros do estado de Mato Grosso, a prática da pecuária nessa época também estava voltada para a consumação interna e das cidades que também estavam se desenvolvimento próxima a Sinop (MT).

Diferente do andamento da agricultura, após 10 anos de acontecimentos socioeconômicos (1984 a 1994), a categoria Pastagem obteve um regresso em expansão de suas áreas em torno de 21639.23 hectares, saindo de 43521.92 hectares (11% da área total de estudo) em 1984 para 21882.69 hectares (5,5% da área total de estudo) em 1994 (Tabela 1 e Figura 34). No entanto, os dados do Apêndice IX revela que a pratica da pecuária teve uma pequena evolução ao decorrer desse tempo analisado. Todavia, durante esse período, essa atividade econômica apresentou oscilações em seu desenvolvimento para os todos os animais que estão sendo analisados dentro dessa atividade econômica.

Por mais das instabilidades dos rendimentos pecuários, os dados do Apêndice IX apontam que a criação de gados continuou sendo a mais praticada nessa temporalidade. A atividade que em 1984 contava com a presença de 47.106 cabeças de gado, aumentou sua produção em 28% em 1994 e passou para um rebanho de 60.178 animais. A criação de porcos e cavalos seguiram caminhos inversos do que a bovinocultura, ou seja, assim como a atividade bovina, mostraram uma certa evolução entre os anos de 1985 e 1986, mas decaíram suas produções até o ano de 1994, apresentando um decréscimo em seus resultados se comparados os valores de 1994 e 1984 (queda de 106% para os suínos e 43% para os equinos).

Entre os anos de 1994 a 2004, os dados da Tabela 1 e Figura 34 apontaram um crescimento em áreas em torno de 49550.62 hectares dentro da classe Pastagem. O território de Sinop (MT) que em 1994 tinha como terras destinadas a prática da pecuária em torno de 21882.69 hectares, passou para 71433.31 hectares no ano de 2004. A explicação para tal acontecimento está relacionado com as áreas desmatadas que estiram sendo utilizadas para a prática da pecuária.

No entanto, os dados do Apêndice IX exibe a mesma variabilidade produtiva na bovinocultura durante o período de 1984 a 1994. O rebanho de gado que em 1994 apresentava a presença de 60.178 animais, passou para 61 000 cabeças em 2004, apresentando um crescimento ínfimo em torno de 1%. Contexto totalmente diferente para as criações de equinos e suínos que possuíram um crescimento significativo durante essa mesma temporada, dado que a criação de cavalos passou de 460 cabeças em 1994 para 1.172 animais em 2004 (saldo positivo em 155%) e a produção suína que saltou de 3.300 animais em 1994 para 24.493 cabeças em 2004 (evolução em 642%).

No que corresponde aos anos de 2004 a 2014, a dados da (Tabela 1 e Figura 34) indicam novamente uma queda em áreas da classe Pastagem em torno de 31581.79 hectares, saindo de 71433.31 hectares em 1994 para 39851.52 hectares em 2014. O motivo cessação está relacionado com a troca da cultura econômica com o cultivo das lavouras temporárias.

A pecuária durante esse período apresentou uma evolução produtiva para a criação de suínos e equinos, indicando quedas de rendimentos para a criação de gados nesse intervalo de tempo.

Segundo os dados do Apêndice IX, a bovinocultura que na temporalidade passada apresentou um crescimento aproximado em 1%, nesse lapso temporal, manifestou um certo crescimento entre 2004 a 2010, porém perdeu força rendosa nos anos posteriores e acabou fechando esse período de análise em 25% de declínio em sua produção se comparado os valores de 2004 com 2014. A produção de cavalos e porcos expuseram prosperidade durante essas datas, de acordo com dados informados, a criação suína foi a que mais expressou rendimento já que evoluiu em torno de 88% enquanto os equinos progrediram cerca de 29%.

Acerca da temporalidade de 2014 a 2022, para a classe Pastagem, os dados da (Tabela 1 e Figura 34) mostra a continuação perda em áreas para a classe Lavouras temporárias. Ao todo, durante esse período de 8 anos, as áreas destinadas a criação de animais pertencentes a pecuárias, recuou em torno de 13031.89 hectares, saindo de 39851.52 hectares em 2014 para 26819.63 hectares em 2022.

A produção pecuária seguiu os mesmos ritmos de resultados dos anos anteriores para a bovinocultura e equinocultura, ou seja, produções com resultados variáveis entre os anos. De toda forma, tanto a criação de gado quanto a de cavalos fecharam essa temporalidade analisada com um crescimento positivo se comparado os dados de 2014 com 2021.

Em conformidade com os dados apresentados no Apêndice IX, explora-se uma desenvolução em torno de 18% para a criação bovina e 45% para o desenvolvimento dos cavalos, ao todo, o rebanho presente dentro do território de Sinop (MT) passaram de 46.030 cabeças em 2014 para 54.128 animais em 2021, já para os equinos, sua produção saiu de 1.508 animais em 2014 para 2.187 cabeças em 2022. A criação de porcos exibiu resultados diferentes dos encontrados nos períodos anteriores, uma vez que entre esse período analisado essa atividade pecuária apresentou queda em sua produtividade em torno de 75% se comparado os dados de 2014 com 2021.

Partindo para a análise da classe Área urbanizada, em 1984, essa camada representou 0,3% do total da área de estudo com 1146.01 hectares (Tabela 1 e Figura 34). Na época, o município possuía uma população estimada em 19.891 pessoas (Censo IBGE de 1980) e estava sobre o comando do prefeito Geraldino dal Maso do PDS (Partido Democrático Social) que iniciou seu mandato em 1º de janeiro de 1983 e findou em 31 de dezembro de 1988.

Em um contexto histórico, Souza (2017) relata que o desenvolvimento da malha urbana de Sinop (MT) se iniciou a partir da Avenida dos Mognos (avenida central da cidade) com a construção de abrigos temporários que estava a dispor de moradias e centralização do comércio. A datar de 1984, a chegada de novos moradores fez com que o modo de ampliação urbana avançasse para além da Avenida dos Mognos, seguindo rumo a periferia. Com isso, começa a surgir na cidade novas áreas que serviriam como futuros bairros, o que ajudou financeiramente vários empreendimentos que atuavam na área de comercialização dos lotes urbanos. Em conclusão, o autor

comenta que Sinop (MT) só passou a insurgir no panorama mato-grossense a partir da sua emancipação político-administrativo de Chapada dos Guimarães (Figura 27).

Figura 27. Foto da malha urbana de Sinop em 1979.

Fonte: Blog Prof. Poliana.

Após 10 anos de transformações econômicas dentro do município de Sinop, a categoria Área urbanizada que em 1984 possuía um valor de 1146.01 hectares, teve um aumento de aproximado de 0,7%, chegando a um total de 4105.52 hectares em 1994 (Tabela 1 e Figura 34). Segundo os dados retirados no site do IBGE, durante esse período, passaram pelo o comando da cidade o prefeito Adenir Alves Barbosa do PTB (Partido trabalhista Brasileiro) com início do seu mandato em 1º de janeiro de 1989, final em 31 de dezembro de 1992 e o prefeito Antônio Contini do PFL (Partido da Frente Liberal) com início do seu mandato em 1º de janeiro de 1993 e final em 31 de dezembro de 1996. Além da expansão de suas áreas, os dados do IBGE apontam um aumento de sua população em 93% durante todo esse período. Ao todo, a população saltou de 19.891 habitantes segundo o censo realizado em 1980 para 38.374 habitantes (censo de 1991).

Souza (2017) afirma que além dos processos migratórios, o crescimento populacional da cidade de Sinop (MT) que ocorreu entre 1988 a 1990 também esteve ligado ao declínio da população rural que se deu por vários motivos. Fatos como a

aglutinação das propriedades, a falta de crédito encarado pelos produtores e, sobretudo, pela emancipação dos municípios de Vera, Carmem e Cláudia, fizeram com que vários moradores da zona rural procurasse a cidade em busca de melhores condições de vida.

A partir disso, o autor destaca que a malha urbana de Sinop (MT) começou a passar por várias transformações, principalmente na parte econômica e estrutural, como a substituição de construções antigas por prédios modernos. Essas ocasiões entre os anos de 1989 a 1992 foram marcados com grandes investimentos em infraestrutura a tal ponto que evidenciou o modelo de cidade planejada que tanto se sonhou desde o início de sua fundação. Em 1992, Souza (2017) comenta que a cidade de Sinop (MT) já apresentava uma estrutura urbana consolidada, sendo referência regional na prestação de serviços e a comandar a economia local devido a atividade madeireira e a pavimentação asfáltica da BR-163 (Figura 28).

Figura 28. Foto da malha urbana de Sinop em 1992.

Fonte: Blog Prof. Poliana.

Em relação ao período de 1994 a 2004, a classe Área urbanizada obteve um crescimento de 1,2%. Ao todo, a categoria possuiu um avanço em suas áreas de 4601.11 hectares, saindo de valores de 4105.52 hectares em 1994 para 8706.63hectares em 2004 (Tabela 1 e Figura 34). Além do prefeito Antônio Contini

(PFL) que finalizou seu mandato em 31 de dezembro de 1996, também esteve à frente da prefeitura durante esse período os prefeitos Adenir Alves Barbosa do PTB (Partido Trabalhista Brasileiro) com início do seu mandato em 1º de janeiro de 1997 e termino em 31 de dezembro de 2000 e o eleito Nilson Leitão do PSDB (Partido da Social Democracia Brasileira) que iniciou seu mandato em 1º de janeiro de 2001 e finalizou em 31 de dezembro de 2008. O crescimento populacional seguiu o mesmo ritmo do outro período analisado, ao todo, a população de Sinop (MT) saiu de 38.374 habitantes segundo o censo do IBGE de 1991 para 74.831 residentes no município (censo de 2000), ou seja, uma evolução de cerca de 95%.

Além da expansão da fronteira da cidade frente a zona rural, Souza (2017) comenta que os investimentos em infraestrutura dentro da malha urbana, como as alterações das construções primitivas para prédios mais modernos, seguiram ritmos enlevados. Aos poucos, era notória as mudanças que se desenvolviam nas paisagens da cidade, passava-se de uma arquitetura caracterizada principalmente por edificações de madeira para estruturas mais contemporânea com materiais mais resistentes a exemplo da alvenaria. Além disso, o autor relata a importância econômica que esses fatores geraram no setor imobiliário. As ocupações do espaço urbano passaram a ter mais valores de acordo com a sua localização dentro da cidade, saindo de terrenos mais caros nas áreas centrais para preços mais acessíveis nos bairros aos arredores como o Jardim Imperial, Jacarandás dentre outros.

Conforme Souza (2017), a cidade testemunhou uma expansão significativa, invadindo áreas anteriormente rurais, houve também um investimento considerável na infraestrutura urbana, exemplificado pela transição de construções primitivas para edificações modernas. A paisagem urbana transformou-se gradualmente, substituindo as estruturas de madeira por construções de alvenaria mais robustas e contemporâneas, este desenvolvimento teve um impacto substancial na economia local, em especial no mercado imobiliário, pois a valorização dos espaços urbanos passou a ser fortemente influenciada pela localização, com os preços dos imóveis nas regiões centrais sendo mais elevados em comparação com os bairros mais afastados, como Jardim Imperial e Jacarandás, onde os custos eram mais acessíveis.

Finalizando a discussão econômica desse período, nota-se que as dinâmicas das agriculturas, pecuária e populacional repercutiram de forma positiva nos dados de produto interno produto (PIB) (Apêndice X).

Constata-se por meio do Apêndice X uma evolução aproximada em 203% nos valores a preços correntes (mil reais) do PIB do município de Sinop (MT) no período de 1999 a 2004. Ao todo, o munícipio teve crescimento exponencial em todos os anos e passou de um PIB de R$ 389.136 em 1999 para R$1.178,941 em 2004, o que tornou a cidade alvo de novos investimentos em todos os setores e resultou em melhoras na economia e geração de empregos, motivos pelo qual atraiu novos moradores para essa região (Figura 29).

Figura 29. Foto da malha urbana de Sinop em 2002.

Fonte: Blog Prof. Poliana.

Entre os anos de 2004 a 2014, constata-se por meio dos dados da Tabela 1 e Figura 34 um crescimento inferior aos dos anos passados. Ao todo, durante os anos de 2004 a 2014, a categoria alavancou em 0,5% em suas áreas, passando de 8706.63 hectares em 2004 para 10613.48 hectares em 2014. Esses resultados ínferos aos anos anteriores também foram deparados nos dados populacionais, uma vez que no censo de 2000 a população da cidade de Sinop (MT) registrou 74.831 habitantes,

enquanto no censo de 2010, passou para 113.099 pessoas, em outras palavras, um crescimento de 51%. Evidencia-se que nesse período analisado, a cidade estava sobre o comando dos prefeitos Nilson Leitão (PSDB) que finalizou seu mandato em 31 de dezembro de 2008 e o Juarez Costa do PMDB (Partido do Movimento Democrático Brasileiro) que iniciou seu mandato em 1º de janeiro de 2009 e finalizou em 31 de dezembro de 2016.

Em relação a malha urbana, Souza (2017) relata que a alocução de prosperidade dentro da cidade Sinop (MT) (que possuía um projeto urbanístico semelhante a cidade de Maringá) era muito presente. Esse otimismo é constatado devido as transformações manifestas de uma malha urbana delineada, atinada e, por fim, dos visíveis desenvolvimentos econômicos, industriais e populacionais, onde se viam a chegada de pessoas de todos os lugares do país.

Para terminar a análise dessa temporada, nota-se por meio dos dados do Apêndice X que todos os setores da economia que tiveram responsabilidade nas transformações do uso e cobertura da terra nessa ocasião, favoreceram em um continuo crescimento do produto interno produto da cidade de Sinop (MT).

Se for comparado o PIB de 2004 a 2014, analisa-se que o desenvolvimento nesse período continuou acelerado análoga a temporalidade antecedente avaliada. Ao todo, esse território possuiu um crescimento importante de 263%, o que motivou ainda mais o fortalecimento da economia, estruturação da malha urbana, geração de novos empregos e tornou a cidade uns dos locais mais propício para se investir e morar (Figura 30).

Figura 30. Foto da malha urbana de Sinop em 2010.

Fonte: Blog Prof. Poliana.

No que se refere a malha urbana de Sinop (MT) entre os anos de 2014 a 2022, os dados apontaram um crescimento exponencial nesse período em torno de 0,6% de suas áreas. A cidade que em 2014 possuía em torno de 10613.48 hectares, avançou seus campos cerca de 2409.6 hectares, chegando ao total de 13023.1 hectares em 2022 (Tabela 1 e Figura 34).

No que diz respeito ao crescimento populacional, os dados dos censos do IBGE apontaram um crescimento em torno de 73% se comparado com as pesquisas realizadas em 2010 e 2022. No geral, a população que possuía 113.099 habitantes em 2010, alavancou para 196.067 pessoas em uma estimativa do censo realizado em 2022. Esse alto índice de crescimento urbano está associado ao grande progresso de Sinop (MT) em relação ao desenvolvimento dos setores de agricultura, industrias e, principalmente, no setor de serviços, que oferecem grandes oportunidades de empregos e chamam atenção dos imigrantes que se movem até cidade em busca de melhores condições de vida. Por consequência, esse processo acaba aquecendo o setor imobiliário que buscam novas áreas para poder assentar todas essas novas populações.

Vale frisar que os prefeitos que estavam a frente do poder executivo desta época era o Juarez Costa do PMDB que finalizou seu mandato em 31 de dezembro de 2016, Rosana Tereza Martinelli do PL (Partido Liberal) que iniciou seu mandato em 1º de janeiro de 2017 e finalizou em 31 de dezembro de 2020 e, por fim, o atual prefeito, Roberto Dorner, partido Republicanos, que deu início ao seu mandato na data de 1º de janeiro de 2021 e está até a atualidade dessa pesquisa.

Conforme Cunha (2010), com o tempo, a cidade de Sinop (MT) se tornou uma referência regional devido seu alto desenvolvimento frente as outras cidades e passou a desempenhar influências sobre os povoados aos arredores. Fortalecendo essa afirmação, Romancini e Rodrigues (2007) exaltam que Sinop (MT), dentro do norte de Mato Grosso, é capaz de oferecer empreendimento diversificados, o que reforça sua colocação de Capital Regional, especialmente no que refere aos subsídios de técnicas, maquinários e produtos rurais, prestação de serviços na saúde e polo regional de educação (Figura 31).

Figura 31. Foto da malha urbana de Sinop em 2020.

Fonte: SEAF. Elaboração: Silva (2024).

Em relação a categoria Corpo d'água continental, analisa-se que ela se manteve praticamente nos mesmos valores em áreas entre os anos de 1984 a 2019 crescimento de 221% que está diretamente relacionada com o rio Teles Pires presente dentro do município de Sinop (MT) (Tabela 1 e Figura 34). Como já dito nesse tópico,

esse fato está diretamente ligado com as perdas das áreas agricultáveis e de matas nativas para o lago da Usina Hidrelétrica (UHE) Sinop (MT) que concluiu o enchimento do seu reservatório em abril de 2019 e iniciou sua operação em setembro do mesmo ano.

A hidrelétrica de Sinop (MT) (Figura 32) (capacidade instalada de 401,9 MW), está localizada no rio Teles Pires a 70 km ao norte da cidade de Sinop (MT) (Figura 32). Foi construída pela multinacional francesa Electricité de France (EDF) por meio da empresa brasileira Sinop (MT) Energia (Companhia Energética Sinop (MT), SA), na qual a EDF detém 51%. O reservatório compreendeu os municípios de Cláudia, Itaúba, Ipiranga do Norte, Sinop (MT) e Sorriso. Foi construída com o método de fio d'água, ou seja, a geração de energia utiliza toda água que chega dentro do reservatório, seja pelos afluentes ou por meio das águas pluviais. Por fim, a construção desse empreendimento resulta em atender a alta demanda de energia elétrica que vem se deparando no Brasil e conseguirá amparar o consumo de energia elétrica em torno de 1,6 milhão de pessoas, correspondente a 50% da população do Estado do Mato Grosso (Fearnside, 2019).

Figura 32. Foto da UHE de Sinop.

Fonte: Sinop Energia.

Tabela 1. Classes de uso e cobertura da terra no município de Sinop (MT) de 1984 a 2022.

Classes Temáticas	Área (ha) 1984	Área (ha) 1985	Área (ha) 1986	Área (ha) 1987	Área (ha) 1988	Área (ha) 1989	Área (ha) 1990	Área (ha) 1991	Área (ha) 1992	Área (ha) 1993
Área urbanizada	1146.01	1146.01	1716.51	1803.82	1887.65	1886.66	2075.31	2068.22	2188.13	2780.16
Corpo d´água continental	3281	3281	3281	3281	3281	3280	3280	3280	3280	3278
Florestal	348660.45	348312.42	347964.38	343921.04	339030.89	335507.95	331940.96	326452.61	319392.49	311463.9
Lavouras temporárias	2423.75	3122.695	20129.65	36559.82	37279.99	38033.67	42607.14	59698.27	60314.96	64320.77
Pastagem	43521.92	43171.01	25941.59	13467.45	17554.17	20325.38	19130.25	7534.56	13858.08	17191.02
TOTAL	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87

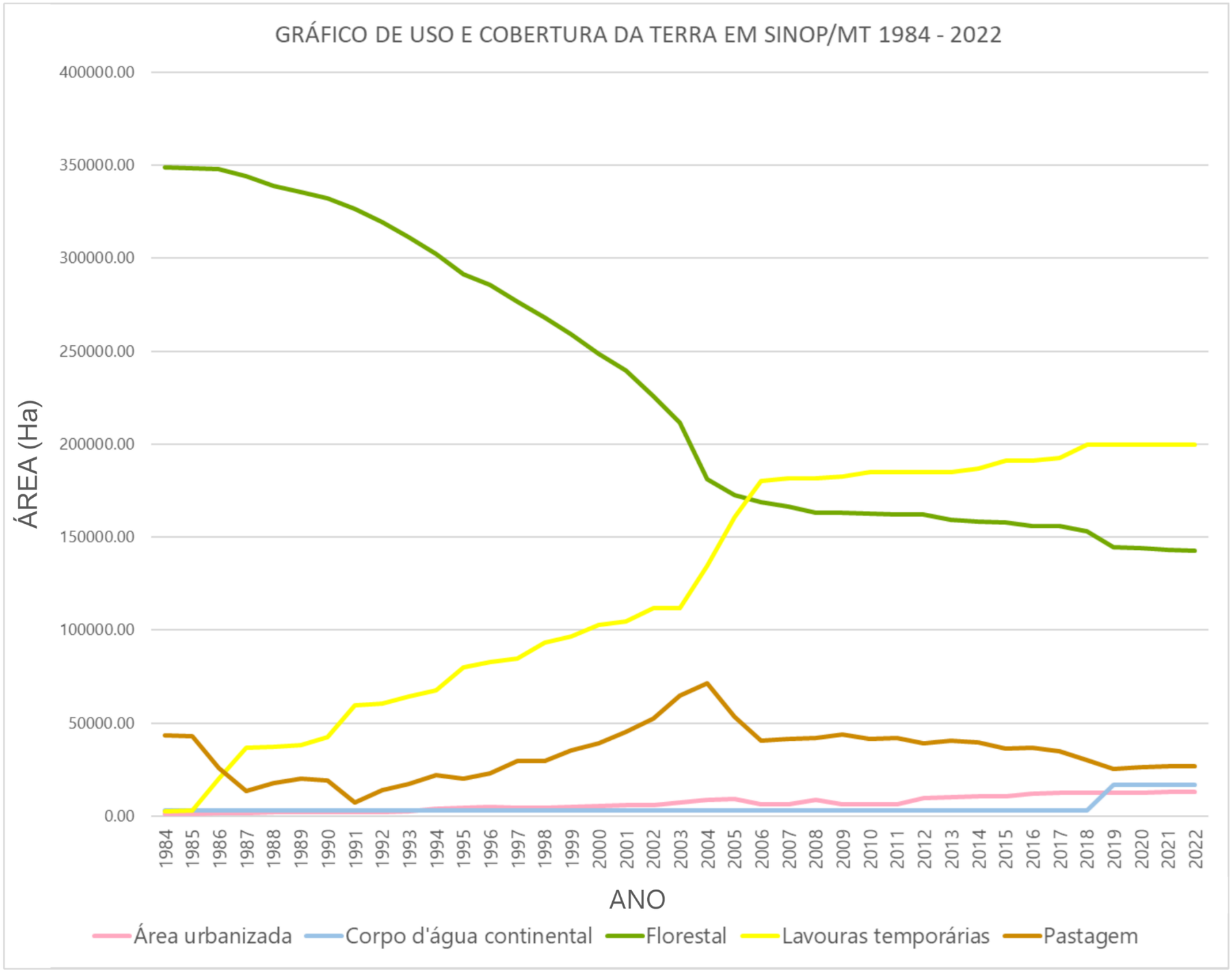
Classes Temáticas	Área (ha) 1994	Área (ha) 1995	Área (ha) 1996	Área (ha) 1997	Área (ha) 1998	Área (ha) 1999	Área (ha) 2000	Área (ha) 2001	Área (ha) 2002	Área (ha) 2003
Área urbanizada	4105.52	4612.02	4721.70	4531.49	4531.49	4997.98	5380.19	5763.45	5763.45	7244.40
Corpo d´água continental	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02	3278.02
Florestal	302308.39	291140.33	285575.32	276731.03	267840.315	258949.6	248383.88	239625.29	225660.48	211695.66
Lavouras temporárias	67459.25	79860.62	82623.36	84622.89	93513.605	96395.03	102929.48	104807.6	111790.01	111790.05
Pastagem	21882.69	20142.88	22835.47	29870.44	29870.44	35413.24	39062.3	45559.51	52541.92	65025.74
TOTAL	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87

Classes Temáticas	Área (ha) 2004	Área (ha) 2005	Área (ha) 2006	Área (ha) 2007	Área (ha) 2008	Área (ha) 2009	Área (ha) 2010	Área (ha) 2011	Área (ha) 2012	Área (ha) 2013
Área urbanizada	8706.63	9218.58	6235.96	6387.49	8790.10	6268.40	6496.33	6278.22	9672.17	10313.43
Corpo d´água continental	3276.97	3283.71	3283.62	3284.06	3286.52	3286.95	3287.74	3285.11	3285.11	3285.29
Florestal	181014.77	172496.16	168858.96	166361.7	163217.01	162915.17	162849.79	162185.03	161942.8	159503.26
Lavouras temporárias	134602.19	160539.07	180165.06	181645.08	181645.58	182736.13	184864.48	185144.7	185144.75	185144.8
Pastagem	71433.31	53496.35	40490.27	41355.54	42094.66	43827.22	41535.53	42140.81	38989.04	40787.09
TOTAL	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87

Classes Temáticas	Área (ha) 2014	Área (ha) 2015	Área (ha) 2016	Área (ha) 2017	Área (ha) 2018	Área (ha) 2019	Área (ha) 2020	Área (ha) 2021	Área (ha) 2022
Área urbanizada	10613.48	10828.74	11993.44	12414.46	12663.97	12710.39	12578.21	12889.72	13023.1
Corpo d´água continental	3285.55	3289.06	3290.63	3293.44	3293	16722.53	16758.22	16758.22	16758.22
Florestal	158205.09	157686.26	156119.55	155910.96	153296.7	144366.14	143882.6	143156.47	142800.42
Lavouras temporárias	187078.23	190934.24	190934.3	192445.08	199632.3	199632.35	199632.4	199632.45	199632.5
Pastagem	39851.52	36295.57	36695.95	34969.93	30147.9	25602.46	26182.44	26597.01	26819.63
TOTAL	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87	399033.87

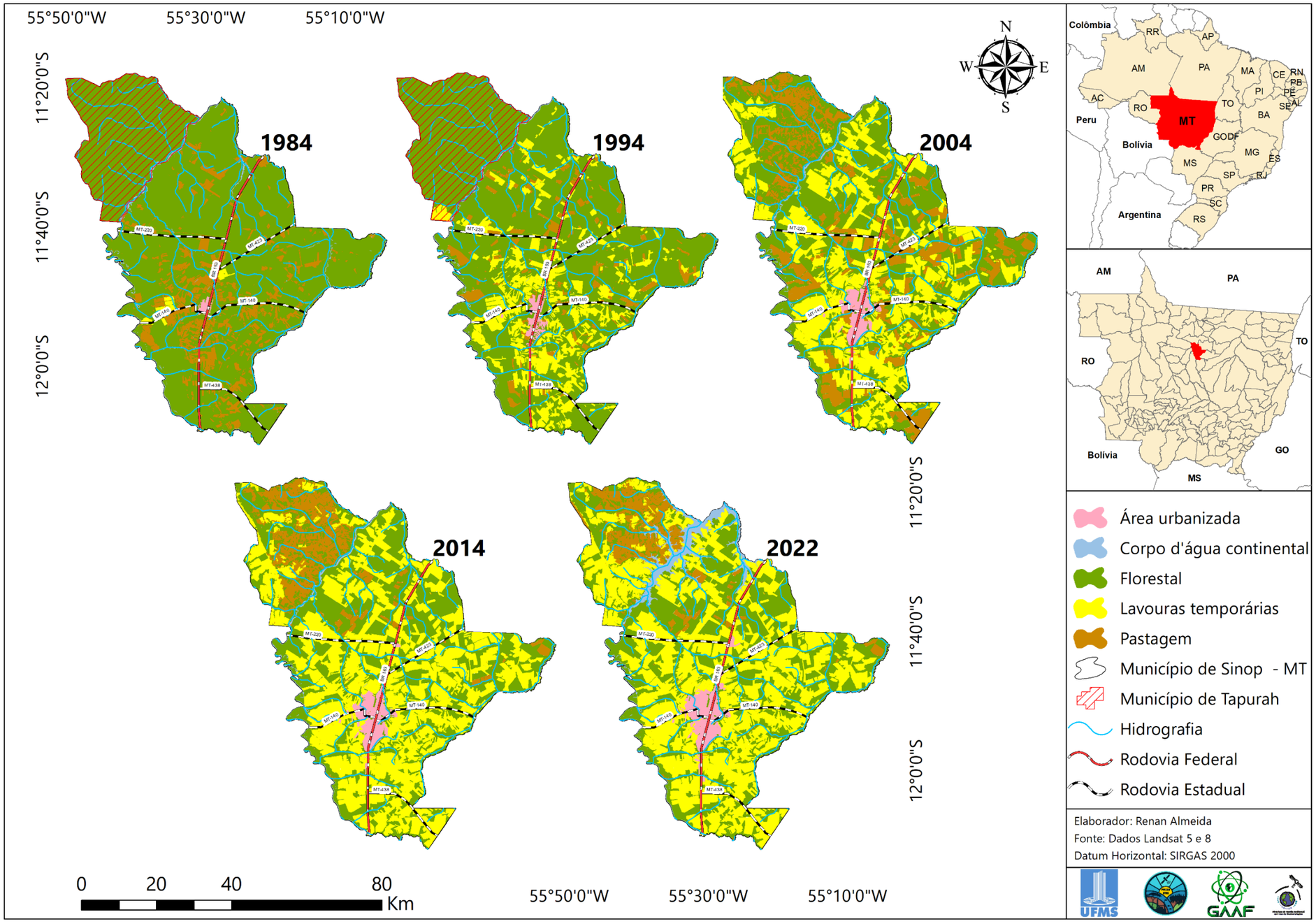
Elaboração: Silva (2024).

Figura 33. Alterações dos usos e cobertura da terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



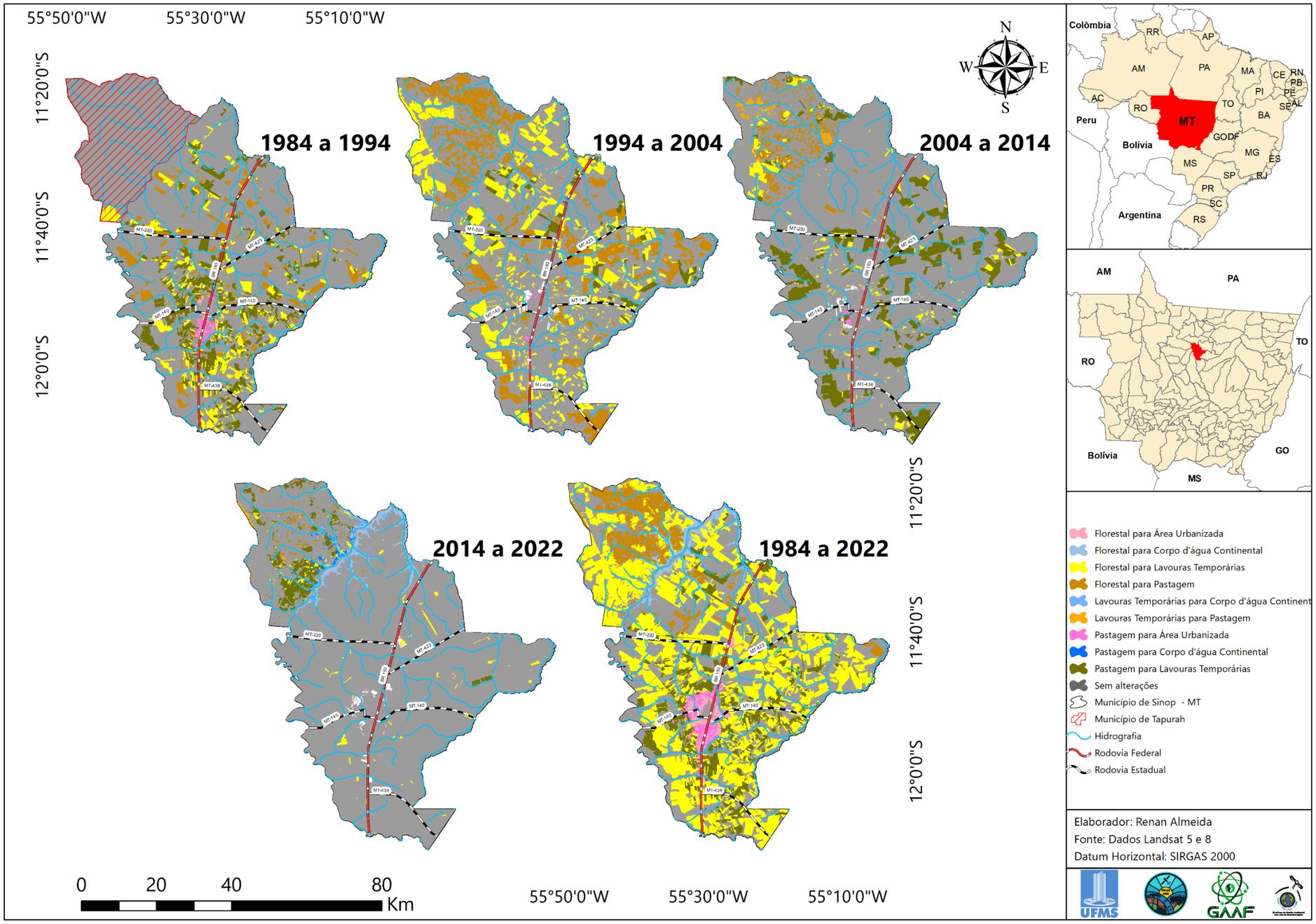
Elaboração: Silva (2024).

