



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ANTONIA MARA NASCIMENTO GOMES

DEGRADAÇÃO DA TERRA NO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

Chapadinha - MA

2025

ANTONIA MARA NASCIMENTO GOMES

Degradação da terra no estado do Maranhão, Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Naturais

Linha de pesquisa: Produção agrícola e Desenvolvimento sustentável

Orientador: Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho

Chapadinha - MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Gomes, Antonia Mara Nascimento.

Degradação da terra no estado do Maranhão, Brasil /
Antonia Mara Nascimento Gomes. - 2025.
111 f.

Coorientador(a) 1: Marcus Willame Lopes Carvalho.

Orientador(a): Nítalo André Farias Machado.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais/ccch, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2025.

1. Agenda 2030. 2. Indicador 15.3.1. 3. Mudança No
Uso da Terra. 4. Sensoriamento Remoto. I. Carvalho,
Marcus Willame Lopes. II. Machado, Nítalo André Farias.
III. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e pelo discernimento, que me sustentaram e fortaleceram em cada etapa desta caminhada.

Aos meus pais, Jucimar e Edmar, pelos ensinamentos, amor incondicional, exemplo de dedicação e coragem, que sempre me inspiraram a seguir em frente; aos meus irmãos e a todos os demais familiares, pelo carinho, incentivo e apoio constantes, que tornaram os meus dias mais leves e felizes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nítalo André pela paciência, incentivo, e por assumir com humanidade e sensibilidade a minha orientação nesta dissertação.

A todos do Laboratório Inovar, em especial, a Andrezza Maciel, pela amizade construída ao longo dessa etapa e pela generosidade em compartilhar conhecimentos. Os seus treinamentos foram de grande importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores Aldair, Gustavo André, Marcus Vinícius, Jhon Lennon, José Francisco Washington e Marcus Willame pelas contribuições na correção do artigo da dissertação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, expresso meu agradecimento.

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Art. 225º da Constituição Federal de 1988

ANTONIA MARA NASCIMENTO GOMES

Degradação da terra no estado do Maranhão, Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovado (a) em: 30/09/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Washington da Silva Sousa (interno)
Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Aldair de Souza Medeiros (externo)
Universidade Federal do Maranhão

RESUMO

A degradação da terra representa um desafio ambiental e socioeconômico, exigindo monitoramento contínuo devido aos seus impactos nos serviços ecossistêmicos. Diante das profundas transformações no uso e cobertura da terra no estado do Maranhão, objetivou-se avaliar a degradação da terra no Maranhão com o indicador 15.3.1 da ONU no período de 2001 a 2023. No primeiro capítulo apresenta-se uma fundamentação teórica e o estado da arte, com temas-chaves sobre o desenvolvimento sustentável, Agenda 2030 com foco no objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS) 15 e indicador 15.3.1 e seus subindicadores: cobertura da terra (CT), carbono orgânico do solo (COS) e produtividade da terra (PT). O segundo capítulo integrou-se dados de CT, COS e PT usando a ferramenta Trends.Earth (v.2.1.16), com base em *dataset* obtido da plataforma MapBiomias (coleções 9 e Beta) e MODIS (produto MOD13Q1), juntamente com a aplicação do modelo RESTREND para ajuste climático para calcular o indicador 15.3.1 para o território maranhense. Os resultados indicaram que 39,56% do território maranhense apresentaram sinais de degradação, particularmente nas regiões centro e noroeste, bem como em partes da região sul. Áreas estáveis representaram 26,39%, enquanto 32,08% foram classificadas como em melhoria, com tendências notáveis nas regiões sul e sudeste, sugerindo recuperação da vegetação e práticas de manejo do solo mais sustentáveis. A análise integrada dos subindicadores de CT, estoques de COS e produtividade da terra revelou que a degradação ambiental no Maranhão é fortemente impulsionada pela conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas e pecuárias, especialmente nas regiões centro-oeste e noroeste. Em conclusão, os resultados destacam um desalinhamento com a meta do ODS 15.3.1, mas também apontam para zonas de estabilidade e recuperação, indicando potencial para esforços de mitigação, restauração e gestão sustentável da terra.

