



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

EDIVALDO ALVES DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DE PASTAGENS
NO TOCANTINS - BR, UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO EM NUVEM NO GOOGLE
EARTH ENGINE**

**Gurupi - TO
2025**

Edivaldo Alves dos Santos

**Caracterização espaço-temporal da cobertura de pastagens no Tocantins - BR,
utilizando programação em nuvem no Google Earth Engine**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcos Vinicius Giongo Alves

**Gurupi - TO
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S237c Santos, Edivaldo Alves dos.
Caracterização espaço-temporal da cobertura de pastagens no Tocantins - BR, utilizando programação em nuvem no Google Earth Engine. / Edivaldo Alves dos Santos. – Gurupi, TO, 2025.
76 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção Vegetal, 2025.
Orientador: Marcos Vinicius Giongo Alves
1. Javascript. 2. Sensoriamento remoto. 3. NDVI. 4. Pastagem degradada. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Edivaldo Alves dos Santos

**Caracterização espaço-temporal da cobertura de pastagens no Tocantins - BR,
utilizando programação em nuvem no Google Earth Engine**


Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Data da Aprovação 24/02/2025

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ANABEL APARECIDA DE MELLO**
Data: 13/03/2025 06:09:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dra. Anabel Aparecida de Mello
UFS

Documento assinado digitalmente
 **GIL RODRIGUES DOS SANTOS**
Data: 12/03/2025 15:32:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Gil Rodrigues dos Santos
UFT – Gurupi

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO CARLOS BATISTA**
Data: 12/03/2025 09:31:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Antônio Carlos Batista
UFPR

Documento assinado digitalmente
 **SAULO DE OLIVEIRA LIMA**
Data: 12/03/2025 17:00:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Saulo de Oliveira Lima
UFT – Gurupi

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS VINICIUS GIONGO ALVES**
Data: 12/03/2025 09:09:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Marcos Vinicius Giongo Alves
UFT - Orientador

Dedico o presente trabalho à minha amada esposa Fabrisia Montelo Miranda e aos meus dois filhos PET's, Bob e Little, dois cães da raça Shih-Tzu. Ao Bob (in memoriam), para os outros você "foi" o que você "é" um canino, para mim você "é" o que você "foi" um filho. Sou grato pelos 14 anos de muito amor e carinho mútuo.

RESUMO

A produção agropecuária é uma das principais atividades econômicas do Tocantins, encontrada em praticamente todos os municípios do estado, com notório processo de modernização. No estado do Tocantins, considerando as modalidades de criação de bovinos, a pecuária extensiva predomina sobre o confinamento, tendo como principal forma de alimentação do rebanho as pastagens naturais ou plantadas. A principal função das áreas de pastagem é servir como sistema de suporte primário para a produção animal na oferta de alimentos e produtos derivados. Nesse contexto, vários estudos vêm sendo realizados na tentativa de caracterizar o atual cenário de degradação das pastagens, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, com o uso de três imagens para representar o cenário anual, mas pouco se tem registro de estudos considerando uma série de anos e com o maior número de imagens por ano. Desta forma o objetivo desta pesquisa foi analisar a degradação de pastagem no Estado do Tocantins, avaliando a cobertura vegetal de pastagem (CVP) e a variação dos níveis de degradação no período de 2013 a 2022, com formulação de código livre na plataforma Google Earth Engine. O processo metodológico consistiu na aplicação de técnicas do sensoriamento remoto e de programação em nuvem (Javascript), na plataforma do Google Earth Engine. Para processamento das imagens do sensor Landsat TM 8, recortando pelo perímetro do estado do Tocantins e pela área de pastagens obtida da coleção 8 do MAPBIOMAS. Em seguida foi calculado o NDVI para todas as imagens de cada ano para posteriormente resultar em uma imagem com o $NDVI_{médio}$ anual utilizado na determinação do índice de cobertura de Pastagem CVP. Os resultados encontrados mostram que a maior parte das pastagens do estado (95,62%) apresentam algum grau de degradação, e que, em média, 47,02% da área encontra-se no nível mais alto de degradação. Foram utilizadas uma média de 186 imagens (média), e um total de 5280 para toda a série. A degradação das pastagens não apresentou correlação com o índice pluviométrico. As microrregiões que apresentaram melhor desempenho foram Bico do Papagaio e Araguaína, sendo a Gurupi com pior desempenho identificado. Como forma de contribuição para pesquisas em sanidade vegetal, este estudo discorre sobre a utilização de programação em nuvem como forma de otimização de tempo de processamento e da possibilidade de utilização de BIGDATA em estudos ambientais.

Palavras-Chave: Javascript; Sensoriamento remoto; NDVI; Pastagem degradada.

ABSTRACT

Agricultural production is one of the main economic activities in Tocantins, found in practically all municipalities in the state, with a notable modernization process. In the state of Tocantins, considering the types of cattle raising, extensive livestock farming predominates over confinement, with the main form of feeding the herd being natural or planted pastures. The main function of pasture areas is to serve as a primary support system for animal production in the supply of food and derived products. In this context, several studies have been carried out in an attempt to characterize the current scenario of pasture degradation, using remote sensing techniques, with the use of three images to represent the annual scenario, but there is little record of studies considering a series of years and with the largest number of images per year. Thus, the objective of this research is to analyze pasture degradation in the State of Tocantins, evaluating pasture vegetation cover (CVP) and the variation in degradation levels in the period from 2013 to 2022, with free code formulation on the Google Earth Engine platform. The methodological process consisted of applying remote sensing techniques and cloud programming (Javascript) on the Google Earth Engine platform. For processing the images from the Landsat TM 8 sensor, clipping along the perimeter of the state of Tocantins and the pasture area obtained from the MAPBIOMAS collection 8. Then, the NDVI was calculated for all images from each year to later result in an image with the average annual NDVI used to determine the CVP Pasture Coverage Index. The results show that most of the state's pastures (95.62%) present some degree of degradation, and that, on average, 47.02% of the area is at the highest level of degradation. An average of 186 images (mean) were used, and a total of 5280 for the entire series. Pasture degradation did not show any correlation with the rainfall index. The microregions that presented the best performance were Bico do Papagaio and Araguaína, with Gurupi having the worst performance identified. As a way of contributing to research in plant health, this study discusses the use of cloud programming as a way of optimizing processing time and the possibility of using BIGDATA in environmental studies.

Keywords: Javascript; Remote sensing; NDVI; Degraded pasture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - | Campos Elétrico e Magnético divididos da REM..... | 20 |
| Figura 2 - | Processos de interação da REM com os materiais..... | 21 |
| Figura 3 - | Radiância refletida e emitida considerando regiões espectrais do objeto... | 22 |
| Figura 4 - | Ilustração da reflectância de acordo com a situação da vegetação..... | 24 |
| Quadro 1 - | Características dos sensores acoplados no satélite Landsat-8..... | 26 |
| Figura 5 - | Área de edição dos códigos no Google Earth Engine..... | 27 |
| Figura 6 - | Mapa de localização dos limites geográficos do Estado do Tocantins..... | 28 |
| Figura 7 - | Médias mensais da temperatura e totais médios mensais de precipitação, no Estado do Tocantins..... | 29 |
| Figura 8 - | Distribuição de chuvas médias anuais no Estado do Tocantins..... | 29 |
| Figura 9 - | Biomias presentes no Estado do Tocantins..... | 30 |
| Figura 10 - | Fluxograma das atividades para mapeamento no Google Earth Engine..... | 31 |
| Figura 11 - | Função para remoção de pixel's contaminados com nuvens..... | 32 |
| Figura 12 - | Composição da banda de qualidade QA_PIXEL do sensor OLI 8 (A) e imagem com resultado da máscara de nuvens (B)..... | 32 |
| Figura 13 - | Função para obter os valores mínimo e máximo do NDVI Médio..... | 34 |
| Figura 14 - | Expressão formulada para calcular o CVP..... | 34 |
| Quadro 2 - | Nível de degradação das pastagens, conforme o percentual de cobertura vegetal da pastagem anual (CVP)..... | 35 |
| Figura 15 - | Reclassificação da imagem CVP para as classes de degradação N1, N2, N3 e N4 de degradação..... | 35 |

| | | |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 16 - | Grade com órbita/ponto das cenas Landsat 8 utilizadas no recobrimento da área de pesquisa..... | 36 |
| Figura 17 - | Número de imagens utilizadas em cada ano da série para determinação dos níveis de degradação das pastagens no Estado do Tocantins..... | 37 |
| Figura 18 - | Áreas de pastagens no Estado do Tocantins para o período de 2013 a 2022..... | 39 |
| Figura 19 - | Percentual de degradação na área de estudos para cada ano da série..... | 39 |
| Figura 20 - | Comportamento dos níveis de degradação das pastagens no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 a 2022..... | 41 |
| Figura 21 - | Distribuição das classes de degradação das pastagens no Estado do Tocantins..... | 43 |
| Figura 22 - | Precipitação anual acumuladas no Estado do Tocantins..... | 46 |
| Figura 23 - | Correlações entre os níveis de degradação e totais precipitados anualmente, (A) correlação nível quatro vs total pluviométrico acumulado; (B) correlação nível três vs total pluviométrico acumulado; (C) correlação nível dois vs total pluviométrico acumulado; (D) correlação nível um vs total pluviométrico acumulado..... | 47 |
| Figura 24 - | Espacialização dos níveis de degradação no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 e 2022..... | 48 |
| Figura 25 - | Crescimento do rebanho bovino no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 a 2022..... | 49 |
| Figura 26 - | Subdivisão do estado por microrregiões de acordo com o IBGE..... | 52 |
| Quadro 3 - | Descrição das microrregiões do estado de acordo com o IBGE..... | 53 |
| Figura 27 - | Áreas de pastagens por microrregião do Estado do Tocantins..... | 54 |
| Figura 28 - | Comportamento da classe 4 de degradação por microrregião para a série de 2013 a 2022..... | 56 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 29 - Distribuição das classes de degradação para a microrregião 17001(Bico do Papagaio)..... | 56 |
| Figura 30 - Espacialização dos níveis de degradação na microrregião 17001(Bico do Papagaio) entre os anos de 2014 e 2022..... | 57 |
| Figura 31 - Distribuição das classes de degradação para microrregião 17002(Araguaína)..... | 58 |
| Figura 32 - Espacialização dos níveis de degradação na microrregião 17002(Araguaína) entre os anos de 2013 e 2022..... | 58 |
| Figura 33 - Municípios que compõem a microrregião 17002 (Araguaína)..... | 60 |
| Figura 34 - Distribuição dos níveis de degradação por município na microrregião 17002..... | 63 |
| Figura 35 - Totais por níveis de degradação de pastagens no município de Piraquê... | 64 |
| Figura 36 - Espacialização dos níveis de pastagens degradadas no município de Piraquê..... | 65 |
| Figura 37 - Comportamento dos níveis de degradação das pastagens no município de piraquê entre os anos de 2013 e 2022..... | 67 |
| Figura 38 - Espacialização das pastagens degradadas no município Araguaína para os anos de 2014 e 2016..... | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda na capacidade de suporte (QCS), e nível de degradação (Nível)..... | 19 |
| Tabela 2 - | Bandas usadas em estudos de sensoriamento remoto..... | 21 |
| Tabela 3 - | Resumo das áreas de pastagens e níveis de degradação das pastagens para o Estado do Tocantins dos anos de 2013 a 2022..... | 38 |
| Tabela 4 - | Distribuição do número de U.A.h-1 por nível de degradação..... | 51 |
| Tabela 5 - | Comportamento dos níveis de degradação das pastagens..... | 51 |
| Tabela 6 - | Distribuição das áreas de pastagens por microrregião do Estado do Tocantins..... | 53 |
| . | . | . |
| Tabela 7 - | Percentual de área de pastagens degradadas por microrregião estadual | 55 |
| Tabela 8 - | Resumo de área de pastagens e níveis de degradação na microrregião 17001(Bico do Papagaio)..... | 59 |
| Tabela 9 - | Resumo de área de pastagens e classes de degradação na microrregião 17002(Araguaína)..... | 59 |
| Tabela 10 - | Percentual de área de pastagens por classe de degradação na microrregião 17002(Araguaína)..... | 61 |
| Tabela 11 - | Percentual médio de áreas degradadas por município da microrregião 17002(Araguaína)..... | 62 |
| Tabela 12 - | Áreas de níveis de degradação no município de Piraquê..... | 64 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|----------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 14 |
| 2.1 | Geral..... | 14 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 14 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 15 |
| 3.1 | Pecuária | 15 |
| 3.1.1 | Pecuária Brasileira..... | 16 |
| 3.2 | Pastagens..... | 17 |
| 3.2.1 | Degradação de pastagens..... | 17 |
| 3.3 | Sensoriamento Remoto..... | 19 |
| 3.3.1 | Radiação Eletromagnética (REM)..... | 20 |
| 3.4 | Índice de vegetação..... | 22 |
| 3.4.1 | NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)..... | 23 |
| 3.5 | Sensores remotos | 24 |
| 3.5.1 | Série Landsat | 25 |
| 3.6 | Google Earth Engine..... | 26 |
| 4 | METODOLOGIA..... | 28 |
| 4.1 | Área de estudos..... | 28 |
| 4.2 | Procedimentos Metodológicos..... | 30 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1 | Eliminação de pixel's com nuvens..... | 31 |
| 4.2.2 | Cálculo dos índices de vegetação..... | 33 |
| 5 | RESULTADO E DISCUSSÃO..... | 36 |
| 5.1 | Mosaico de cenas Landsat 8..... | 36 |
| 5.2 | Cenário das pastagens no Estado do Tocantins..... | 37 |
| 5.3 | Análise temporal da degradação das pastagens..... | 40 |
| 5.4 | Correlação entre os níveis de degradação e os índices pluviométricos | 46 |
| 5.5 | População Bovina do Estado do Tocantins..... | 48 |
| 5.6 | Capacidade de lotação bovina por hectare de pastagens..... | 50 |
| 5.7 | Análise estática dos resultados..... | 51 |
| 5.8 | Degradação das pastagens por microrregiões do Estado..... | 52 |
| 5.8.1 | Área de pastagens por microrregião estadual..... | 53 |
| 5.8.2 | Avaliação da qualidade das pastagens por microrregião estadual..... | 54 |
| 5.8.2.1 | <i>Avaliação das pastagens na Região do Bico do Papagaio.....</i> | <i>57</i> |
| 5.9 | Avaliação da qualidade das pastagens na microrregião de Araguaína..... | 59 |
| 5.9.1 | Avaliação da qualidade de pastagens no Município de Piraquê..... | 63 |
| 5.9.1.1 | <i>Distribuição temporal das classes de degradação de pastagens no Município de Piraquê.....</i> | <i>66</i> |
| 5.10 | Qualidade das pastagens no Município de Araguaína..... | 67 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 69 |
| | REFERÊNCIAS..... | 70 |

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o mundo vivenciou um crescimento sem precedentes do consumo de carnes. Ao lado de fatores culturais, o aumento foi decorrência direta do crescimento da renda em países importantes, como a China (Vieira et al., 2021). Esse aumento no consumo tem gerado um desafio aos produtores que precisam produzir mais e ao mesmo tempo controlar os níveis de poluição decorrente da cadeia produtiva, como as emissões dos gases que provocam o efeito estufa.