Figura 34. Cartograma de uso e cobertura da terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Renan Almeida, 2023.

Figura 35. Cartograma de alterações no uso e cobertura da terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

5.2. Análise da temperatura da superfície no município de Sinop (MT) nos anos de 1984 a 2022.

A avaliação da temperatura da superfície no município de Sinop (MT), entre os anos de 1984 e 2022, evidencia as alterações climáticas regionais associadas tanto ao desenvolvimento urbano quanto às mudanças ambientais. Ao longo desse período, foram registradas variações consideráveis nas temperaturas de superfície, influenciadas pelas dinâmicas de desmatamento e ampliação agrícola que caracterizaram a área. Além do avanço econômico, as alterações no uso da terra têm intensificado o efeito das ilhas de calor na cidade, sobretudo nas áreas mais urbanizadas, onde as temperaturas são notadamente mais elevadas devido à falta de cobertura vegetal (Araújo, 2021).

Embora a pesquisa abarque o intervalo de 1984 a 2022, a análise dos dados de temperatura da superfície será conduzida em períodos de dez anos. O estudo investigará as médias anuais de temperatura superficial, levando em conta o território completo, os distintos tipos de uso e cobertura da terra, além das dinâmicas de alteração em áreas que demonstrarem variações nas médias anuais ao longo do período avaliado (Figura 47).

Percebe-se nos dados do Quadro 21, representado no Figura 36, a confirmação do resultado do teste de Shapiro-Wilk que obteve um resultado de *p-value* de 0,00189, informando que esses dados não seguem uma distribuição normal dentro do período analisado. Tendência de ascensão estatisticamente significativa detectada pelo teste de Mann-Kendall (resultado do teste de Mann-Kendall de *p-value* 2.1e-14) e alta homogeneidade dos dados e uma ruptura na série histórica no ano de 2003 (resultado do teste de Pettitt de *p-value* 1.204e-03).

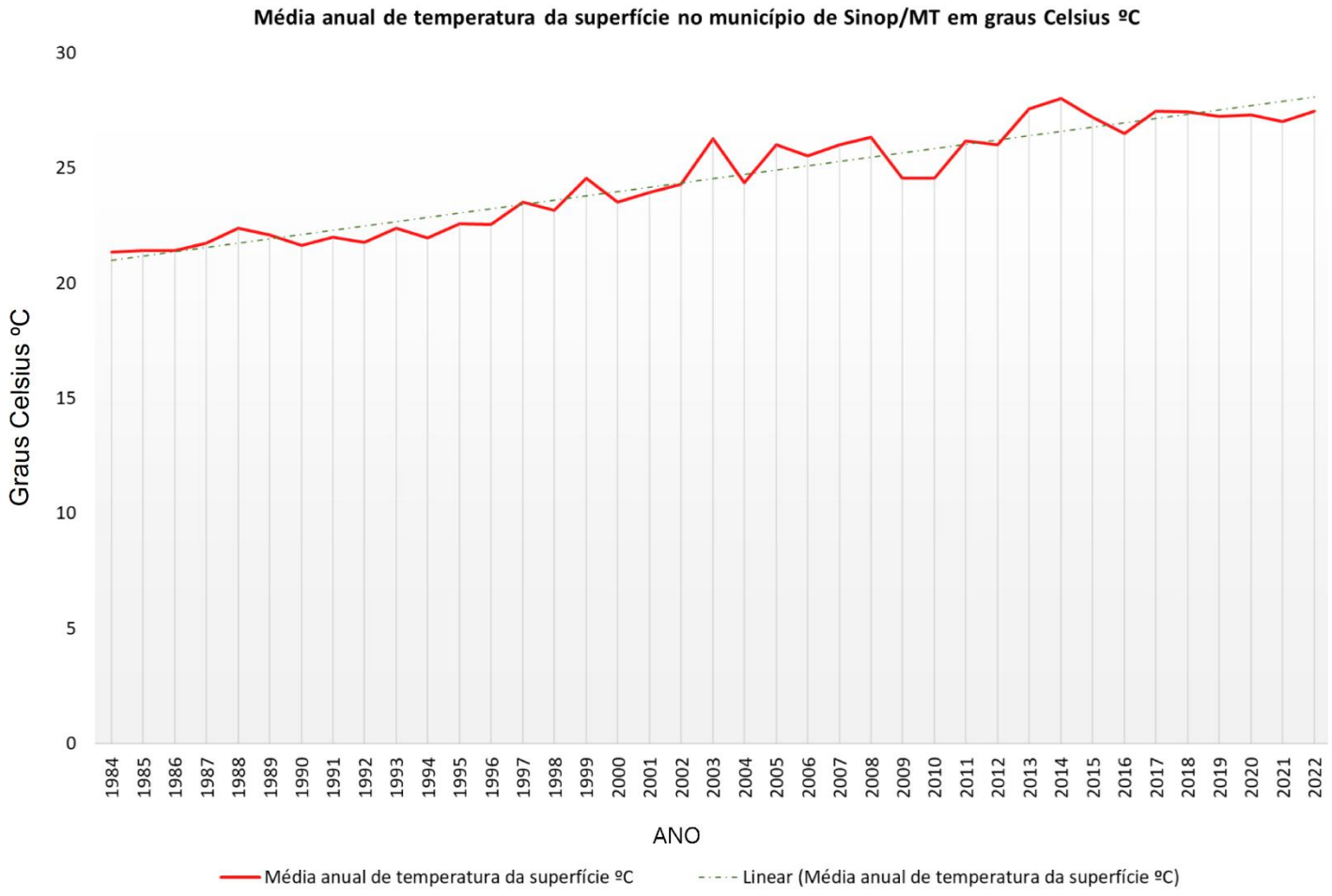
Em 1984, a média anual de temperatura da superfície dentro do município de Sinop (MT) esteve presente entre o valor de 21ºC, isso se deve, pois naquela época, de acordo com os valores do Tabela 1 e Figura 34, 87% do território sinopense era coberto por floresta amazônica e as atividades econômicas como as lavouras temporárias e a pastagem, possuíam pouca presença na extensão municipal.

Quadro 21. Média anual de temperatura na superfície dentro do município de Sinop (MT) em ºC entre 1984 a 2022.

ANO	Média anual de temperatura na superfície dentro do município de Sinop (MT) em ºC	ANO	Média anual de temperatura na superfície dentro do município de Sinop (MT) em ºC
1984	21	2004	24
1985	21	2005	26
1986	21	2006	26
1987	22	2007	26
1988	22	2008	26
1989	22	2009	25
1990	22	2010	25
1991	22	2011	26
1992	22	2012	26
1993	22	2013	28
1994	22	2014	28
1995	23	2015	27
1996	23	2016	27
1997	24	2017	27
1998	23	2018	27
1999	25	2019	27
2000	24	2020	27
2001	24	2021	27
2002	24	2022	27
2003	26		

Elaboração: Silva (2024).

Figura 36. Média anual de temperatura na superfície no município de Sinop (MT) em graus Celsius ºC**.**



Elaboração: Silva (2024).

Decorridos 10 anos de transformações econômicas e políticas, em 1994, o território exibiu paisagens distintas devido às alterações impulsionadas por interesses socioeconômicos, políticos e ambientais, que culminaram no aumento da média anual de temperatura da superfície em 1ºC no município de Sinop (MT) (Figura 36). Nesse ano, a cobertura da floresta amazônica já apresentava uma redução de aproximadamente 46.352,06 hectares, enquanto as categorias econômicas, como lavouras temporárias e pastagens, mostravam expansão considerável em suas áreas (Tabela 1 e Figura 34).

Entre os anos de 1994 a 2004, percebe-se, espacializado no mapa da Figura 34 e 35 que nesse período os desmatamentos presentes dentro da floresta Amazônica, movidos pelos interesses econômicos, continuaram intensificadamente. Ao todo, foram perdidos dentro desse intervalo de tempo cerca de 121293.62 hectares de matas nativas (Tabela 1), o que impactou diretamente na temperatura da superfície que teve um ganho de média anual de 2 ºC (Quadro 21, Figura 36).

No período de 2004 a 2014, surgiram novas direções econômicas e ambientais. A primeira está associada aos incentivos políticos, especialmente para o setor de agricultura temporária (Quadro 4) e o segundo está relacionado com uma fiscalização mais rígida das leis ambientais (Quadro 3).

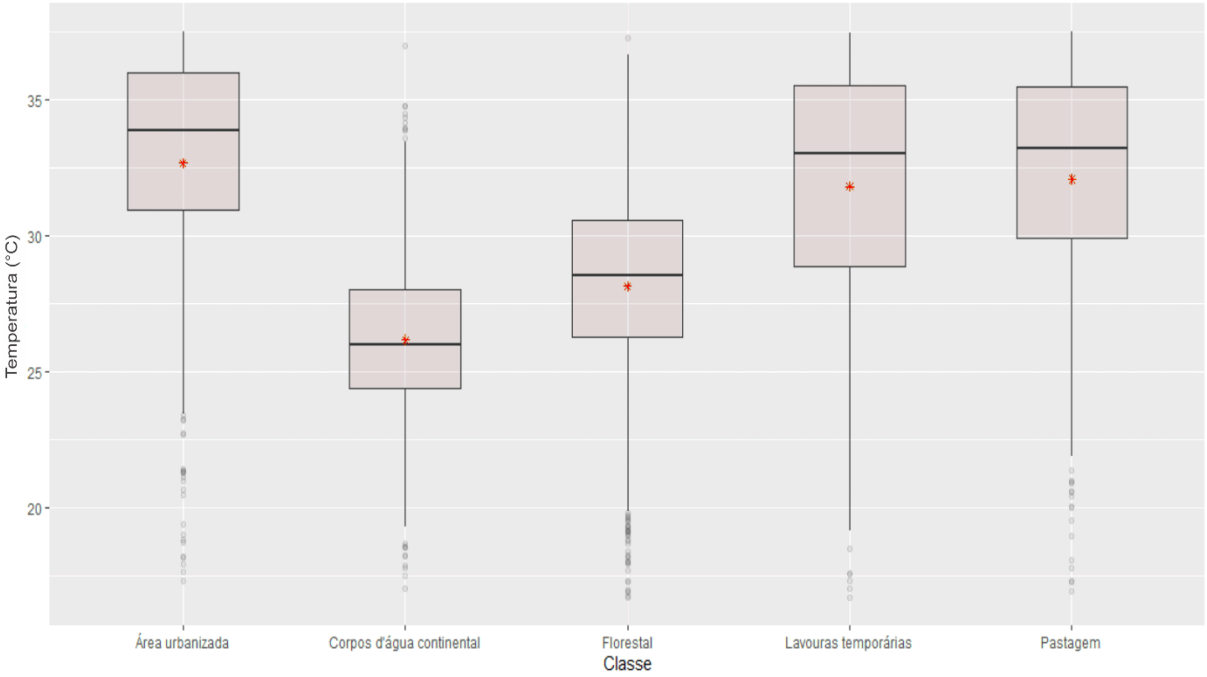
Assim, conforme os dados expostos na Tabela 1, e representados nos mapas das Figura 34 e 35, o desmatamento de áreas nativas perdeu intensidade e causou menores impactos em comparação aos anos anteriores. No entanto, os valores registrados ainda são preocupantes. Com relação às médias anuais de temperatura da superfície, observa-se que, nesse período de dez anos, o território sinopense passou de 24 ºC para 28 ºC, resultando em um aumento de 4 ºC nas áreas municipais de Sinop (MT). Pesquisas sobre as atividades humanas concretizadas na formação do espaço urbano e rural, como discutido em diversos trabalhos, incluindo Oke (1995; 2017), Amorim et al. (2009) e Amorim (2020a), indicam que as transformações nesses ambientes devido a ações humanas têm o potencial de modificar as características naturais físicas das áreas onde se encontram. Tais mudanças no uso e na cobertura da terra influenciam fenômenos como o balanço energético e seus consequentes efeitos.

Observa-se, no intervalo de 2014 a 2022, última faixa temporal analisada neste estudo, alguns aspectos distintos dos períodos anteriores, como a estabilização das áreas florestais, uma redução considerável nos desmatamentos, consolidação das áreas destinadas a usos econômicos, como a agricultura temporária e, por fim, um aumento expressivo das áreas classificadas como Corpos d'água (Tabela 1). Com isso, os valores médios anuais das temperaturas de superfície também se estabilizaram entre 2014 e 2022. Em 2014, a média anual era de 28 ºC, enquanto em 2022 reduziu para 27 ºC.

Em resumo, observa-se que os avanços econômicos ocorridos em Sinop (MT) entre 1984 e 2022, além de provocarem uma perda aproximada de 205.860,03 hectares de floresta amazônica (Tabela 1 e Figura 34) influenciaram diretamente na média anual de temperatura da superfície em todo o território sinopense. Ao longo do período analisado, houve um aumento de cerca de 6 ºC nas áreas com temperaturas mais elevadas, passando de 21 ºC em 1984 para 27 ºC em 2022.

Após analisar a média anual da temperatura da superfície do município de Sinop (MT) como um todo, é relevante compreender como essa variável se comportou entre as categorias de uso e cobertura da terra presentes nesse território (Figura 37). Dessa forma, no que tange às médias anuais de temperaturas da superfície distribuídas entre as classes de uso e cobertura da terra, observa-se que as maiores médias de temperaturas ao longo desse período de 38 anos concentraram-se nas categorias de Área urbanizada, Lavouras temporárias e Pastagens.

Figura 37. Temperatura da Superfície nas camadas de Uso e Cobertura da Terra de Sinop (MT) em 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

A malha urbana, caracterizada como Área urbanizada, estiveram entre os valores de temperatura nos limites de 17.29 ºC a 37.49 ºC, entretanto a concentração dos dados estiveram entre 30.93 ºC (primeiro quartil) e 35.96 ºC (segundo quartil), possuindo uma mediana de 33.86 ºC e uma média 32.65 ºC (Figura 38).

Figura 38. Foto da malha urbana de Sinop em 2020.

Fonte: SEAF.

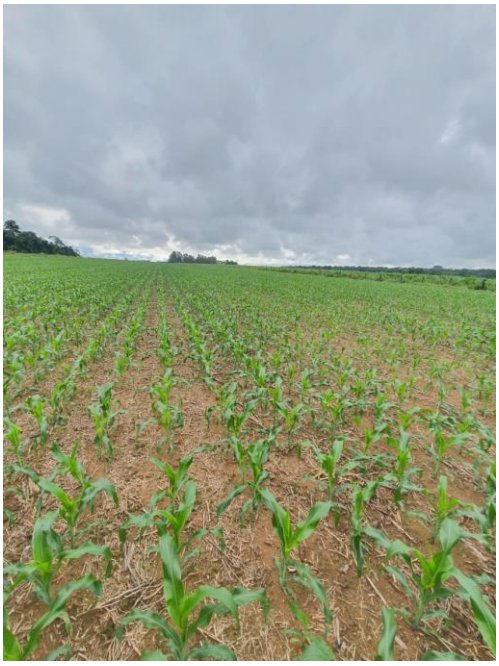
As coberturas das classes corpos d’água continental (Figura 39) e Florestal possuíram os menores valores de média anual de temperatura entre 1984 a 2022. Deste modo, os valores dentro das áreas com volume de águas apresentaram resultados entre 16.99 ºC a 36.95 ºC, com concentração de dados entre 24.38 ºC (primeiro quartil) a 28.02 ºC (segundo quartil), mediana de 25.96 ºC e média de 26.15 ºC. As florestas do bioma Amazônico (classe Florestal) estiveram presentes entre os valores de 16.69 ºC a 37.27 ºC, onde os seus valores estiveram concentrados entre 26.26 ºC (primeiro quartil) a 30.56 (segundo quartil), mediana de 28.51 ºC e média 28.13 ºC (Figura 37).

Figura 39. Foto do rio Teles Pires em Sinop.

Elaboração: Silva (2024).

Os elementos classificados como lavouras temporárias (áreas de soja, milho, algodão, entre outros) apontaram valores de médias anuais de temperaturas entre 16.68 ºC a 37.45 ºC (Figura 37), contudo os estiveram concentrados entre 28.86 ºC (primeiro quartil) e 35.51 ºC (segundo quartil), tendo como mediana o valor de 33 ºC e média de 31.78 ºC (Figura 40).

Figura 40. Foto da lavoura de milho em Sinop.



Elaboração: Silva (2024).

Por fim, as áreas sujeitas a nutrição animal, em outras palavras, os campos de pastagens, apontaram entre os anos de 1984 a 2022, valores de média anual de mínimo de 16.90 ºC a 37.47 ºC (Figura 37), onde os dados ficaram concentrados entre 29.87 ºC (primeiro quartil) e 35.47 ºC (segundo quartil), tendo como mediana o valor de 33.21 ºC e média de 35.47 ºC (Foto 41).

Figura 41. Foto de área de pastagem em Sinop.

Elaboração: Silva (2024).

Depois de analisar as médias anuais de temperatura da superfície do território total de Sinop (MT) e dos diferentes usos e coberturas da terra, o próximo passo é verificar se as dinâmicas econômicas ocorridas dentro do município de Sinop (MT) também influenciaram as extensões em áreas dessa variável ao longo do período estudado.

A média anual da temperatura da superfície dos componentes presentes no município de Sinop (MT) em 1984 variava entre 17 ºC e 34 ºC, onde as temperaturas mais baixas (17 ºC) estavam associadas às áreas florestais, enquanto as temperaturas mais altas (34 ºC) eram encontradas nas regiões de lavouras temporárias, pastagens e áreas urbanizadas, conforme os mapeamentos realizados de uso e cobertura da terra (Figura 47).

Para melhor entendimento desses valores, os mesmos foram divididos em cinco classes, onde a que mais se despontou no ano de 1984 foi a 17 ºC a 21 ºC, estendendo-se em uma área de 343441.65 hectares, atingindo 86% da área total (Tabela 2). O predomínio dos valores de temperatura entre 17 ºC e 21 ºC ocorreu pelo fato de que, nesse período, 87% da área total do município era composta pela floresta Amazônica. Além disso, a categoria de Lavouras Temporárias ocupava cerca de 2423,75 hectares, representando 1% da área estudada, enquanto a produção pecuária abrangia aproximadamente 11% do território municipal, sendo distribuída em torno de 43.521,92 hectares. (Tabela 1 e Figura 34).

Tabela 2. Classes de média anual de temperatura da superfície no município de Sinop (MT) em 1984, 1994, 2004, 2014 e 2022.

Temperatura da superfície ºC em 1984	**Área (ha)**	**Área (%)**
17 – 21	343441.65	86
21 – 23	31081.78	8
23 – 25	15025.78	4
25 – 27	7701.29	2
27 – 34	1783.37	0
TOTAL	399033.87	100

Temperatura da superfície ºC em 1994	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
17 – 20	289033.95	72
20 – 22	44131.88	11

22 – 24	41785.83	10
24 – 25	17860.05	4
25 – 32	6222.16	2
TOTAL	399033.87	100

Temperatura da superfície ºC em 2004	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
19 – 23	178028.62	45
23 – 25	83269.78	21
25 – 27	74922.38	19
27 – 29	51424.87	13
29 – 36	11388.22	3
TOTAL	399033.87	100

Temperatura da superfície ºC em 2014	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
22 – 26	134604.99	34
26 – 28	60590.54	15
28 – 30	79495.58	20
30 – 32	79539.68	20
32 – 37	44803.08	11
TOTAL	399033.87	100

Temperatura da superfície ºC	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
22 – 24	93895.58	24
24 – 26	99891.79	25
26 – 28	110289.44	28
28 – 30	69717.74	17
30 – 36	25239.32	6
TOTAL	399033.87	100

Elaboração: Silva (2024).

A segunda faixa de média anual de temperatura superficial mais representativa em 1984 foi a de 21 a 23 ºC, abrangendo um total de 31.081,78 hectares, ou seja, 8% da área total estudada. Em teoria, com base na análise de técnicas de sobreposição de dados em Geoprocessamento, essa temperatura anual esteve associada a áreas de agricultura temporária e pastagens com vegetação em estágio de desenvolvimento avançado (Figura 42).

Figura 42. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

A terceira faixa de média anual de temperatura superficial em 1984 foi a de 23 ºC a 25 ºC, cobrindo aproximadamente 4% do território sinopense, ou seja, uma área de 15.025,78 hectares. Naquele período, por meio de análise de imagem de satélite e técnicas de sobreposição de dados em Geoprocessamento, essas regiões estavam localizadas em pastagens e lavouras temporárias com vegetação menos desenvolvida e, além disso, na maior parte da área urbana de Sinop (MT) (Figura 43).

Figura 43. Foto de lavoura temporária em desenvolvimento em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

A quarta faixa (25 ºC a 27 ºC) e a quinta faixa (27 ºC a 34 ºC) de média anual de temperatura superficial em 1984 tiveram pouca abrangência no município de Sinop (MT). Por meio de análise de imagem de satélite e técnicas de sobreposição de dados em Geoprocessamento, essas temperaturas superficiais estavam associadas às áreas sendo preparadas para o cultivo (Figura 44) e ocuparam 7.701,29 hectares nos valores de 25 ºC a 27 ºC e 1.783,37 hectares nas temperaturas de 27 ºC a 34 ºC (Tabela 2 e Figura 47).

Figura 44. Foto de área sendo preparada para o cultivo em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

Assim, com base nas informações apresentadas, a temperatura no município de Sinop (MT) em 1984 apresentava médias amenas, com valores médios em torno de 21ºC, o que beneficiava principalmente o conforto térmico (Kruger et al. 2021).

Após uma década de eventos econômicos e políticos no espaço geográfico analisado, constatou-se um território com paisagens alteradas em virtude das modificações impulsionadas pelos interesses humanos, especialmente pelo aumento

da exploração de madeira e plantios de lavouras temporárias durante esses anos. Dessa forma, observa-se o crescimento das classes Lavouras Temporárias (16%) e Área Urbanizada (0,7%), que ampliaram seus domínios em áreas de florestas, componente que perdeu aproximadamente 11,6% de seu espaço ao longo dessa década. (Tabela 1 e Figura 34).

Analisa-se por meio da Figura 47 uma leve modificação dos valores mínimo e máximo de temperaturas no território de Sinop (MT). Em 1984, as classes variaram entre os valores de 17 ºC a 34 ºC; após uma década de mudanças, os dados indicaram temperaturas da superfície entre 17 ºC a 32 ºC. Apesar da continuidade da predominância das áreas com temperaturas entre 17 ºC a 20 ºC (289033,95 hectares), observa-se que as alterações ocorridas durante esse período resultaram em perdas de extensões de aproximadamente 14%. Em outras palavras, a área passou de 343441,65 hectares em 1984 para 289033,95 hectares em 1994, resultando em perdas de 54407,70 hectares de áreas com médias de temperaturas mais amenas. (Tabela 2 e Figura 47).

Verifica-se que a segunda classe de média anual de temperatura superficial com maior relevância no ano de 1994 permaneceu praticamente nos mesmos valores do ano de 1984 (21 ºC a 23 ºC); no entanto, observa-se um crescimento em áreas durante esses dez anos de progresso econômico. A classe que esteve relacionada principalmente com as áreas de cultivo temporário e pastagens com vegetação bem desenvolvida (Figura 42), aumentou de 31081.78 hectares em 1984 para 44131.88 hectares em 1994, resultando em um incremento de 13050.1 hectares ou 3%. (Tabela 2 e Figura 47).

A terceira classe de média anual de temperatura superficial com maior relevância no ano de 1994 também exibiu o mesmo panorama de crescimento durante os períodos de análise da segunda classe de temperatura, ou seja, apresentando praticamente as mesmas temperaturas mínimas e máximas da terceira classe de 1984 (23 ºC a 25 ºC) e, além disso, expandindo seu espaço após dez anos de transformações. Dessa forma, a terceira categoria que em 1984 ocupava cerca de 15025.78 hectares, teve um aumento aproximado de 6% e cresceu para 41785.83 hectares em 1994, ou seja, 26760.05 hectares a mais em regiões associadas às áreas de pastagens e cultivos temporários com vegetação menos desenvolvida e (Figura

43), além de estar presente na maior parte da área urbana de Sinop (MT). (Tabela 2 e Figura 47).

A quarta (24 ºC a 25 ºC) e a quinta classe (25 ºC a 32 ºC) de média anual de temperatura da superfície no ano de 1994 continuaram apresentando os menores valores de cobertura do território de Sinop (MT). Contudo, as temperaturas superficiais que estiveram associadas principalmente às áreas sendo preparadas para o cultivo (Figura 44) também registraram um aumento significativo em suas áreas devido aos eventos econômicos ocorridos durante esses dez anos de análise, considerando que em 1984 a classe com temperatura entre 25 ºC a 27 ºC estava presente em 7701,29 hectares, aumentou para 17860,05 hectares em 1994 (24 ºC a 25 ºC), resultando em um incremento de 2%. A quinta classe, que em 1984 (27 ºC a 34 ºC) possuía um total de 1783,37 hectares, cresceu para 6222,16 hectares em 1994 (25 ºC a 32 ºC), o que também representa um aumento em áreas de 2%. (Tabela 2 e Figura 47).

De forma geral, apesar das mudanças frequentes nos interesses econômicos dentro do município de Sinop (MT), os dados de 1994 ainda mostravam valores de temperaturas comportando-se de maneira agradável e moderada, com médias permanecendo em torno de 24 ºC (Kruger et al. 2021).

Entre os anos de 1994 a 2004, ocorreu a continuidade do progresso nas dinâmicas econômicas e políticas no município de Sinop (MT). As transformações nas paisagens que vinham se desenrolando desde 1984 continuaram em ritmo acelerado, o que ajudou no crescimento do PIB e também nas mudanças ambientais, principalmente devido ao aumento da exploração de madeiras nesse período. Assim, destaca-se o crescimento na área da classe Lavouras Temporárias em 17% (Tabela 1 e Figura 34), resultado da ampliação dos plantios de soja em 1961% (Apêndice VIII). Outras mudanças observadas nessa época incluem o aumento da malha urbana em 1,2% e a perda de florestas nativas em 42%. É importante ressaltar que todas essas transformações no cenário de Sinop (MT) contribuíram para o incremento do produto interno bruto do município em 203% (Apêndice X).

Observa-se por meio dos dados da Tabela 2 e Figura 47 as alterações dos valores mínimo e máximo das temperaturas na área de estudo. Em 1994, as classes que variavam entre os limites de 17 ºC a 32 ºC passaram para valores de 19 ºC a 36 ºC após dez anos de modificações. Apesar da continuidade da predominância das

áreas com temperaturas entre 19 ºC a 23 ºC (178028,62 hectares), observa-se que as mudanças ocorridas ao longo desses dez anos resultaram em perdas de áreas em torno de 111005,33 hectares quando comparadas às regiões com temperaturas entre 17 ºC a 20 ºC (primeira classe) no ano de 1994 (Tabela 2 e Figura 47).

Averígua-se que a segunda classe de média anual de temperatura da superfície com maior estima no ano de 1994 ficou entre os limiares de 23 ºC a 25 ºC com uma abrangência em torno de 83269.78 hectares. Se comparado com a segunda classe do ano de 1994 (20 ºC a 22 ºC), a categoria que esteve associada principalmente às zonas de cultivo sazonal e pastagens com vegetação robusta (Figura 42) apresentaram um ganho em áreas em torno de 39137.9 hectares, ou seja, um aumento em torno de 10% de áreas com a presença de pastagem e agricultura com plantios com portes mais desenvolvidos (Tabela 2 e Figura 47).

A terceira categoria de média de temperatura superficial que, conforme a análise de sobreposição de dados de Geoprocessamento, esteve associada principalmente às áreas de pastagens e cultivos sazonais com vegetação menos desenvolvida, além de ocupar a maior parte da zona urbana de Sinop (MT) (Figura 43), também demonstrou crescimento em área durante o intervalo de 1994 a 2004. A classificação que em 1994 apresentava valores de 22 ºC a 24 ºC e uma extensão de 41785.83 hectares, alcançou um aumento territorial de 9% em 2004, passando a valores de 25 ºC a 27 ºC com uma área de 74922.38 hectares. (Tabela 2 e Figura 47).

A quarta categoria (27 ºC a 29 ºC) e a quinta categoria (29 ºC a 36 ºC) de média anual de temperatura da superfície no ano de 2004 mantiveram-se entre os menores valores de abrangência do município de Sinop (MT). Contudo, as temperaturas superficiais que estiveram associadas principalmente às áreas sendo preparadas para o cultivo (solo exposto) (Figura 44), continuaram a apresentar um aumento significativo em suas áreas devido aos eventos econômicos ocorridos ao longo desses dez anos de análise. Considerando que em 1994, as temperaturas entre 24 ºC a 25 ºC estavam presentes em 17860.05 hectares, esse número saltou para 51424.87 hectares em 2004 (27 ºC a 29 ºC), resultando em um crescimento territorial de 9%, ou seja, 33564.82 hectares a mais de regiões com essa temperatura. A quinta classe, que em 1994 (25 ºC a 32 ºC) tinha um total de 6222.16 hectares, aumentou para

11388.22 hectares em 2004 (29 ºC a 36 ºC), representando um crescimento em áreas de 1%, ou uma evolução de 5166.06 hectares. (Tabela 2 e Figura 47).

Em síntese, apesar das modificações periódicas das atividades econômicas na área de estudo, os dados de 2004 indicam que 45% do território, ou seja, menos da metade da área, apresentava valores de temperaturas com comportamento agradável e ameno (19 ºC a 23 ºC) (Kruger et al. 2021).

As dinâmicas que se desenrolaram entre os anos de 2004 a 2014 resultaram em um prolongamento no avanço dentro das atividades econômicas do município de Sinop (MT). Contudo, nesse novo período, observa-se um direcionamento distinto nas práticas lucrativas realizadas. As explorações madeireiras, que vinham alterando as paisagens desde 1984, perderam força devido às rigorosas fiscalizações governamentais e foram substituídas pelos cultivos de commodities como a soja (aumento nas áreas de 73%) e o milho (aumento nas áreas de 351%), o que contribuiu ainda mais para o crescimento do PIB do município (Apêndice X).