Palavras-chave: Agenda 2030, Indicador 15.3.1, Mudança no uso da terra, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Land degradation represents an environmental and socioeconomic challenge, requiring continuous monitoring due to its impacts on ecosystem services. Given the profound changes in land use and land cover in the state of Maranhão, the objective was to assess land degradation in Maranhão using UN indicator 15.3.1 for the period from 2001 to 2023. The first chapter presents a theoretical foundation and the state of the art, with key themes on sustainable development, Agenda 2030 with a focus on sustainable development goal (SDG) 15 and indicator 15.3.1 and its sub-indicators: land cover (LC), soil organic carbon (SOC), and land productivity (LP). The second chapter integrated LT, SOC, and LP data using the Trends. Earth (v.2.1.16) tool, based on a dataset obtained from the MapBiomass platform (collections 9 and Beta) and MODIS (MOD13Q1 product), together with the application of the RESTREND model for climate adjustment to calculate indicator 15.3.1 for the territory of Maranhão. The results indicated that 39.56% of the territory of Maranhão showed signs of degradation, particularly in the central and northwestern regions, as well as in parts of the southern region. Stable areas accounted for 26.39%, while 32.08% were classified as improving, with notable trends in the south and southeast regions, suggesting vegetation recovery and more sustainable soil management practices. The integrated analysis of the sub-indicators of CT, COS stocks, and productivity of the land revealed that environmental degradation in Maranhão is strongly driven by the conversion of natural ecosystems into agricultural and livestock areas, especially in the central-west and northwest regions. In conclusion, the results highlight a misalignment with SDG target 15.3.1, but also point to areas of stability and recovery, indicating potential for mitigation, restoration, and sustainable land management efforts.

Keywords: Agenda 2030, Indicator 15.3.1, Land use change, Remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I

Figura 1. Representação dos três pilares do desenvolvimento sustentável	13
Figura 2. Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável da ONU	15
Figura 3. Representação dos 17 ODS em três camadas estruturais.....	16
Figura 4. Classificação dos ODS adaptados da perspectiva de Fu et al., 2019.....	17
Figura 5. Serviços ecossistêmicos.	18
Figura 6. Mapa de identificação dos hotspots de degradação.	21
Figura 7. Degradação de pastagens no Brasil.....	22
Figura 8. Degradação de pastagens no cerrado do Brasil.....	23
Figura 9. Mudança global no uso/cobertura da terra de 1960-2019.....	27
Figura 10. Transição global da cobertura da terra.	27

Capítulo II

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, com respectivo modelo digital de elevação (m).....	52
Figura 2. Cobertura da terra do estado do Maranhão em 2001 (a) e 2023(b).....	56
Figura 3. Distribuição espacial da degradação da cobertura da terra no estado do Maranhão.....	58
Figura 4. Estoque de COS em 2001 (a) e 2023 (b)	59
Figura 5. Distribuição espacial da degradação do COS no estado do Maranhão (2001–2023).....	60
Figura 6. Dinâmica da produtividade da terra no estado do Maranhão (2001–2023)	62
Figura 7. Indicador ODS 15.3.1 no estado do Maranhão (2001–2023)	64

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 1. Informações resumidas do conjunto de dados.	53
Tabela 2. Matriz de tipologia de degradação da cobertura da terra.	54
Tabela 3. Área estimada das classes de cobertura da terra no período de 2001 e 2023.	56
Tabela 4. Matriz de mudanças da cobertura da terra no período de 2001 e 2023, áreas em km ²	57
Tabela 5. Mudanças nos estoques de COS no período de 2001 e 2023.....	59
Tabela 6. Tendência da dinâmica da produtividade da terra para o estado do Maranhão por classe de cobertura.	61

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	12
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
1.1 Desenvolvimento Sustentável	12
1.2 Agenda 2030: objetivos do desenvolvimento sustentável	14
1.3 ODS 15: vida terrestre	17
1.4 Degradação da terra	19
1.5 Geotecnologias no monitoramento da degradação da terra	24
1.6 Subindicadores para avaliação da degradação	26
1.6.1 Mudanças no uso/cobertura da terra	26
1.6.2 Carbono orgânico do solo	29
1.6.3 Dinâmica da produtividade da terra	31
2 OBJETIVOS	33
3 HIPÓTESE	33
REFERÊNCIA	34
CAPÍTULO II	48
1. Introdução	50
2. Material e Métodos	51
2.1. Área de Estudo	51
2.2. Conjunto de dados	52
2.3. Monitoramento do indicador ODS 15.3.1	53
3. Resultados	55
3.1. Dinâmica da cobertura da terra	55
3.2. Dinâmica do estoque de carbono orgânico no solo	58
3.3. Dinâmica da produtividade da terra	60

3.4. Indicador ODS 15.3.1-----	62
4. Discussão -----	64
4.1. Dinâmica da cobertura da terra -----	64
4.2. Mudanças no Carbono Orgânico do Solo -----	66
4.3. Dinâmica da Produtividade da Terra-----	68
4.4. Indicador ODS 15.3.1-----	69
5. Conclusão -----	70
Referências-----	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS -----	79
ANEXO – Normas do periódico International Journal of Geo-Information -----	80