De acordo com Ferreira et al, em 2018 o Brasil possuía mais de 190 milhões de hectares de pastagem (natural e plantada) e um rebanho bovino superior a 200 milhões de cabeças, tornando o país um dos maiores produtores e exportadores de carne do mundo (Ferreira et al., 2018). Ainda segundo Malafaia et. al. (2021), apesar do PIB brasileiro em 2020 ter reduzido 4,1% em relação ao ano anterior, a representatividade da pecuária de corte no PIB total para o mesmo período cresceu de 8,4% para 10%, caracterizando-se como um pilar na economia brasileira. Assim, o setor agropecuário brasileiro demonstrou força para continuar produzindo alimentos, gerando renda e mantendo empregos, mesmo durante a pandemia da Covid-19 (Salman et al., 2021).

A cadeia da carne bovina possui posição de destaque no contexto do agronegócio brasileiro, ocupando vasta área do território nacional e respondendo pela geração de emprego e renda de milhões de brasileiros (Malafaia et al., 2019). E tem conquistado avanços significativos nas últimas décadas. Em pouco mais de um século, o Brasil saiu de um sistema de produção pecuário arcaico para um sistema de produção que o posicionou como o maior exportador mundial de carne bovina (Dias-Filho, 2017).

Praticamente toda produção brasileira de carne bovina tem como base as pastagens, que se caracterizam como a forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os animais (Moura, 2022).

Estudos mostram que o estado do Tocantins tem demonstrado aptidão para a pecuária, estando essa atividade presente em praticamente todos os municípios, sendo as áreas de pastagens provenientes de terras antes ocupadas por vegetação nativa de floresta ou cerrado (Feitosa, 2019; Vergara, 2021).

O rebanho bovino tocantinense apresenta perspectivas de aumento a cada ano, e a taxa de lotação média tem apresentado variação crescente nos últimos anos. No Tocantins, o solo e o clima são favoráveis para a criação de bovinos, e a capacidade de suporte das pastagens requer atenção, já que há potencial para alcançar maior rendimento em unidade animal por área.

(Araújo et al.,2023). De acordo com Borghi et al. (2015) a criação de gado no Tocantins é muitas vezes caracterizada por sistemas de produção extensivos, deficiência de nutrientes, má gestão da capacidade de lotação e do manejo inadequado no consumo de pastagem.

No modelo de pecuária extensiva, a principal função das áreas de pastagem é servir como sistema de suporte primário para a produção animal na oferta de alimentos e produtos derivados (Passos, 2021). Desta forma a avaliação periódica da qualidade das pastagens é uma forma de acompanhar a adequada aplicação das técnicas de manejo empregadas durante a exploração do ciclo produtivo pecuário, de modo a verificar se a capacidade de suporte dos pastos se mantém adequada para a manutenção da atividade produtiva (Borges, 2018). A relevância do manejo baseia-se na hipótese de que, na sua ausência pode ocorrer gradativamente a perda da capacidade de recuperação das gramíneas, caracterizando assim o surgimento de pastagens em estágios de degradação.

Desse modo, a degradação das pastagens tornou-se um grande problema para a pecuária brasileira uma vez que, se desenvolve basicamente em áreas de pastagem extensiva, o que reflete diretamente na sustentabilidade do sistema de produção. Ainda de acordo Rosa (2020) a degradação das áreas de pastagens propicia acentuada perda econômica, social e ambiental, no que tange à produção de leite e carne. As principais formas de degradação das pastagens ocorrem por escolha inadequada da forrageira utilizada, a não adubação para reposição dos nutrientes perdidos no pastejo, e a superpopulação de animais em relação à quantidade disponível de pastagem (Sousa et al, 2022). Esses extremos são, conceitualmente, chamados de "degradação agrícola" e "degradação biológica" (Dias-Filho,2014).

O estado do Tocantins tem cerca de 5,5 milhões de hectares de pastagens em estado de degradação (Grise et al, 2019), e neste cenário apresenta grande potencial para aumentar a sua produtividade, já que essas áreas podem ser recuperadas com a implantação de sistemas de produção integrados, sem a necessidade de novos desmatamentos (Fragoso; Cardoso, 2019).

Cabe ainda ressaltar que, a recuperação de pastagens degradadas tem papel decisivo no processo de modernização da atividade pecuária, possibilitando o aumento da produção sem promover a expansão de novas áreas de pastagem. O primeiro passo neste processo de modernização consiste no mapeamento preciso dessas áreas, e o sensoriamento remoto vem ganhando destaque em estudos de sanidade vegetal (Valle Júnior et al., 2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar as pastagens do Estado do Tocantins-BR, avaliando a cobertura vegetal de pastagem (CVP) e a variação dos níveis de degradação no período de 2013 a 2022, com desenvolvimento de metodologia na plataforma Google Earth Engine.

2.2 Objetivos específicos

- i. Determinação das áreas em cada nível de degradação;
- ii. Avaliar a atual capacidade de suporte das pastagens de acordo com o nível de degradação;
- iii. Analisar a evolução da degradação das pastagens por meio de série temporal;
- iv. Verificação dos níveis de degradação por microrregião do estado; e
- v. A partir da microrregião com melhor caracterização, verificar qual município apresenta menor percentual de degradação agrícola das pastagens.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pecuária

"Pecus" significa "cabeça de gado". Esta palavra tem origem no latim "pecúnia", que significa "moeda, dinheiro". Durante o período romano antigo, os animais eram criados para o abate, porém também eram utilizados como meio de acumular valor, ou seja, eram vistos como um ativo valioso. (<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/geografia/pecuaria>).

A pecuária é uma prática econômica focada na criação de animais. As atividades de pecuária envolvem a criação e a comercialização de uma variedade de animais, tais como aves, suínos e bovinos. O termo pecuária, originário do latim, está diretamente ligado à criação de animais, especificamente, à criação de gado. Portanto, é um setor crucial da economia, especialmente pelo fato de garantir o fornecimento de alimentos à população. Além disso, a pecuária também fornece insumos industriais, como couro e lã. (<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/pecuaria.htm>).

A atividade de criação de bovinos é dividida em duas categorias: pecuária de corte e pecuária leiteira. No manejo de bovinos visando a produção de carne (pecuária de corte), diversas fases asseguram a qualidade do produto, incluindo a fase de criação, recria e terminação. Todas as etapas visam diminuir o tempo de abate, produzir carne de maior qualidade e, conseqüentemente, recuperar o investimento a curto prazo (SENAR, 2019).

As definições de pecuária estão relacionadas com a maneira como os animais são criados, considerando as técnicas de manejo, o espaço disponível, entre outros aspectos. (Sousa et al, 2022):

Pecuária extensiva: onde a criação é feita em áreas extensas, com os animais livres e buscando alimentos pelo local. Aqui se faz pouco uso da tecnologia e de investimentos;

Pecuária intensiva: os animais são criados em confinamento, sendo que as suas condições de criação são adaptadas, com comida e outros cuidados balanceados. Além do que, outros recursos são regulares como a presença de veterinários, que ajudarão a manter os animais sempre saudáveis. Nessa modalidade há um elevado uso de tecnologia e mão de obra

A pecuária, em particular a de corte, é uma atividade possível de ser implantada e conduzida, com relativo sucesso, sem que seja necessário o preparo mais cuidadoso da área, ou o uso mais intensivo de insumos, de tecnologia e de mão de obra. Isto é, na pecuária é possível produzir, embora com baixa eficiência, de forma predominantemente extensiva (Dias-Filho, 2014).

Segundo Malafaia et al, (2019), a produção de gado de corte é definida pelas etapas de criação, recria e engorda, que podem ser realizadas de maneira independente ou em conjunto para se complementarem:

Cria: o período de cobertura vai até a desmama, englobando o rebanho de fêmeas em fase reprodutiva e seus filhotes. Nos sistemas de criação exclusiva, todos os machos são comercializados logo após a desmama, geralmente entre seis e nove meses de idade.

Recria e engorda: esta atividade começa com o bezerro sendo desmamado e se encerra com o boi gordo. No entanto, devido à disponibilidade de garrotes de alta qualidade, pode-se iniciar com esses animais, o que, aliado a uma dieta adequada, diminui o tempo de recria e ganho de peso.

Engorda (terminação): anteriormente, essa atividade era realizada pelos denominados "invernistas". Eles se estabeleciam em áreas de pastagens férteis e tiravam proveito da abundante disponibilidade de gado magro (de 24 a 36 meses de idade) disponível naquele período.

3.1.1 Pecuária Brasileira

Atualmente, o Brasil se destaca como um dos principais produtores e exportadores de carne bovina globalmente, fruto de um processo de desenvolvimento bem estruturado que aumentou não apenas a produtividade, mas também a qualidade do produto brasileiro, aumentando assim sua competitividade e alcance de mercado. Em 2015, o Brasil detinha o maior rebanho de bovinos (209 milhões), o segundo maior consumo (38,6 kg/habitante/ano) e a segunda maior exportação (1,9 milhões de toneladas equivalentes a carcaça) de carne bovina do mundo, tendo abatido mais de 39 milhões de animais. (Silva et al., 2020).

Possuindo um significativo mercado interno de consumo (cerca de 80% do consumo), possui um moderno e expressivo parque industrial para processamento, com capacidade para abater quase 200 mil bovinos diariamente. (Gomes et al., 2017). O Brasil é considerado um país industrializado, ao mesmo tempo em que ocupa um dos primeiros lugares em produção pecuária e agrícola. A pecuária, atividade pertencente ao setor primário da economia, é uma das principais em termos de produção de riqueza no país, estando cada vez mais interligada ao meio industrial e mais dependente das transformações tecnológicas(procreate). Segundo Dias-Filho, (2014), o Brasil segue sendo o maior produtor mundial de carne bovina, com a maior parte do seu rebanho sendo criado principalmente a pasto. No ano de 2020, o Produto Interno Bruto

(PIB) da pecuária de corte representou 10% do PIB nacional, legitimando ainda mais a força do setor agropecuário para a economia brasileira (ABIEC, 2022).

3.2 Pastagens

A pastagem é o tipo de vegetação mais frequente na agricultura brasileira e global, ocupando também a maior parte do território. As espécies vegetais que formam as pastagens, também conhecidas como forrageiras, são consumidas pelos animais de criação, geralmente ruminantes, contribuindo para o seu crescimento e reprodução. (EMBRAPA, 2020).

A exploração de pastagens em escala global está em crescimento e mostra uma tendência de aumento de 31,5% da superfície global. (Ritchie et al., 2019). No que diz respeito à nutrição dos animais, grandes progressos foram alcançados através do aprimoramento das pastagens já existentes, bem como pela utilização de capins selecionados e desenvolvidos através de pesquisa científica no Centro-Oeste do Brasil, que aumentaram a capacidade de suporte e o rendimento dos animais. (Gomes et al., 2017).

As pastagens são classificadas em três categorias: natural, nativa e cultivada. A pastagem natural abrange a extensão de território onde a vegetação nativa ou o pasto estão presentes (Costa, 2020). Apesar de não agregar valor comercial por não apresentarem um valor econômico per se, e, obviamente, de não serem commodities, as pastagens são fundamentais na competitividade do Brasil no mercado internacional de proteína animal, considerando que 87% dos animais abatidos no Brasil são provenientes da pecuária extensiva, ou seja pecuária a pasto (EMBRAPA, 2020). A maior parte da produção de ruminantes no Brasil é baseada no uso de pastagens, que estão presentes em todos os biomas brasileiros e ocupam cerca de 160 milhões de hectares (IBGE, 2019).

3.2.1 Degradação de pastagens

A pastagem tem função importante na conservação do solo desde que manejada de forma adequada, o que proporciona o equilíbrio dos nutrientes que saem e entram no sistema produtivo, resultando na disponibilidade de uma forragem de qualidade, gerando mais produtividade ao setor. Se o manejo for mal realizado, os estados de degradação das pastagens chegam a níveis que deterioram o meio, expondo áreas desprovidas de vegetação onde não ocorre o armazenamento de carbono no solo com a diminuição da qualidade do solo e da água (Passos, 2021).

A deterioração das pastagens é um processo progressivo de diminuição da produtividade e vigor da forrageira, impedindo sua recuperação natural. Isso, aliado a um manejo inadequado, contribui para o desenvolvimento e produtividade animal deficientes, além de resultar na degradação do solo. A degradação pode ser provocada por diversos fatores, como falta de adubação, forragem inadequada para o sistema ou clima específico, instalação incorreta da pastagem e alta taxa de ocupação. Por essas razões, para obter lucratividade com a pecuária, é imprescindível corrigir o processo de degradação (Souza et al., 2010).