Assim, observa-se uma diminuição no crescimento das áreas das classes associadas aos interesses econômicos (Lavouras temporárias, Pastagens e Área Urbanizada) devido aos desmatamentos em comparação com os períodos anteriores. Outras mudanças observadas nesse momento incluem a expansão da cidade de Sinop (MT) em 0,5% e a perda de florestas em 5,7% (Tabela 1 e Figura 34). É importante ressaltar que todas essas transformações nas paisagens contribuíram para o aumento do produto interno bruto do município em 263% (Apêndice X).

Observa-se por meio da Figura 47 as modificações dos valores mínimo e máximo de médias anuais de temperaturas superficiais em decorrência das dinâmicas econômicas que ocorreram nesse período no município de Sinop (MT). Em 2004, devido a todas as ações daquela época, as classes variaram entre 19 ºC a 36 ºC; após os delineamentos dos progressos antrópicos, os valores passaram a situar-se entre 22 ºC a 37 ºC no ano de 2014.

Observa-se um incremento em área das médias anuais de temperaturas superficiais dentro dos valores mais elevados. No ano de 2004, a classe de 29 ºC a 36 ºC que estava presente em 11388.22 hectares, aumentou para 44803.08 hectares com os valores de 32 ºC a 37 ºC no ano de 2014, ou seja, um acréscimo em torno de 33414.86 hectares (Tabela 2 e Figura 47). Outro aspecto analisado é a continuidade

da perda das áreas com as temperaturas superficiais mais agradáveis. Em 2004, onde os valores entre 19 ºC a 23 ºC ocupavam cerca de 178028.62 hectares, após dez anos de transformações econômicas, os valores mais suaves passaram para 22 ºC a 26 ºC, com uma abrangência de 134604.99 hectares, contabilizando um retrocesso de 43423.63 hectares. (Tabela 2 e Figura 47).

Entre os anos de 2014 a 2022, nota-se a continuidade da diminuição do avanço em áreas da camada associada às lavouras temporárias (crescimento de 13,2% entre os anos de 2004 a 2014, passando para 3,1% entre os anos de 2014 a 2022). Outras alterações observadas nesse período incluem o aumento da malha urbana de Sinop (MT) em 0,6% (2409,6 hectares) e a continuidade da redução da degradação das florestas nativas, que entre esse período, registrou 3,9% (Tabela 1 e Figura 34).

Adverte-se por meio da Figura 47 a estabilização dos valores mínimo e máximo das médias anuais de temperaturas superficiais durante os anos de 2014 a 2022. No ano de 2014, em função das atividades daquele período, as faixas variaram entre as temperaturas de 22 ºC a 37 ºC; após os contornos dos progressos humanos, resultou em valores entre 22 a 36 ºC no ano de 2022, ou seja, praticamente os mesmos resultados. Se esses valores de 2022 forem comparados com os dados do primeiro ano analisado nesta pesquisa (1984), observa-se um aumento de 2 ºC no valor máximo da média anual de temperatura superficial e 5 ºC nos valores mínimos da média anual de temperatura verificados naquela época (Tabela 2 e Figura 47).

Outro aspecto que se avalia nesse ano é a prolongamento da redução dos campos que esteve vinculada principalmente às áreas de cultivo temporário e pastagens com vegetação vigorosa (temperaturas entre 22 ºC a 26 ºC e Figura 45), onde em 2014 tinha uma estima de 134604.99 hectares (34% da área total de estudo) e alcançou uma perda aproximada de 40709.41 hectares, calhando a retratar 24% do município de Sinop (MT) em 2022, ou, 93895.58 hectares (Tabela 2 e Figura 47). Se colacionado com o ano de 1984, examina-se uma perda em áreas de 249546.07 hectares dentro dos valores de médias anuais de temperatura superficiais mais baixos, em outras palavras, um declínio de 63% de áreas com média anuais de temperaturas superficiais mais agradáveis (Tabela 2 e Figura 47).

Figura 45. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT).

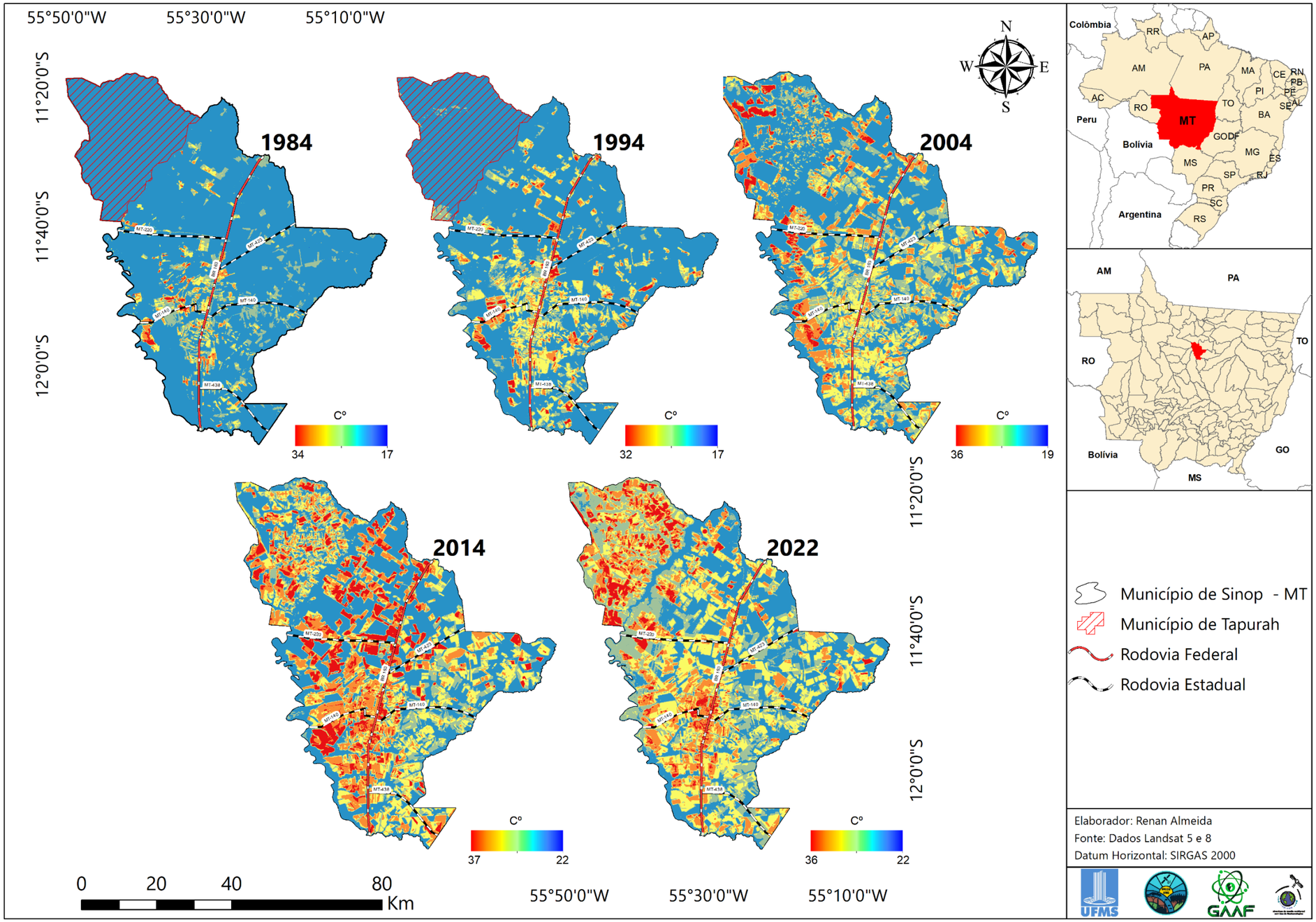
Elaboração: Silva (2024).

Observa-se um aumento em áreas dentro das médias anuais de temperatura superficial nas zonas que estiveram vinculadas principalmente às áreas de solo preparado para o cultivo (valores de 26 ºC a 28 ºC no ano de 2022 e Figura 46). No ano de 2014, essa classe mencionada tinha uma extensão de 60590.54 hectares (15% da área total de estudo); posteriormente, após dez anos de alterações no uso e cobertura da terra, essa mesma categoria cresceu em torno de 30793.86 hectares, alcançando a relevância de 110289.44 hectares ou 28% do município de Sinop (MT) (Tabela 2 e Figura 47). Se comparado com o ano de 1984, as áreas com valores semelhantes (25 ºC a 27 ºC) de média anual de temperatura apresentaram um aumento gradual de 102588.15 hectares, resultando em uma evolução aproximada de 26% (Tabela 2 e Figura 47).

Figura 46. Foto de área sendo preparada para o cultivo em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

Figura 47. Cartograma da média anual da temperatura da superfície de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

5.3 Análise dos dados de fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT) nos anos de 1984 a 2022.

Compreendidos os impactos das dinâmicas socioeconômicas realizadas no território de Sinop (MT) entre 1984 e 2022 nas médias anuais de temperatura da superfície, torna-se necessário entender como essas mesmas ações antrópicas afetaram os serviços ecossistêmicos de regulação do fluxo de dióxido de carbono.

Antes de iniciar a exposição e análise dos valores das médias anuais de fluxo de dióxido de carbono, é essencial destacar que o plantio, o desenvolvimento e a colheita de produtos relacionados às lavouras temporárias constituem um fator a ser considerado ao examinar os fluxos de dióxido de carbono em uma área geográfica. No processo de desenvolvimento de *commodities* como a soja, a fixação de dióxido de carbono é crucial para a produção de matéria orgânica nas plantas, possibilitando a formação de tecidos e a geração de energia necessária para suas funções vitais (Taiz e Zeiger, 2017).

Assim, é relevante considerar esses eventos ao examinar os dados, visto que áreas com plantas em fase de crescimento resultarão em fluxos de absorção de CO_2. À medida que essas culturas avançam para a etapa de colheita, haverá novamente uma alteração na captura de dióxido de carbono, gerando valores menores de absorção devido à remoção das plantas (Taiz e Zeiger, 2017).

Conforme Gonçalves et al. (2023), a soja é plantada geralmente entre setembro e novembro, aproveitando o começo das chuvas que marcam o início da estação chuvosa, a partir de setembro. A colheita acontece entre janeiro e março, sendo esse período fundamental para assegurar a qualidade dos grãos e reduzir o impacto das precipitações que podem ocorrer no fim do ciclo (Borges et al., 2022).

Silva et al. (2022) mencionam que o milho da primeira safra é semeado entre setembro e novembro, em um período que coincide com o plantio da soja, aproveitando a mesma janela de condições climáticas favoráveis. A colheita dessa primeira safra ocorre entre janeiro e março, após a soja, quando o clima é ideal para a colheita (Ferreira et al., 2021).

O milho da segunda safra, conhecido como safrinha, é plantado entre fevereiro e abril, logo após a colheita da soja e do milho da primeira safra (Lima et al., 2023). A

colheita ocorre entre junho e agosto, durante o período seco, o que favorece o manejo e a colheita (Almeida et al., 2022).

No que se refere ao cultivo do algodão, conforme mencionado por Cruz et al. (2022), essa cultura é plantada entre setembro e novembro. Os autores observam que o algodão se aproveita do início das chuvas, as quais fornecem a umidade necessária para o crescimento adequado das plantas. A colheita ocorre entre março e junho, garantindo que a fibra seja colhida em boas condições antes do início da estação seca (Oliveira et al., 2023).

É importante destacar que a unidade de medida do fluxo de dióxido de carbono apresentada nesta tese está expressa em μmol m-² s⁻¹, sendo que os valores negativos indicam que está ocorrendo a absorção do gás, enquanto os valores positivos representam a emissão (Rossi et al., 2022).

Embora a duração da investigação seja entre os anos de 1984 a 2022, a análise dos dados de média anual de fluxo de dióxido de carbono na área de estudo também será realizada em intervalos de dez anos, e a avaliação das informações incluirá as médias anuais do fluxo de dióxido de carbono do território inteiro, dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra, bem como as dinâmicas de extensão nas regiões onde essas médias anuais ocorreram durante o período analisado (Figura 58).

Analisa-se nos dados do Quadro 22, representado no Figura 43, a confirmação do resultado do teste de Shapiro-Wilk que obteve um resultado de *p-value* de 0.00003743, informando que esses dados não seguem uma distribuição normal dentro do período analisado. Tendência de ascensão estatisticamente significativa detectada pelo teste de Mann-Kendall (resultado do teste de Mann-Kendall de p-value 2.1e-13) e alta homogeneidade dos dados e uma ruptura na série histórica no ano de 2004 (resultado do teste de Pettitt de p-value 1.306e-08).

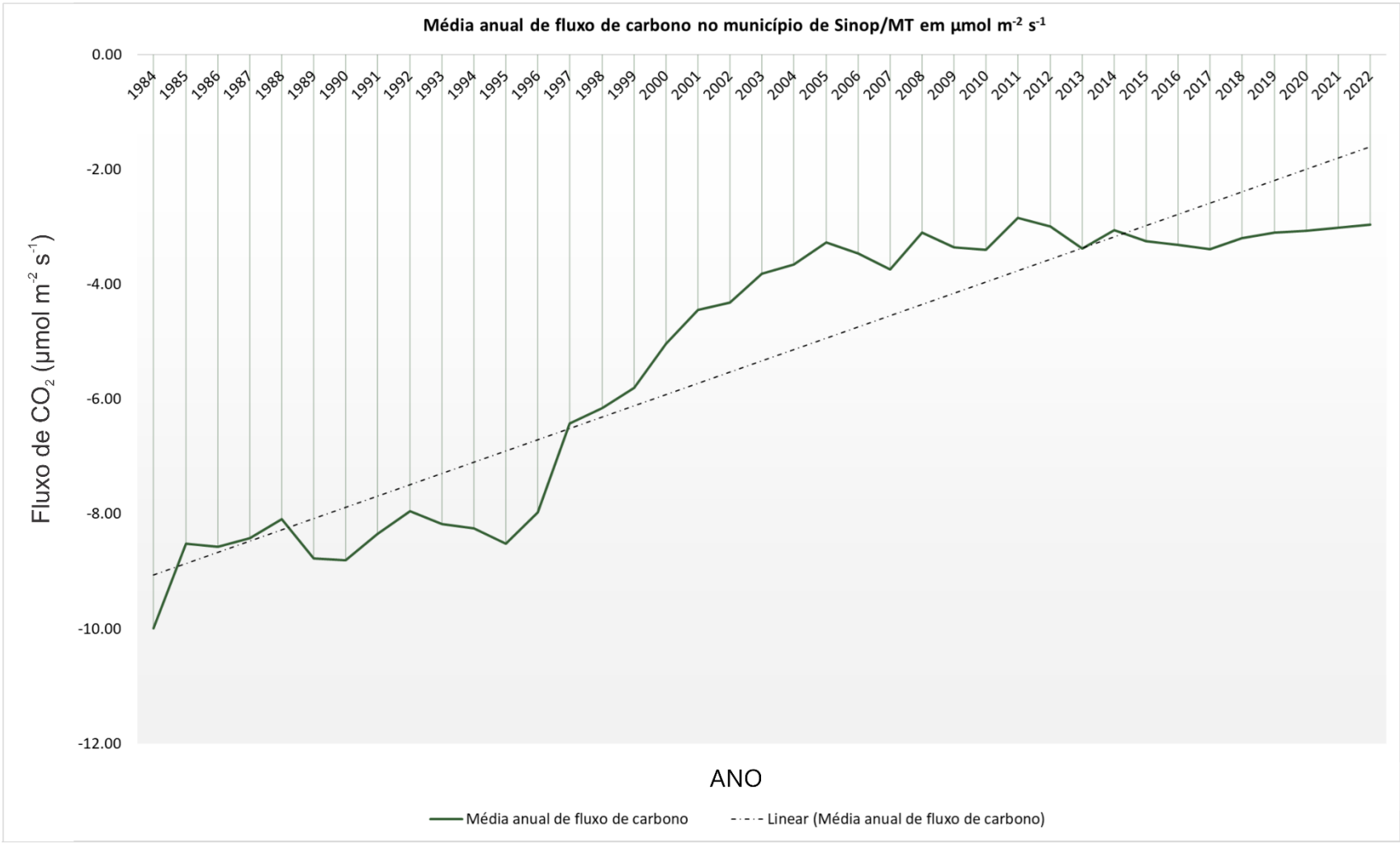
Em 1984, a média anual de fluxo de dióxido de carbono no território sinopense situava-se em torno de -9.99 μmol m-² s⁻¹, o que se explica pelo fato de que, naquela época, de acordo com os valores da Tabela 1 e Figura 34, 87% do município de Sinop (MT) estava com presença de matas nativas, e as atividades econômicas, como os plantios de commodities ou a pecuária, possuíam pouca representatividade na área de estudo.

Quadro 22. Média anual de fluxo de dióxido de carbono dentro do município de Sinop (MT) em µmol m-² s−¹entre 1984 a 2022.

ANO	Média anual de fluxo de dióxido de carbono dentro do município de Sinop (MT) em µmol m-² s−¹	ANO	Média anual de fluxo de dióxido de carbono dentro do município de Sinop (MT) em µmol m-² s−¹
1984	-9.99	2004	-3.65
1985	-8.52	2005	-3.27
1986	-8.57	2006	-3.46
1987	-8.42	2007	-3.74
1988	-8.09	2008	-3.10
1989	-8.78	2009	-3.36
1990	-8.81	2010	-3.40
1991	-8.35	2011	-2.84
1992	-7.95	2012	-3.00
1993	-8.18	2013	-3.38
1994	-8.25	2014	-3.06
1995	-8.52	2015	-3.26
1996	-7.97	2016	-3.32
1997	-6.43	2017	-3.39
1998	-6.16	2018	-3.20
1999	-5.80	2019	-3.10
2000	-5.03	2020	-3.07
2001	-4.44	2021	-3.02
2002	-4.32	2022	-2.96
2003	-3.82		

Elaboração: Silva (2024).

Figura 48. Média anual de fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT) em µmol m-² s−¹.



Elaboração: Silva (2024).

Depois de 10 anos de eventos financeiros e estadistas no território analisado, observa-se que em 1994 o município de Sinop (MT) apresentava cenários dessemelhantes por causa das transformações impulsionadas por veemências humanas (Figura 34 e 35), o que procedeu em uma diminuição de 1.74 µmol m-² s−¹ (Saindo de -9.99 µmol m-² s−¹ em 1984 para -8.25 µmol m-² s−¹ em 1994) na média anual de fluxo de dióxido de carbono no território sinopense (Quadro 22 e Figura 43). Vale lembrar que nesse ano, a floresta amazônica havia padecido de uma avaria de 46.352,06 hectares e já se notava o pleno crescimento das classes econômicas como os plantios de commodities e o criadouro de gado de corte (Tabela 1 e Figura 34).

No período de 1994 e 2004, percebe-se, espacializado nos mapas da Figura 34 e 35, que nesse andamento, os desflorestamentos das vegetações nativas, impulsionados pelos interesses econômicos, seguiram em ritmo acelerado. Deste modo, perto 121.293,62 hectares de florestas foram perdidos nesse interim (Tabela 1), o que influenciou no fluxo de dióxido de carbono como um todo na área de estudo, resultando em uma diminuição de absorção de CO_2 em torno de 4.60 µmol m-² s−¹, uma vez que em 1994 a média anual desta variável era de -8.25 µmol m-² s−¹ e passou para -3.65 µmol m-² s−¹ em 2004 (Quadro 22 e Figura 43).

Entre os anos de 2004 a 2014, novos caminhos foram traçados tanto na economia quanto no meio ambiente. O aspecto econômico se deve aos estímulos políticos, especialmente voltados para o setor da agricultura temporária (Quadro 4), enquanto o ambiental está associado ao aumento do rigor na fiscalização das leis de proteção ambiental (Quadro 3).

Dessa forma, ao examinar os dados da Tabela 1 e Figura 34, verifica-se que as perdas de áreas florestais reduziram sua intensidade e causaram menos impactos em comparação com os períodos anteriores. No que diz respeito aos valores de média anual de fluxo de dióxido de carbono, verifica-se que, entre 2004 a 2014, a absorção de CO_2 no município de Sinop (MT) saiu de -3.65 µmol m-² s−¹ para -3.06 µmol m-² s−¹, o que significa uma diminuição de fluxo de dióxido de carbono em torno de 0.59 µmol m-² s−¹ na média anual dentro da extensão municipal de Sinop (MT) (Quadro 22 e Figura 43).

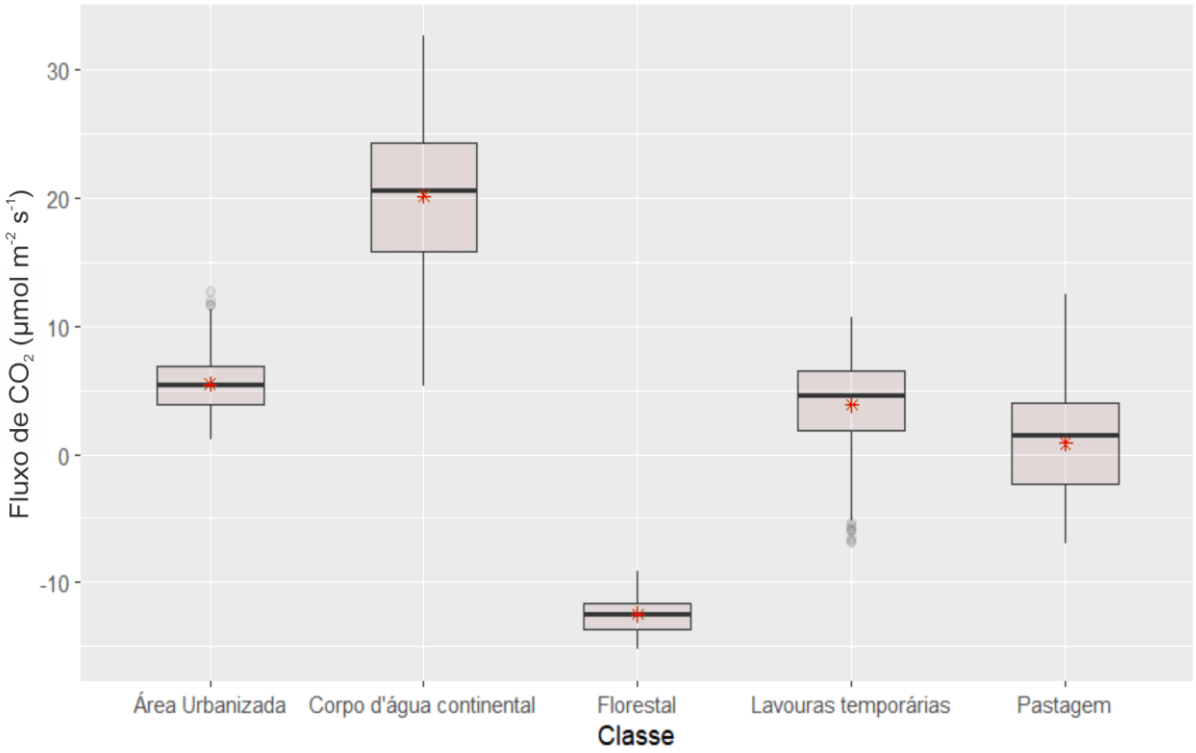
Concluindo a análise da média anual do fluxo de dióxido de carbono, considerando o território de Sinop (MT) em sua totalidade, observa-se que, entre os

anos de 2014 a 2022, ocorreram mudanças claras em relação aos períodos anteriores. Exemplos dessas alterações incluem a redução acentuada das perdas de florestas nativas, a estabilização das áreas destinadas a usos econômicos e, por último, um aumento significativo nas áreas classificadas como corpos d'água (Tabela 1 e Figura 34). Quanto aos valores médios anuais de fluxo de dióxido de carbono, observa-se a continuidade na redução da absorção de CO_2 entre os dados dos anos de 2014 a 2022. Em 2014, a média anual indicava um fluxo de -3,06 µmol m^{-2} s^{-1}, enquanto em 2022 diminuiu para -2,96 µmol m^{-2} s^{-1}, representando uma diferença de 0,10 µmol m^{-2} s^{-1} (Quadro 22 e Figura 43).

Em síntese, nota-se que os avanços econômicos na área estudada entre 1984 e 2022, além de terem provocado a degradação de 205.860,03 hectares de florestas nativas (Tabela 1 e Figura 34) e afetado a média anual da temperatura da superfície (Quadro 21 e Figura 36), também influenciaram na média anual do fluxo de dióxido de carbono em todo o território de Sinop (MT). No total, houve uma redução na absorção de CO_2 de 7,03 µmol m^{-2} s^{-1} ao longo desse período de análise, passando de -9,99 µmol m^{-2} s^{-1} em 1984 para -2,96 µmol m^{-2} s^{-1} em 2022 (Quadro 22 e Figura 43).

Após analisar a média anual de fluxo de dióxido de carbono no território de Sinop como um todo, é importante entender como essa variável se comportou nas diferentes categorias de uso e cobertura da terra presentes no município de Sinop (MT). Assim, no que diz respeito às médias anuais de fluxo de dióxido de carbono distribuídas entre as classes, observa-se, pela Figura 49, que as menores médias de absorção de CO_2 entre 1984 e 2022 estavam associadas às classes Área urbanizada, Lavouras temporárias e Pastagem.

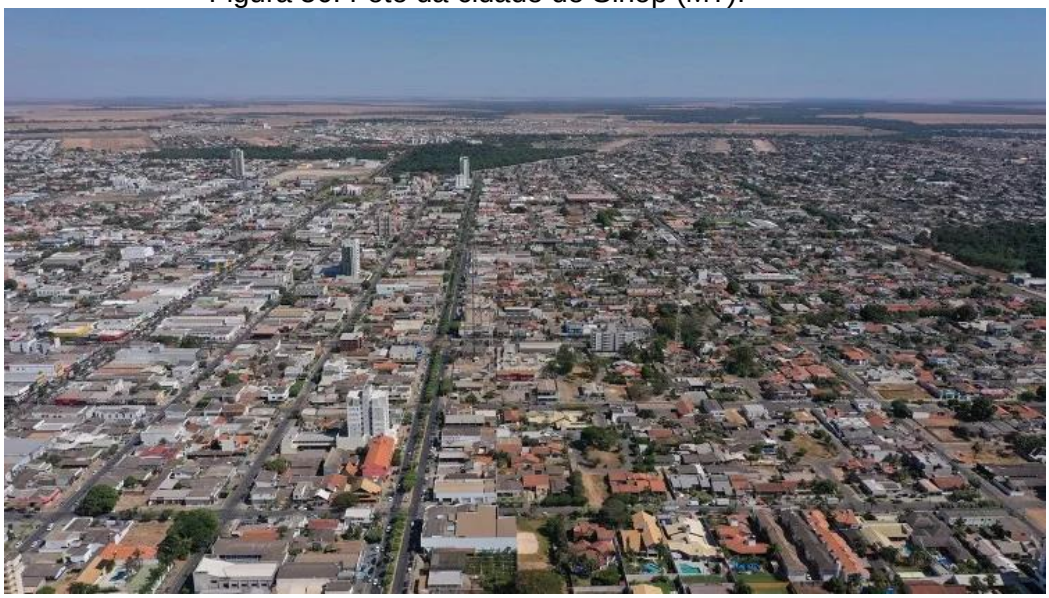
Figura 49. Fluxo de dióxido de carbono nas camadas de Uso e Cobertura da Terra de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

A cidade de Sinop (MT), representada pela classe Área urbanizada (Figura 50), apresentou valores médios de fluxo de dióxido de carbono variando de 1,11 µmol m-² s−¹ a 12,68 µmol m-² s−¹. No entanto, a maior concentração dos dados esteve entre 3,83 µmol m-² s−¹ (primeiro quartil) e 6,88 µmol m-² s−¹ (segundo quartil), com uma mediana e média de 5,46 µmol m-² s−¹ (Figura 44). Pesquisas como a de Seto et al. (2014) indicam que áreas urbanas são responsáveis por aproximadamente 70% das emissões globais de CO_2, ressaltando o impacto das atividades humanas intensivas nesses locais. Os autores apontam que essas emissões estão principalmente relacionadas ao uso de combustíveis fósseis no transporte, além da expansão urbana, que frequentemente envolve desmatamento e mudanças no uso da terra, como a substituição do solo por pavimentação asfáltica.

Figura 50. Foto da cidade de Sinop (MT).



Fonte: Maurício Vitorino.

A classe Corpos d'água continental (Figura 51) apresentou os maiores valores médios anuais de emissão de dióxido de carbono entre 1984 e 2022. Os valores nas áreas de corpos hídricos variaram entre 5,34 μmol m-² s−¹ e 32,59 μmol m-² s−¹, com concentração de dados entre 15,81 μmol m-² s−¹ (primeiro quartil) e 24,22 μmol m-² s−¹ (segundo quartil), uma mediana de 20,52 μmol m-² s−¹ e uma média de 20,10 μmol m-² s−¹ (Figura 49). De acordo com Battin et al. (2009), rios e outros sistemas fluviais são importantes emissores de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), liberando grandes quantidades desses gases para a atmosfera. Estudos como o de Regnier et al. (2013) mostram que as emissões de dióxido de carbono em rios estão ligadas a processos como a decomposição de matéria orgânica e a respiração microbiana, intensificados em ambientes aquáticos devido a fatores como a temperatura e o fluxo de água.

Figura 51. Foto do lago da UHE Sinop (MT).

Fonte: Movimento dos atingidos por barragens (MAB).

As matas nativas (classe Florestal) se destacaram como a categoria com os maiores valores de absorção de CO_2 durante o período analisado nesta tese. No geral, os dados indicaram valores entre -9,06 µmol m-² s−¹ e -15,23 µmol m-² s−¹, concentrando-se entre -11,57 µmol m-² s−¹ (primeiro quartil) e -13,57 µmol m-² s−¹ (segundo quartil), com uma mediana de -12,47 µmol m-² s−¹ e uma média de -12,45 µmol m-² s−¹ (Figura 49). Pesquisas como a de Lewis et al. (2019) mostram que a capacidade de absorção de dióxido de carbono das florestas varia de acordo com o tipo de floresta, a idade das árvores e as condições ambientais. Florestas tropicais, por exemplo, são particularmente eficientes na captura de CO_2 devido à alta taxa de crescimento e à grande quantidade de biomassa.

As áreas mapeadas como Lavouras temporárias (incluindo culturas como soja, milho, algodão, entre outras e Figura 52) apresentaram valores médios anuais de fluxo de dióxido de carbono variando entre -6,81 µmol m-² s−¹ e 10,63 µmol m-² s−¹. No entanto, os dados concentraram-se entre 1,80 µmol m-² s−¹ (primeiro quartil) e 6,44 µmol m-² s−¹ (segundo quartil), com uma mediana de 4,57 µmol m-² s−¹ e uma média de 3,85 µmol m-² s−¹ (Figura 49). Cox et al. (2013) apontam que a dinâmica do dióxido de carbono em áreas de cultivo de commodities é influenciada pela interação entre práticas agrícolas, uso de fertilizantes e manejo do solo, afetando tanto a emissão

quanto a captura de CO_2. Em particular, Ogle et al. (2014) ressaltam que práticas de manejo, como a incorporação de resíduos de culturas e o uso de técnicas de plantio direto, podem aumentar o sequestro de dióxido de carbono no solo, enquanto o uso excessivo de fertilizantes e o cultivo intensivo podem resultar em maiores emissões de CO_2 para a atmosfera.

Figura 52. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

Por fim, as áreas de pastagens, durante esse período de 38 anos, apresentaram valores médios anuais de fluxo de dióxido de carbono variando entre -6,94 µmol m-² s−¹ e 12,47 µmol m-² s−¹, com os dados concentrando-se entre -2,34 µmol m-² s−¹ (primeiro quartil) e 4,01 µmol m-² s−¹ (segundo quartil), tendo uma mediana de 1,47 µmol m-² s−¹ e uma média de 0,84 µmol m-² s−¹ (Figura 49). Conant et al. (2017) ressaltam que as áreas de pastagem têm o potencial de atuar como sumidouros de dióxido de carbono, especialmente quando manejadas de forma sustentável, através de práticas como a rotação de pastagens e o uso de fertilização orgânica, que podem aumentar a captura de dióxido de carbono no solo. No entanto,

Schlesinger e Andrews (2000) indicam que a degradação das pastagens e o pastoreio intensivo podem resultar em uma redução significativa na capacidade de armazenamento de dióxido de carbono, podendo até levar a uma emissão líquida de CO_2 para a atmosfera.

Após a análise das médias anuais de fluxo de dióxido de carbono em todo o território de Sinop (MT) e nos diferentes usos e coberturas da terra, o próximo passo é investigar se as atividades humanas voltadas para fins econômicos que ocorreram na região de Sinop também impactaram as extensões dessas áreas durante o período examinado.

Conforme pode ser observado na Figura 58, a média anual dos fluxos de dióxido de carbono das categorias existentes na área de estudo em 1984 variava entre -16,37 µmol m-² s−¹ e 30,36 µmol m-² s−¹. De acordo com os dados do Figura 49, os locais com as maiores médias anuais de absorção de dióxido de carbono (-9,06 µmol m-² s−¹ a -15,23 µmol m-² s−¹) estavam relacionados às áreas florestais, enquanto as áreas com menores médias anuais de absorção, ou até mesmo emissão de dióxido de carbono, eram registradas nas regiões de Lavouras temporárias, Pastagem, Área urbanizada e Corpos d'água continental.

Assim como na análise das médias anuais de temperatura da superfície, neste estudo as médias anuais de fluxo de dióxido de carbono também serão categorizadas em cinco classes para facilitar a compreensão de sua distribuição espacial durante o período proposto nesta tese (Tabela 3).

Tabela 3. Classes de média anual de fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT) em 1984, 1994, 2004, 2014 e 2022.

CO_2FLUX em 1984 (µmol m^{-2} s^{-1})	**Área (ha)**	**Área (%)**
-16,37 - -6,33	348147.82	87
-6,33 - -2,42	12114	3
-2,42 - 1,49	13053.68	3
1,49 - 14,59	10946.47	3
14,59 - 30,36	14771.9	4
TOTAL	399033.87	100

CO_2FLUX em 1994 (µmol m^{-2} s^{-1})	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
-13,88 - -5,44	300557.74	75
-5,44 - -1,29	35375.59	9
-1,29 - 2,99	41325.13	10

2,99 - 11,28	19582.8	5
11,28 - 24,02	2192.61	1
TOTAL	399033.87	100

CO_2FLUX em 2004 (µmol m^{-2} s^{-1})	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
-16,81 - -7,74	181609.78	46
-7,74 - 1,61	87091.01	22
1,61 - 10,97	126895.85	32
10,97 - 21,17	372.05	0
21,17 - 29,25	3065.18	1
TOTAL	399033.87	100

CO_2FLUX em 2014 (µmol m^{-2} s^{-1})	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
-16,71 - -8,53	165098.14	41
-8,53 - -2,40	56237.79	14
-2,40 - 1,89	125606.05	31
1,89 - 13,73	49853.79	12
13,73 - 35,63	2238.1	1
TOTAL	399033.87	100

CO_2FLUX em 2022 (µmol m^{-2} s^{-1})	**Área (ha)**	**Porcentagem (%)**
-14,86 - -7,74	146432.38	37
-7,74 - -2,35	80593.75	20
-2,35 - 2,15	137425.86	34
2,15 - 12,92	20447.49	5
12,92 - 29,60	14134.39	4
TOTAL	399033.87	100

Elaboração: Silva (2024).

A categoria de fluxo de dióxido de carbono que mais se apontou no ano de 1984 foi a -16,37 µmol m-² s−¹ a -6,33 µmol m-² s−¹, compreendendo-se em uma extensão de 348147.82 hectares, atingindo 87% da área total (Tabela 3 e Figura 58). A predominância desses valores ocorreu porque, nesse período, 87% da área total do município era composta pela floresta Amazônica. Ademais, a categoria Lavouras temporárias ocupava 2423,75 hectares, correspondendo a 1% do total analisado, e a atividade pecuária estava presente em cerca de 11% do território do município, abrangendo aproximadamente 43.521,92 hectares (Tabela 1 e Figura 34).

Observa-se que as outras classes não alcançaram 5% da área total de estudo. Assim, por meio de análise de imagem de satélite e técnicas de sobreposição de dados em Geoprocessamento, destaca-se as áreas de lavouras temporárias e

pastagens com vegetações robustas que tiverem valores de fluxo de dióxido de carbono em torno de -6,33 µmol m^{-2} s^{-1} a -2,42 µmol m^{-2} s^{-1} (12114 hectares ou 3% do território e Figura 53).

Figura 53. Foto de lavoura temporária em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

As áreas de lavouras temporárias e pastagem com vegetações menos desenvolvidas que marcaram valores em torno de -2,42 µmol m^{-2} s^{-1} a 1,49 µmol m^{-2} s^{-1} (13053.68 hectares ou 3% do território e Figura 54).

Figura 54. Foto de lavoura temporária em desenvolvimento em Sinop (MT).

Elaboração: Silva (2024).

A malha urbana e as áreas preparadas para o cultivo (solo exposto) que apontou valores entre 1,49 µmol m^{-2} s^{-1} a 14,59 µmol m^{-2} s^{-1} (10946.47 hectares ou 3% do território e Figura 55).

Figura 55. Foto da cidade de Sinop (MT).

Fonte: AGN imobiliária. Elaboração: Silva (2024).

Os corpos hídricos que indicaram valores entre 14,59 µmol m^{-2} s^{-1} a 30,36 µmol m^{-2} s^{-1} (14771.9 hectares ou 4% do território Figura 56) (Tabela 3 e Figura 58).

Figura 56. Foto do rio Teles Pires.

Elaboração: Silva (2024).

Em síntese, com base nos dados apresentados e análise de imagem de satélite, observa-se que os níveis de fluxo de dióxido de carbono pelos elementos presentes no município se comportavam de maneira benéfica para a remoção desse gás da atmosfera, uma vez que os valores médios daquele período estavam em torno de -9,99 µmol m-² s−¹, o que contribuía principalmente para o enfrentamento do agravamento do efeito estufa (Quadro 22 e Figura 43).

Após 10 anos de eventos econômicos e políticos no espaço geográfico analisado, observou-se um território com paisagens alteradas devido às modificações impulsionadas pelos interesses humanos, especialmente pelo aumento da exploração de madeiras durante esse período. Assim, registrou-se o crescimento das categorias Lavouras Temporárias (16%) e Área Urbanizada (0,7%), que expandiram seus domínios em áreas de florestas, componente que perdeu aproximadamente 11,6% de sua extensão durante esses 10 anos (Tabela 1 e Figura 34).

No que diz respeito ao fluxo de dióxido de carbono no ano de 1994, observam-se as variações dos valores médios anuais mínimos e máximos de fluxo de dióxido de carbono na área de estudo. Em 1984, os níveis estiveram entre -16,37 µmol m-² s−¹ e 30,36 µmol m-² s−¹; após uma década de transformações humanas, os dados mostraram valores médios anuais de fluxo de dióxido de carbono entre -13,88 µmol m-² s−¹ e 24,02 µmol m-² s−¹ (Figura 58).

De acordo com os dados da Tabela 3, os valores predominantes de fluxo de dióxido de carbono, no ano de 1994, estavam concentrados entre -13,88 µmol m-² s−¹ e -5,44 µmol m-² s−¹. Ao compará-los com a primeira classe de média anual de fluxo de dióxido de carbono de 1984 (-16,37 µmol m-² s−¹ a -6,33 µmol m-² s−¹), verifica-se uma diminuição na extensão de áreas com maior potencial de absorção de dióxido de carbono em cerca de 47.590,08 hectares (de 348.147,82 hectares em 1984 para 300.557,74 hectares em 1994) (Tabela 3 e Figura 58).

Identifica-se uma evolução nas classes de média anual de fluxo de dióxido de carbono da terceira (-1,29 µmol m-² s−¹ a 2,99 µmol m-² s−¹ e Figura 54) e da quarta classe (2,99 a 11,28 µmol m-² s−¹ e Figura 55) no ano de 1994; analisa-se que os processos antrópicos ocorridos entre 1984 e 1994 influenciaram um aumento nas

áreas dentro dessas categorias, em comparação com as distribuições dessas mesmas classes em 1984. No total, houve um crescimento de aproximadamente 28.271,45 hectares na terceira classe e 8.636,33 hectares na quarta classe.

Para a quinta e última classe, no ano de 1994, observa-se uma diminuição de 12.579,29 hectares nessa categoria, em relação ao ano de 1984 (Tabela 3 e Figura 58). A razão para esses cenários estão relacionadas à perda de áreas florestais em favor de pastagens e cultivos temporários (Tabela 1 e Figura 34).

Entre os anos de 1994 a 2004, houve a continuidade do progresso nas dinâmicas econômicas e políticas no município de Sinop (MT). As transformações das paisagens que vinham se desenrolando desde 1984 prosseguiram intensamente, o que contribuiu para o crescimento do PIB e, também, para as mudanças ambientais, especialmente pelo aumento da exploração de madeiras durante esse período.

Assim, destaca-se o crescimento nas áreas da classe Lavouras Temporárias em 17% (Tabela 1 e Figura 34), impulsionado pela expansão dos plantios de soja em 1961% (Apêndice VIII). Outras alterações notáveis nessa época incluem o aumento da malha urbana em 1,2% e a perda de florestas nativas em 42% (Tabela 1 e Figura 34). É importante ressaltar que todas essas transformações no cenário de Sinop (MT) contribuíram para o incremento do produto interno bruto do município em 203% (Apêndice X).

No que se refere à média anual de fluxo de dióxido de carbono no ano de 2004, analisa-se, por meio dos dados da Tabela 3 e Figura 58, as variações dos valores mínimos e máximos de fluxo de CO_2 no município de Sinop (MT). Em 1994, as categorias que oscilavam entre os limites de -13,88 µmol m-² s−¹ e 24,02 µmol m-² s−¹ passaram a apresentar valores de -16,81 µmol m-² s−¹ a 29,25 µmol m-² s−¹ após uma década de mudanças humanas.

Apesar da predominância das áreas com fluxos de dióxido de carbono entre os valores de -16,81 µmol m-² s−¹ e -7,74 µmol m-² s−¹ (181.609,78 hectares), constata-se que as alterações ocorridas ao longo desses dez anos impactaram em perdas de áreas em torno de 118.947,96 hectares em comparação com as regiões com fluxo de CO_2 entre -13,88 µmol m-² s−¹ e -5,44 µmol m-² s−¹ no ano de 1994 (Tabela 3 e Figura 58).

Observa-se um aumento nas áreas da terceira classe de média anual de fluxo de CO_2 entre os anos de 1994 e 2004. No total, houve uma evolução de aproximadamente 85.570,72 hectares nos limites de 1,61 µmol m-² s−¹ a 10,97 µmol m-² s−¹ (Figura 54 e Figura 55). Em 1994, as áreas com esse nível de fluxo de dióxido de carbono apresentavam um total de 41.325,13 hectares, enquanto em 2004, esse número aumentou para 126.895,85 hectares, representando um crescimento de cerca de 22% em áreas com baixa absorção de dióxido de carbono (Tabela 3 e Figura 58).

As dinâmicas que ocorreram entre os anos de 2004 a 2014 resultaram em um prolongamento do desenvolvimento nas atividades econômicas no município de Sinop (MT). No entanto, nesse novo período, observa-se uma trajetória diferente nas atividades lucrativas realizadas. As extrações madeireiras, que vinham alterando as paisagens desde 1984, perderam força devido às rigorosas fiscalizações governamentais e foram substituídas por cultivos de commodities como a soja (com um aumento nas áreas de 73%) e o milho (com um aumento nas áreas de 351%) (Apêndice VIII), o que contribuiu ainda mais para o crescimento do PIB do município (Tabela 1 e Figura 34).

Assim, verifica-se uma diminuição no crescimento das áreas das classes relacionadas aos interesses econômicos (Lavouras temporárias, Pastagem e Área Urbanizada) em decorrência de desmatamentos em comparação aos períodos anteriores. Outras mudanças observadas nessa época incluem a expansão da cidade de Sinop (MT) em 0,5% e a perda de florestas em 5,7% (Tabela 1 e Figura 34). Salienta-se que todas essas transformações nas paisagens contribuíram para o aumento do produto interno bruto do município em 263% (Apêndice X).

No que diz respeito ao fluxo de dióxido de carbono no ano de 2014, analisa-se, por meio dos dados da Tabela 3 e Figura 58, as mudanças nos valores mínimo e máximo de absorção de CO_2 dentro da área de estudo. Em 2004, as faixas variavam entre os limites de -16,81 µmol m-² s−¹ a 29,25 µmol m-² s−¹, enquanto no ano de 2014, observaram-se valores entre -16,71 µmol m-² s−¹ a 35,63 µmol m-² s−¹.

Apesar da continuidade da predominância das áreas com fluxo de dióxido de carbono entre os valores de -16,71 µmol m-² s−¹ a -8,53 µmol m-² s−¹ (165098,14 hectares), verifica-se que as mudanças ocorridas entre 2004 e 2014 resultaram em perdas de cerca de 16511,64 hectares quando comparadas às áreas com média anual

de fluxo de CO_2 entre -16,81 µmol m-² s−¹ a -7,74 µmol m-² s−¹ no ano de 2004 (Tabela 3 e Figura 58).

Nota-se que a segunda classe de média anual de fluxo de dióxido de carbono com maior extensão no ano de 2014 variou entre -8,53 µmol m-² s−¹ a -2,40 µmol m-² s−¹, com uma abrangência de aproximadamente 56237,79 hectares (Figura 53). Quando comparada à segunda maior classe do ano de 2004 (-7,74 µmol m-² s−¹ a 1,61 µmol m-² s−¹), essas áreas também apresentaram uma redução de cerca de 30853,22 hectares devido à expansão de cultivos relacionados principalmente à agricultura temporária na região (Tabela 3 e Figura 58).

Por outro lado, observa-se uma diminuição na quinta classe de média anual de fluxo de CO_2. Em 2004, onde os limites estavam entre os valores de 21,17 µmol m-² s−¹ a 29,25 µmol m-² s−¹, com uma extensão de aproximadamente 3065,18 hectares. No ano de 2014, essa mesma categoria exibiu valores de fluxo variando de 13,75 µmol m-² s−¹ a 35,63 µmol m-² s−¹, abrangendo cerca de 2238,1 hectares, resultando em uma diferença de 827,08 hectares entre esses dois períodos (Tabela 3 e Figura 58). Por meio de análise de imagem de satélite, averígua-se que esses resultados estão associados às novas áreas de cultivos da agricultura temporária e permanente que anteriormente eram locais com solo exposto, sendo preparados para essa atividade econômica (Figura 54).

Entre os anos de 2014 a 2022, nota-se a continuidade na desaceleração da expansão da classe associada às lavouras temporárias (crescimento de 13,2% entre 2004 e 2014, reduzido para 3,1% entre 2014 e 2022). Outras alterações relevantes nesse intervalo incluem o aumento da área urbana de Sinop (MT) em 0,6% (cerca de 2409,6 hectares) e a persistente redução das áreas de matas nativas, que registraram uma diminuição de 3,9% ao longo desse período (Tabela 1 e Figura 34).

No que diz respeito ao fluxo de dióxido de carbono no ano de 2022, examinam-se, com base nos dados da Tabela 3 e Figura 58, as variações nos valores mínimo e máximo de absorção de CO_2 no município de Sinop (MT). Em 2014, as categorias variavam entre os intervalos de -16,71 µmol m-² s−¹ a 35,63 µmol m-² s−¹, enquanto em 2022, apresentaram valores entre -14,86 µmol m-² s−¹ e 29,60 µmol m-² s−¹. Ademais, observa-se que, em 2022, a maioria dos valores de fluxo de dióxido de carbono na área estudada situou-se entre -14,86 µmol m-² s−¹ e -7,74 µmol m-² s−¹,

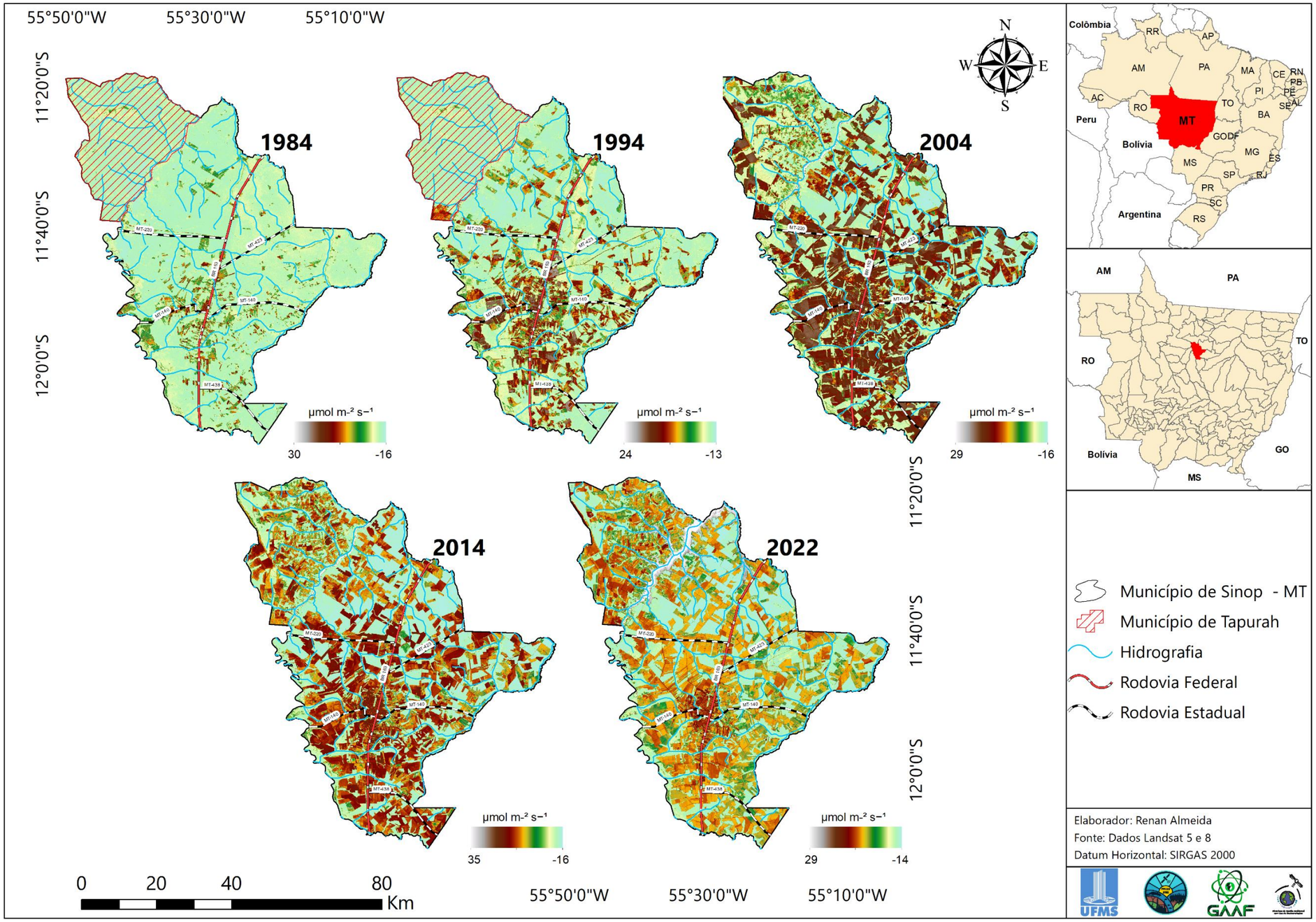
abrangendo aproximadamente 146432,38 hectares. Esse total representa uma redução de 18666 hectares em comparação a 2014 e de 201715 hectares em relação a 1984, indicando uma perda de 50% na extensão de áreas com esse nível de absorção de CO_2 (Tabela 3 e Figura 58).

Outro dado preocupante neste período é o aumento de áreas na categoria que representa as médias anuais com os menores índices de absorção de fluxo de dióxido de carbono no ano de 2022 (12,92 µmol m-² s−¹ a 29,60 µmol m-² s−¹, totalizando 14134,39 hectares) (Tabela 3 e Figura 58). Nota-se que as mudanças ocorridas entre 2014 e 2022 favoreceram uma ampliação de cerca de 11896 hectares em relação à mesma categoria no ano de 2014 (13,75 µmol m-² s−¹ a 35,63 µmol m-² s−¹, com uma extensão de 2238,1 hectares). Por meio de análise de imagem de satélite, nota-se que esses resultados estão associados, principalmente, à liberação de gases poluentes resultantes da decomposição de árvores submersas após a criação do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Sinop (MT), durante o processo de enchimento ocorrido em abril de 2019 (Figura 57).

Figura 57. Foto de arvores mortas dentro do lago da UHE Sinop (MT).

Fonte: Movimento dos atingidos por barragens (MAB).

Figura 58. Cartograma da média anual do fluxo de dióxido de carbono de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

5.4 Correlação entre uso e cobertura da terra, temperatura da Superfície e fluxo de dióxido de carbono no município de Sinop (MT).

Conforme os dados apresentados no Quadro 23 e representados na Figura 59, a redução das áreas florestais no município de Sinop revela duas tendências distintas ao longo do tempo. No primeiro período, de 1984 a 2003, a média de redução anual foi de 1,8%, resultando na perda aproximada de 7.208,7 hectares. No segundo período, de 2004 a 2022, a média anual de queda foi menor, em torno de 0,5%, o que corresponde a uma perda média de 2.123,0 hectares. Esses números indicam uma desaceleração no ritmo de desmatamento ao longo dos anos.

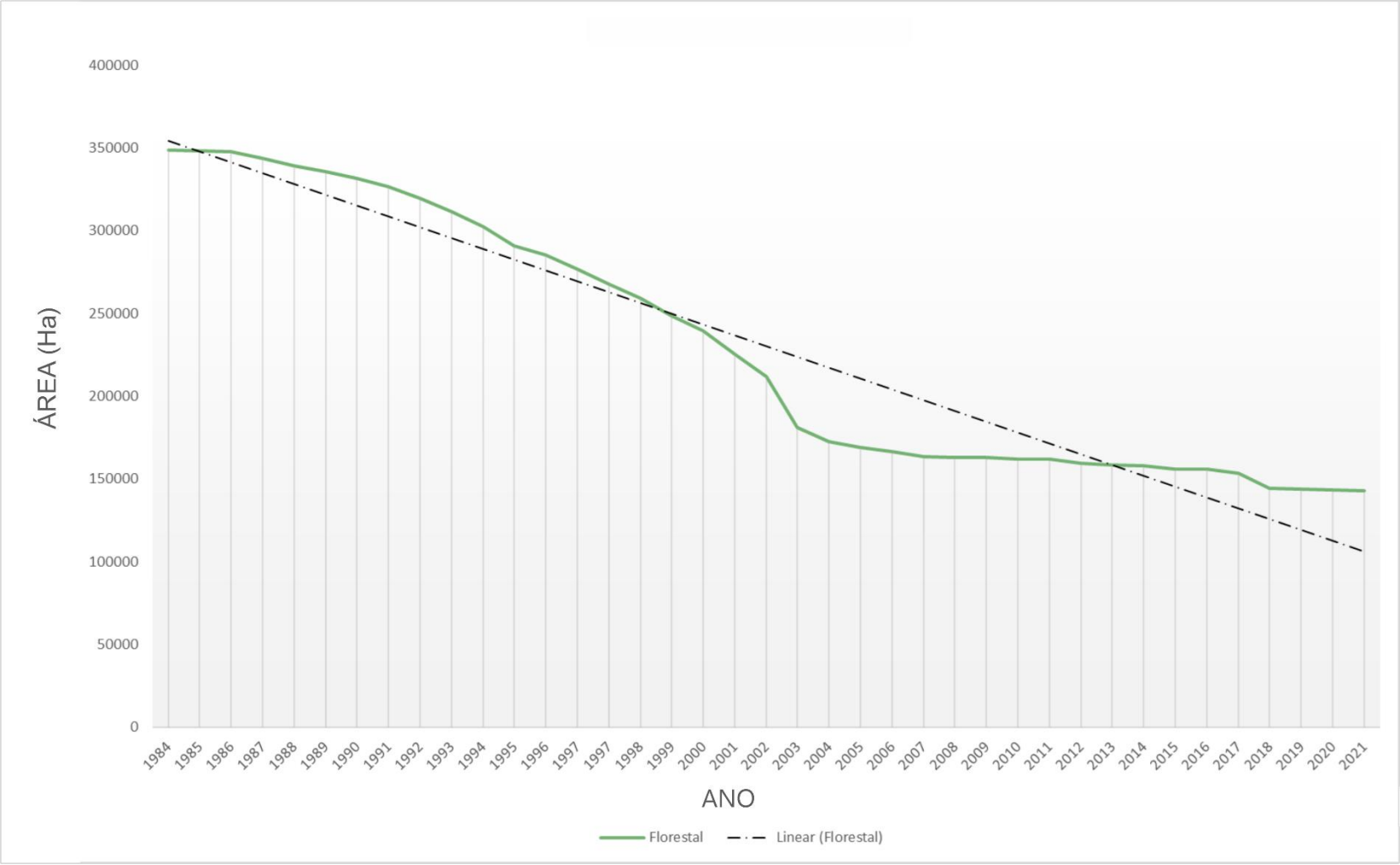
Quadro 23. Disposição das áreas florestais de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.

Florestal			
ANO DE TRANSIÇÃO		% de queda	Área de queda
1984	1985	0.1	348.0
1985	1986	0.1	348.0
1986	1987	1.0	4043.3
1987	1988	1.2	4890.1
1988	1989	0.9	3522.9
1989	1990	0.9	3567.0
1990	1991	1.4	5488.3
1991	1992	1.8	7060.1
1992	1993	2.0	7928.6
1993	1994	2.3	9155.5
1994	1995	2.8	11168.1
1995	1996	1.4	5565.0
1996	1997	2.2	8844.3
1997	1998	2.2	8890.7
1998	1999	2.2	8890.7
1999	2000	2.6	10565.7
2000	2001	2.2	8758.6
2001	2002	3.5	13964.8
2002	2003	3.5	13964.8
2003	2004	7.7	30680.9
2004	2005	2.1	8518.6
2005	2006	0.9	3637.2
2006	2007	0.6	2497.3
2007	2008	0.8	3144.7
2008	2009	0.1	301.8

2009	2010	0.0	65.4
2010	2011	0.2	664.8
2011	2012	0.1	242.2
2012	2013	0.6	2439.5
2013	2014	0.3	1298.2
2014	2015	0.1	518.8
2015	2016	0.4	1566.7
2016	2017	0.1	208.6
2017	2018	0.7	2614.3
2018	2019	2.2	8930.6
2019	2020	0.1	483.5
2020	2021	0.2	726.1
2021	2022	0.1	356.0
1984	2022	51.6	205860.0

Elaboração: Silva (2024).

Figura 59. Alteração da cobertura florestal de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

O resultado do teste de Shapiro-Wilk para os dados do Quadro 23 apresentou um valor de *p-value* de 0.00003477, informando que esses dados não seguem uma distribuição normal dentro do período analisado. Tendência de declínio estatisticamente significativa detectada pelo teste de Mann-Kendall (resultado do teste de Mann-Kendall de *p-value* 2.2e-16), alta homogeneidade dos dados e uma ruptura na série histórica no ano de 2003 (resultado do teste de Pettitt de *p-value* 1.307e-06).

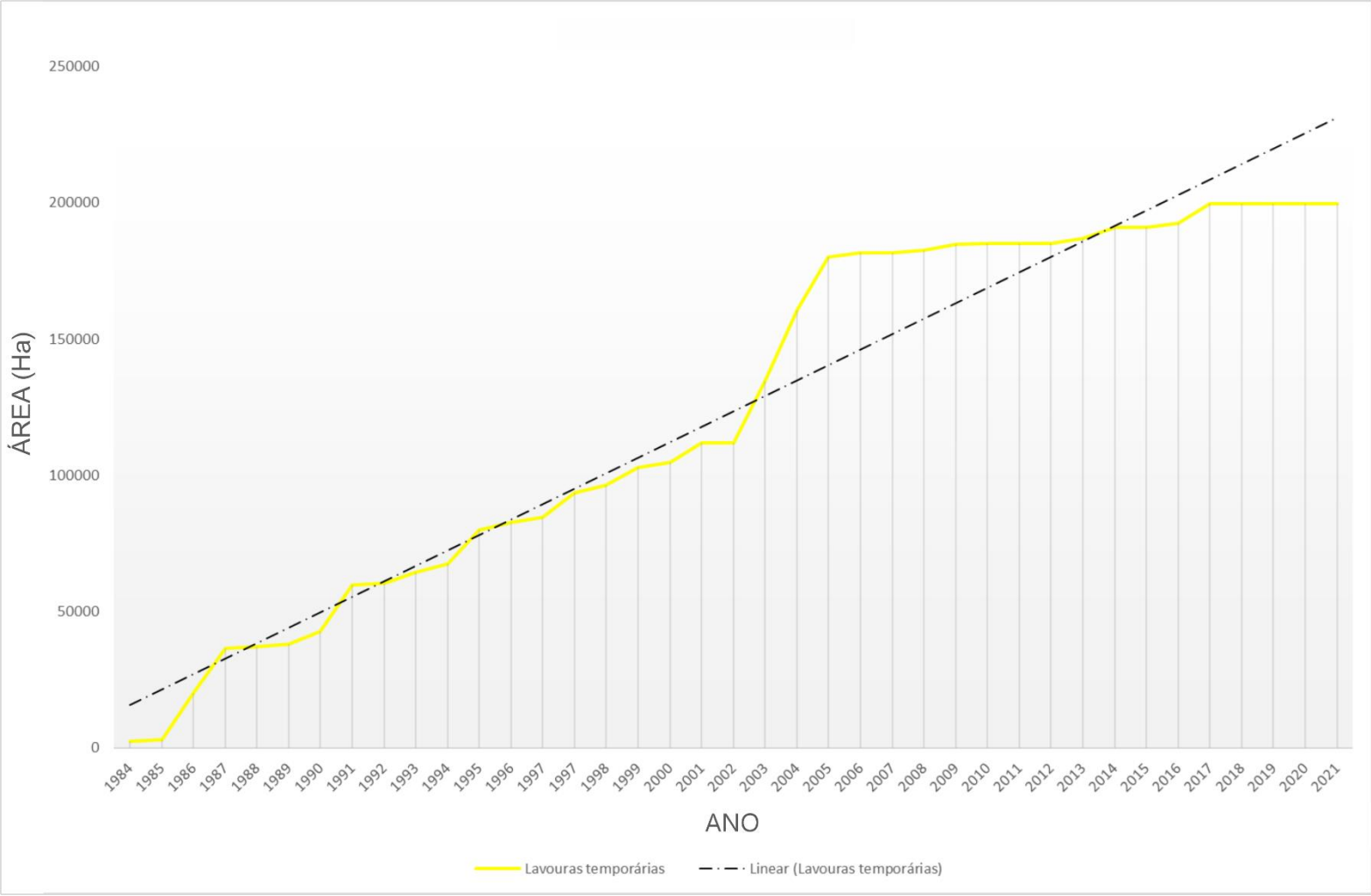
No que se refere as informações da categoria lavouras temporárias, os dados apresentados no Quadro 24 representados na Figura 60, aponta que o aumento das áreas de lavouras temporárias no município de Sinop (MT) também indicou duas tendências distintas ao longo do tempo. No primeiro período, de 1984 a 2004, a média de aumento anual foi de 1,7%, resultando em um ganho aproximado de 6608.9 hectares. No segundo período, de 2005 a 2022, a média anual de aumento foi menor, em torno de 0,6%, o que corresponde a uma perda média de 2299.6 hectares. Esses números indicam uma desaceleração no ritmo de crescimento das áreas de plantios ao longo dos anos.