Os sinais de degradação das pastagens nem sempre são visíveis, dificultando a detecção precoce desse fenômeno. Os sinais mais visíveis são a redução da densidade de plantas forrageiras, a frequência de invasoras e/ou pragas, e o percentual de cobertura vegetal (Valle Júnior et al., 2019).

Na pecuária moderna, a pastagem deve ser manejada de maneira responsável, racional e eficiente, ou seja, a pecuária deve ser conduzida de forma profissional. Nessa profissionalização da pecuária, a recuperação de pastagens degradadas, assim como o manejo responsável e criterioso das pastagens ainda produtivas e daquelas já recuperadas, deverá ter papel decisivo, permitindo o crescimento da produção, sem a expansão das áreas de pastagem, ou aumento das áreas degradadas (Dias-Filho, 2017). O atual cenário das pastagens degradadas no cerrado desperta para a necessidade de estudos que mapeiem sua distribuição espacial, bem como os agentes condicionantes da degradação (Scaramuzz et al., 2017).

A causa da degradação das pastagens pode ser natural, mas na maioria dos casos deve-se à má gestão da terra e à falta de medidas de proteção do meio ambiente, que são causas comuns desse fenômeno causadas pelo homem. Consequências importantes da deterioração das pastagens é que não apenas reduzem a produtividade, mas também têm um impacto significativo no meio ambiente (Silva, 2023).

O principal desafio na identificação e monitoramento da qualidade das pastagens se deve aos diferentes conceitos sobre o que são as pastagens produtivas e degradadas. O termo degradação implica em um processo de declínio da condição de qualidade para uma condição inferior e, portanto, baseia-se em um estado prévio no tempo (Arantes, 2017).

O processo de degradação de pastagens é um fenômeno complexo que envolve causas e efeitos (consequências) que levam à gradativa diminuição da capacidade de suporte da pastagem (Dias-Filho, 2011). Dias-Filho (2015), classifica os níveis de degradação de pastagens em N1, N2, N3 e N4 (Tabela 1), sendo definidos em função das características das pastagens:

Tabela 1 – Estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda na capacidade de suporte (QCS), e nível de degradação (Nível)

| ED | Parâmetro limitante | QCS (%) | Nível |
|----|-------------------------------------------------------------------|---------|-------------|
| 1 | Vigor e solo descoberto | Até 20 | Leve |
| 2 | Estádio 1 agravado + plantas invasoras | 21 - 50 | Moderado |
| 3 | Estádio 2 agravado ou morte das forrageiras (degradação agrícola) | 51 - 80 | Forte |
| 4 | Solo descoberto + erosão (degradação biológica) | > 80 | Muito forte |

Fonte: Dias-Filho, (2015)

Nos últimos anos, pressões ambientais e de mercado, além do aumento na disponibilidade de tecnologia (técnicas de recuperação e manejo de pastagens, lançamento de cultivares mais produtivas de capins, melhoramento genético do rebanho, etc.) têm incentivado uma mudança de atitude no setor produtivo de carne e leite do País (Dias-Filho, 2014). De acordo com esse mesmo autor, isso significa produzir maior quantidade de carne ou de leite em menores áreas de pastagem, ou seja, ser mais eficiente vem se tornado uma necessidade de sobrevivência para a pecuária nacional.

Um problema comum que prejudica o desempenho da pastagem é o uso de taxas de lotação ou períodos de descanso que não levam em conta o ritmo de crescimento da forrageira (Dias-Filho, 2017).

3.3 Sensoriamento Remoto

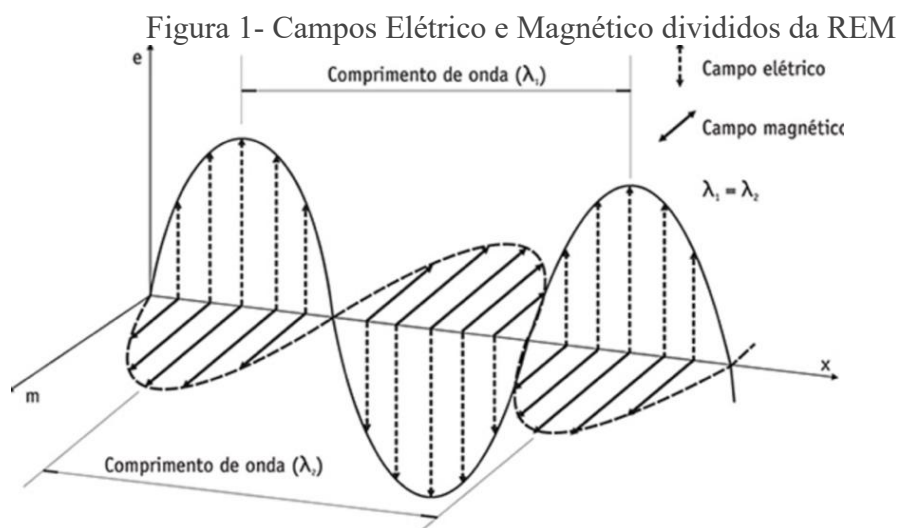
O termo “sensoriamento” geralmente está associado a todo processo de aquisição de dados ou informação sobre algo (objeto ou entidade). A palavra “remoto” por sua vez, transmite a ideia de algo feito à distância, sem que haja contato direto com o objeto. Uma definição mais científica, e menos comercial, para sensoriamento remoto é a adotada por Menezes e Almeida (2012) que o caracterizam como “a ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”. Borges et al., (2015) lembra que para estes autores, nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto.

Um sistema de Sensoriamento Remoto é composto, basicamente, de uma fonte de radiação eletromagnética (REM), mais um sistema de plataforma/sensor, além dos objetos sensoriados (Formaggio; Sanches, 2017).

Estudos mostram que o sensoriamento remoto é crucial para identificar as condições da vegetação, já que através desta geotecnologia podemos obter informações baseadas nas bandas espectrais, além de avaliar o grau de deterioração da vegetação. (Almeida et al. 2019;). Assim o sensoriamento remoto vem tornando-se fundamental e indispensável nesse processo, possibilitando avaliações das mudanças de uso e cobertura da terra, o monitoramento da dinâmica da área coberta por pastagens, e a realização de análises qualitativas nesse uso da terra (MAPBIOMAS, 2022).

3.3.1 Radiação Eletromagnética (REM)

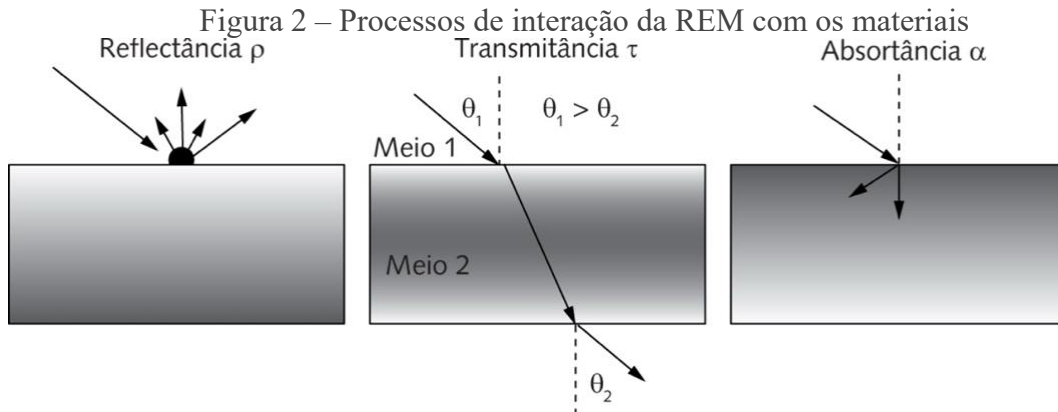
Os sensores ativos podem detectar informações sobre a superfície terrestre sob qualquer condição atmosférica. Assim, o sensoriamento remoto é uma forma de transmissão da energia que consiste na aceleração de uma carga elétrica que provoca perturbações no campo Elétrico (E) e magnético (M), se propagando (C) no vácuo (Figura 1). Quando essa radiação interage com a matéria, o resultado dessa interação depende das propriedades elétricas e magnéticas do material (Novo, 1989).



Fonte: Fitz (2008).

Estes campos energéticos advindos desse tipo de irradiação – o elétrico e o magnético são perpendiculares entre si e oscilam ortogonalmente, um em relação ao outro, no sentido da propagação da onda (Fitz, 2008). A energia solar, que no sensoriamento passivo, é o principal

meio carregador de informações sobre os objetos da superfície terrestre, ao incidir sobre a superfície desses objetos podem sofrer três tipos de interação, conforme Figura 2 (Formaggio; Sanches, 2017).



Fonte: Formaggio; Sanches,(2017).

Essa interação com os alvos ocorre dentro de uma determinada faixa de comprimento de onda eletromagnética denominada de Bandas. Desta forma, para obtermos êxito no estudo da vegetação (pastagens), faz-se necessário conhecer qual intervalo da REM este algo em questão está relacionado, compreendido conforme Tabela 2.

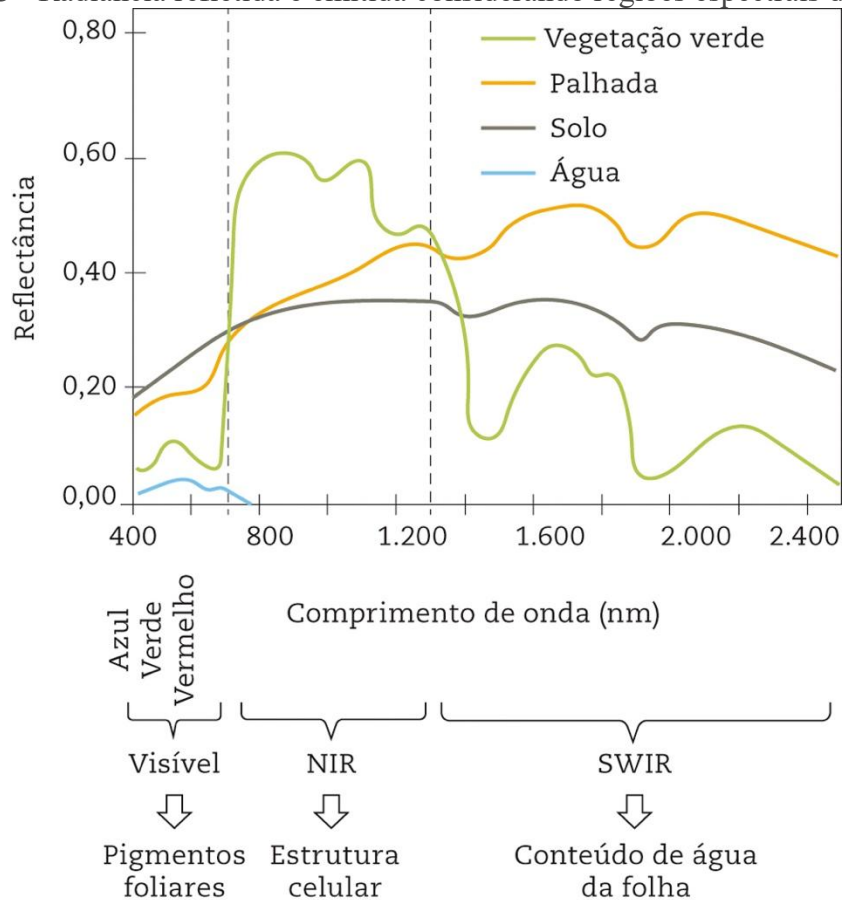
Tabela 2 - Bandas usadas em estudos de sensoriamento remoto

| Classe | | Comprimento de onda | Frequência | |
|----------------|------------------------|------------------------|---------------|------------|
| Ultravioleta | | 100A~0,4 μm | 750~3.000 THz | |
| Visível | | 0,4~0,7 μm | 430~750 THz | |
| Infravermelho | Próximo | 0,7~1,3 μm | 230~430 THz | |
| | Ondas curtas | 1,3~3 μm | 100~230 THz | |
| | Médio | 3~8 μm | 38~100 THz | |
| | Termal | 8~14 μm | 22~38 THz | |
| | Distante | 14 μm ~1 mm | 0,3~22 THz | |
| Ondas de rádio | Submilímetro | | 0,1~1 mm | 0,3~3 THz |
| | Micro-ondas | Milímetro (EHF) | 1~10 mm | 30~300 GHz |
| | | Centímetro (SHF) | 1~10 cm | 3~30 GHz |
| | | Decímetro (UHF) | 0,1~1 m | 0,3~3 GHz |
| | Onda muito curta (VHF) | | 1~10 m | 30~300 MHz |
| | Onda curta (HF) | | 10~100 m | 3~30 MHz |
| | Onda média (MF) | | 0,1~1 km | 0,3~3 MHz |
| | Onda longa (LF) | | 1~10 km | 30~300 kHz |
| | Onda muito longa (VLF) | | 10~100 km | 3~30 kHz |

Fonte: Formaggio; Sanches,(2017).

Dentro do sensoriamento remoto, existem equipamentos e dispositivos disponíveis para explorar desde a banda espectral do ultravioleta, até o comprimento de ondas de rádio. Na maioria dos alvos naturais da superfície terrestre a reflectância para cada tipo de alvo não é a mesma, sendo essa característica particular a cada alvo na superfície terrestre é chamada de assinatura espectral e corresponde à curva de reflectância no decorrer do espectro eletromagnético, conforme Figura 3 (Borém, et al., 2021).

Figura 3 - Radiância refletida e emitida considerando regiões espectrais do objeto



Fonte: Borém, et al. (2021).

Desta forma a reflectância da vegetação observada na Figura 3 entre os comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo, é a principal propriedade na análise da sanidade vegetativa das pastagens, permitindo determinar em função da radiação refletida e absorvida os diferentes estágios de degradação em que se encontram as pastagens.