Quadro 24. Disposições das áreas de lavouras temporárias de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.

Lavouras temporárias			
ANO		**% de aumento**	**Área de aumento**
1984	1985	0.2	698.9
1985	1986	4.3	17007.0
1986	1987	4.1	16430.2
1987	1988	0.2	720.2
1988	1989	0.2	753.7
1989	1990	1.1	4573.5
1990	1991	4.3	17091.1
1991	1992	0.2	616.7
1992	1993	1.0	4005.8
1993	1994	0.8	3138.5
1994	1995	3.1	12401.4
1995	1996	0.7	2762.7
1996	1997	0.5	1999.5
1997	1998	2.2	8890.7
1998	1999	0.7	2881.4
1999	2000	1.6	6534.5
2000	2001	0.5	1878.1
2001	2002	1.7	6982.4
2002	2003	0.0	0.0
2003	2004	5.7	22812.1
2004	2005	6.5	25936.9
2005	2006	4.9	19626.0
2006	2007	0.4	1480.0
2007	2008	0.0	0.5
2008	2009	0.3	1090.6
2009	2010	0.5	2128.4
2010	2011	0.1	280.2
2011	2012	0.0	0.0
2012	2013	0.0	0.0
2013	2014	0.5	1933.4
2014	2015	1.0	3856.0
2015	2016	0.0	0.1
2016	2017	0.4	1510.8
2017	2018	1.8	7187.2
2018	2019	0.0	0.1
2019	2020	0.0	0.0
2020	2021	0.0	0.1
2021	2022	0.0	0.0
1984	2022	49.4	197208.8

Elaboração: Silva (2024).

Figura 60. Alterações das lavouras temporárias de Sinop (MT) entre 1984 a 2022.



Elaboração: Silva (2024).

O resultado do teste de Shapiro-Wilk para os dados do Quadro 24 apresentou um valor de *p-value* de 0.00024574, informando que esses dados não seguem uma distribuição normal dentro do período analisado. Tendência de ascensão estatisticamente significativa detectada pelo teste de Mann-Kendall (resultado do teste de Mann-Kendall de *p-value* 2.2e-09), alta homogeneidade dos dados e uma ruptura na série histórica no ano de 2004 (resultado do teste de Pettitt de *p-value* 1.317e-26).

Ressalta-se que os dados de temperatura da superfície (Quadro 21) e fluxo de dióxido de carbono (Quadro 22), representados nas Figura 36 e Figura 48, também confirmam uma alta homogeneidade dos dados e uma ruptura na série histórica no início do ano 2000. Desta forma, todas as variáveis analisadas aqui nessa pesquisa (desmatamento florestal, lavouras temporárias, temperatura da superfície e fluxo de dióxido de carbono) apresentaram alta homogeneidade das informações e constataram uma ruptura na série histórica no início dos anos 2000 , o que sugere que o salto das áreas plantadas das comodities (principalmente soja e milho) em conjunto com os desmatamentos das áreas florestais, influenciaram diretamente nas alterações das médias anuais da temperatura da superfície e no fluxo de dióxido de carbono.

Vale lembrar que para esse evento ter acontecido (aumento das áreas plantadas da agricultura temporária), o cenário econômico estava favorável, pois nesse período, era caracterizado pelo crescimento econômico acelerado e pela estabilidade macroeconômica Silva & Souza, (2018); a expansão do crédito rural, com programas como o Plano Safra, ofereceu melhores condições de financiamento aos agricultores, permitindo investimentos em tecnologia e infraestrutura Silva & Souza, (2018); os programas de subsídio e incentivos fiscais, juntamente com a expansão da assistência técnica e extensão rural, ajudaram a melhorar a capacitação dos agricultores e a adoção de melhores práticas agrícolas Pereira & Lima, (2021) e além dos incentivos governamentais que essas culturas receberam a partir de 2002, esse episódio também esteve favorecido por causa do boom dos preços das commodities que aconteceu no mundo a partir dos anos 2000 Black (2015).

Diante dessa situação, a Figura 61 e os Apêndice XI e Apêndice XII apresentam os locais que mais foram impactados entre os anos de 1984, 2004 e 2022 devido as alterações no uso e cobertura da terra, pelas médias anuais de temperatura da

superfície e médias anuais de fluxo de dióxido de carbono por meio dos quatro mil pontos de identificação dos Hot Spot da estatística Getis-Ord Gi*[14] (Figura 62).

No ano de 1984, os Hot Spot[15] de temperatura da superfície e fluxo de dióxido de carbono mostraram que as regiões que mais possuíram pontos estatisticamente significativo de Hot Spot foi a região central, indo em direção a região sudoeste do município de Sinop (MT), havendo algumas representações na região nordeste (Figura 61 e Figura 62). Por meio de análise de imagem de satélite, verifica-se que essas áreas estavam caracterizadas como área Urbana (Figura 28), pastagens e lavouras temporárias com vegetações em desenvolvimentos (Figura 54) e áreas com solo sendo preparado para o cultivo (Figura 46).

Os pontos estatisticamente significativos de Coldspot[16] para as duas variáveis (temperatura da superfície e fluxo de dióxido de carbono) estiveram presentes em pequenas fragmentações nas regiões central, oeste, sul e indo em direção ao norte (áreas de floresta amazônica). Para os valores estatisticamente Not Significant[17], os dados dos Apêndice XI apontam que 71.1% dos pontos (2.843) da temperatura da superfície esteve presente dentro dessa descrição estatística, enquanto o Apêndice XII revela que os dados de fluxo de dióxido de carbono marcaram cerca de 73% dos pontos (2918). Esse resultado esteve presente por todo o território de Sinop (MT) e se deu pelo fato que, nessa data, existia a hegemonia da classe Florestal (87% da área total de estudo) que foi responsável por regular a temperatura da superfície em torno de 22 a 25 ºC e da grande absorção de fluxo de dióxido de carbono (-16 a -10 μmol m^{-2} s^{-1}) (Figura 61 e Figura 62).

Dentro dos resultados estatísticos de Hot Spot, evidencia-se a classe pastagem na descrição de Hot Spot - 99% Confidence. As áreas destinadas para a nutrição animal estiveram presente em 231 pontos de temperaturas em torno de 25 a 32 ºC (média de 27 ºC) e 154 pontos de fluxo de dióxido de carbono em torno de -16 a -3

[14] A estatística Getis-Ord Gi* retornada para cada recurso no conjunto de dados é uma pontuação z. Para escores z positivos estatisticamente significativos, quanto maior for o escore z, mais intenso será o agrupamento de valores altos (ponto quente). Para escores z negativos estatisticamente significativos, quanto menor for o escore z, mais intenso será o agrupamento de valores baixos (ponto frio).

[15] Agrupamento de valores altos (pontos quentes).

[16] Agrupamento de valores baixos (pontos frios).

[17] Agrupamentos de valores intermediários entre os dados estatísticos de Cold Spot e/ou de Hot Spot.

μmol m^{-2} s^{-1} (média de -13 μmol m^{-2} s^{-1}), ambas localizada principalmente na região central do município (Figura 61, Figura 62, Apêndice XI e Apêndice XII).

Em conclusão, examina-se a presença da classe Área urbanizada (Figura 28) na descrição estatística de Hot Spot - 99% Confidence em 14 pontos situados dentro da cidade de Sinop (MT). No geral, esses pontos estiveram entre temperaturas de 25 a 29 ºC, com uma média de 26 ºC e 14 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -16 a -4 μmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -12 μmol m^{-2} s^{-1}, valores esses que eram influenciados pela mistura espectral devido a presença de vegetação que existia dentro da malha urbana (Figura 61 e Figura 62).

Entre os anos entre 1984 a 2004, vale lembrar que houveram progressos dentro das dinâmicas econômicas e políticas no município de Sinop (MT). As modificações das paisagens colaboraram para o desenvolvimento do PIB e, também, para as alterações ambientais, principalmente pelo aumento da exploração de madeiras durante esses anos.

No entanto, a partir do início dos anos 2000, analisa-se um caminho diferente nas atividades lucrativas praticadas, as explorações madeireiras que vinham modificando as paisagens desde o ano de 1984, começaram a perder forças devido as intensas fiscalizações governamentais, dando espaço aos plantios de commodities como a soja e o milho, o que contribuiu ainda mais para o incremento do PIB do município (Apêndice X). Outras transformações que se nota nessa época é o aumento da malha urbana em 7560.62 hectares e a perda de matas nativas em torno de 167645.68 hectares (Tabela 1).

Para os valores estatístico no ano de 2004, analisa-se que essas modificações que aconteceram no município de Sinop (MT) dentro desse período, afetaram os valores estatístico por meio do avanço dos pontos de Hot Spot para região sudoeste, nordeste e noroeste do município de Sinop (MT) (Figura 61 e Figura 62). A partir da análise de imagens de satélite, observa-se que essas áreas foram classificadas como área urbana (Figura 29), pastagens e cultivos temporários com vegetação em desenvolvimento (Figura 54) e regiões de solo em preparo para plantio (Figura 46).

Observa-se uma queda nos pontos de descrição estatística Not Significant presente dentro da classe Florestal. Os dados que em 1984 marcavam 2843 pontos com temperatura da superfície em torno de 22 a 25 ºC, com uma média de 24 ºC e

2918 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -16 a -10 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -13 µmol m^{-2} s^{-1}, por causa do aumento das modificações ambientais, em 2004, resultou em 1033 pontos com temperatura da superfície em torno de 22 a 32 ºC, com uma média de 24 ºC e 1212 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -16 a -4 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -12 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 61, Figura 62, Apêndice XI e Apêndice XII).

Essa decorrência permaneceu por toda área de estudo e, os motivos desse retrocesso é devido ao desmatamento das matas nativas em torno de 167645.68 hectares por causa do avanço das áreas de plantios de lavouras temporárias (Figura 61, Figura 62 e Tabela 1).

Para os dados estatísticos de Hot Spot na descrição de 99% Confidence, nota-se o crescimento da camada Lavouras temporárias dentro dessa realidade (Figura 53). Os valores que em 1984 não marcavam pontos em áreas de lavouras temporárias, mas sim, em áreas de pastagens (231 pontos com temperatura da superfície em torno de 25 a 32 ºC, com uma média de 27 ºC e 154 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -16 a -3 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -13 µmol m^{-2} s^{-1}), em 2004, essa camada passou a marcar 539 pontos com temperatura da superfície em torno de 24 a 36 ºC, com uma média de 31 ºC e 337 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -15 a -2 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -7 µmol m^{-2} s^{-1}, localizada principalmente na região central, rumo a região sudoeste, sul, nordeste e noroeste do município de Sinop (MT) (Figura 61, Figura 62, Apêndice XI e Apêndice XII).

Por fim, adverte-se o crescimento em pontos da classe Área urbanizada (Figura 29) na descrição estatística de Hot Spot - 99% Confidence, onde em 1984, a cidade de Sinop (MT) possuiu 14 pontos com temperaturas de 25 a 29 ºC e média de 26 ºC e 14 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -16 a -4 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -12 µmol m^{-2} s^{-1}, aumentou em 2004 para 25 pontos, com temperaturas de 28 a 32 ºC e média de 30 ºC e 39 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -10 a -1 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -5 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 61, Figura 62, Apêndice XI e Apêndice XII).

Em relação ao período do ano de 2004 a 2022, analisa-se um aumento de plantios de commodities como a soja e o milho em torno de 65030.31 hectares. Outras

contrafações consideradas nesse período é o aumento da malha urbana de Sinop (MT) em 4316.47 hectares e a continuação da queda da avaria de matas nativas em torno de 38214.35 hectares nesse intervalo de tempo (Figura 61, Figura 62 e Tabela 1).

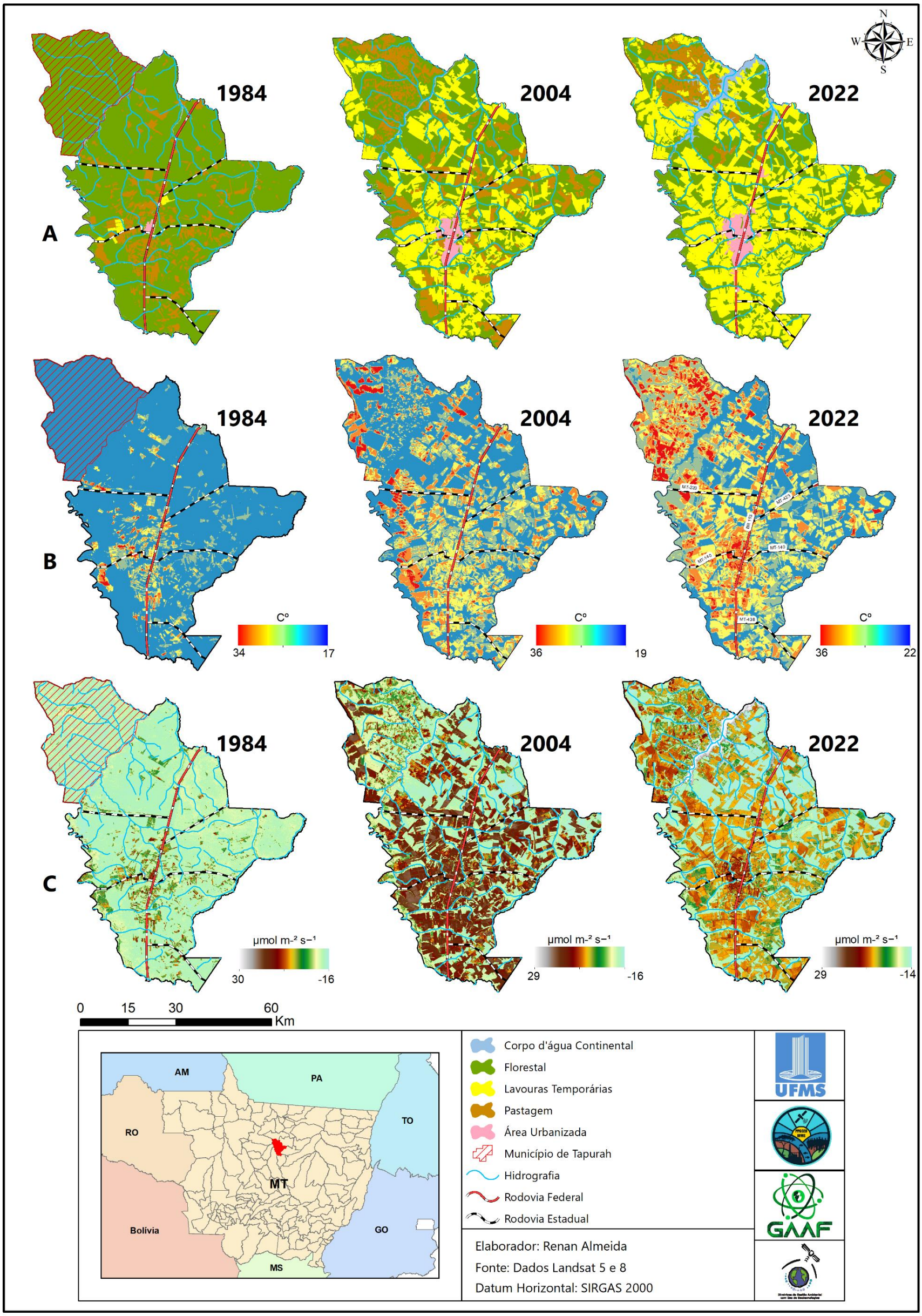
No que se refere aos valores estatísticos no ano de 2022, verifica-se que essas transformações que incidiram no município de Sinop (MT) dentro desse período impactaram nos valores estatísticos por meio da continuação na queda dos pontos na descrição estatística Not Significant existente na camada Florestal. Os dados que em 2004 marcavam 1033 pontos com temperatura da superfície em torno de 22 a 32 ºC, com uma média de 24 ºC e 1212 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -16 a -4 μmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -12 μmol m^{-2} s^{-1}, em 2022, passou para 826 pontos, com temperatura da superfície em torno de 26 a 36 ºC, com uma média de 30 ºC e 839 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -14 a -5 μmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -10 μmol m^{-2} s^{-1} (Figura 61, Figura 62, Apêndice XI e Apêndice XII).

Para os valores de Hot Spot no ano de 2022, afere-se um pequeno aumento de representatividade da classe Lavouras temporárias (Figura 53) dentro dessa definição estatística no ano de 2022, onde em 2004, essa classe representava cerca 539 pontos com temperatura entre 24 a 36 ºC e média de 31 ºC e 337 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -15 a -2 μmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -7 μmol m^{-2} s^{-1}, marcou em 2022 um total de 565 pontos com temperaturas entre 33 a 36 ºC e média de 35 ºC e 421 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -5 a 9 μmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de 4 μmol m^{-2} s^{-1}. Em relação as localizações desses pontos, os mesmos tiveram concentrados principalmente nas regiões noroeste, leste e sudoeste (Figura 61, Figura 62, Apêndice XI e Apêndice XII).

Assim como a classe Lavouras temporárias, também se observa um pequeno aumento na presença em pontos da camada Área urbanizada (Figura 31) dentro da descrição estatística de Hot Spot - 99% Confidence. No ano 2004, onde essa camada concebia cerca de 25 pontos com temperatura entre 28 a 32 ºC e média de 30 ºC e 39 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre -10 a -1 μmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de -5 μmol m^{-2} s^{-1}, indicou em 2022, 30 pontos com temperaturas entre 35

a 36 ºC e média de 35 ºC e 49 pontos com valores de fluxo de dióxido carbono entre 0 a 11 µmol m^{-2} s^{-1}, com uma média de 6 µmol m^{-2} s^{-1}.

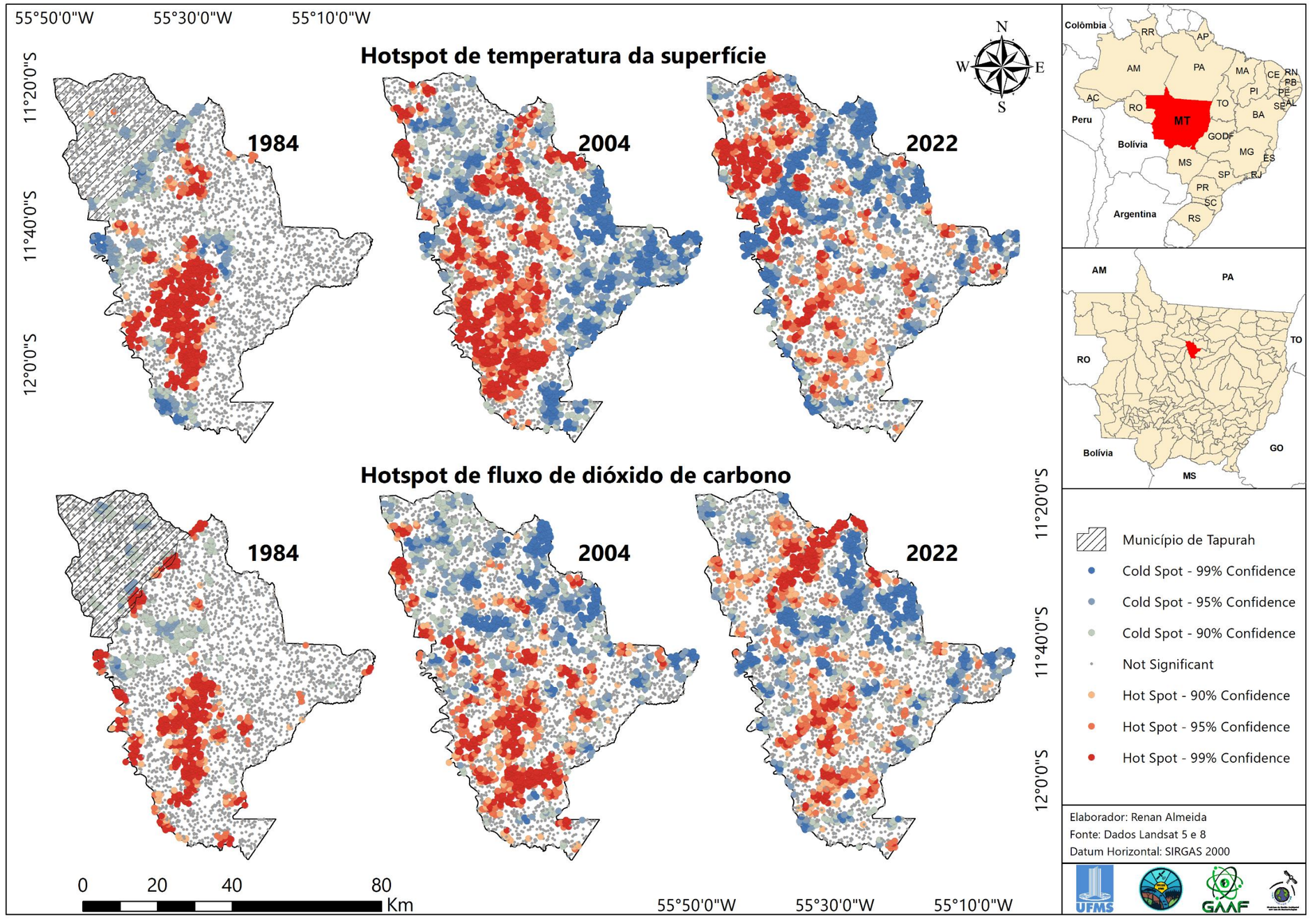
Figura 61. Cartograma de uso e cobertura da terra, fluxo de carbono e temperatura da superfície de Sinop (MT) nos anos de 1984, 2004 e 2022.



A: Uso e cobertura da terra; **B**: Temperatura da superfície; **C**: Fluxo de dióxido de carbono

Elaboração: Silva (2024).

Figura 62. Cartograma de hotspot de fluxo de carbono e temperatura da superfície de Sinop (MT) nos anos de 1984, 2004 e 2022.



Elaboração: Silva (2024).

[18]

CONSIDERAÇÕES FINAIS

[18] Avenida da Saudade, Sinop (MT).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa tem como área de estudo o município de Sinop (MT) e foi desenvolvida dentro da hipótese de que as transformações no uso e cobertura da terra fomentados pelas políticas públicas de colonização da Amazônia e os diferentes momentos econômicos que aconteceram no município de Sinop (MT), alteraram o papel de regulação dos serviços ecossistêmicos e a temperatura da superfície.

Assim, para chegar nos resultados concretos da avaliação das alterações no uso e na cobertura da terra, bem como seus efeitos na regulação dos serviços ecossistêmicos e na temperatura da superfície, utilizou-se de uma ciência que permitisse examinar de maneira holística e sistêmica todas as dinâmicas deste território geográfico, visando compreender as transformações na estrutura e no funcionamento dos ambientes, como resultado não apenas dos fenômenos e processos naturais, mas também da intervenção humana, possibilitando prever uma possível evolução desses ambientes, oferecendo suporte técnico e material com foco no planejamento ambiental, incentivando ações para evitar ou atenuar essas mudanças.

Desta forma, conclui-se que a ciência geográfica foi fundamental para a análise do meio ambiente em questão desta tese, devido à sua abordagem integradora, que considera a complexidade e a interconexão dos diversos elementos que compõem os sistemas naturais e antrópicos. Além disso, a Geografia ofereceu uma perspectiva temporal do município de Sinop (MT) que permitiu compreender a evolução dos ambientes ao longo do tempo e permitiu a identificação de tendências e projeções futuras.

Portanto, a aplicação da Geografia dentro dessa pesquisa, demonstrou de forma substancial a importância do uso dessa ciência na análise de todos os fenômenos integrantes do espaço geográfico de Sinop (MT). Além disso, esse saber ofereceu ferramentas e métodos indispensáveis para a compreensão das complexas interações entre os componentes físicos, biológicos e sociais do ambiente estudado.

Deste modo, por meio da abordagem geográfica, foi possível integrar dados espaciais e temporais da área de estudo, o que permitiu uma visão holística e detalhada dos processos ambientais, sociais e econômicos da extensão municipal de Sinop (MT).

Como auxílio para se chegar ao objetivo desta tese, é válido ressaltar que dentro dessa tese, a Geografia empregou métodos quantitativos e qualitativos para conseguir alcançar uma visão holística e integradora de todos os fenômenos existentes dentro desse espaço geográfico estudado. Assim sendo, foi essencial a utilização das técnicas de geoprocessamento para mapear e analisar padrões ambientais em diferentes escalas, bem como a identificação das áreas vulneráveis, frutos das mudanças no uso e cobertura da terra, devidos aos anseios econômicos das atividades humanas, como os desmatamentos por causa da expansão da prática da urbanização e a agricultura.

Deste modo, conclui-se que o Geoprocessamento foi uma disciplina essencial para conseguir chegar em todos os objetivos dessa pesquisa, pois à sua capacidade de integrar, manipular e analisar grandes volumes de dados espaciais de maneira eficiente e precisa, permitiu a visualização e o entendimento de padrões e processos ambientais, econômicos e sociais complexos de Sinop (MT).

Por meio do Geoprocessamento, foi possível integrar dados provenientes de diversas fontes, como imagens de satélite, mapas topográficos, dados físicos do espaço geográfico, em uma única plataforma analítica, o que promoveu uma visão holística e interdisciplinar do meio ambiente, crucial para a compreensão das interações entre os componentes naturais e as atividades humanas dentro do território sinopense.

Portanto, o uso da ciência geográfica em conjunto com o geoprocessamento, foi eficaz na análise espacial do município de Sinop (MT), pois essa técnica mostrou ser é uma ferramenta poderosa para o planejamento territorial e a promoção de um desenvolvimento sustentável, devido a sua capacidade de processamento de grandes volumes de dados e a pela possibilidade de realizar análises espaciais complexas.

Dentro das técnicas de geoprocessamento, é válido concluir também que o sensoriamento remoto foi outra ferramenta científica indispensável para a análise do espaço geográfico aqui em questão, devido à sua capacidade de coletar informações precisas e abrangentes sobre a superfície terrestre, sem a necessidade de contato direto com o local de estudo. A sua capacidade de fornecer dados contínuos e atualizados sobre o ambiente de Sinop (MT), permitiu a identificação das mudanças temporais dos usos e coberturas da terra, assim, essencial para monitorar processos

dinâmicos, como as mudanças do uso e cobertura da terra que ocasionaram o desmatamento, degradação do solo, sumidouros do gás dióxido de carbono e aumento da temperatura da superfície da terra.

Além disso, as equações de bandas espectrais dentro do sensoriamento remoto, permitiram a extração de informações específicas do território sinopense como a temperatura da superfície e o fluxo de dióxido de carbono. Portanto, o uso do sensoriamento remoto dentro dessa tese foi indispensável pela sua capacidade de fornecer dados precisos, contínuos e abrangentes, que são essenciais para o monitoramento, a gestão e a preservação dos recursos naturais, o que dá o poder de entender as dinâmicas dos ecossistemas presentes dentro da extensão municipal analisada, avaliar os impactos das mudanças ambientais provocados pelos anseios antrópicos e, assim, buscar meios para promover o desenvolvimento sustentável desta localidade.

No que se refere sobre as mudanças do uso e cobertura da terra dentro do município de Sinop (MT) nesse período de 38 anos (1984 a 2022), conclui-se que vários fatores políticos e econômicos influenciaram para grandes mudanças nas paisagens nesse território que vai tanto em diminuição da floresta amazônica, quanto em ganho de espaços vinculados aos interesses antrópicos como é o caso das categorias Lavouras temporárias, Pastagem e Área Urbanizada.

Assim sendo, sobre essa questão dentro desse território estudado, entre os anos de 1984 a 2022, pode-se realçar por meio dos dados apresentados aqui nessa tese, a expansão da categoria Lavouras temporárias (evolução em cerca de 197208.75 hectares pelo território de Sinop (MT), ou seja, um crescimento de 49% durante esses 38 anos analisados nessa pesquisa) (Tabela 1). Como comentando aqui nesse texto, esse evento está associado nos diferentes momentos dos setores econômicos, incentivados pelas políticas públicas de ocupação das áreas amazônicas como a exploração da madeira (1984 a 2003) e, posteriormente, a agricultura (principalmente a temporária) que obtiveram grande abrangência de produção a partir do ano de 2005 onde a soja alcançou 130326 hectares de área plantada, ou seja, 32,7% do total da área de estudo (Apêndice XI).

Conclui-se que outras duas classes que alcançaram um significativo crescimento movidos pelos diferentes momentos econômicos que aconteceram

durante esse tempo analisado foram as categorias Área urbanizada e Corpos d'água. A classe Área Urbanizada, que é assinalada pela malha urbana de Sinop (MT), obteve um crescimento aproximado em 3%, em outras palavras, distendeu suas áreas de torno de 11877.09 hectares para abrigar em primeiro momento, os imigrantes vindo da região sul do Brasil (buscavam terras mais baratas para o cultivo da agricultura) e, mais adiante, pessoas de todo o território brasileiro que chegaram a cidade em procura de novas oportunidades de trabalho, principalmente no setores de serviços, agropecuária e industrias (Tabela 1).

Em relação a classe Corpos d'água continental, afere-se que o progresso vertiginoso dessa categoria (caracterizada principalmente pelo rio Teles Pires), está ligado principalmente ao alagamento de áreas agricultáveis e ambientais a partir do ano de 2019 devido ao projeto de construção da usina hidrelétrica de Sinop (MT) que representa uma importante contribuição para atender o crescente consumo de energia elétrica no Brasil.

Andando na contramão das outras classes classificadas aqui nessa tese, conclui-se a perda de floresta Amazônica (categoria Florestal) durante esses 38 anos de estudo, principalmente para os diferentes momentos econômicos que aconteceram dentro desse território, incentivados pelas políticas públicas de ocupação dessa região. Ao todo, foram desmatados cerca de 205860.03 hectares, assim dizendo, uma perda em biodiversidade de 51% durante 1984 a 2022. Vale lembrar que as florestas são ecossistemas biodiversos essenciais na produção e sustentação dos serviços ecossistêmicos. Desta forma, é responsável por garantir o equilíbrio e o sustento da vida de todos os seres vivos presentes no planeta terra por meio do provimento de alimentos, energia, medicamentos, fibras, dentre outros, além de regular o clima e proteger contra as intempéries que podem prejudicar o solo e a água (Embrapa, 2011).

Desse modo, por meio dos dados de uso e cobertura da terra nesses 38 anos de pesquisa aqui apresentados e analisados, a tese aqui exibida, corrobora com as pesquisas apresentadas no Apêndice I que apontam as políticas públicas como uma das causas que fomentaram o desmatamento na Amazônia. Portanto, além de ter discutido essas modificações, se torna válido pesquisar os impactos que esses avanços causaram nos serviços ecossistêmicos, principalmente em sua forma de regulação como o fluxo de dióxido de carbono e na temperatura da superfície.

No que se refere sobre a análise da temperatura da superfície no interior da área de estudo no período de 1984 a 2022, pode-se concluir por meio dos dados exibidos aqui nessa pesquisa, que todas as transformações no uso e cobertura da terra motivados pelos fatores políticos e econômicos influenciaram no aumento da média anual dessa variável em torno de 6 ºC, uma vez que no ano de 1984 a média anual das temperaturas superficiais apontava cerca de 21 ºC e passou para 27 ºC no ano de 2022.

Em relação ao estudo da espacialização das cinco classes de temperaturas superficiais dentro desses 38 anos de pesquisa, conclui-se a diminuição das áreas com as médias anuais de temperaturas mais amenas (17ºC a 24ºC) em torno de 280628 hectares pelo território de Sinop (MT), em outras palavras, uma diminuição em cerca de 70% durante esses 38 anos analisados nessa pesquisa. Em contrapartida, infere-se o aumento dos campos com as médias anuais de temperaturas superficiais mais elevadas (27ºC a 36ºC) em torno de 93173.69 hectares pela extensão municipal de Sinop (MT), ou seja, um aumento em cerca de 24% durante esses 38 anos analisados nessa pesquisa.

Assim, conclui-se que esse acontecimento está associado diretamente nas modificações dos usos e coberturas da terra que aconteceram dentro desse território, uma vez que no ano de 1984, Sinop (MT) possuía 86% do seu território em áreas com médias anuais de temperaturas em torno de 17ºC a 21ºC, favorecido pelas presenças de 87% de coberturas das matas nativas, que apontaram valores de médias anuais de temperatura em torno de 21 ºC nesse ano e, após 38 anos, passou apontar 24% do seu território com médias anuais de temperaturas entre 28ºC a 36ºC, devido ao grande desmatamento em cerca de 205860.03 hectares de floresta amazônica em conjunto com o avanço de áreas agrícolas em 197208.75 hectares, visto que a média de temperatura da superfície dentro das áreas de lavouras temporárias foram em torno de 33 ºC.

Portanto, por meio do estudo aqui apresentado sobre a modificações dos usos e cobertura da terra nos anos de 1984 a 2022 dentro do município de Sinop (MT), a tese aqui exposta, conclui que além das políticas públicas ter fomentado o desmatamento na Amazônia, trouxe também como consequência para esse território, o aumento da média anual de temperatura da superfície que pode desencadear

problemas ambientais, sociais e econômicos para toda a população residente dessa extensão municipal.

Com relação a análise do fluxo de dióxido de carbono na área de estudo no período de 1984 a 2022, pode-se concluir por meio dos dados exibidos aqui nessa pesquisa (Quadro 17), que todas as transformações no uso e cobertura da terra motivados pelos fatores políticos e econômicos influíram na diminuição da média anual da absorção de CO_2 em torno de 7.03 µmol m-² s−¹, dado que no ano de 1984 a média anual do fluxo de dióxido de carbono marcava cerca de -9,99 µmol m-² s−¹ e adveio para -2,96 µmol m-² s−¹ no ano de 2022.

Tendo em consideração a análise da espacialização das cinco classes de fluxo de dióxido de carbono entre os anos de 1984 a 2022 (Tabela 3), conclui-se a diminuição das áreas com as médias anuais de absorção de dióxido de carbono mais altas (-16,37 µmol m-² s−¹ a -7,74 µmol m-² s−¹) em torno de 201715.44 hectares na extensão municipal de Sinop (MT), ou seja, um arrefecimento em torno de 51% durante esses 38 anos avaliados nessa tese. Por outro lado, averígua-se o acrescentamento das áreas com as médias anuais de absorção de gás carbônico menos proeminentes (-2,42 µmol m-² s−¹ a 2,15 µmol m-² s−¹) em volta de 124372.18 hectares pelo território analisado, assim dizendo, um aumento em cerca de 31% nesse período de análise estudado.

Portanto, conclui-se que essa ocorrência, assim como foi na temperatura da superfície, também esteve adjunto as alterações dos usos e coberturas da terra que calharam no interior do município de Sinop (MT), em razão de que no ano de 1984, o território sinopense havia 87% do seu território em áreas com médias anuais de fluxo de dióxido de carbono em torno de -16,37 µmol m-² s−¹ a -6,33 µmol m-² s−¹, beneficiado pelo comparecimento de 87% de florestas amazônica, que apontaram valores de médias anuais de fluxo de dióxido de carbono em torno de -12,45 µmol m-² s−¹ e, no ano de 2022, calhou a marcar 34% da sua jurisdição com médias anuais de fluxo de dióxido de carbono entre -2,35 µmol m-² s−¹ a 2,15 µmol m-² s−¹, por causa do demasiado desflorestamento em torno de 205860.03 hectares de mata nativa em adjacente com o aumento dos campos destinados a agricultura em 197208.75 hectares no interior de Sinop (MT), sendo que a média de fluxo de dióxido de carbono dentro das áreas de lavouras temporárias foram em torno de 3,85 µmol m-² s−¹.

Isto posto, por meio da pesquisa desta tese sobre as alterações dos usos e cobertura da terra nos anos de 1984 a 2022 dentro do município de Sinop (MT), a pesquisa aqui apresentada, conclui que além das políticas públicas ter fomentado o desmatamento na Amazônia, ter impactado no aumento da média anual de temperatura da superfície, acarretou ainda como implicação para esta extensão municipal, a diminuição dos sumidouros de CO_2, o que compromete diretamente no agravamento do efeito estufa, assim, ajudando as consequências negativas tanto para o meio ambiente, quanto para as sociedade, causadas pelo o aquecimento global.

Além disso, conclui-se que, de acordo com teste de Pettitt, todas as variáveis analisadas aqui nessa pesquisa apresentaram alta homogeneidade das informações e constataram uma ruptura na série histórica no início dos anos 2000, o que sugere que o salto das áreas plantadas das comodities (principalmente soja e milho), influenciaram diretamente nas alterações das médias anuais da temperatura da superfície e no fluxo de dióxido de carbono.

Vale lembrar que para esse evento ter acontecido (aumento das áreas plantadas da agricultura temporária), o cenário econômico estava favorável, pois nesse período, era caracterizado pelo crescimento econômico acelerado e pela estabilidade macroeconômica Silva & Souza, (2018); a expansão do crédito rural, com programas como o Plano Safra, ofereceu melhores condições de financiamento aos agricultores, permitindo investimentos em tecnologia e infraestrutura Silva & Souza, (2018); os programas de subsídio e incentivos fiscais, juntamente com a expansão da assistência técnica e extensão rural, ajudaram a melhorar a capacitação dos agricultores e a adoção de melhores práticas agrícolas Pereira & Lima, (2021) e além dos incentivos governamentais que essas culturas receberam a partir de 2002, esse episódio também esteve favorecido por causa do boom dos preços das commodities que aconteceu no mundo a partir dos anos 2000 Black (2015).

Por fim, por meio da ciência geográfica com os auxílios das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, destaca-se que essa tese atingiu o objetivo de responder a hipótese aqui proposta. No entanto, salienta-se que as pesquisas dentro desse espaço geográfico não devem parar por aqui, pois ainda existem outras variáveis danosas a serem estudadas dentro dessa área de estudo.

Espera-se que essa tese motive futuros pesquisadores, que assim como eu, buscam um espaço geográfico organizado por meio de um planejamento pautado na sustentabilidade, alcançando assim, um bem estar social vinculado com uma boa harmonia da natureza.

19

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[19] Balneário e pousada em Sinop (MT).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas – ANA. GEO Brasil: recursos hídricos. Resumo executivo. Ministério do Meio Ambiente (MMA); Agência Nacional de Águas (ANA); Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Brasília: MMA; ANA, 2007. 60 p.

Alberti, M. Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. Current Opinion in Environmental Sustainability, v.2, n.3, p.178-184, 2010.

Almeida, F. R., & Santos, M. A. (2021). Policy Implementation and Regional Development: Insights from the Política de Integração Nacional. Economic Development and Cultural Change, 70(4), 1127-1143. https://doi.org/10.1086/715134

Almeida, Fernanda. Políticas de subvenção para infraestrutura: análise crítica e perspectivas. Revista de Desenvolvimento Urbano, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 101-119, 2023.

Almeida, J. F., & Lima, A. C. (2021). Challenges and Achievements of the ARPA Program: A Review of Conservation Outcomes in the Amazon. Conservation Biology, 35(6), 1478-1490. https://doi.org/10.1111/cobi.13779

Almeida, J. P., & Ferreira, M. S. (2021). Fundo Amazônia: Successes and Challenges in Funding Conservation Efforts in the Amazon Rainforest. Conservation Biology, 35(3), 930-943. https://doi.org/10.1111/cobi.13723

Almeida, J. P., & Silva, M. R. (2021). Sustainable Development Projects in Brazil: A Review of PDS Outcomes and Challenges. Conservation Biology, 35(6), 1472-1484. https://doi.org/10.1111/cobi.13783

Almeida, O. T., & Uhl, C. (1995). Environmental licensing and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. Journal of Environmental Economics and Management, 29(1), 23-44.

Almeida, R. F., & Pereira, L. M. (2021). Governance and Management of the Reserva Extrativista do Rio Juruá: Challenges and Opportunities. Conservation Biology, 35(5), 1245-1257. https://doi.org/10.1111/cobi.13773

Almeida, R. S., & Pereira, J. L. G. (2020). The role of agribusiness in the economic growth of Sinop, MT. Agricultural Systems, 184, 102896.

Almeida, R. S., Pereira, L. T., & Costa, M. A. (2019). "Impacto das Chuvas na Produtividade Agrícola em Sinop (MT)." Revista Brasileira de Meteorologia, 34(1), 76-89.

Almeida, R. T., & Costa, M. A. (2022). Evaluating the Effectiveness of Tax Incentives in the Mineral Sector: A Comparative Analysis. Journal of Cleaner Production, 345, 131-143. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131143

Almeida, R. T., & Lima, A. C. (2021). Evaluating the Impact of the PICAP on Agroecological Practices and Economic Viability. Journal of Agricultural and Resource Economics, 46(3), 451-465. https://doi.org/10.22004/ag.econ.308734

Almeida, R. T., & Lima, A. C. (2021). Evaluating the Impact of the PICAP on Agroecological Practices and Economic Viability. Journal of Agricultural and Resource Economics, 46(3), 451-465. https://doi.org/10.22004/ag.econ.308734

Almeida, R. T., & Lima, A. C. (2022). Sustainable Development Policies for agropecuário and Extrativista Sectors: Lessons from Recent Implementations. Journal of Environmental Management, 340, 113-125. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.113125

Almeida, R. T., & Lima, S. M. (2023). Assessing the Effectiveness of Rural Credit Programs in Promoting Sustainable Agricultural Practices. Global Environmental Change, 79, 102493. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102493

Almeida, R. T., & Rocha, E. T. (2023). Impact of Policy Revisions on Environmental Regulation and Oversight. Journal of Policy Analysis and Management, 42(3), 567-583. https://doi.org/10.1002/pam.22721

Almeida, R. T., & Santos, F. L. (2020). "Capacidade de Retenção de Água dos Solos de Sinop e sua Influência na Produtividade Agrícola." Revista de Hidrologia e Gestão de Recursos Hídricos, 12(3), 87-101.

Almeida, R. T., & Santos, V. R. (2023). Fiscal Policies and Agropecuário Sector Dynamics: A Comparative Analysis. Global Environmental Change, 82, 102510. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102510

Almeida, R. T., & Santos, V. R. (2023). Funding Agricultural Projects: The Impact of Financial Policies on Sector Growth. Global Environmental Change, 82, 102518. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102518

Almeida, R. T., & Silva, E. M. (2021). Assessing the PRA's Influence on Deforestation Rates and Environmental Protection. Conservation Biology, 35(4), 1230-1242. https://doi.org/10.1111/cobi.13756

Almeida, T.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Costa, A. L.; Ferreira, L. S.; Rodrigues, P.; Santos, C.; Lima, R. C.; Pereira, A. J.; Costa, F. P. Remote Sensing Applications for Ecosystem Service Assessment and Management. Remote Sensing, v. 13, n. 23, p. 4849, 2021.

Almeida, V. T., & Oliveira, J. P. (2022). Analyzing the Successes and Challenges of the Programa de Proteção das Florestas Tropicais. Remote Sensing of Environment, 281, 113176. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113176

Almeida, V. T., & Rocha, C. L. (2022). The Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia: Achievements and Future Directions in Amazonian Research. Remote

Sensing of Environment, 283, 113190. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113190

Alves, D. S., Pereira, J. L. G., & De Souza, I. M. (2019). Land tenure and deforestation dynamics in the Brazilian Amazon: A review. Land Use Policy, 81, 337-351.

Amiri, R.; Weng, Q.; Alimohammadi, A.; Alavipanah, S. K. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in Tabriz urban area, Iran. Remote Sensing of Environment, v. 113, p. 2606-2617, 2009.

Anderson, M. A.; Brown, T. H.; Clark, J. L.; Davis, S. M.; Evans, L. R. Advanced Techniques for CO_2flux Measurement. Remote Sensing, v. 13, n. 9, p. 1834, 2021.

Andrade, D.D. de.; Ferreira, M.C.; Bolfe, E.L. Estimativa e mapeamento de Dióxido de carbono em fragmentos florestais da APA Fernão Dias (MG) com uso de dados orbitais do Sensor TM-Landsat. Anais... XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física aplicada: Uso e ocupação da terra e as mudanças das paisagens. Vitória (ES), 8 a 12 de julho de 2013. UFES.

Aragão, L. E. O. C., & Barlow, J. (2022). The Amazon and Sustainable Development: Evaluating the PDSA's Impact on Biodiversity. Nature Sustainability, 5(4), 234-246. https://www.nature.com/articles/s41893-022-00848-5

Arima, E. Y., Richards, P., Walker, R., & Caldas, M. M. (2011). The effectiveness of command and control policies in reducing deforestation in the Brazilian Amazon. Global Environmental Change, 21(1), 42-50.

Assunção, J., Brino, A., & Rocha, R. (2015). Dívida e desmatamento: o papel dos subsídios agrícolas na Amazônia. Journal of Environmental Economics and Management, 72, 39-54.

Assunção, J., Gandour, C., & Rocha, R. (2015). Political drivers of deforestation in the Brazilian Amazon: An analysis of the 2004-2012 period. Ecological Economics, 105, 193-201.

AYOADE. J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos, 15ª edição. Rio de Janeiro, Bertrand, 2011, 350p.

Azevedo, L. G., & Borges, M. A. (2015). Smallholder agriculture and economic resilience in Sinop, MT. World Development, 74, 77-85.

Azevedo, M. G., & Lopes, L. P. (2014). Smallholder agriculture and deforestation in Sinop, MT. World Development, 64, 158-167.

Bacani, V.M. Geotecnologias aplicadas ao ordenamento físico-territorial da bacia do alto rio Coxim, MS. Tese (Doutorado em Geografia) do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de São Paulo (USP) São Paulo, 2010.

Balnera, p.; uriarte, m; almeida-leñero, l.; altesor, a.; declerck, f.; gardner, t.; hall, j.; lara, a.; laterra, p.; peña-claros, m.; matos, d. M. S.; vogl, a. L.; romero-duque, l. P.; arreola, l. F.; caro-borrero, a. P.; gallego, f.; jain, m.; little, c.; xavier, r. O.; paruelo, j. M.; peinado, j. E.; poorter, l.; ascarrunz, n.; correa, f.; cunha-santino, m. B.; hernándezsánchez, a.; vallejos, m.. Ecosystem services research in Latin America: the state of the art. Ecosystem Services, v.2, p.56-70, 2012.

Barona, E., Ramankutty, N., Hyman, G., & Coomes, O. T. (2010). The impact of rural credit on deforestation in the Brazilian Amazon. Regional Environmental Change, 10(2), 189-199.

Barreto, P., & Silva, D. (2009). Amazônia e o desmatamento: situação atual e perspectivas. In: Moutinho, P., & Schwartzman, S. (Eds.), Desmatamento na Amazônia: causas, impactos e políticas públicas (pp. 27-36). Belém: IPAM.

Barreto, P., & Silva, J. M. (2023). Sustainable Development Plans in the Amazon: Analyzing the PDSA Framework. Journal of Environmental Management, 304, 114-127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114127.

Barreto, P., Silva, J. S., & R. C. (2014). Determinantes e impactos do desmatamento na Amazônia. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon).

Barros, D. C., & Rocha, E. F. (2016). Impact of infrastructure development on deforestation in Sinop, MT. Environmental Science & Policy, 63, 66-73.

Barros, D. R., & Carvalho, E. M. (2017). The influence of soybean production on the local economy of Sinop, MT. Ecological Economics, 140, 120-128.

Barton, D. N., & Fisher, B. (2022). The Impact of the Convention on Biological Diversity on National Biodiversity Strategies and Action Plans. Global Environmental Change, 72, 102395. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102395.

Battin, T. J., et al. "The global carbon cycle: Integrating river corridors." Ecosystems, vol. 12, no. 7, 2009, pp. 1015-1031.

Beaujeu-Garnier. J. Geografia Urbana. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

Bertalanffy LV (2008) Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Petrópolis, Vozes.

Bertalanffy, L.V.Teoria Geral dos Sistemas. Petrópolis: Vozes, 1973. 351 p.

Boratto, I. M. P.; Gomide, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 2013. Foz do Iguaçu, PR. Anais... Foz do Iguaçu, 2013.

Brandão, A. M. P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: MENDONÇA, F., MONTEIRO, C. A. F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003. Cap. 5, p. 121-154.

Brasil. (1967). Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967. Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5197.htm

Brasil. (1973). Projeto Radambrasil: Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral.
Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm

Brasil. (1990). Programa de Proteção das Florestas Tropicais (PPTFT): Relatório de Atividades. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.

Brasil. (1992). Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1992. Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7735.htm

Brasil. (1998). Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm

Brasil. (2000). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm

Brasil. (2000). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm

Brasil. (2000). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm

Brasil. (2004). Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM). Ministério do Meio Ambiente. Recuperado de http://www.mma.gov.br/estruturas/ppcdam/_arquivos/ppcdam2004.pdf

Brasil. (2006). Lei nº 11.105, de 24 de março de 2006. Dispõe sobre a proteção e o controle da biossegurança de organismos geneticamente modificados e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2006/L11105.htm

Brasil. (2007). Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA). Ministério do Meio Ambiente. Recuperado de http://www.mma.gov.br/estruturas/arpa/_arquivos/arpa.pdf

Brasil. (2009). Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Amazônia e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2009/L12114.htm

Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm

Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm

Brasil. (2014). Criação do Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia (SUCAM). Ministério do Meio Ambiente. Recuperado de http://www.mma.gov.br/estruturas/sucam/_arquivos/sucam.pdf

Brasil. (2016). Decreto nº 8.973, de 29 de dezembro de 2016. Regulamenta a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2016/d8973.htm

Brasil. (2017). Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS). Ministério do Meio Ambiente. Recuperado de http://www.mma.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/pds

Brasil. (2021). Plano de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (PDSA). Ministério do Meio Ambiente. Recuperado de http://www.mma.gov.br/pdsa

Brasil. Decreto n. 10.333, de 28 de abril de 2020. Regulamenta a Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 abr. 2020.

Brasil. Emenda Constitucional n. 1, de 1º de março de 1988. Altera dispositivos da Constituição Federal. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 mar. 1988.

Brasil. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 mai. 2012.

Brasil. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-

67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 mai. 2012.

Brasil. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 mai. 2012.

Brasil. Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 out. 2012.

Brasil. Lei n. 13.123, de 20 de maio de 2015. Dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 14 maio 2015.

Brasil. Lei n. 14.119, de 10 de março de 2021. Dispõe sobre a proteção e a conservação da Amazônia e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 mar. 2021.

Brasil. Lei n. 5.848, de 6 de dezembro de 1972. Lei do Incentivo à Agricultura. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 dez. 1972.

Brasil. Lei n. 6.383, de 7 de dezembro de 1976. Dispõe sobre o processo discriminatório de terras devolutas da União, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 dez. 1976.

Brasil. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 set. 1981.

Brasil. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

Brasil. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 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: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

Brasil. Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção de vegetação nativa. Coletânea de Legislação e Jurisprudência, Brasília DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm.

Brasil. Lei n° 4.771, de 15 de agosto de 1965. Dispõe sobre a proteção de vegetação nativa. Coletânea de Legislação e Jurisprudência, Brasília DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm.

Brasil. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1965.

Braz, A. M. Geotecnologias aplicadas na análise das implicações entre o uso, cobertura e manejo da terra e a qualidade das águas superficiais: Bacias Hidrográficas dos córregos Lajeado Amarelo e Ribeirãozinho, Três Lagoas/MS. 2017, 287 p.

Braz, A.M.; Mirandola, P.H. Geotecnologias Aplicada: uma análise ambiental da Bacia Hidrográfica do córrego carro queimado. Saarbrucken: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 145 p.

Breuste, J.H.; Artmann, M. Allotment gardens contribute to urban ecosystem service: case study Salzburg, Austria. Journal of Urban Planning and Development, v.141, n.3, p.A5014005, 2015.

Brown, A. C.; Johnson, M. P.; Smith, R. T.; Davis, L. K.; Wilson, E. F. Evaluating CO_2flux in Urban and Rural Environments. Environmental Research Letters, v. 16, n. 4, p. 045003, 2021.

Brown, B.; Smith, J.; Doe, A. Uso de sistemas de informação geográfica na análise do desmatamento. Geographical Review, v. 109, n. 4, p. 567-584, 2019. DOI: 10.1111/gere.12345.

Câmara, G.; Davis.C.; Monteiro, A.M.; D'Alge, J.C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).

Campos, V. H., & Nunes, R. J. (2013). Soybean production and deforestation in Sinop, MT. Agricultural Systems, 115, 90-98.

Carvalho, A. L., Souza, E. R., & Pereira, J. A. (2018). "Influência do Relevo na Formação de Bacias Hidrográficas em Sinop (MT)." Revista Brasileira de Hidrologia e Geografia Física, 10(3), 89-103.

Carvalho, D., & Lima, S. (2020). "Mining in the Brazilian Amazon: Environmental and Social Impacts." Environmental Impact Assessment Review, 85, 106464.
Carvalho, J. P., & Silva, M. T. (2022). Analyzing the Effectiveness of SUCAM in Amazon Conservation. Global Environmental Change, 80, 102489. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102489

Carvalho, J. T., & Silva, M. E. (2022). The Impact of PPTFT on Biodiversity and Forest Management in the Amazon. Journal of Environmental Management, 304, 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114126

Carvalho, N.O. et al. Guia de Práticas Sedimentométricas. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

Catelani, C.S. et al. Adequação do uso da terra em função da legislação ambiental. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, INPE/ SELPER, Belo Horizonte, 2003.

Chagas, C. da S. et al. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, 2013.
CHAN, K.M.A. et al. Opinion: why protect nature? Rethinking values and the environment. Proceedings of the National Academy of Sciences, v.113, n.6, p.1462-1465, 2016.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113, 2009, p. 893-903.

Chen, S. C.; Herz, R. Estudos Quantitativos e Calibração Radiométrica de dados digitais do Landsat-5. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto –. 1996. Salvador, BA. Anais... Salvador, 1996. P.499-506.

Chien, Lung-chang; GUO, Yuming; ZHANG, Kai. Spatiotemporal analysis of heat and heat wave effects on elderly mortality in Texas, 2006–2011. Science Of The Total Environment, [s.l.], v. 562, p. 845-851, ago. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.042.

Chomitz et al., 1998 Chomitz K, Brenes E, Constantino L. Financing environmental services: the Costa Rican experience. World Bank: Central America Country Management Unit, Economic Notes Series, no. 10, 1998.

Christofoletti, A. Análise de Sistemas em Geografia. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979. 106 p.

Christofoletti, A. Geomorfologia. 2ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p.

Christofoletti, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

Christofoletti, A.L.H. Sistemas Dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em geografia. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. P. 89-110.

Conant, R. T., et al. "Grassland management impacts on soil carbon stocks: A meta-analysis." Global Change Biology, vol. 23, no. 2, 2017, pp. 446-463.

Constanza, R. et al. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, Amsterdam, v. 26, p. 152-158, 1997.

Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB). (1992). Convenção sobre Diversidade Biológica. Recuperado de https://www.cbd.int/convention/text/

Costa, A. L.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Ferreira, L. S.; Almeida, T.; Rodrigues, P.; Santos, C.; Lima, R. C.; Pereira, A. J.; Costa, F. P. Integrating Remote Sensing with Ecosystem Service Models for Better Decision Making. Environmental Science & Policy, v. 128, p. 224-235, 2021.

Costa, E. P., & Silva, L. R. (2020). Deforestation patterns and drivers in Sinop, MT. Forest Ecology and Management, 473, 118293.

Costa, F. P.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Costa, A. L.; Ferreira, L. S.; Almeida, T.; Rodrigues, P.; Santos, C.; lima, R. C.; Pereira, A. J. The Integration of Remote Sensing Data into Ecosystem Service Models. Landscape Ecology, v. 35, n. 12, p. 3027-3043, 2020.

Costa, M. R., Almeida, L. J., & Souza, A. P. (2018). "Conservação dos Recursos Hídricos e o Papel dos Solos de Sinop (MT)." Revista Brasileira de Geociências Ambientais, 7(4), 112-126.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 26, 152-158.

Costanza, R.; De groot, R.; Braat, L.; Kubiszewski, I.; Fioramonti, L.; Sutton, P.; Farber, S.; Grasso, M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? Ecosystem Services, v. 28, pt. A, p. 1-16, Dec. 2017. DOI: 10.1016/j.ecoser.2017.09.008.

Cox, P. M., et al. "Increasing carbon dioxide in the atmosphere and the potential for global warming." Nature, vol. 494, no. 7437, 2013, pp. 127-130.

Criado, R. C.; Piroli, E.L. Geoprocessamento como ferramenta para a análise da terra em bacias hidrográficas. Revista Geonorte, v.3, p. 1010-1021, 2012.

Cunha, Marion Machado. (2010) O trabalho dos professores e a Universidade do Estado de Mato Grosso em Sinop (MT) - MT na década de 1990: o sentido do coletivo. 213 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Custódio, M. S. Impacto da resolução dos modelos globais na América do Sul: Climatologia, variabilidade e ciclo diurno. 2013, 219 p. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

Daily, G. C. (Ed.) Nature's Services: Societal Dependence on natural ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997.

Davin, E. L.; Noblet-ducoudré, N. Climatic impact of global-scale deforestation: radiative versus nonradiative processes. Journal of Climate, v. 23, n. 1, p. 97-112, 2010. DOI: https://doi.org/10.1175/2009jcli3102.1

De groot, R.; Wilson, M. A.; Boumans, R. M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics, v. 41, p. 393-408, 2002.

De oliveira, J.P. Cidade e meio ambiente sob um enfoque sistêmico. Turismo Visão e Ação, Itajaí: Univali, v.1, n.1, p. 45-49, 1998.

Della-silva, J. L.; Silva Junior, C. A. da; lima, M.; Teodoro, P. E.; Nanni, M. R.; Shiratsuchi, L. S.; Teodoro, L. P. R.; Capristo-silva, G. F.; Baio, F. H. R.; De oliveira, G.; De oliveira-júnior, J. F.; Rossi, F. S. CO2Flux model assessment and comparison between an airborne hyperspectral sensor and orbital multispectral imagery in Southern Amazonia. Sustainability, v. 14, n. 9, 5458, 1 mai. 2022. Disponível em: . Acesso em: 21 jun. 2022.

Dietz, T., Ostrom, E., & Stern, P. C. (2003). The struggle to govern the commons. Science, 302(5652), 1907-1912.

Diniz, C. (2004). O Impacto das Reservas Extrativistas na Conservação da Amazônia: Estudo de Caso da RESEX do Rio Juruá. Revista Brasileira de Política Ambiental, 6(2), 98-113.

Dissertação (Mestrado em Geografia) do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Três Lagoas.
Dpi.inpe. Tutorial de Geoprocessamento. Classificação de Imagens, 2006.

Durand. D. La systemique. Paris: Presses Universitaires. France, 1981. propriedades fundamentais da teoria dos sistemas.

Ehrlich, P. R.; MOONEY, H. A. Extinction, substitution, and ecosystem services. BioScience, v. 33, n. 4, p. 248-254, Apr. 1983. DOI: 10.2307/1309037.

ELLIOT, Thomas; ALMENAR, Javier Babí; NIZA, Samuel; PROENÇA, Vânia; RUGANI, Benedetto. Pathways to Modelling Ecosystem Services within an Urban Metabolism Framework. Sustainability, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 2766, 14 maio 2019. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su11102766.

Elliot, Thomas; ALMENAR, Javier Babí; NIZA, Samuel; PROENÇA, Vânia; RUGANI, Benedetto. Pathways to Modelling Ecosystem Services within an Urban Metabolism Framework. Sustainability, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 2766, 14 maio 2019. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su11102766.

Elmqvist, T; SETÄLÄ, H; HANDEL, Sn; PLOEG, S van Der; ARONSON, J; BLIGNAUT, Jn; GÓMEZBAGGETHUN, e; NOWAK, Dj; KRONENBERG, J; GROOT, R de. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. Current Opinion In Environmental

Sustainability, [s.l.], v. 14, p. 101-108, jun. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos. Rio de Janeiro: 2019.124p.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999.412p.

Empresa BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

Engelbrecht, A.S. and Cloete, B.E. (2000), An analysis of a supervisor-subordinate trust relationship, Journal of Industrial Psychology, Vol. 26 No. 1, pp. 24-28.

Evaluating CO_2flux in Various Biomes. Journal of Biogeosciences, v. 18, n. 3, p. 1523-1538, 2021.

FARIA, C. Código Florestal de 1965. 2013.

Fearnside, P. M. (2001). A Convenção sobre Diversidade Biológica e a conservação da Amazônia. In P. M. Fearnside (Ed.), Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2001). A eficácia da Lei de Crimes Ambientais no contexto da Amazônia. In P. M. Fearnside (Ed.), Desafios Ambientais na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. Conservation Biology, 19(3), 680-688. doi:10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x

Fearnside, P. M. (2005). Desmatamento na Amazônia: causas e consequências. Acta Amazonica, 35(3), 305-321.

Fearnside, P. M. (2006). Desmatamento da Amazônia: aspectos e tendências. In P. M. Fearnside (Ed.), Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2014). O Código Florestal e os desafios da Lei de Proteção da Vegetação Nativa na Amazônia. In P. M. Fearnside (Ed.), Desmatamento e Políticas Ambientais na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2014). O Novo Código Florestal e a Conservação da Amazônia: Perspectivas e Impactos. In P. M. Fearnside (Ed.), Políticas Ambientais e Conservação na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2017). Deforestation of the Brazilian Amazon. Environmental Management, 21(4), 465-479

Fearnside, P. M. (2018). A Eficácia do PRA na Recuperação da Vegetação Nativa e seus Impactos na Amazônia. In P. M. Fearnside & D. C. Nepstad (Eds.), Políticas Ambientais e Conservação na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2019). Desenvolvimento Sustentável na Amazônia: O Papel do PDS. In P. M. Fearnside & D. C. Nepstad (Eds.), Políticas Ambientais e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2022). Desenvolvimento Sustentável na Amazônia: O Impacto do PDSA. In P. M. Fearnside & D. C. Nepstad (Eds.), Políticas Públicas e Sustentabilidade na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Fearnside, P. M. (2022). Desenvolvimento Sustentável na Amazônia: O Impacto do PDSA. In P. M. Fearnside & D. C. Nepstad (Eds.), Políticas Públicas e Sustentabilidade na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.
Fearnside, P.M. 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e conseqüências. Megadiversidade 1(4): 113-123.

Fearnside, P.M. 2019. A Hidrelétrica de Sinop (MT): Um teste para a legislação ambiental brasileira. p. 133-148. In: P.M. Fearnside (ed.) Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras. Vol. 3. Editora do INPA, Manaus. 148 p.