3.4 Índice de vegetação

Os índices de vegetação (Iv's) podem ser definidos como formulações matemáticas desenvolvidas a partir de dados espectrais obtidos por sensores remotos, principalmente nas

bandas do vermelho e do infravermelho próximo, visando permitir a avaliações e estimativas da cobertura vegetal de uma área, em termos de parâmetros como área foliar, fitomassa, porcentagem de cobertura de solo e atividade fotossintética (Formaggio; Sanches, 2017).

3.4.1 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Segundo Borém et al., (2021) os índices de vegetação são combinações de duas ou mais refletâncias em comprimentos de onda específicos ou bandas espectrais para gerar um índice que esteja relacionado a uma característica da vegetação. Este autor cita como exemplo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), descrito por Rouse et al., (1973), como um dos mais populares índices.

Dados de sensoriamento remoto são fundamentais em pesquisas voltadas a estudos do comportamento da vegetação, assim como no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido amplamente utilizado para o monitoramento e avaliação da vegetação, pois é um dos primeiros produtos analíticos de sensoriamento remoto usado para simplificar as complexidades das imagens multiespectrais (Ferreira et al., 2019). O NDVI é um dos índices empregados há mais tempo e está entre os mais utilizados na pesquisa de vegetação, em razão de sua excelente responsividade a variações de vigor da vegetação. De 1985 para 2021 houve um aumento significativo no número de anual de publicações sobre o tema, indo de 1 para 456, aparecendo em cerca de 1.258 periódicos (XU et al., 2022).

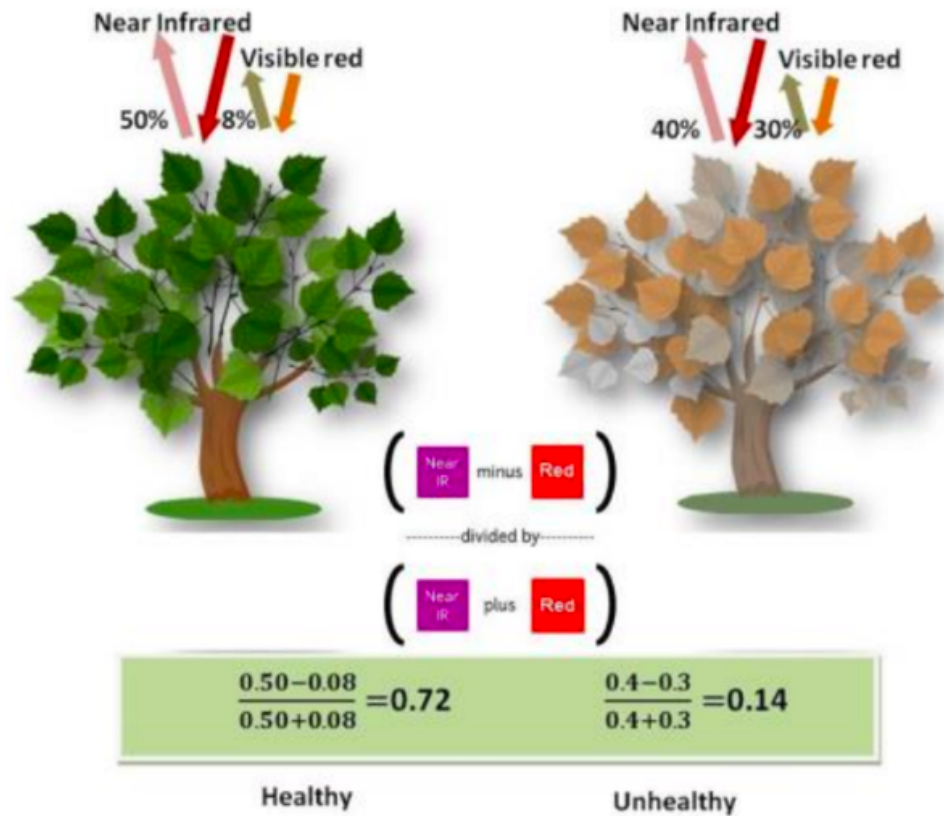
Para determinar os valores de NDVI, é necessário processar imagens provenientes de sensores orbitais. Dependendo da extensão espacial e temporal da análise, é necessário um processador robusto e espaço de armazenamento suficiente para armazenar um grande volume de dados (Aires et al., 2020).

Assim, os índices espectrais de vegetação têm sido uma das maneiras mais eficazes de avaliar as propriedades de cobertura vegetal em grandes escalas (Flores et al., 2020).

Nesse contexto, na última década, o conhecimento acerca dos índices de vegetação, sobretudo, o NDVI, tem se destacado de forma significativa, em virtude de ser um dos mais relevantes indicadores para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos utilizando técnicas de sensoriamento remoto (Barros, 2020).

Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e $+1$, de modo que quanto mais próximo do 1 , maior indício de presença de vegetação (Figura 4), e quanto mais próximo do 0 (zero) maior indício de presença de solos descobertos e rochas (Passos, 2021).

Figura 4 - Ilustração da reflectância de acordo com a situação da vegetação



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/266947355_fig1_Figure-1-Green-vegetation-left-absorbs-visible-light-and-reflects-near-infrared-light (2024).

O princípio teórico deste índice é que, quanto mais ativa a vegetação, maior a absorção da luz solar na região do vermelho e maior a reflexão na região do infravermelho próximo. Isso ocorre devido à fotossíntese e à atividade da clorofila, resultando em valores de refletância baixos do canal vermelho. A maior reflexão na região do infravermelho próximo é decorrente de fatores físicos, como a estrutura celular das folhas (Borém, et al., 2021).

3.5 Sensores remotos

O avanço na área de sensoriamento remoto é notável, impulsionado pelo progresso de sensores de alta resolução espectral e espacial que têm estimulado o aumento das aplicações baseadas em imagens para estudos com níveis de detalhe cada vez mais profundos. (Formaggio; Sanches, 2017). E nesse sentido a computação em nuvem tem se mostrado uma alternativa viável sobretudo quando se precisa lidar com um grande volume de dados orbitais, o que demandaria um tempo considerável e necessitaria de computadores de alta capacidade de processamento (Paludo et al. 2020).

Moreira (2005) menciona que a ideia de desenvolver um sistema sensor, para registrar a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre, a partir de plataformas

orbitais, surgiu logo após a análise das primeiras fotografias tiradas da terra. Os sensores por sua vez podem ser classificados em ativos e passivos. Em estudos de uso e ocupação do solo, de forma geral se usa dados advindos de sensores passivos, que, segundo Fitz (2008) não possuem fonte de energia e necessitam de fontes externas para captação da reflexão dos alvos, como a energia solar. Este mesmo autor classifica ainda os sistemas sensores em função do produto gerado: sensores não imageadores, onde (os dados são traduzidos em forma de gráficos e tabelas), e sensores imageadores, onde os dados gerados produzem a informações geradas na forma de imagens do alvo observado (Fitz, 2008).

Assim, tratando de sistemas sensores passivos e imageadores, Formaggio; Sanches, (2017), menciona que em estudos de sensoriamento remoto com aplicação para a agricultura, estão os imageadores semelhantes aos da série Landsat, um programa de satélites de observação da terra de origem norte-americana (Nasa e USGS), que teve início como ERTS-1, posteriormente denominado Landsat-1, lançado em 1972. Desde então vários outros satélites o sucederam, estando em órbita hoje o Landsat-9. Porém ao iniciar este estudo o satélite em funcionamento era o Landsat-8, que teve seu lançamento em 11 de fevereiro de 2013, compreendendo assim a série temporal analisada nesta pesquisa.

3.5.1 Série Landsat

O Satélite Landsat 8 é um grande clássico no setor de Observação da Terra e permite gerar imagens de 15m coloridas por fusão digital. Sua riqueza espectral e a ampla abrangência de cada cena, é a solução padrão para trabalhos até a escala 1:25.000 (<https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat>).

A carga útil do satélite Landsat 8 consiste em dois instrumentos científicos (Quadro 1), Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS). Esses dois sensores fornecem cobertura sazonal da massa terrestre global em uma resolução espacial de 30 metros (visível, NIR, SWIR); 100 metros (térmico); e 15 metros (pancromático). O Landsat 8 foi desenvolvido como uma colaboração entre a NASA e o US Geological Survey (USGS).

Quadro 1 - Características dos sensores acoplados no satélite Landsat-8

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Área Imageada | Resolução Radiométrica |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| OLI (Operational Land Imager) | (B1) AZUL COSTEIRO | 0.43 - 0.45 μm | 30 m | 16 dias | 170 x 183 km | 16 bits |
| | (B2) AZUL | 0.45 - 0.51 μm | | | | |
| | (B3) VERDE | 0.53 - 0.59 μm | | | | |
| | (B4) VERMELHO | 0.64 - 0.67 μm | | | | |
| | (B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 0.85 - 0.88 μm | | | | |
| | (B6) INFRAVERMELHO MÉDIO | 1.57 - 1.65 μm | | | | |
| | (B7) INFRAVERMELHO MÉDIO | 2.11 - 2.29 μm | | | | |
| | (B8) PANCROMÁTICA | 0.50 - 0.68 μm | 15 m | | | |
| | (B9) CIRRUS | 1.36-1.38 μm | 30 m | | | |
| TIRS (Thermal Infrared Sensor) | (B10) INFRAVERMELHO TERMAL | 10.6-11.19 μm | 100 m | | | |
| | (B11) INFRAVERMELHO TERMAL | 11.5-12.51 μm | 100 m | | | |

Fonte: www.engsat.com.br (2024).

Cada tecnologia tem suas vantagens e desvantagens, e, assim, cada uma é mais apropriada para uso conforme as demandas e especificidades dos casos. Os dados multiespectrais do ETM+ ou do OLI/Landsat têm grande utilidade para os objetivos do sensoriamento remoto em agricultura, sendo o seu principal sensor o OLI, tendo o sensor termal TIRS bandas espectrais de 1 a 7 e a 9 com resolução espacial de 30m e faixa de imageamento de 170 na direção norte-sul, e 185 km na direção leste-oeste (www.engsat.com.br).

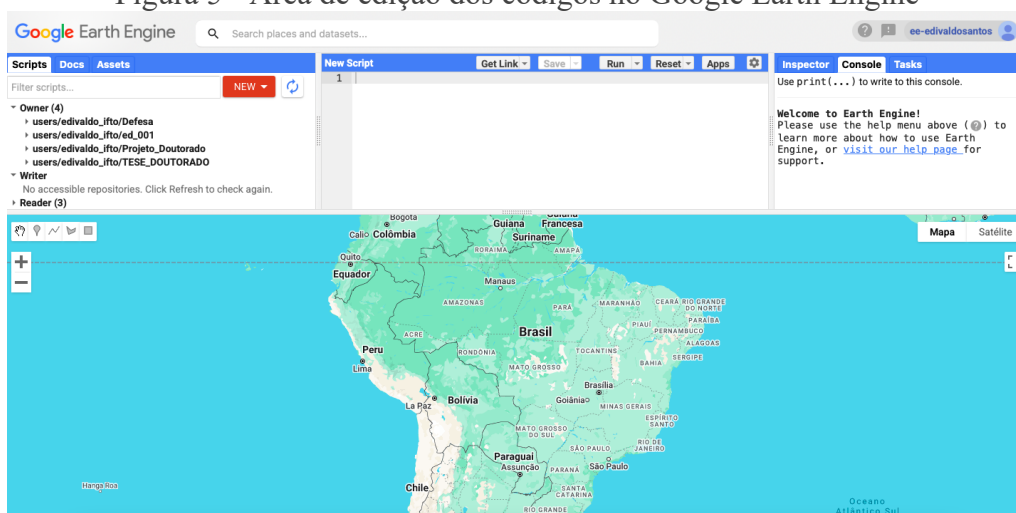
3.6 Google Earth Engine

O Google Earth Engine é uma plataforma baseada em nuvem para análise geoespacial global que disponibiliza enormes recursos de computação do Google para resolver uma variedade de problemas sociais de grande impacto, como desmatamento, seca, desastres, doenças, segurança alimentar, gestão de água, clima, monitoramento e proteção ambiental (Gorelick et al. 2017).

Segundo Vale (2019), o Google Earth Engine (GEE) é uma ferramenta que vem reduzindo tempo, custos e contribuindo para o avanço de pesquisas. Trata-se de uma plataforma online do Google que possui informações globais que ajudam a identificar alterações na superfície terrestre, oceanos e atmosfera. Esta plataforma processa dados na nuvem, possibilitando uma grande quantidade de dados geoespaciais; sendo que o catálogo gratuito inclui cenas do Landsat (USGS / NASA), Sentinel, MODIS, entre outros recursos criados em Javascript e Python (GEE, 2021).

Nesse contexto Brito, (2021) lembra que a elaboração de algoritmos para a classificação de níveis de degradação em pastagens requer o desenvolvimento de técnicas avançadas e precisas de Sensoriamento Remoto, que podem ser desenvolvidas e aprimoradas em plataformas de código aberto como o editor de código do Google Earth Engine (Figura 5).