Fearnside, P.M. 2020. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. p. 7-19. In: Fearnside, P.M. (ed.) Destruição e Conservação da Floresta Amazônica, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. 368 p. (no prelo).

Fearnside, PM. Deforestatiton impacts, environmental services and the international Community. In: HALL, A. (Ed.). Amazônia at the crossroads: the challenge of sustainable development. Londres: Institute of American Studies, 2000.13p.

Fearnside, PM. Desmatamento na Amazônia brasileira:histórias, índices e consequências. Megadiversidade, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.113-123, 2005.
Felfili, J. M., & Abreu, H. M. C. (2000). Fitossociologia de um gradiente altitudinal de floresta estacional semidecidual em Goiás, Brasil. Acta Botanica Brasilica, 14(1), 61-73. doi:10.1590/S0102-33062000000100006

Fernandes, A. M., & Silva, C. R. (2019). Urbanization and economic dynamics in Sinop, MT. Regional Studies, 53(4), 564-577.

Ferreira, A. R., Silva, G. P., & Souza, M. A. (2019). Estabilidade geotécnica de Latossolos Vermelhos compactados para uso em infraestrutura viária. Revista

Brasileira de Engenharia Civil, 24(2), 130-145. https://doi.org/10.1590/2236-9996.2019-0002

FERREIRA, C.C. Geotecnologias aplicada a Criação e Organização de Banco de Dados Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuriú – MS/BR. 2011. 2011. 193 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Três Lagoas.

Ferreira, J. T., & Barbosa, R. F. (2023). Evaluating the Effectiveness of Conservation Strategies in the Reserva Extrativista do Rio Juruá. Ecology and Society, 28(2), 45-59. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss2/art45/

Ferreira, L. S.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Costa, A. L.; Almeida, T.; Rodrigues, P.; Santos, C.; Lima, R. C.; Pereira, A. J.; Costa, F. P. Remote Sensing for Mapping and Monitoring Ecosystem Services: Case Studies from the Amazon Basin. Journal of Environmental Management, v. 301, p. 113532, 2021.

Ferreira, M. S., & Carvalho, T. J. (2022). Long-term Impacts of the ARPA Program on Amazonian Protected Areas and Biodiversity. Remote Sensing of Environment, 287, 113260. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113260

Ferreira, M. S., & Costa, F. A. (2023). Governance and Policy Implications of the Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia. Ecology and Society, 29(1), 15-29. https://www.ecologyandsociety.org/vol29/iss1/art15/

Ferreira, M. S., & Costa, J. L. (2023). Impact Assessment of the Projeto de Desenvolvimento Sustentável on Local Communities and Ecosystems. Ecology and Society, 29(1), 22-35. https://www.ecologyandsociety.org/vol29/iss1/art22/

Ferreira, M. S., & Costa, L. M. (2022). Policy Approaches to Sustainable Agropecuário and Extrativista Development: A Review of Recent Trends. Journal of Sustainable Agriculture, 44(1), 99-113. https://doi.org/10.1080/10440046.2022.2053104

Ferreira, M. S., & Costa, T. R. (2023). Innovations and Impacts of the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia on Tropical Science. Ecology and Society, 28(1), 18-30. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss1/art18/

Ferreira, M. S., & Lima, A. C. (2022). Impacts of Agricultural Colonization Policies on Forest Conservation and Land Tenure. Ecological Economics, 192, 107321. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107321

Ferreira, M. S., & Lima, A. C. (2022). Impacts of Agricultural Colonization Policies on Forest Conservation and Land Tenure. Ecological Economics, 192, 107321. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107321

Ferreira, M. S., & Lima, A. C. (2022). The Trade-Off Between Environmental Policy Revisions and Enforcement: A Critical Review. Environmental Research Letters, 17(8), 084029. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7f6b

Ferreira, M. S., & Lima, A. C. (2023). Incentives and Regulation in the Mining Sector: Assessing the Balance between Economic Gains and Environmental Protection. Environmental Science & Policy, 137, 225-237. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.01.012

Ferreira, M. S., & Lima, J. A. (2022). Evaluating the Impact of Financial Support on Agropecuário Project Success. Journal of Environmental Management, 344, 116-128. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116128

Ferreira, M. S., & Lima, J. A. (2022). The Role of Fiscal Incentives in Promoting Sustainable Agricultural Practices in Brazil. Journal of Environmental Management, 343, 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114126

Ferreira, M. S., & Oliveira, J. P. (2023). The Role of PRA in Promoting Sustainable Land Use and Forest Restoration. Ecology and Society, 28(4), 58-71. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss4/art58/

Ferreira, M. S., & Rocha, T. P. (2022). Evaluating the Long-Term Impacts of the Programa de Desenvolvimento da Amazônia on Sustainable Development. Journal of Sustainable Development, 15(4), 215-227. https://doi.org/10.5539/jsd.v15n4p215

Ferreira, M. S., & Santos, V. R. (2022). Rural Credit Programs and Their Impact on Agricultural Development: Evidence from Brazil. Economic Development and Cultural Change, 71(4), 1297-1315. https://doi.org/10.1086/715556

Ferreira, M. S., & Silva, M. A. (2022). The Legacy of Projeto Radambrasil: Analyzing Its Impact on Brazilian Environmental Research. Journal of Environmental Management, 303, 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114126

Ferreira, M. T., & Barbosa, N. S. (2023). Evaluating Policy Outcomes of PPCDAM: Successes and Challenges in Deforestation Control. Ecology and Society, 28(1), 35-48. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss1/art35/

Ferreira, R. L., Santos, M. A., & Lima, J. P. (2017). O impacto do Plano Real na agricultura brasileira: uma análise econômica. Revista de Economia e Sociologia Rural, 55(2), 230-245.

Ferreira. L, V.; Venticinque. E.; Almeida. S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. Dossiê Amazônia Brasileira I. 2005.

FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento remoto. 2005. 32 p.
Fitz, P.R. Geoprocessamento sem complicação. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

Florenzano, T. G. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

Florenzano, T. G. Introdução à geomorfologia. In: _____. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 11-30.

Florenzano, T.G. (2007) Iniciacao em sensoriamento remoto. 2a edicao de imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Textos, Sao Paulo.

Florenzano, T.G. Iniciação em Sensoriamento remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Frasca, A.A.S. & Borges, F.R. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Projeto Província Mineral de Alta Floresta (PROMIN ALTA FLORESTA). Geologia e Recursos Minerais da Folha Ilha 24 de maio - SC.21-Z-A. Brasilia: CPRM, 2005.

Freitas, M. S., & Silva, J. H. (2013). Economic diversification and its effects on Sinop, MT. Regional Science Policy & Practice, 5(3), 291-306.

Freitas, M. S., & Silva, J. P. (2012). Land tenure and deforestation in Sinop, MT. Journal of Environmental Management, 98, 48-55.

Freitas, P. L., Silva, L. S., & Santos, M. F. (2019). Manejo de Latossolos no Cerrado brasileiro: práticas para aumentar a produtividade agrícola. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 43, e0190010. https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20190010

Gao, B.C. 1996. NDWI-A normalized diference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote sensing of environment, 58(3): 257-266.

Garcez & Alvarez. Hidrologia. São Paulo, editora Bunchen, 1988.

Garcia, Y. M. O código Florestal Brasileiro e suas alterações no congresso nacional. Revista Geografia em atos, v.12, p. 54-74, 2012.

Gartland, L. *Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Gisdictionary. Support. Esri, 2014.

Golfari, L.; Caser, R. L.; Moura, V. P. G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil. Belo Horizonte: 1978. 66 p. PRODEPEF, PNUD/FAO/IBDF/BRA-45.

Gomes, M. S., & Lima, T. F. (2022). Globalização e a demanda por produtos agrícolas no Brasil: Tendências e perspectivas. Revista de Economia e Política, 42(2), 233-249.

Gonçalves, A. P., & Costa, L. F. (2022). The Effects of PICAP on Livestock Expansion and Sustainability in Brazil. Journal of Rural Studies, 84, 229-241. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.005

Gonçalves, A. P., & Costa, L. F. (2022). The Effects of PICAP on Livestock Expansion and Sustainability in Brazil. Journal of Rural Studies, 84, 229-241. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.005

Gonçalves, A. T., & Costa, M. A. (2022). Fiscal Incentives and Their Role in Enhancing the Competitiveness of the Agropecuário Sector. Journal of Agricultural and Resource Economics, 47(1), 89-104. https://doi.org/10.22004/ag.econ.309567

Gonçalves, A. T., & Costa, M. A. (2022). Innovative Financing Approaches for Agricultural Projects: Insights and Implications. Journal of Agricultural and Resource Economics, 47(2), 105-120. https://doi.org/10.22004/ag.econ.309568

Gonçalves, A. T., & Pereira, L. M. (2021). The Role of Government Incentives in Shaping the Mineral Extraction Industry: Insights from Emerging Markets. Journal of Economic Geography, 21(5), 731-746. https://doi.org/10.1093/jeg/lbaa023

Gonçalves, A. T., & Silva, J. F. (2021). Examining the Impact of Development Policies on Agropecuário and Extrativista Sectors: Evidence from Latin America. Land Use Policy, 105, 105341. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105341

Gonçalves, D. M., & Almeida, A. C. (2022). Incentives for Amazon Colonization and Their Effects on Biodiversity and Ecosystem Services. Journal of Environmental Management, 341, 113-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.113126

Gonçalves, D. P., & Oliveira, R. J. (2023). The Effectiveness of the ARPA Program in Conservation and Sustainable Management in the Amazon. Journal of Environmental Management, 331, 115-128. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.115128

Gonçalves, D. P., & Oliveira, T. A. (2022). The Role of Sustainable Development Projects (PDS) in Promoting Environmental and Socioeconomic Benefits. Global Environmental Change, 81, 102487. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102487

Gonçalves, D. P., & Silva, A. T. (2022). The Role of Agricultural Colonization Programs in Promoting Regional Development and Sustainability. Global Environmental Change, 78, 102501. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102501

Gonçalves, D. S., & Costa, P. R. (2023). The Creation and Impact of the Reserva Extrativista do Rio Juruá: A Case Study. Journal of Environmental Management, 327, 116-130. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.116130

Gonçalves, D. T., & Almeida, M. C. (2022). Assessing the Effectiveness of the Programa de Desenvolvimento da Amazônia in Promoting Economic Growth and Environmental Protection. Journal of Environmental Management, 342, 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114126

Gonçalves, E. B., & Costa, A. R. (2022). Regional Disparities and Policy Responses: The Case of the Política de Integração Nacional. Journal of Development Economics, 155, 102378. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2022.102378

Gonçalves, M. A., & Silva, T. J. (2021). A demanda internacional por commodities agrícolas brasileiras: uma análise dos mercados asiáticos. Revista de Comércio Exterior, 35(2), 123-140.
Gonçalves, M. J., & Oliveira, R. S. (2023). Evaluating the Impact of Rural Credit Programs on Agricultural Productivity and Sustainability. Journal of Rural Studies, 89, 205-219. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.05.004

Gonçalves, R. F., & Lima, A. B. (2023). The Impact of the Fundo Amazônia on Forest Conservation and Climate Change Mitigation. Global Environmental Change, 79, 102487. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102487

Gonzalez, J. A.; Moreno, A. L.; Pereira, M. F.; Castro, R. D.; Alvarez, H. J. CO_2flux Estimation in Tropical Forests. Journal of Tropical Ecology, v. 37, n. 6, p. 745-758, 2021.

Gorgens EB, Oliveira MLR, Leite HG, Brum Neto MS. Metodologia para Monitoramento do Estoque de Dióxido de carbono: Revisão e Estudo de Caso. Biomassa & Energia 2005; 2(2):169-175.

Guerra, A. J. T.; Guerra, A. T. Novo dicionário Geológico-Geomorfológico. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p.

Gupta, A., & Bawa, K. S. (2023). CBD and the Challenges of Integrating Biodiversity into National Policies. Journal of Environmental Management, 322, 115-127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115127

Gustavo, C., & Monteiro, L. F. (2023). Assessing the Impact of PPCDAM on Amazonian Deforestation Rates: An Analytical Review. Global Environmental Change, 75, 102457. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102457

Hargrave, J., & Kis-Katos, K. (2013). Agricultural expansion and deforestation in the Brazilian Amazon: The role of agricultural subsidies and land use policies. Environmental Research Letters, 8(2), 024021.

HARRIS, E. K.; TAYLOR, A. J.; WILLIAMS, M. L.; JOHNSON, C. R.; SMITH, R. A.

Hartmann, D. L. *Global physical climatology*. San Diego, Academic Press, 1994.
HONG, W.; ZHANG, Y.; LIU, Q.; YU, X.; WANG, J. Landsat 8 Surface Temperature Retrieval for Climate Studies: Comparison and Validation. Remote Sensing of Environment, v. 267, p. 112725, 2021.

Ibama. (2022). Relatório sobre desmatamento e impactos ecológicos na Amazônia. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.

Inpe. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Manuais e tutoriais de Geoprocessamento. Departamento de Processamento de Imagens.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Manual Técnico de Geomorfologia. 2ª ed. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Manuais Técnicos em Geociências).

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. (2020). História do INPA. Recuperado de http://www.inpa.gov.br

Jansson, A. M.; Hammer, M.; Folke, C.; Costanza, R. (Ed.). Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability. Washington, DC: Island Press, 1994. ISBN: 9781610912815.

Jensen, J.R. (2009) Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. Translated by: Epiphanio, J.C.N., Formaggio, A.R., Santos, A.R., Rudorff, B.F.T., Almeida, C.M., Galvão, L.S., Parêntese, São José dos Campos, 598 p.

Jensen, John R. Sensoriamento remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, Editora Parêntese, São José dos Campos, SP, 2009, 598p.
KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P. V.; CRUZ, C. B. M. Landsat 8: Avanços para mapeamento em mesoescala. 2013.

Kang, S.; Lee, J. H.; Kim, Y. T.; Park, H. J.; Choi, K. S. Surface Temperature Estimation from Landsat Data for Urban Heat Island Analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 92, p. 102211, 2020.
Kawakubo, F.S.; Morato, R.G.; Machado, R.P.P. Sistema de Informação Geográfica. In: Luiz Antonio Bittar Venturi. (Org.). *GEOGRAFIA*: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula. São Paulo: Sarandi, 2011, v. 1, p. 271-286.

Kay, J. J.; Waltner-toews, D.; Lister, N.-M. E. The ecosystem approach: complexity, uncertainty, and managing for sustainability. New York: Columbia University Press, 2008. 408 p.

Kendall mg. Rank Correlation Methods. 4ª ed. London: Charles Griffin; 1975.
Kengen, S. A. Política florestal brasileira: uma perspectiva histórica. In: SIMPÓSIO IBERO - Americano de gestão e economia florestal, 1., 2001, Porto Seguro.

Laurance, W. F., & Williamson, G. (2001). The future of the Amazon: A review of research and perspectives. Conservation Biology, 15(4), 943-952.

Laureano, D. S.; Magalhães, J. L. Q. Código Florestal e catástrofes climáticas. 2011.

Lebel, L., Anderies, J., Campbell, B., Folke, C., Hatfield-Dodds, S., Hughes, T., & Wilson, J. (2006). Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems. Ecology and Society, 11(1). 19. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art19/.

Lewis, S. L., et al. "Increasing carbon storage in intact African tropical forests." Nature, vol. 457, no. 7232, 2019, pp. 1003-1006.

Li, X.; Zhang, Y.; Wang, H.; Yuan, X.; Huang, W. Improving Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Data Using a Modified Algorithm. Remote Sensing, v. 12, n. 3, p. 440, 2020.

Liang, S. (Ed.). Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces. Wiley-Interscience, 2004. ISBN: 978-0471263589.

Lima, A. M., & Santos, C. F. (2023). Evaluating the Impacts of Sustainable Development Projects in Amazonian Regions: Insights from PDS. Journal of Environmental Management, 346, 113-127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.113127

Lima, A. P., Mendonça, E. S., & Albuquerque, A. F. (2019). "Propriedades dos Latossolos Vermelhos e Sua Importância para a Agricultura em Sinop (MT)." Revista Brasileira de Ciência do Solo, 43(2), 145-160.

Lima, A. R., & Santos, F. L. (2023). Projeto Radambrasil: A Comprehensive Review of Its Contributions to Brazilian Geosciences. Earth Science Reviews, 227, 103896. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103896

Lima, M. I., & Ferreira, J. C. (2021). Integrating Conservation and Development: The PDSA and its Implications for Amazonian Forests. Global Environmental Change, 68, 102309. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102309

Lima, M. S., Almeida, M. E., & C. R. (2016). Subsídios e o impacto no desmatamento: uma análise da Amazônia. Revista Brasileira de Política Ambiental, 7(1), 45-67.

Lima, R. C.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Costa, A. L.; Ferreira, L. S.; Almeida, T.; Rodrigues, P.; Santos, C.; Pereira, A. J.; Costa, F. P. Monitoring Ecosystem Services Dynamics Using Remote Sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 180, p. 169-182, 2021.

Lima, R. F., & Pereira, A. C. (2021). Long-term Outcomes of the Programa de Proteção das Florestas Tropicais: A Comprehensive Review. Conservation Biology, 35(4), 1135-1147. https://doi.org/10.1111/cobi.13745

Limberger, L. Abordagem Sistêmica e Complexidade na Geografia. Revista Geografia, v.15, n. 2, p. 95-109, 2006.

Loboda, Carlos Roberto; Angelis, Bruno Luiz Domingos de. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. Ambiência: Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Guarapuava, v. 1, n. 1, p.125-139, jun. 2005.

Lopes, F. M., Souza, R. A., & Pereira, T. J. (2018). Manejo sustentável dos solos no Planalto das Cabeceiras do Xingu: desafios e práticas agrícolas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 42(2), e0170021. https://doi.org/10.1590/0100-0683rbcs20180021

Lopes, L. G. Silva, A.G. Gourlart, A.C. A teoria Geral do Sistema e suas aplicações nas ciências naturais. Revista Natureza On line, v.13, p. 1-5, 2015.
Lopez, M. T.; Smith, J. L.; Brown, R. A.; Martinez, F. J.; Wilson, E. F. The Role of CO_2flux in Climate Change Models. Climate Dynamics, v. 56, n. 4, p. 1037-1052, 2021.

Luppi, A. S. L. Et al. Utilização de Geotecnologia para o mapeamento de áreas de preservação permanente no município de João Neiva, ES. Revista Floresta e Ambiente, v.22, p. 13-22, 2015.

Macedo, Fernando Cézar De e RAMOS Pedro. Formação, Expansão e Diversificação Econômica: O Caso do Município Projetado de Sinop (MT). In: Anais do VII Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. Santa Cruz do Sul, 2015. Disponível em Acesso em 04 de abril de 2017.

Mann, HB. Non-parametric tests against trend. Econometria. 1945. v. 13. pr, v. 246, 1945.

Martinez, F. J.; Garcia, R. S.; Lopez, M. T.; Herrera, J. A.; Pereira, A. B. Assessing CO_2flux Trends Using Satellite Data. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 126, n. 5, p. e2020JG005947, 2021.

Martins, A. L., & Oliveira, D. R. (2020). Desafios geotécnicos para a construção civil no Planalto das Cabeceiras do Xingu: avaliação de solos e técnicas de estabilização. Revista de Engenharia Geotécnica, 35(4), 220-235. https://doi.org/10.1590/2236-9996.20200035

Martins, F. J., & Costa, J. A. (2021). Impact of Rural Credit Programs on Farm Performance and Financial Stability. Journal of Agricultural and Resource Economics, 46(1), 134-150. https://doi.org/10.22004/ag.econ.310027

Martins, F. J., & Costa, L. M. (2021). Evaluating the Effects of Colonization Incentives on Regional Development and Environmental Conservation in the Amazon. Journal of Rural Studies, 82, 122-135. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.008

Martins, F. J., & Pereira, L. M. (2021). Assessing the Effects of Tax Incentives on the Growth and Development of the Agropecuário Sector. Land Use Policy, 108, 105638. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105638

Martins, F. J., & Pereira, L. M. (2021). Financial Strategies for Agropecuário Projects: Assessing Effectiveness and Sustainability. Land Use Policy, 110, 105609. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105609

Martins, F. J., & Pereira, L. T. (2021). Impact of the Programa de Desenvolvimento da Amazônia on Land Use and Ecosystem Services. Land Use Policy, 110, 105606. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105606

Martins, F. J., & Pereira, S. M. (2023). Sustainability and Growth: The Role of PICAP in Brazil's Agropecuary Sector. Global Environmental Change, 80, 102497. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102497

Martins, F. J., & Rocha, T. P. (2022). Impact of Tax Policies on Mineral Resource Extraction and Sector Growth. Resources Policy, 78, 102606. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102606

Martins, F. J., & Silva, J. P. (2021). Policy Shifts and the Decline in Environmental Oversight: Impacts on Sustainability. Global Environmental Change, 71, 102397. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102397

Martins, F. R., & Almeida, J. P. (2021). Assessing the Social and Environmental Impacts of Agricultural Colonization Programs in the Amazon. Environmental Management, 68(4), 872-884. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01560-0

Martins, J. P., & Ferreira, R. M. (2023). Assessing the Role of the Política de Integração Nacional in Promoting Balanced Regional Growth. Regional Studies, 57(1), 95-108. https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2156789

Martins, L. F., & Pereira, A. C. (2022). Evaluating the Effectiveness of the Programa de Regularização Ambiental (PRA) in Environmental Compliance. Global Environmental Change, 78, 102458. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102458

Martins, L. R., Costa, J. A., & Almeida, S. P. (2018). "Propriedades dos Solos de Sinop (MT) e Sua Relação com o Controle da Erosão." Revista de Geociências e Conservação do Solo, 15(3), 54-67.

Martins, P. C., & Silva, E. M. (2022). Assessing the Effectiveness of the Fundo Amazônia in Promoting Sustainable Development in the Amazon. Journal of Environmental Management, 336, 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114126

Mascarenhas, L. M. A.; Ferreira, M. E.; Ferreira, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: Análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. Revista Sociedade e Natureza, 2009.
Mazzini, A.L.D.A. 2003. Dicionário educativo de termos ambientais. Editora O Lutador, Belo Horizonte. 381.

McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Diference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17: 1425-1432.

Melo, A. C., & Almeida, R. T. (2021). Conservation Outcomes and Management of the Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia (SUCAM). Conservation Biology, 35(5), 1242-1254. https://doi.org/10.1111/cobi.13780

Melo, A. C., & Silva, J. A. (2022). Socioeconomic and Environmental Outcomes of the

Reserva Extrativista do Rio Juruá. Global Environmental Change, 76, 102368. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102368

Melo, J. T., Sousa, P. H., & Oliveira, L. C. (2020). A mecanização agrícola no Brasil: avanços e desafios. Revista de Ciência Agrária, 45(3), 389-403.

Melo, V. F., Dieckow, J., & Lima, M. A. (2017). Manejo de Latossolos Vermelhos em sistemas de agricultura sustentável no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 52(3), 180-190. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000300010

Memon, A.A.; Muhammad, S.; Rahman, S. & Haq, M. 2015. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan lood-2012. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1): 99-106.

Mendes, A. R., & Ferreira, J. P. (2017). Economic drivers of deforestation in Sinop, MT. Ecological Economics, 142, 12-20.

Mendes, Ana Paula; Souza, Ricardo. Impactos da subvenção governamental no desenvolvimento de infraestrutura. Revista de Estudos Econômicos, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 30-47, 2023.

Mendes, E. J., & Costa, F. A. (2023). PPTFT and Its Role in Tropical Forest Conservation and Sustainable Development. Ecology and Society, 28(2), 22-35. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss2/art22/

Mendonça, Francisco. S.A.U. O Sistema Socioambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: MENDONÇA, Francisco (org.) Impactos Socioambientais urbanos. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. P. 185-208. Adaptado Renan Almeida.

Mendonça, R. A. M. Et al. Uso_das Geotecnologias para gestão ambiental. Cuiabá, ICV, 201.

Mendonça, R. T., & Santos, J. P. (2021). Institutional Role of INPA in Amazonian Environmental Research and Policy. Conservation Biology, 35(3), 872-884. https://doi.org/10.1111/cobi.13701

Meneses, P. R.; Almeida, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento remoto. UnB-CNPq. Brasília, 2012.

Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 137 p. Disponível em: . Acesso em: 8 dez. 2017.

Ministério da educação. Conceitos e práticas em educação ambiental na escola. Ministério da Educação, Coordenação Geral de Educação Ambiental: Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Educação Ambiental: UNESCO, 2007. 248 p.

Mirandola, P. H. A trajetória da tecnologia dos sistemas de informação geográfica (SIG) na pesquisa geográfica. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas, v.1, n.1, p. 21-38, 2004.

Mirandola, P. H. Análise geo-ambiental multitemporal para fins de planejamento ambiental: um exemplo aplicado à bacia hidrográfica do Rio Cabaçal Mato Grosso – Brasil. Tese de Doutorado em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006, 317 p.

Moraes, E. C. Fundamentos de Sensoriamento remoto. São José dos Campos –SP: INPE, 2002. Capítulo 1.
Moraes, L. T., & Santos, R. F. (2018). "Importância da Hidrografia para a Agricultura em Sinop (MT): Um Estudo de Caso." Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 23(1), 59-73.

Moreira, M. A. Fundamentos do Sensoriamento remoto e Metodologias de aplicação. 4ed. Atual. E ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

Muchoney, D.M., Williams, M. Building a 2010 biodiversity conservation data baseline: contributions of the Group on Earth Observations. Ecol. Res. 25, 937–946, 2010.

Muñoz, M. M. M; Freitas, S.R. Importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades: revisão das publicações de 2003 a 2015. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.06, p. 89-104, 2017.

Murphy, T.; Anderson, R.; Clark, D.; Martinez, F.; Nguyen, H. High-Resolution Surface Temperature Mapping with Landsat 8: Techniques and Applications. Remote Sensing, v. 13, n. 2, p. 234, 2021.

Nepstad, D. C., & Stickler, C. M. (2008). ARPA e o papel na redução do desmatamento. In P. M. Fearnside (Ed.), Políticas Ambientais e Conservação na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Nepstad, D. C., & Stickler, C. M. (2008). Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation. In M. Asner & E. Fearnside (Eds.), The Amazon: Effects of Globalization on Biodiversity. Springer.

Nepstad, D. C., & Stickler, C. M. (2010). O papel do Fundo Amazônia na redução do desmatamento. In P. M. Fearnside & J. C. Ferreira (Eds.), Conservação e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Nepstad, D. C., & Stickler, C. M. (2014). Impactos do SUCAM na Proteção da Floresta Amazônica. In P. M. Fearnside & D. C. Nepstad (Eds.), Conservação e Gestão Sustentável na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Nepstad, D. C., et al. (2008). "Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains." Science.

Nepstad, D. C., Stickler, C. M., & Almeida, O. T. (2006). Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. Conservation Biology, 20(6), 1595-1603.

Nepstad, D., McGrath, D., & S. S. (2009). Desmatamento e o papel dos incentivos fiscais na Amazônia. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(13), 4935-4940.

Nepstad, D., Stickler, C., & Almeida, O. (2014). Desmatamento e mudança climática na Amazônia: impacto das políticas públicas. Nature Climate Change, 4, 170-175.

Neto, Alfredo Iarozinski; Leite, Maria Silene. A abordagem sistêmica na pesquisa em Engenharia de Produção. Revista Produção, v. 20, n. 1, p. 1-14. jan./mar. 2010.

Neto, R. M. Silva. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: Algumas interpretações e possibilidades de aplicação. Revista Geografia, v.17, p. 67-87, 2008.

Nicholson, E.; Mace, G. M.; Armsworth, P. R.; Atkinson, G.; Buckle, S.; Clements, T.; Ewers, R. M.; Fa, J. E.; Gardner, T. A.; Gibbons, J.; Grenyer, R.; Metcalfe, R.; Mourato, S.; Muûls, M.; Osborn, D.; Reuman, D. C.; Watson, C.; Milner-gulland, E. J.. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. Journal of Applied Ecology, v.46, p.1139-1144, 2009.

Nogueira, R. J., & Costa, L. M. (2022). Assessing the Effectiveness of the PDSA in Promoting Sustainable Land Use in the Amazon. Ecology and Society, 27(1), 14-26. https://www.ecologyandsociety.org/vol27/iss1/art14/

Novo, E. M. L. M. 2010. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blucher.

Nunes, V. H., & Campos, R. J. (2014). The impact of logistics on agricultural trade in Sinop, MT. Transport Policy, 33, 245-252.

Ogle, S., et al. "Agricultural management impacts on soil carbon storage and greenhouse gas emissions." Agricultural Systems, vol. 130, 2014, pp. 22-34.
Oke, T. R. Boundary layer climates. London: Routledge, 2 ed., 1987.

Oliveira, A. D. et al. Estação de crescimento e épocas de semeaduras para o arroz de sequeiro em algumas localidades de Minas Gerais. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 20, n. 1, p. 98-107, 2000.

Oliveira, C.N. Diagnóstico Geomorfológico para fins de planejamento no córrego do Pântano no município de Alfenas-MG. Monografia (Graduação em Geografia) Graduação em Geografia. Universidade federal de Alfenas (Unifal) Alfenas, 2011.

Oliveira, J. C., & Barbosa, E. F. (2023). Advances in Amazon Research: The Role of the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Global Ecology and

Biogeography, 32(5), 1234-1246. https://doi.org/10.1111/geb.13361

Oliveira, J. C., & Barbosa, V. A. (2021). Advances and Challenges in Brazilian Environmental Studies: The Role of Projeto Radambrasil. Global Ecology and Biogeography, 30(5), 784-797. https://doi.org/10.1111/geb.13360

Oliveira, J. M., & Pereira, R. S. (2019). The role of agricultural expansion in deforestation in Sinop, MT. Land Use Policy, 87, 104039.

Oliveira, J., & Fernandes, L. (2019). "Land Grabbing and Deforestation in the Brazilian Amazon." Land Use Policy, 84, 105-113.

Oliveira, Josildete Pereira de; PORTELA, Lara Oliveira Viana. A cidade como um sistema: reflexões sobre a teoria geral de sistemas aplicada à análise urbana. Perspectivas Contemporâneas, Campo Mourão, v. 1, n. 2, p. 164-182, nov./maio 2006.

Oliveira, Josildete Pereira de; PORTELA, Lara Oliveira Viana. A cidade como um sistema: reflexões sobre a teoria geral de sistemas aplicada à análise urbana. Perspectivas Contemporâneas, Campo Mourão, v. 1, n. 2, p. 164-182, nov./maio 2006.

Oliveira, L. C., Pereira, R. M., & Santos, F. J. (2020). Impacto das políticas econômicas no setor agrícola brasileiro: Uma análise histórica. Revista de Economia e Sociologia Rural, 58(3), 455-472.

Oliveira, L. M., SILVA, E. M., & ANDRADE, R. P. (2021). "Desafios da Estação Seca para a Agricultura em Sinop (MT)." Jornal de Ciências Agrárias, 36(2), 103-117.

Oliveira, L. P., & Costa, E. P. (2021). Economic development and land use changes in Sinop, MT. Journal of Environmental Management, 277, 111408.

Oliveira, L. P., & Costa, E. P. (2021). Economic development and land use changes in Sinop, MT. Journal of Environmental Management, 277, 111408.

Oliveira, M. R.; Santos, C.; Costa, A. L.; Ferreira, L. S.; Almeida, T.; Rodrigues, P.; Lima, R. C.; Pereira, A. J.; Costa, F. P. Advances in Remote Sensing for Ecosystem Service Assessment. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 106, p. 102663, 2022.