Figura 5 - Área de edição dos códigos no Google Earth Engine



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

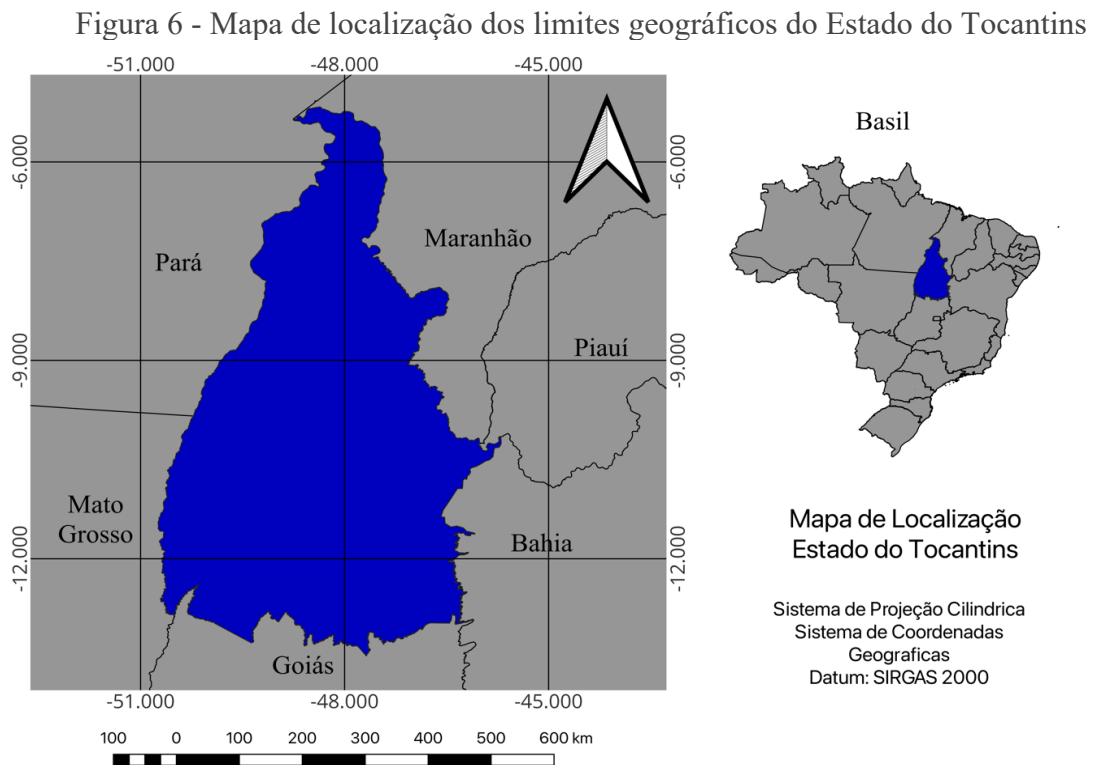
Neste ambiente é disponibilizado APIs para JavaScript e Python, possibilitando aos desenvolvedores realizarem estudos em escala planetária da superfície terrestre.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudos

O Estado do Tocantins está localizado na porção sudeste da região Norte brasileira, entre as longitudes 45°W e 51°W e latitudes 5°S e 14°S, abrangendo uma área de 278.846,9 km², que representa 3,26% da área total do Brasil e 7,2% da região norte (Roldão, Ferreira, 2019).

Tem como limites os Estados de Goiás ao sul, Mato Grosso a oeste e sudoeste, Pará a oeste e noroeste, Maranhão a norte, nordeste e leste, Piauí a leste e Bahia a leste e sudeste (Figura 6).

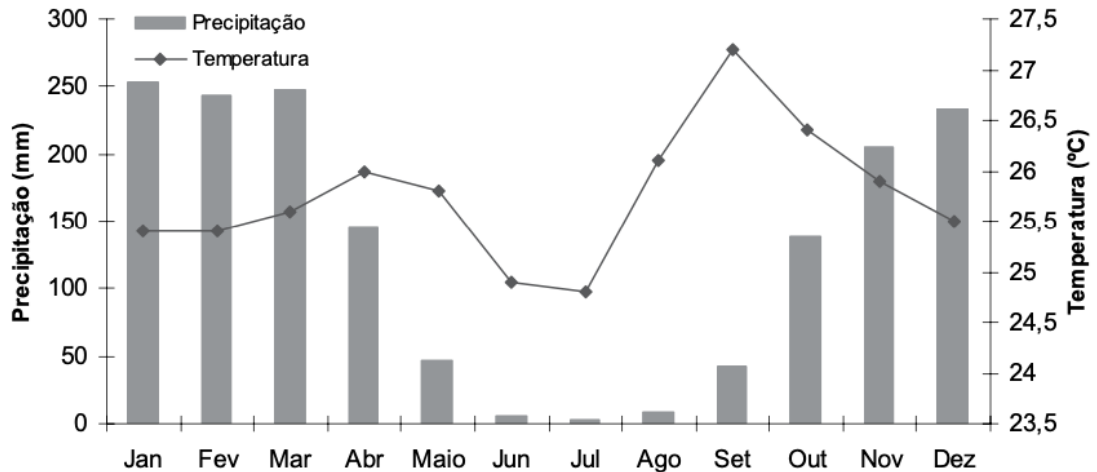


Fonte: Bases cartográficas IBGE (2022).

O estado do Tocantins está sob domínio do clima tropical semiúmido, predominante na região central do Brasil, sendo caracterizado por um período estacional seco e outro chuvoso. Apresenta normalmente uma estação com estiagem de cerca de 4 a 5 meses, e a ocorrência de chuvas concentradas no verão, onde registram-se os maiores totais pluviométricos, quando as chuvas atingem acumulados médios superiores a 250 mm mensais, quando o Tocantins chega a valores médios anuais de chuva entre 1250 e 2050 mm (Roldão; Ferreira, 2019) Já as maiores médias de temperatura são registradas na primavera, sendo o mês de setembro o mais quente,

com média de 27,7°C.. A figura 7 apresenta a distribuição mensal de precipitação no estado do Tocantins determinada por Collicchio et al. (2020).

Figura 7 - Médias mensais da temperatura e totais médios mensais de precipitação, no Estado do Tocantins

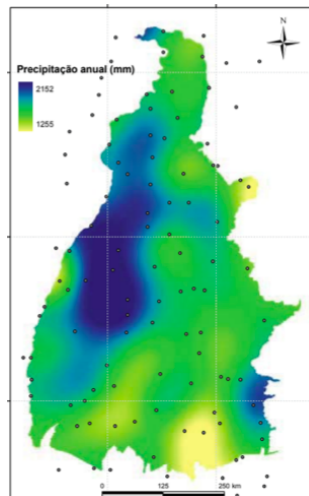


Fonte: Collicchio et al (2020).

A maior parte do estado recebe valores médios anuais de precipitação entre 1650 e 1850 mm. Enquanto as porções centro-leste, sudeste e sul, possuem valores inferiores a 1650 mm (Roldão; Ferreira, 2019).

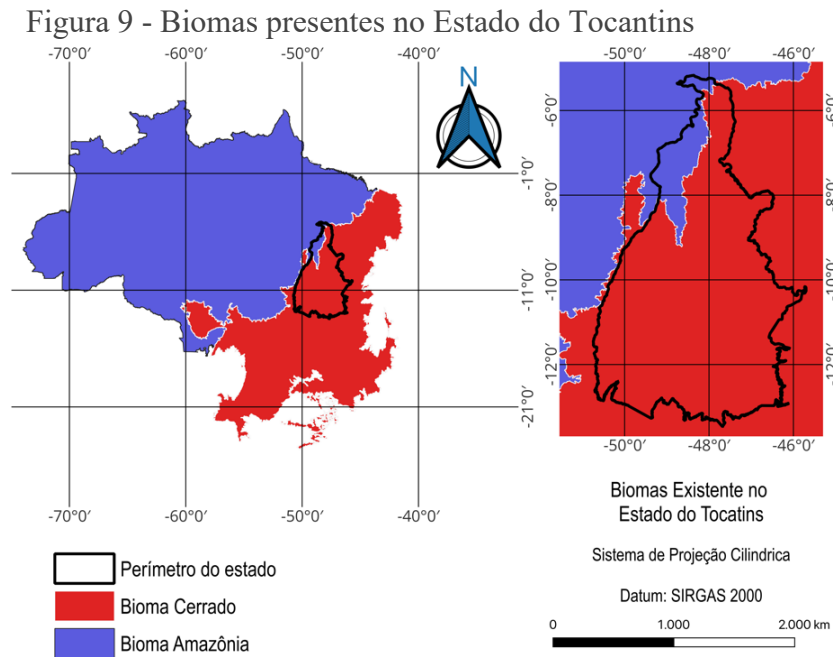
As menores precipitações, são observadas nas regiões sudeste e nordeste do Tocantins, destacando-se o município de Paranã, localizado na região sudeste, onde, de acordo com Collicchio et al., (2020) o volume pluviométrico médio anual de 422 mm, está abaixo da média estadual (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição de chuvas médias anuais no Estado do Tocantins



Fonte: Collicchio et al (2020).

O bioma cerrado é predominante no território tocantinense ocupando cerca de (91%) da área do estado, sendo o Bioma Amazônia encontrado em apenas de 9% do território restante (Figura 9). Há ainda dentro de cada Bioma a ocorrência de variações quanto à vegetação característica (MAPBIOMAS, 2022).

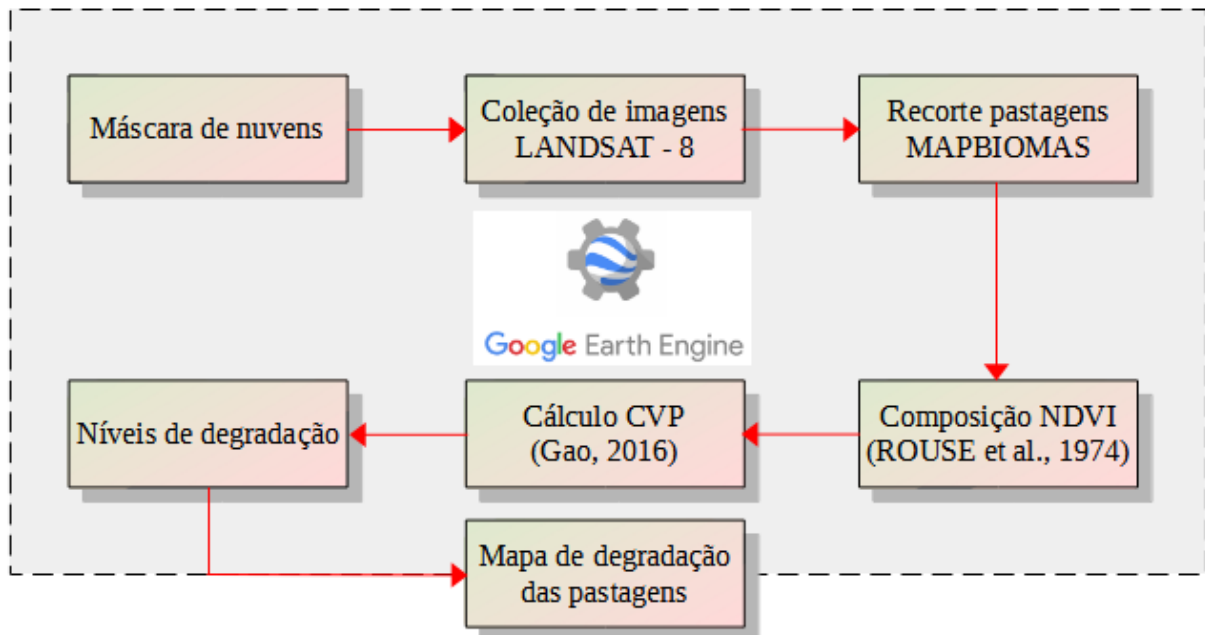


Fonte: Bases cartográficas IBGE (2022).

4.2 Procedimentos Metodológicos

Para monitoramento dos dados e posterior geração do mapeamento das áreas degradadas, foram utilizadas imagens orbitais do sensor TM (*thematic mapper*) do satélite Landsat 8 OLI/TIRS (*de 30 metros de resolução espacial*), processadas, com valores de reflectância em topo de atmosfera, no período compreendido entre os anos de 2013 e 2022. A classificação quanto aos níveis de degradação foi obtida por meio de código desenvolvido usando programação livre, na plataforma do *Google Earth Engine*, a partir da linguagem JavaScript. A plataforma disponibiliza códigos básicos para cada conjunto de dados disponível, possibilitando aos usuários realizar as devidas alterações (Azevedo; Barbosa, 2020). Conforme Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma das atividades para mapeamento no Google Earth Engine



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

4.2.1 Eliminação de pixel's com nuvens

Vale ressaltar que, em estudos de vastas áreas com imagens de satélite a cobertura de nuvens interfere na resposta espectral dos alvos (Sano et al., 2019). Desta forma, para seleção das imagens a serem utilizadas fixou-se um percentual máximo de 10% de cobertura de nuvens, conforme recomendado por Conceição et al. (2015). Ainda assim, os pixel's contaminados com nuvens nessas imagens sofreram um processo de remoção, por meio de função de máscara de nuvens (Figura 11), para posteriormente obter-se a média dos valores de reflectância em cada pixel para cada cena do mosaico da área de estudo. Para o ano inicial de 2013 a primeira imagem utilizada data de 01/04/2013, devido ao fato do sensor TM (*thematic mapper*) do satélite LandSat 8 ter começado a operar em fevereiro de 2013 (Gorelick et al., 2017, p.18).

Figura 11 - Função para remoção de pixel's contaminados com nuvens

```
function maskL8sr(image){
    var qaMask = image.select(['QA_PIXEL']).bitwiseAnd(parseInt('111111', 2)).eq(0);
    var saturationMask = image.select("QA_RADSAT").eq(0);
    var opticalBands = image.select("SR_B.").multiply(0.0000275).add(-0.2);
    var thermalBands = image.select("ST_B.*").multiply(0.00341802).add(149.0);
    return image
        .addBands(opticalBands, null, true)
        .addBands(thermalBands, null, true)
        .updateMask(qaMask)
        .updateMask(saturationMask)
        .copyProperties(image, image.propertyNames())
        .set({date: image.date().format('YYYY-MM-dd')});
}
```

Fonte: Google Earth website. <http://earth.google.com/>(2024).

Para as imagens selecionadas, a função máscara de nuvens foi aplicada na banda de qualidade "QA_PIXEL Bitmask". As figuras 12(A) e 12(B), destacam como a banda de qualidade QA_PIXEL Bitmask é formada e o resultado da função máscara de nuvens.

Figura 12 - Composição da banda de qualidade QA_PIXEL do sensor OLI 8 (A) e imagem com resultado da máscara de nuvens (B)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Na Figura 12(A) pode-se observar as classes de nuvens e sombras de nuvens, partir dessas classes que a função de máscara de nuvens retira os pixel's contaminados, deixando um vazio na imagem, como mostra a Figura 12(B), que apresenta o resultado da função máscara de nuvens. Em seguida, o valor nulo de cada pixel é preenchido pelo valor médio das imagens que

compõem a pilha de imagens, eliminando, desta forma, a dependência de imagens sem cobertura de nuvens.

As áreas de pastagens para o estado do Tocantins foram extraídas da série Mapa das Coleções do MAPBIOMAS, atualmente na coleção 8, geradas a partir de imagens Landsat 8 para cada ano, de 1985 a 2022 (MAPBIOMAS,2022). Nesta etapa para cada ano foi realizado um recorte (Clip) da área de estudo (limites do estado), e em seguida selecionada apenas a classe de interesse, ou seja, o tema pastagem, que recebe o código 15 referente a classe pastagens. Como ainda não há imagem para o ano de 2023, a análise limita-se ao ano de 2022.

A edição do código necessário para o processamento foi realizada na plataforma livre do “*Google Earth Engine Editor*”, disponibilizada pelo portal Google.

4.2.2 Cálculo dos índices de vegetação

Para o cálculo do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), a literatura recomenda (Brito et al., 2020; Conceição et al, 2021; Sousa et al, 2022)) a utilização da metodologia proposta por Rouse et al., (1974), que utiliza dados de reflectância das bandas do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR), de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \dots\dots\dots(1)$$

Sendo:

NIR = Banda do Infravermelho próximo (0,76 a 0,90 micrômetros); e

R = Banda do Vermelho (0,63 a 0,69 micrômetros).

Para a estimativa dos níveis de degradação de pastagens utilizou-se a metodologia proposta por Gao et al. (2006) presente em vários estudos (Gosch et al, 2020; Ramos et al, 2021), que relaciona os valores médios, máximos e mínimos do NDVI médio anual pixel a pixel, conforme a seguinte equação:

$$CV = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_s - NDVI_v} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Sendo:

CVP = Cobertura vegetal das pastagens, em %;

NDVI_s = Menor valor de NDVI das manchas de solo exposto na área; e

NDVI_v = Maior valor de NDVI encontrado nas áreas de pastagens.

Na determinação do $NDVI_{\text{médio}}$ anual, inicialmente calculou-se o NDVI de cada uma das imagens selecionadas para cada ano da série, sem que para esta etapa foi necessário a utilização de uma função para calcular o NDVI individual das imagens, e em seguida obteve-se a média NDVI ($NDVI_{\text{médio}}$) de todas as imagens para cada ano, resultando em uma imagem anual. Em seguida extraiu-se a partir de um redutor (Figura 13), o maior valor observado ($NDVI_v$), bem como o menor valor observado ($NDVI_s$).

Figura 13 - Função para obter os valores mínimo e máximo do NDVI Médio

```
function IN_VEG (image) {
  var NDVIs = Indice_NDVI.select('NDVI').reduce(ee.Reducer.min()).rename('NDVIs');
  var NDVIv = Indice_NDVI.select('NDVI').reduce(ee.Reducer.max()).rename('NDVIv');
  return image.addBands([NDVIs,NDVIv]) }

var Indice_NDVI = Indice_NDVI.map(IN_VEG);
```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Para o cálculo do índice CVP houve a necessidade de formulação de uma expressão matemática seguida de um dicionário de variáveis, utilizando o raster Imagem_Indices e selecionando as bandas do NDVI, $NDVI_s$ e $NDVI_v$, conforme Figura 14.

Figura 14 - Expressão formulada para calcular o CVP

```
var CVP = Imagem_Indices.expression('((NDVI - NDVIs) / (NDVIv - NDVIs)) * 100',
  { 'NDVI' : Imagem_Indices.select('NDVI'),
    'NDVIs': Imagem_Indices.select('NDVIs'),
    'NDVIv': Imagem_Indices.select('NDVIv')
  }.clip(Pasto_2020)).rename('CVP');
```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

O índice de cobertura vegetal de pastagens (CVP) calculado serviu como parâmetro para a classificação quanto ao nível de degradação das pastagens, segundo Gosch et al (2020) e conforme apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 - Nível de degradação das pastagens, conforme o percentual de cobertura vegetal da pastagem anual (CVP)

| Classe de nível de degradação | Valor de CVP | Nível |
|-------------------------------|---------------------|-------|
| Severamente degradada | $CVP < 40\%$ | 4 |
| Moderadamente degradada | $40\% < CVP < 50\%$ | 3 |
| Levemente degradada | $50\% < CVP < 60\%$ | 2 |
| Não degradada | $CVP > 60\%$ | 1 |

Fonte: Adaptado de Gosch et al, (2020).

Após a geração da imagem com os níveis de degradação (CVP), foi realizada uma reclassificação dessas imagens de acordo com as classes contidas no Quadro 2 (Figura 15).

Figura 15 - Reclassificação da imagem CVP para as classes de degradação N1, N2, N3 e N4 de degradação

```
var classifiedCVP = CVP
    .where(CVP.lt(40), 4)
    .where(CVP.gte(40).and(CVP.lt(50)), 3)
    .where(CVP.gte(50).and(CVP.lt(60)), 2)
    .where(CVP.gte(60), 1);
```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Em seguida as imagens foram exportadas em formato raster para o software livre QGIS versão 3.32 LIMA, para elaboração dos mapas, quantificação das áreas de cada nível e geração dos gráficos de tendência de cada nível.

Para validação das classes de degradação foi aplicado um teste de comparação de média com o nível de confiança de 95%. Segundo os critérios de coeficiente de variação (CV) estabelecidos por Pimentel-Gomes (2000) para analisar a dispersão dos dados, é possível classificar a variação como **baixa** quando o CV for inferior a 10%, **média** quando o CV estiver entre 10 e 20%, **alta** quando o CV estiver entre 20 e 30%, e **muito alta** quando o CV for superior a 30%.

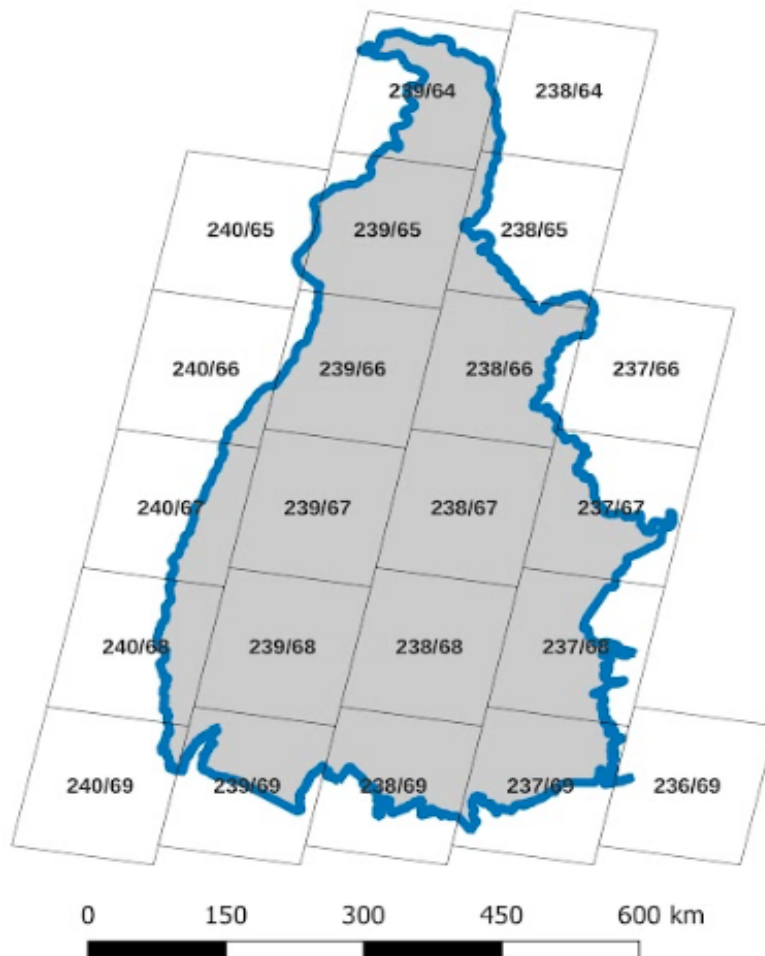
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mosaico de cenas Landsat 8

A metodologia realizada por meio de script (*código em javascript*), tornou possível utilizar o maior número de imagens para retratar as variações decorrentes da umidade disponível na vegetação, uma vez que essa umidade é umas das variáveis que interferem na qualidade da pastagem.

O mosaico de imagens que recobrem a área de estudo é composto de 22 cenas de 170x183 Km de extensão (Figura 16), resolução espacial de 30m e temporal de 16 dias, assim para caracterização dos níveis de degradação das pastagens, o número de imagens disponíveis somaram 528 para cada ano, ou seja um total de 5280, sendo utilizadas neste estudo 1860 imagens Landsat para da série estudada.

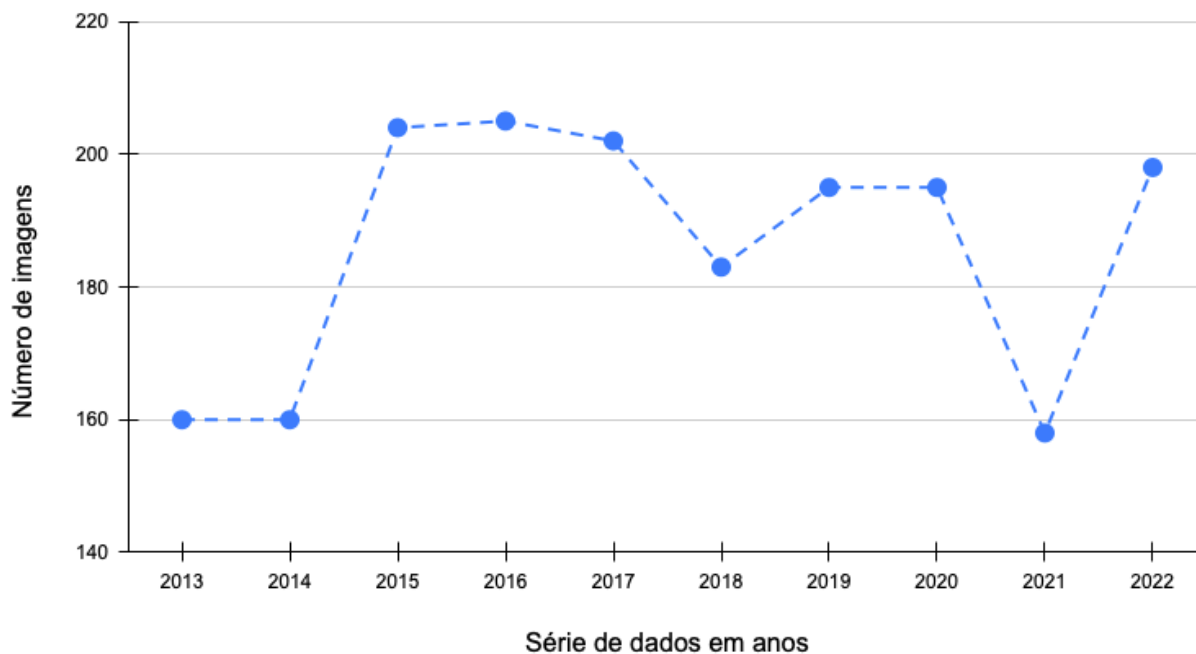
Figura 16 - Grade com órbita/ponto das cenas Landsat 8 utilizadas no recobrimento da área de pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Na determinação dos níveis de degradação das pastagens, foi utilizada a média de 186 imagens do sensor Landsat 8, sendo que o número total de imagens utilizado em cada ano pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Número de imagens utilizadas em cada ano da série para determinação dos níveis de degradação das pastagens no Estado do Tocantins



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Os anos que apresentaram menor número de imagens utilizadas foram 2013 e 2014, com um total de 160 imagens cada ano, e 2021 com um total de 158 imagens utilizadas, sendo que essa redução de imagens ocorreu em virtude de um maior percentual de áreas com cobertura de nuvens acima de 10%. Para o ano de 2021 o total de imagens disponíveis sem o filtro de nuvens é de 442 imagens, e, destas, apenas 158 atenderam ao limiar de apenas 10% de cobertura de nuvens.

5.2 Cenário das pastagens no Estado do Tocantins

Estudos recentes de avaliação da degradação das pastagens têm utilizado até três imagens para representar o comportamento espectral anual, sendo uma imagem do final do período chuvoso, uma do período de seca, e uma no início do período chuvoso. Esse número limitado de imagens se deve ao fato do tempo necessário para processamento, bem como a necessidade de equipamentos com capacidade para realizar essa atividade (Ferreira et al 2019; Brito et al., 2020; Sousa et al, 2022). Na Tabela 3 pode-se observar o resumo de dados obtidos para cada ano da série.