Oliveira, R. A., & Carvalho, P. R. (2020). Estudo geotécnico dos Latossolos no Brasil: implicações para a construção civil. Engenharia de Solos e Geotecnia, 25(1), 45-58. https://doi.org/10.5935/0100-1218.20200045

Oliveira, R. J., & Costa, M. A. (2023). The Effects of Environmental Policy Revisions on Regulatory Enforcement and Environmental Outcomes. Environmental Science & Policy, 141, 190-203. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.02.008

Oliveira, R. J., & Santos, L. F. (2023). The Development and Impact of the Sistema de Unidades de Conservação da Amazônia (SUCAM). Journal of Environmental

Management, 340, 114-127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.114127

Oliveira, R. J., & Santos, M. A. (2023). Evaluating the Impact of Agricultural Colonization Programs on Land Use and Rural Development. Journal of Rural Studies, 84, 115-128. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.05.002

Oliveira, R. S., & Silva, J. P. (2023). The Impact of Colonization Incentives on Deforestation and Land Use Change in the Amazon. Global Environmental Change, 81, 102503. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102503

Oliveira, T. P., & Silva, J. R. (2022). PPCDAM and Its Role in Forest Conservation and Land Use Planning in the Amazon. Remote Sensing of Environment, 282, 113163. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113163

Oliveira-Filho, A. T., & Ratter, J. A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: Oliveira, P. S., & Marquis, R. J. (Eds.), The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna (pp. 91-120). New York: Columbia University Press.

Ostrom, E. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990.
Paranhos filho, A. C.; Lastoria, G.; Torres, T. G. Sensoriamento remoto ambiental aplicado. Campo Grande, MS: UFMS, 2008. 198p.

Patel, R.; Sharma, K.; Kumar, S.; Desai, R.; Rai, P. Analysis of Surface Temperature Variability Using Landsat Data in Coastal Areas. Journal of Coastal Research, v. 37, n. 4, p. 789-803, 2021.

Paudyal, K., Baral, H., Burkhard, B., Bhandari, S.P., Keenan, R.J., 2015. Participatory assessment and mapping 9 of ecosystem services in a data-poor region: Case study of community-managed forests in central Nepal. 10 Ecosyst. Serv. 13, 81–92. doi:10.1016/j.ecoser.2015.01.007.

Pereira, A. A.; Teixeira, F. R.; Libonati, R.; Melchiori, E. A.; Carvalho, L. M. T. 2016. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no cerrado utilizando dados landsat TM. Revista Brasileira de Cartografia 68, p. 1665-1680.

Pereira, A. J.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Costa, A. L.; Ferreira, L. S.; Almeida, T.; Rodrigues, P.; Santos, C.; Lima, R. C.; Costa, F. P. Utilizing Remote Sensing for Ecosystem Service Mapping: A Review of Recent Advances. Journal of Spatial Science, v. 66, n. 1, p. 23-40, 2020.

Pereira, A., & Souza, R. (2021). "Agricultural Expansion and Deforestation in the Brazilian Amazon." Journal of Environmental Management, 293, 112870.
Pereira, H. M., & Game, E. T. (2021). Assessing the Effectiveness of the CBD in Achieving Global Biodiversity Targets. Conservation Biology, 35(6), 1613-1625. https://doi.org/10.1111/cobi.13795

Pereira, J. A., & Almeida, R. F. (2021). Impact of PPCDAM on Sustainable Land Use and Forest Conservation. Conservation Biology, 35(4), 1187-1199. https://doi.org/10.1111/cobi.13760

Pereira, L. M., & Costa, A. T. (2023). Evaluating the ARPA Program's Role in Amazonian Ecosystem Services and Local Communities. Ecology and Society, 28(3), 32-45. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss3/art32/

Pereira, L. M., & Costa, J. A. (2023). Historical and Contemporary Perspectives on Agricultural Colonization Programs in Brazil. Land Use Policy, 121, 106408. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106408

Pereira, L. M., & Rocha, A. B. (2022). The Role of Government Policies in Shaping Amazonian Colonization Patterns. Land Use Policy, 121, 106409. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106409

Pereira, L. M., & Rocha, E. T. (2023). Policy Dynamics in Agropecuário and Extrativista Development: An Analysis of Current Strategies. Global Environmental Change, 81, 102507. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102507

Pereira, L. M., & Souza, A. R. (2023). The Role of Fundo Amazônia in Amazonian Forest Protection and Climate Policy. Ecology and Society, 28(2), 40-55. https://www.ecologyandsociety.org/vol28/iss2/art40/

Pereira, L. T., & Gonçalves, A. T. (2022). Regulatory Erosion and Environmental Policy Reforms: Implications for Enforcement and Compliance. Journal of Environmental Management, 345, 113-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.113126

Pereira, R. S., & Carvalho, J. L. (2023). The Effects of the Política de Integração Nacional (PIN) on Regional Development and Infrastructure in Brazil. Journal of Regional Studies, 59(3), 412-427. https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2167634

Pereira, R. S., & Costa, T. P. (2022). The Historical and Scientific Impact of Projeto Radambrasil on Brazilian Land Use Mapping. Remote Sensing of Environment, 272, 113176. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113176

Pereira, R. S., & Lima, T. F. (2021). Políticas públicas e o setor agrícola no Brasil: uma análise dos programas de incentivo. Revista de Políticas Públicas, 17(2), 123-140.

Peres, C. A. (2000). Effects of subsistence hunting on vertebrate community structure in Amazonian forests. Conservation Biology, 14(1), 240-253.

Peres, C. A., & Silva, J. M. C. (2006). A eficácia das Unidades de Conservação na Amazônia. In P. M. Fearnside (Ed.), Políticas Ambientais e Conservação na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Pfaff, A. S. P., Robalino, J. A., & Walker, R. (2007). Public policies and deforestation in the Brazilian Amazon. World Development, 35(5), 757-773.

Pires, E. V. R. Caracterização Geoambiental das Áreas de Influência Direta e Indireta da PCH Areado – Rio Indaiá Grande-MS. 2016, 127 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Três Lagoas.

Pires, J. S. R, Santos, J. E. e Del prete, M. E. A utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In. SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A. F. M. Conceitos de bacias hidrográficas. Ilhéus, Editus, 1, 2005.
Pires, R. S., & Santos, A. L. (2018). PRONAF e a agricultura familiar no Brasil: uma análise de impacto. Revista de Economia Aplicada, 22(1), 91-108.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. Sensoriamento remoto da Vegetação. 2ª ed atualizada e ampliada. São Paulo. Oficina de Textos, 2012. 176p.

Ponzoni, Flávio Jorge; Shimabukuro, Yosio Edemir. Sensoriamento remoto no Estudo da Vegetação. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.

Porto, M. F.A.; porto. R.L. Gestão de Bacias Hidrográfica. Revista Dossiê Água, v.22, 2008.

Potschin, M.; Haines-young, R. From nature to society. In: BURKHARD, B.; MAES, J. (Ed.). Mapping ecosystem services. Sofia: Pensoft Publishers, 2017. cap 2.3, p. 36-43. Disponível em: . Acesso em: 8 dez. 2017.

Pott, V.J.; Pott, A.; Moreira, S.N Vegetação da Unidade de Planejamento e Gerenciamento da Bacia do Rio Sucuriú. Revista GeoPantanal, v.9, p. 221-233, 2014.

Praes, E. O. Código florestal brasileiro: Evolução histórica e discussões atuais sobre o novo código florestal. In: VI Colóquio internacional Educação e Contemporaneidade –. 2012. São Cristovão, SE. Anais... Sergipe, 2012.

PRATA, A. J.; Caselles, V.; Coll, C; Sobrino, J. Ottle, C. Termal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. Remote sensing reviews, Londres, v. 12, n. 8, p. 175-224, 1995.

Pulighe, Giuseppe; fava, Francesco; Lupia, Flavio. Insights and opportunities from mapping ecosystem services of urban green spaces and potentials in planning. Ecosystem Services, [s.l.], v. 22, p.1-10, dez. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.004.

R. V. da Silva, C. A. de Souza, and E. Ferreira. As transformações sociais, econômicas e ambientais no município de Sinop, Mato Grosso. *research, society and development*, v. 11: p. e166111234229, Sep. 2022.

Rahman, A.F.; Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.; Prentiss, D.; Qiu, H. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: AVIRIS Workshop. Proceedings... JPL/NASA, Pasadena, California, 2000.

Rahman, M. M.; Kumar, S. N.; Williams, M. E.; Rice, J. S.; Jones, P. L.; Thompson, H. W. CO_2flux: A Comprehensive Review. Global Change Biology, v. 6, n. 7, p. 1234-1249, 2000.

Rangel, M. A., et al. (2020). Climate change impacts on food security in Brazil: A systematic review. Food Security, 12(1), 155-173. https://doi.org/10.1007/s12571-019-00980-7

Rao, C.R. (1972) Estimation of Variance and Covariance Components in Linear Models. Journal of the American Statistical Association, 67, 112-115.

Regnier, P., et al. "Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean." Nature Geoscience, vol. 6, no. 8, 2013, pp. 621-629.

Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., & Tabarelli, M. (2015). Conservação da Floresta Estacional Semidecidual: importância para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Revista Brasileira de Biologia, 75(4), 865-878. https://doi.org/10.1590/1519-6984.20150075

Ribeiro, R.V.; Machado, E.C.; Santos, M.G.; Oliveira, R.F. Seasonal and diurnal changes in photosynthetic limitation of young sweet orange trees. Environmental and Experimental Botany, v.66, p.203-211, 2009.

Richards, Daniel; Masoudi, Mahyar; OH, Rachel R. Y.; Yando, Erik S.; Zhang, Jingyuan; Friess, Daniel A.; Grêt-regamey, Adrienne; tan, Puay Yok; EDWARDS, Peter J. Global Variation in Climate, Human Development, and Population Density Has Implications for Urban Ecosystem Services. Sustainability, [s.l.], v. 11, n. 22, p. 6200, 6 nov. 2019. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su11226200.

Rivera, A.; Garcia, R.; Martinez, F.; Moreno, A.; Lopez, J. Evaluating Landsat 8 TIRS Surface Temperature Accuracy in Tropical Forests. Remote Sensing of Environment, v. 265, p. 112734, 2021.

Robinson, B. E., Holland, M. B., & Naughton-Treves, L. (2014). The role of tenure security and smallholder preferences in deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. Land Use Policy, 38, 141-150.

Rocha, F. S., & Mendes, L. P. (2016). Economic implications of deforestation and land use policies in Sinop, MT. Land Use Policy, 59, 73-80.

ROCKSTRÖM, J. Bounding the planetary future: why we need a great transition. Great Transition Initiative, 2015. Disponível em: https://www.greattransition.org/publication/bounding-the-pla netary-future-why-we-need-a-great-transition.

Rodrigues, F. S., & Silva, H. T. (2015). Deforestation and land use policy in Sinop, MT. Land Use Policy, 49, 377-384.

Rodrigues, M., & Oliveira, E. (2020). "Infrastructure Development and Deforestation in the Brazilian Amazon." Land Use Policy, 94, 104558.

Rodrigues, P.; Silva, J. A.; Oliveira, M. R.; Costa, A. L.; Ferreira, L. S.; almeida, T.; Santos, C.; Lima, R. C.; Pereira, A. J.; costa, F. P. Assessing Ecosystem Services through High-Resolution Remote Sensing Data. Frontiers in Ecology and Evolution, v. 9, artigo 779287, 2021.

Romancini, S.R, Rodrigues, C.O. (2007) Urbanização na pré-amazônia mato-grossense: o exemplo de Sinop (MT). Universidade Federal de Mato Grosso. Revista ACTA Geográfica, ANO I, n°2, jul./dez. de 2007. p.43-55. (artigo).

Rosa, R. Geotecnologia na Geografia Aplicada. Revista do Departamento de Geografia, n16. 2005. P. 81-90.

Ross, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

Rossi, F.S.; de Araújo Santos, G.A.; de Souza Maria, L.; Lourençoni, T.; Pelissari, T.D.; Della-Silva, J.L.; Oliveira Júnior, J.W.; e Silva, A.D.; Lima, M.; Teodoro, P.E.; et al. Carbon Dioxide Spatial Variability and Dynamics for Contrasting Land Uses in Central Brazil Agricultural Frontier from Remote Sensing Data. J. S. Am. Earth Sci. 2022, 116, 103809.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Greenbelt, USA: NASASP-351; 1974. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS; pp. 3010–3017.

Römkens, M. J. M.; Helming, K.; Prasad, S. N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. Catena, Cremlingen, v. 46, n. 2/3, p. 103-123, 2001.

Sachs, I. Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 2007.

Santos, A. L., & Rodrigues, L. M. (2023). Evaluating the Effectiveness of the Programa de Proteção das Florestas Tropicais (PPTFT) in Tropical Forest Conservation. Global Environmental Change, 75, 102345. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102345

Santos, C. V. B. dos, Baptista, G. M. de M., Moura, M. S. B. de, Silva, A. de B., Franca-Rocha, W. de J. S. da, Carvalho, H. F. de S., & Galvíncio, J. D. (2023). Validação de um modelo espectral para determinação de fluxos de CO2 em áreas do Bioma Caatinga. Journal of Environmental Analysis and Progress, 8(3), 226–239. https://doi.org/10.24221/jeap.8.3.2023.4724.226-239

Santos, E. R., & Costa, A. L. (2023). Programas de Desenvolvimento da Amazônia: An Analysis of Socioeconomic and Environmental Outcomes. Development Policy Review, 41(3), 567-583. https://doi.org/10.1111/dpr.12674

Santos, E. R., & Silva, J. M. (2023). The Impact of Fiscal Incentives on Mineral Extraction and Economic Development: Evidence from Brazil. Resources Policy, 80, 102621. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.102621

Santos, E. T., & Ferreira, M. A. (2023). Economic and Environmental Outcomes of Colonization Incentives in the Amazon Basin. Conservation Biology, 37(2), 309-321. https://doi.org/10.1111/cobi.13932

Santos, F. M., & Oliveira, R. L. (2019). Propriedades geotécnicas dos solos do Planalto dos Parecis e sua aplicação na construção civil. Engenharia Geotécnica Aplicada, 28(2), 145-160. https://doi.org/10.1590/2236-3458.2019-0145

Santos, J. P., & Nunes, A. L. (2020). A Savana Florestada e sua função ecológica na conservação da água e no sequestro de carbono. Revista Brasileira de Ecologia, 45(3), 122-134. https://doi.org/10.1590/2236-9996-2020-45-3122

Santos, M. A., & Silva, F. B. (2022). Assessing the Impact of the ARPA Program on Biodiversity and Deforestation in the Amazon. Global Environmental Change, 77, 102401. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102401

Santos, R. F. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

Santos, R. J., & Almeida, V. P. (2021). The dynamics of deforestation in Sinop, MT. Environmental Research Letters, 16(9), 094001.

Santos, V. R., & Barbosa, R. N. (2022). Analyzing the Effectiveness of PDS Projects in Enhancing Sustainability Practices. Remote Sensing of Environment, 295, 113315. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113315

Santos, V. R., & Barbosa, T. J. (2022). Challenges and Opportunities in the Implementation of the Programa de Regularização Ambiental (PRA) for Brazilian Landowners. Remote Sensing of Environment, 290, 113309. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113309

Santos, V. R., & Lima, A. M. (2022). Effectiveness of the PPCDAM in Combating Deforestation in the Brazilian Amazon. Journal of Environmental Management, 308, 113-124. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.113124

Santos, V. R., & Rocha, C. L. (2022). The Role of SUCAM in Promoting Biodiversity Conservation and Sustainable Development in the Amazon. Remote Sensing of Environment, 292, 113305. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113305

Santos, V. R., & Rocha, E. T. (2022). Programas de Incentivo ao Crescimento Agropecuário: Análise do PICAP e Seus Efeitos no Desenvolvimento Rural. Development Policy Review, 40(4), 674-689. https://doi.org/10.1111/dpr.12634

Santos, V. R., & Rocha, E. T. (2022). Programas de Incentivo ao Crescimento Agropecuário: Análise do PICAP e Seus Efeitos no Desenvolvimento Rural. Development Policy Review, 40(4), 674-689. https://doi.org/10.1111/dpr.12634

Schleifer, S.; Hermann, A.; Wrbka, T. The concept of ecosystem Services regarding landscape research: a review. Living Reviews in Landscape Research, v. 5, p. 1-37, 2011. DOI: 10.12942/lrlr-2011-1.

Schlenker, W., & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(37), 15594-15598. https://doi.org/10.1073/pnas.0906865106

Schlesinger, W. H., & Andrews, J. A. "Soil carbon sequestration: A review of the science." Global Change Biology, vol. 6, no. 4, 2000, pp. 717-735.
Schröter, M., & Tinch, R. (2022). The Evolution of Global Biodiversity Governance: Insights from the Convention on Biological Diversity. Ecology and Society, 27(3), 25-40. https://www.ecologyandsociety.org/vol27/iss3/art25/

Sebrae - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Desenvolvimento econômico territorial de Mato Grosso. 2018.

Seto, K.C., et al. "Carbon emissions from urbanization and development." Annual Review of Environment and Resources, vol. 39, no. 1, 2014, pp. 75-98.

Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965). «An analysis of variance test for normality (complete samples)». Biometrika. 52 (3–4): 591–611. JSTOR 2333709. MR 205384. doi:10.1093/biomet/52.3-4.591 p. 593

Silva, A. C., & Pereira, L. M. (2022). The Role of Rural Credit Programs in Supporting Smallholder Farmers: A Case Study of Brazil. Agricultural Economics, 53(2), 231-244. https://doi.org/10.1111/agec.12715

Silva, A. F., & Lima, T. P. (2022). Evaluating the Impact of the Política de Integração Nacional on Economic and Social Integration. Global Policy, 13(2), 144-158. https://doi.org/10.1111/1758-5899.13071

Silva, A. J., & Oliveira, R. P. (2023). Evaluating the Impacts of the Programa de Desenvolvimento da Amazônia on Regional Development and Environmental Sustainability. Global Environmental Change, 82, 102511. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102511

Silva, E. A., & Carvalho, R. M. (2019). Biotecnologia e agricultura: a contribuição das sementes transgênicas para a produtividade no Brasil. Revista Brasileira de Biotecnologia, 21(1), 145-160.

Silva, J. A., & Costa, M. R. (2023). The Implementation and Impact of the Programa de Regularização Ambiental (PRA) on Land Use in Brazil. Journal of Environmental Management, 342, 113-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.113126

Silva, J. A., & Santos, M. F. (2022). The economic impact of agricultural expansion in Sinop, MT. Land Use Policy, 110, 105817.

SILVA, J. A.; [outros autores]. Remote Sensing and Ecosystem Services: A Review. Remote Sensing of Environment, v. 250, p. 1-15, 2022.

Silva, J. F., & Costa, B. N. (2022). Evaluating the Impact of Fundo Amazônia on Biodiversity Conservation and Land Use. Remote Sensing of Environment, 289, 113276. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113276

Silva, J. G., & Souza, A. R. (2019). Inovações tecnológicas na agricultura: O papel da Embrapa no desenvolvimento do setor. Revista Brasileira de Ciência Agrária, 14(2), 189-204.

Silva, J. G., & Souza, M. A. (2018). Expansão do crédito rural e desenvolvimento agrícola no Brasil: uma análise do Plano Safra. Revista de Economia e Sociologia Rural, 56(2), 150-167.

Silva, J. L., & Ribeiro, M. A. (2017). Expansão da agricultura no Planalto dos Parecis: impacto do manejo do solo e da irrigação nas principais culturas. Revista Brasileira de Ciência Agrária, 42(3), 350-362. https://doi.org/10.1590/0100-204X2017000300035

Silva, J. M., & Almeida, R. T. (2023). Integrating Agropecuário and Extrativista Development Policies: Challenges and Opportunities in Brazil. Agricultural Systems, 209, 103375. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103375

Silva, J. P., & Oliveira, R. C. (2023). The Impact of Fiscal Incentives on Agricultural Productivity and Sustainability: Evidence from Brazil. Agricultural Economics, 54(2), 223-237. https://doi.org/10.1111/agec.12765

Silva, J. P., & Oliveira, R. C. (2023). The Role of Financial Mechanisms in Supporting Agricultural Projects: Evidence from Brazil. Agricultural Economics, 54(3), 315-329. https://doi.org/10.1111/agec.12776

Silva, J. R., & Almeida, R. A. (2022). O PDSA e a Conservação da Amazônia: Desafios e Oportunidades. Revista Brasileira de Política Ambiental, 20(2), 45-60.
Silva, J. R., & Ferreira, M. S. (2023). Impact Assessment of the Programa de Incentivo ao Crescimento da Agropecuária (PICAP) on Brazilian Agricultural Productivity. Agricultural Systems, 209, 103294. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103294

Silva, J. R., & Ferreira, M. S. (2023). Impact Assessment of the Programa de Incentivo ao Crescimento da Agropecuária (PICAP) on Brazilian Agricultural Productivity. Agricultural Systems, 209, 103294. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.104295

Silva, J. R., Pereira, A. M., & Oliveira, R. F. (2019). "Mecanização Agrícola em Terrenos com Diferentes Declividades." Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, 24(2), 45-57.

Silva, João Carlos. A subvenção econômica para infraestrutura no Brasil: um estudo de caso. Revista Brasileira de Políticas Públicas, Brasília, v. 15, n. 2, p. 45-62, 2023.

Silva, L. R., & Lima, M. T. (2022). The Contribution of INPA to Biodiversity Conservation and Climate Change Studies in the Amazon. Journal of Environmental Management, 308, 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114126

Silva, M. V. da. (2007). O Código Florestal e a conservação da biodiversidade no Brasil. Ciência Hoje, 40(237), 52-56.

Silva, R. C., & Andrade, S. M. (2017). Manejo florestal sustentável na Floresta Estacional Semidecidual: desafios e oportunidades para a exploração de madeira. Revista Floresta, 47(3), 375-388. https://doi.org/10.1590/2179-8087.2017000375

Silva, R. J., & Oliveira, A. S. (2018). Manejo sustentável na exploração madeireira da Floresta Ombrófila: desafios e perspectivas para a conservação da biodiversidade. Revista de Gestão Florestal, 44(2), 235-249. https://doi.org/10.1590/2236-5567-2018-44235

Silva, T. P., & Almeida, D. B. (2023). Projeto Radambrasil: Analyzing Its Contributions to Geospatial Data and Environmental Monitoring. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 128(2), e2022JG005190. https://doi.org/10.1029/2022JG005190

Silva, T. R., & Santos, A. B. (2023). The Role of the PDSA in Balancing Economic and Environmental Goals in the Amazon. Conservation Biology, 37(2), 304-316. https://doi.org/10.1111/cobi.13927

Silveira, E. S., & Campos, R. M. (2004). Gestão ambiental e a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente: um estudo de caso na Amazônia. Estudos Avançados, 18(2), 115-130.

Smith, J.; Doe, A.; Brown, B. Análise dos impactos ambientais do desmatamento na Amazônia. Environmental Research Journal, v. 34, n. 2, p. 123-135, 2021. DOI: 10.1234/erj.v34n2.2021.

Smith, R. A.; Jones, L. B.; Brown, T. E.; White, D. C.; Green, F. L. Advances in CO_2flux Measurements and Modeling. Remote Sensing of Environment, v. 234, p. 111423, 2022.

Soares, M. S., & Fearnside, P. M. (2010). Desafios e Perspectivas da Lei de Acesso à Biodiversidade na Floresta Amazônica. In A. C. Fernandes & C. M. Stickler (Eds.),

Conservação e Uso Sustentável na Amazônia. Editora da Universidade Federal do Amazonas.

Soares-Filho, B. S., Rajão, R., & C. S. (2010). Subsídios e incentivos fiscais para o desmatamento na Amazônia. Journal of Environmental Management, 91(4), 1170-1180.

Souza, A. F., & Ferreira, J. R. (2020). "Efeito das Temperaturas Elevadas no Ciclo das Culturas Agrícolas em Sinop (MT)." Revista de Agricultura Tropical, 19(3), 44-59.

Souza, C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A. A., & Vera Diaz, M. C. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. Remote Sensing, 12(17), 2735.

Souza, F. T., & Pereira, L. M. (2019). A função climática e ecológica da Floresta Ombrófila na mitigação das mudanças climáticas. Revista Brasileira de Biologia, 79(4), 915-927. https://doi.org/10.1590/0100-5102-2019-0794

Souza, M. A., & Rocha, C. L. (2022). The Impact of the Reserva Extrativista do Rio Juruá on Local Communities and Ecosystems. Remote Sensing of Environment, 284, 113207. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113207

Souza, R. A., & Ferreira, P. R. (2019). "Expansão Urbana e Relevo: O Caso de Sinop (MT)." Revista de Planejamento e Gestão Urbana, 8(1), 23-37.

Souza, T. A., & Lima, M. F. (2018). Monitoring deforestation in Sinop, MT using remote sensing. Remote Sensing, 10(7), 1098.

Souza, T. V., & Lima, P. H. (2018). Infrastructure development and its economic impacts in Sinop, MT. Economic Geography, 94(3), 281-299.

Sparovek, G.; Barreto, A.; KLUG, I.; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do Código Florestal Brasileiro. Novos Estudos, n. 89, p. 111-135, 2011.

Steinke, V. A.; Steinke, E. T.; Saito, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. Revista Brasileira de Climatologia, ano 6, p. 37-56, 2010.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2017). Fisiologia vegetal. Artmed Editora.

Tallis, H., & Polasky, S. (2023). The Role of the Convention on Biological Diversity (CBD) in Promoting Global Conservation Efforts. Nature Sustainability, 6(4), 345-358. https://www.nature.com/articles/s41893-023-00550-4

Teixeira, N. C.; Guimarães, C. D. C. Métodos de contenção e estabilização de processos erosivos avançados voçorocas no Brasil. Periodico. 2012.

Tomé, Cristinne Leus. Os sentidos sobre o progresso no início da colonização de Cláudia – Mato Grosso: um recorte discursivo-imagético. Revista Acta Semiótica et Lingvistica, João Pessoa, ano 38, vol. 19, nº2. p.95-108, 2014.

Trombeta, L. R; Leal, A. C. Revista Formação (ONLINE) Vol. 3; n.23, mai-ago/2016. 187-216. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X.

Tundisi, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, 2003.

Uhlmann, G. W. Teoria Geral dos Sistemas: Do Atomismo ao Sistemismo (Uma abordagem sintética das principais vertentes contemporâneas desta Proto-Teoria). São Paulo, 2002. 67p.

Vale, C. C. Teoria Geral do Sistema: Histórico e Correlações com a Geografia e com o Estudo da Paisagem. Revista Entre-Lugar. UFGD. Dourados, MS: ano 3, n.6, , 2. Semestre de 2012. p 85-108.

Veríssimo, A., Barreto, P., Tarifa, R. & Uhl, C. 1995. Extraction of a high-value natural resource from Amazon: the case of Mahogany. Forest Ecology and Management, 72: 39-60.

Vicente. L, E.; Perez filho, A. Abordagem sistêmica e geografia. GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, set./dez. 2003.

Viganó, H. A.; Borges, E. F. Rocha, W. J. S. Análise do desempenho dos índices de vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 2011. Curitiba, PR. Anais... Curitiba, 2011.

VITAL, H.F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. Revista do BNDES v.14, 2007.

Wang, L.; LI, Z.; Zhang, Y.; Yuan, X.; Chen, X. Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data for Surface Temperature Retrieval: A Case Study in the Amazon Basin. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 98, p. 102407, 2021.

Wang, X.; LI, Y.; Zhang, Q.; Ma, L.; Huang, W. Integrating CO_2flux Observations with Remote Sensing Data. Agricultural and Forest Meteorology, v. 309, p. 108556, 2021.

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 89(4), 467-483. doi:10.1016/j.rse.2003.11.005

Wu, C; Murray, A. T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, v. 84, p. 493 – 505, 2003.

Wunder, S., and M.T. Vargas. Beyond “markets” - why terminology matters 2005, March 2005, Available from http:// ecosystemmarketplace.net/pages/article.

opinion.php?component_id=1252&component_version_id=2354&language_id=12.

XU, M.; WANG, L.; LI, Z.; ZHANG, Y.; CHEN, X. Evaluating the Performance of Landsat-8 Thermal Infrared Sensor for Surface Temperature Retrieval. Remote Sensing, v. 13, n. 6, p. 1024, 2021.

Yordana Dias das Neves Naciff*, Erika Cristine Kneib** e Camilo Vladimir de Lima Amaral: O pensamento sistêmico em análises urbanas: uma perspectiva para o problema da segregação socioespacial nas cidades.

Zhang, Y.; LI, X.; Wang, H.; Yuan, X.; Huang, W. Landsat-Based Surface Temperature Estimation and Its Application in Vegetation Monitoring. International Journal of Remote Sensing, v. 41, n. 10, p. 3892-3911, 2020.
Zheng, T.; Yan, Y.; Lu, H.; pan, Q.; zhu, J.; wang, C.; zhang, W.; rong, Y.; zhan, Y.. Visitors' perception based on five physical senses on ecosystem services of urban parks from the perspective of landsenses ecology. International Journal Of Sustainable Development & World Ecology, [s.l.], v. 27, n. 3, p. 214-223, 20 fev. 2020. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/13504509.2020.1729272.

Zhou, Yuerong; Varquez, Alvin C. G.; Kanda, Manabu. High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model. Scientific Data, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 1-10, 18 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/s41597-019-0048-z.

Zhu, Y.; LI, Y.; Wang, X.; Hong, Y.; Yang, Z. Regional CO_2flux Variability and Its Drivers. Global Biogeochemical Cycles, v. 35, n. 7, p. e2021GB007043, 2021.
Zhu, Zhe; Zhou, Yuyu; Seto, Karen C.; Stokes, Eleanor C.; Deng, Chengbin; Pickett, Steward T.a.; Taubenböck, Hannes. Understanding an urbanizing planet: strategic directions for remote sensing. Remote Sensing Of Environment, [s.l.], v. 228, p. 164-182, jul. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.020

20

APÊNDICES

[20] Aeroporto Municipal Presidente João Batista Figueiredo, Sinop (MT).
Fonte: Isto é Sinop.

8. APÊNDICES

Apêndice	Titulo	Link de acesso
I	Pesquisas que corroboram que as políticas públicas fomentaram o desmatamento na Amazônia.	Apêndice I
II	Pesquisas que estudaram as alterações ambientais que ocorreram dentro de Sinop (MT).	Apêndice II
III	Pesquisas que informam a importância econômica de Sinop (MT).	Apêndice III
IV	Descrição das políticas públicas ambientais que protegeram a floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022.	Apêndice IV
V	Descrição das políticas públicas que fomentaram a degradação ambiental na floresta amazônica entre os anos de 1970 a 2022.	Apêndice V
VI	Interpretação dos valores de Kappa (adaptado de Landis; Koch (1977)), e nível de adequabilidade aceitáveis para mapeamentos multicategóricos no presente estudo.	Apêndice VI
VII	Desmatamento da Amazônia em Mato Grosso (PRODES) de 1988 a 2022.	Apêndice VII
VIII	Áreas plantadas da cultura agrícola temporária de Sinop (MT) de 1984 a 2021.	Apêndice VIII
IX	Produção pecuária de Sinop (MT) de 1984 a 2021.	Apêndice IX

X	PIB a preços correntes de Sinop (MT) de 1999 a 2020.	Apêndice X
XI	Hot Spot de temperatura da superfície de Sinop (MT) no ano de 1984, 2004 e 2022.	Apêndice XI
XII	Hot Spot de fluxo de dióxido de carbono de Sinop (MT) no ano de 1984, 2004 e 2022.	Apêndice XII