Tabela 3 - Resumo das áreas de pastagens e níveis de degradação das pastagens para o Estado do Tocantins dos anos de 2013 a 2022

| Ano | Numero de imagens | Área de Pasto (Km ²) | Classes de degradação (%) | | | |
|------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2013 | 160 | 75.745,03 | 6,02 | 18,88 | 33,73 | 41,37 |
| 2014 | 160 | 68.956,15 | 1,84 | 13,01 | 33,60 | 51,55 |
| 2015 | 204 | 78.063,58 | 1,86 | 9,75 | 29,44 | 58,94 |
| 2016 | 205 | 78.441,39 | 8,35 | 28,46 | 36,32 | 26,87 |
| 2017 | 202 | 78.141,31 | 6,75 | 16,90 | 28,12 | 48,23 |
| 2018 | 183 | 78.070,35 | 3,78 | 15,57 | 36,55 | 44,10 |
| 2019 | 195 | 78.242,98 | 4,56 | 19,82 | 37,49 | 38,07 |
| 2020 | 195 | 64.898,74 | 3,01 | 16,78 | 39,95 | 40,26 |
| 2021 | 158 | 79.404,69 | 4,13 | 17,69 | 31,88 | 46,30 |
| 2022 | 198 | 79.853,00 | 6,82 | 19,33 | 29,81 | 44,04 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

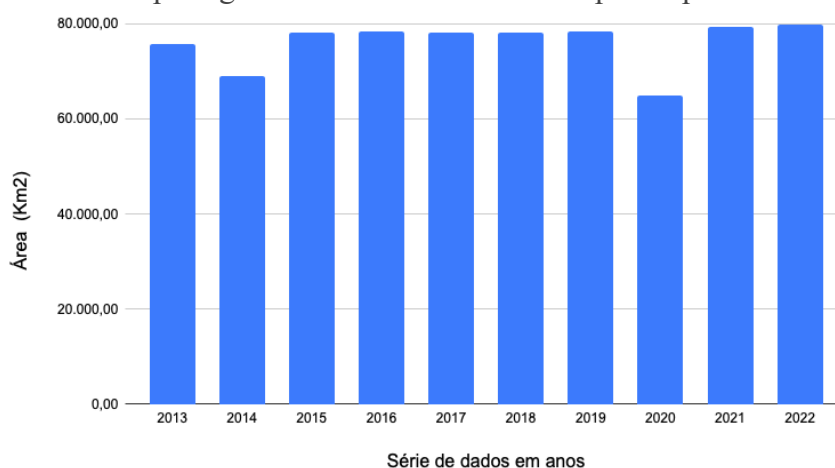
A partir da Tabela 3 observa-se que, não houve variações significativas nas áreas de pastagens para o estado do Tocantins, conforme pode ser visto ainda na Figura 18. De acordo com esses dados obtidos do MAPBIOMAS (2022), o valor médio das áreas de pastagens, foi de 78.105,83 km², sendo que apenas os anos de 2014 e 2020, apresentaram áreas inferiores a 75 mil km² de pastagens, seguindo a tendência nacional para áreas de pastagens conforme o MAPBIOMAS (2022), mostrando uma estabilidade entre os anos de 2011 a 2022.

De acordo com Borghi et al. (2015), essa manutenção das áreas de pastagens, tem ocorrido pela conversão de áreas de pastagens degradadas em área de cultivo de culturas de ciclo curto, como a soja e o milho. Desta forma a agricultura tem avançado no Tocantins com a produção de grãos, e as áreas expandidas para este objetivo tem sido, principalmente áreas de pastagens degradadas. Ao passo que novas áreas de pastagens são abertas para suprir a demanda crescente do rebanho bovino.

De acordo com Oliveira et al. (2002) as áreas de pastagens têm avançado sobre espaços antes ocupados por vegetação nativa na década de 1970 por apresentarem baixo valor comercial e aporte financeiro para financiamentos, viabilizando a inserção de forragens de fácil adaptação ao clima e baixa fertilidade de solos principalmente em região do cerrado.

Esse estímulo financeiro à pecuária resultou em uma ocupação atual com destaque para o setor, que segundo a Tabela 3 representa 28,01% de toda área do estado do Tocantins.

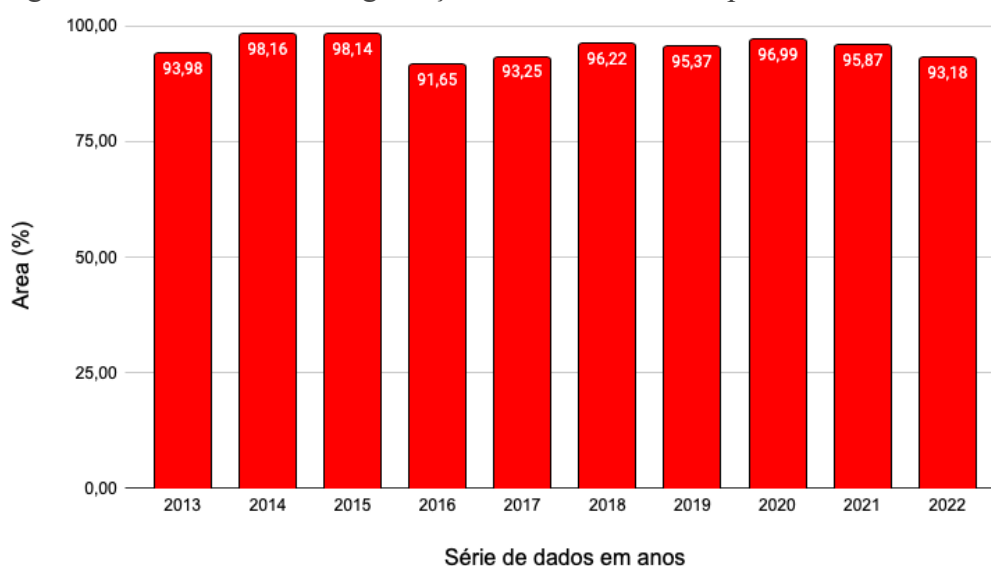
Figura 18 - Áreas de pastagens no Estado do Tocantins para o período de 2013 a 2022



Fonte: MAPBIOMAS (2022).

Os resultados obtidos demonstram que para a série estudada, foram identificados elevados percentuais de áreas caracterizadas com alto nível de degradação (44,07% em média), ou seja, o nível 4 (classe severamente degradada), enquanto para o nível 3 (classe moderadamente degradada) foi de 33,66%, e para o nível 2 (classe levemente degradada) de 17,30%, ficando o nível 1 (classe não degradada) com uma média para a série de 4,34%, e, desta forma o percentual médio de áreas com algum grau de degradação encontrado é de 95,62%, conforme Figura 19.

Figura 19 - Percentual de degradação na área de estudos para cada ano da série



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A média de áreas de pastagens com algum nível de degradação de 95,62% ficou acima dos 80% citado por Carvalho et al. (2017), para pastagens localizadas no bioma cerrado,

considerando como degradadas, ou seja, em um estágio avançado de perda de qualidade, sem capacidade de se regenerar naturalmente e incapazes de garantir a produtividade e qualidade requeridas pelos animais, além de não resistirem aos danos causados por pragas, doenças e plantas invasoras.

A partir da Figura 19, pode-se observar que os anos de 2013, 2016, 2017, 2019 e 2022, mantiveram os percentuais de área degradada abaixo da média, enquanto nos demais anos os percentuais de degradação ficaram acima da média, com destaque para os anos 2014 e 2015, que apresentaram os percentuais acima dos 98% de área com algum nível de degradação.

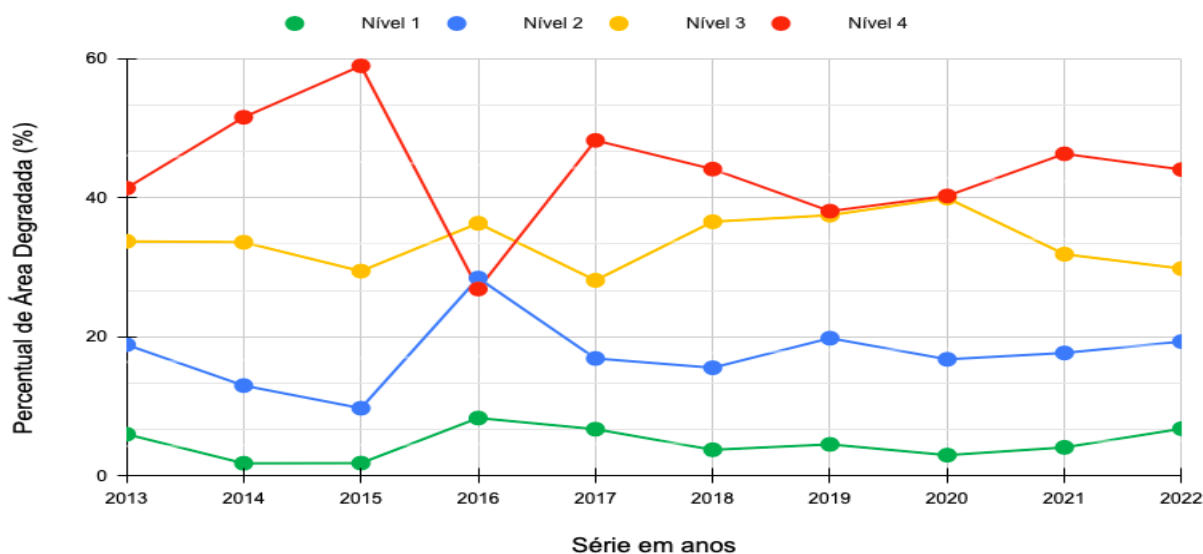
Esses percentuais se aproximam dos valores encontrados por Sousa et al (2022), que ao analisar a degradação das pastagens no município de Formoso do Araguaia - TO, constatou um percentual de áreas com algum nível de degradação da ordem de 90% entre os anos de 2016 a 2020, cabendo a ressalva de que estes autores utilizaram imagens do SENTINEL-2A, com resolução de 10m, e analisaram uma área menor, sendo de se esperar um resultado divergente do encontrado neste estudo, em razão da escala e dos dados processados. Em estudo de degradação de pastagem na região do triângulo mineiro, Brito et al. (2018), concluiu que em média 70% da área de pastagem encontrava-se com algum grau de degradação. Ramos et al. (2021), concluíram que 79,78% das pastagens localizadas no município de Araputanga-MT encontravam-se com algum grau de degradação, sendo que neste estudo foram utilizadas imagens Landsat 8 do ano de 2020.

As classes de degradação definidas por Gosch et al. (2020), utilizadas neste estudo, foram validadas pela caracterização de pastagens degradadas em três assentamentos rurais avaliadas pelos técnicos do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), localizados no estado do Goiás criados a partir de 2006, e, de acordo com os autores foi necessário reduzir a quantidade de classes de depreciação usadas pelo INCRA, de seis para quatro, de forma a igualar com o número de classes que melhor representaria essa a degradação das pastagens no cerrado goiano.

5.3 Análise temporal da degradação das pastagens

Na Figura 20 pode-se observar o comportamento de cada nível de degradação ao longo da série estudada, identificando em quais anos da série houve maiores índices de degradação. Também é possível observar uma ampla variação das classes conforme também observado por Arantes (2017) para pastagens no bioma cerrado.

Figura 20 - Comportamento dos níveis de degradação das pastagens no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 a 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Entre os anos de 2013 e 2015, observou-se um crescimento de 17,56% na área severamente degradada nível 4, saindo de 41,37% para 58,95, já para o ano de 2016, este mesmo nível apresentou uma redução da ordem de 32,07%, caindo de 58,95% para 26,87%, no ano de 2017 a área com degradação severa volta a apresentar um crescimento (21,36%) chegando ao patamar de 48,23% da área total de pastagens.

Entre os anos de 2017 a 2019 observa-se uma redução do percentual do nível 4 (7,97%), o que corrobora com os resultados observados pelo MAPBIOMAS, que reportou uma redução das áreas degradadas de pastagens brasileiras de 72% para 60%, nesse mesmo período (MAPBIOMAS, 2022). Ao analisarmos a Figura 20, pode-se verificar o comportamento geral das classes de degradação para toda a série estudada.

Entre os anos de 2019 e 2021, o nível 4 volta a apresentar comportamento de crescimento da ordem de 8,23%, passando de 38,07% a 46,3%, reduzindo no ano de 2022 para 44,04%. Essa variação pode ser consequência do mau uso do solo, do tipo de cobertura ou forrageira, ou ainda do aumento do rebanho. A deterioração é frequentemente associada ao excesso de pastejo, ao controle insuficiente de ervas daninhas, pragas e à falta de fertilização.

Podemos verificar ainda que, de forma geral o nível 4 (classe severamente degradada) é a que apresenta maior amplitude ao longo do tempo, enquanto o nível 3 (moderadamente degradada) oscila entre as faixas de 25 a 40%, o nível 2 (levemente degradada) variando entre 10 e 20%, apresentando para o ano de 2015 um percentual de 9,75%, e um pico no ano de 2016 passando de 28%, mesmo ano que o nível 4 reduz ao menor patamar percentual. Já o nível 1 se

mantém no limiar de 10%. Nota-se ainda que em apenas um ano pode-se perceber o efeito da redução do nível 4 e aumento dos níveis, 3, 2, 1 observado em 2016 ou seja, não houve mudanças significativas ao longo do tempo nos níveis 3,2,1. Pode-se observar que as mudanças de nível de degradação ocorrem mais significativamente entre os anos de 2015 e 2017.

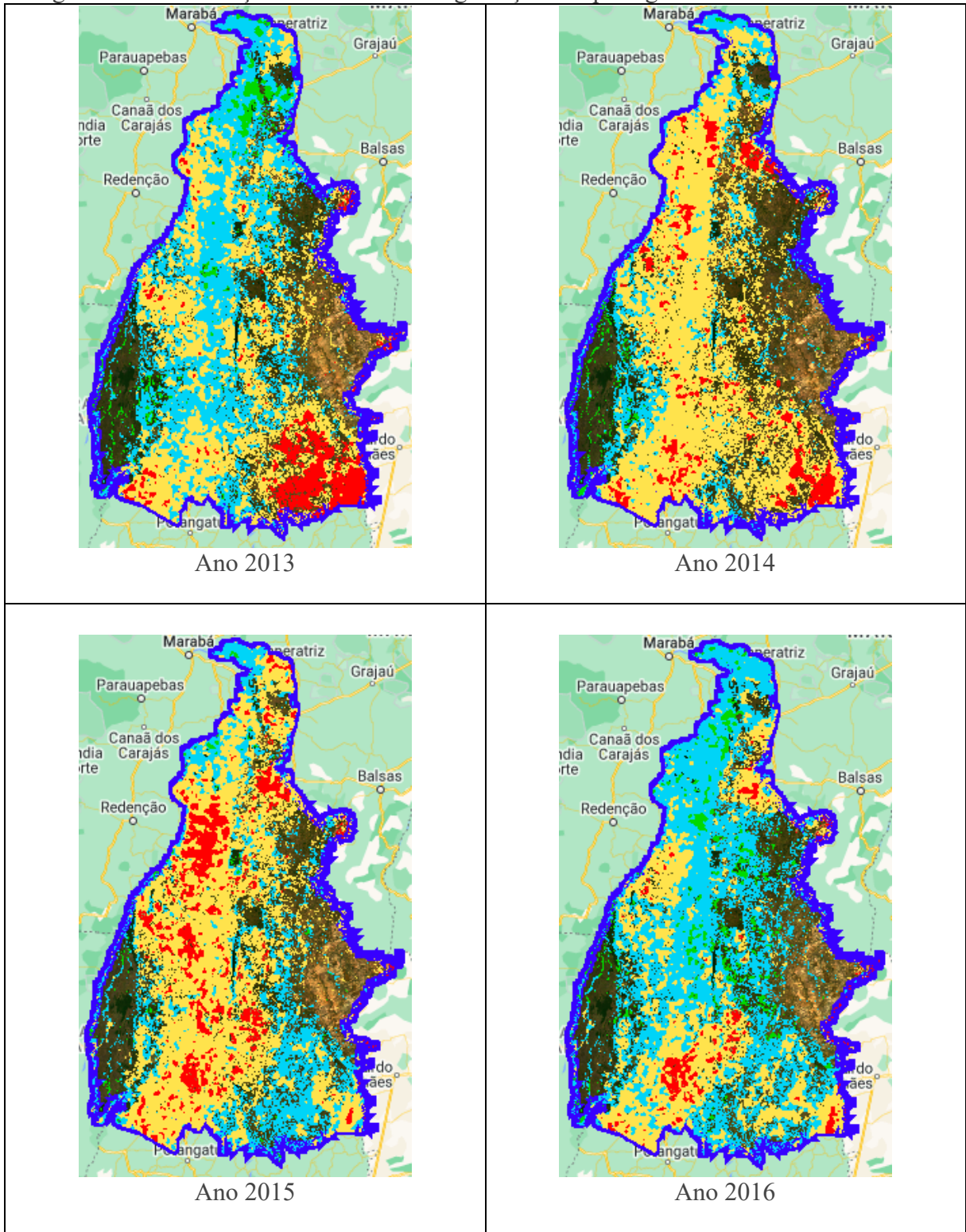
Nota-se que, no ano de 2022 a soma dos percentuais dos níveis 3 e 4 somam 73,85% de toda a área de pastagem, valor próximo ao encontrado por Sousa et al. (2022), ao analisarem a degradação das pastagens no município de Formoso do Araguaia entre os anos de 2016 e 2020, a soma das áreas, mas críticas foi de 69% do total da área. Entre os anos de 2015 e 2016 observamos o maior gradiente do nível 4 reduzindo seu percentual de área, bem como o maior gradiente do nível 2 com aumento de sua proporção em área de pastagens, neste ano podemos observar que o nível 4 cai ao seu menor percentual de 26,87%. Por outro lado, o nível 2 chega ao seu maior patamar de 28,46% alcançando assim seu percentual para série e ultrapassando em percentual do nível 4 de acordo com a Tabela 3, esse fenômeno não é observado em nenhum outro ano do período estudado.

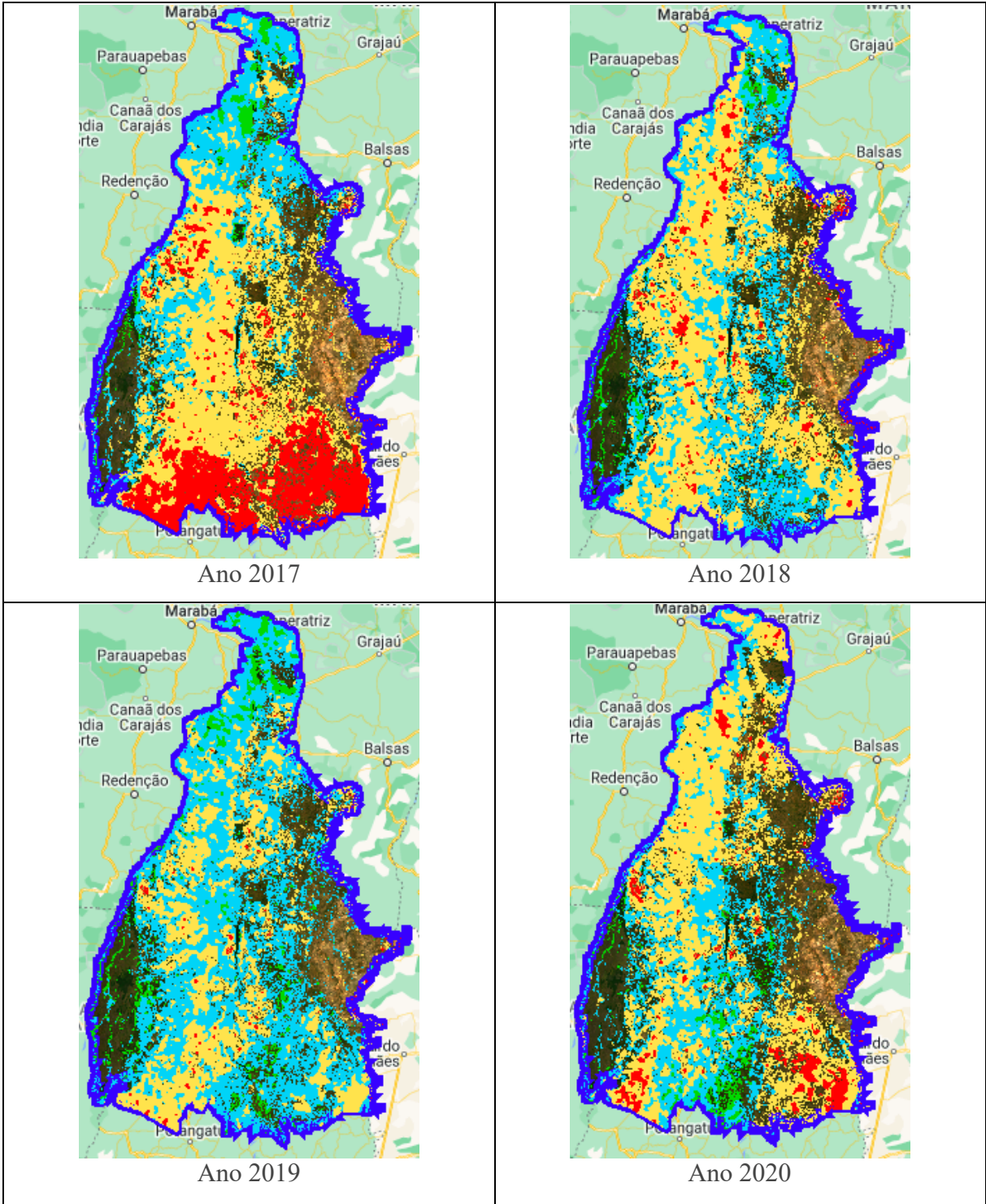
Outro aspecto com relação ao comportamento dos níveis 4 e 3 é fato que nos anos de 2019 e 2020 esses níveis se aproximam em termos percentuais, evidenciando uma diferença mínima de 0,58% entre eles em 2019, e de, apenas 0,31% em 2020 em favor do nível 4 sobre o nível 3, demonstrando assim para esses anos houve mudanças no manejo das áreas de pastagens caracterizando ganho de bioma entre essas classes.

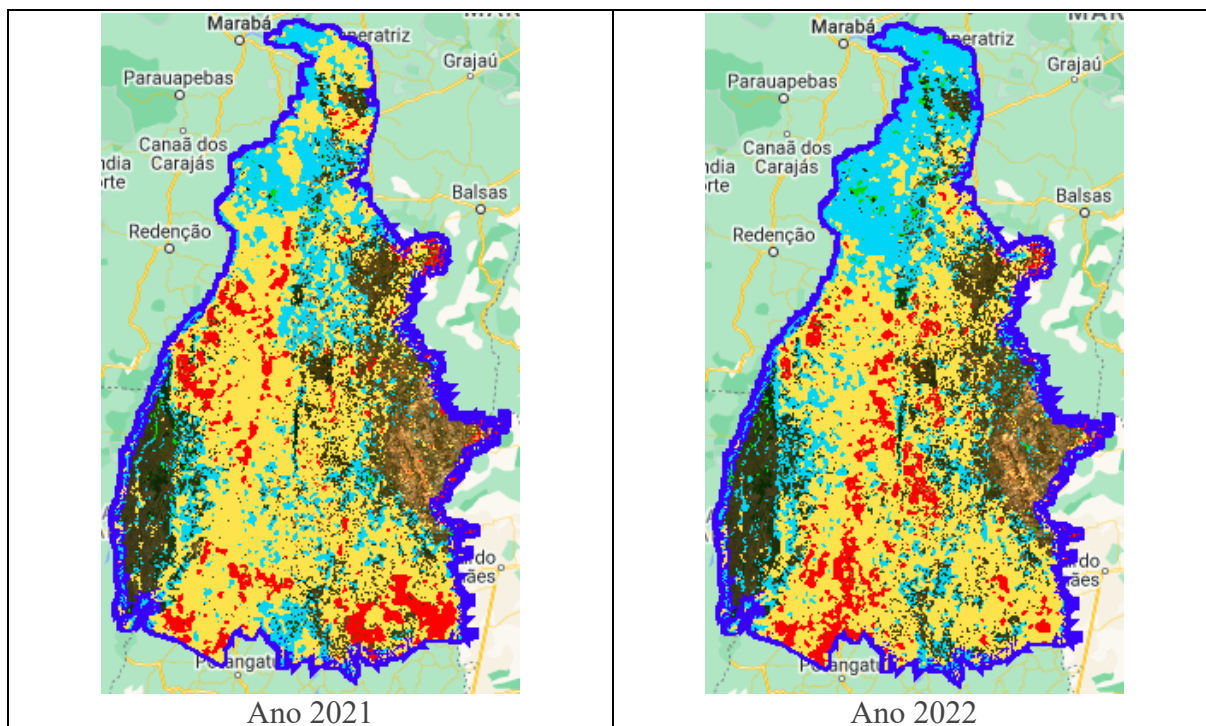
De acordo com a Figura 20, pode-se perceber uma tendência geral para o nível 4 de redução ao longo da série, enquanto os demais níveis 3, 2 e 1 apresentam uma tendência geral de crescimento, o que caracteriza de forma geral um ganho de bioma da cobertura de pastagens.

De forma a contribuir com a interpretação do comportamento dos níveis de degradação das pastagens na área de estudo, foram elaborados mapas temáticos de espacialização das áreas para cada ano da série estudado, conforme Figura 21.

Figura 21 - Distribuição das classes de degradação das pastagens no Estado do Tocantins





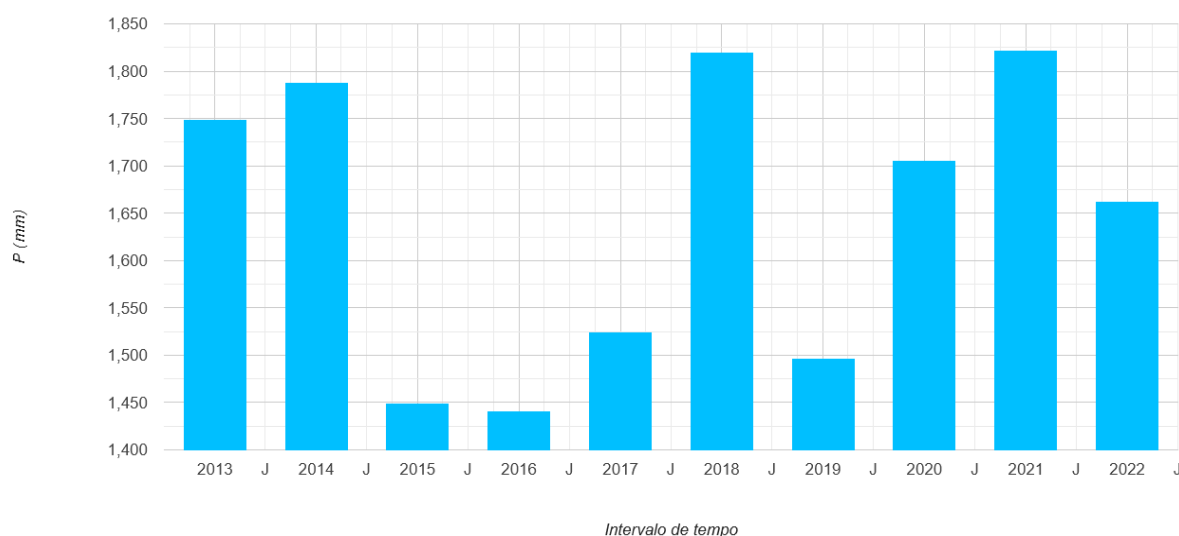


(Verde) Nível 1; (Cyan) Nível 2; (Amarelo) Nível 3; (Vermelho) Nível 4. Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Figura 21, pode-se notar que a degradação das pastagens ocorre em todo o território do estado, e que, os anos mais crítico corresponde aos anos de 2013 na região sudeste do estado região que historicamente apresenta menores índices pluviométricos anuais (Roldão, Ferreira, 2019).

Os anos 2014 e 2015 apresentaram uma distribuição mais homogênea em toda a área de estudo. Já no ano de 2017 o nível 4 (classe severamente degradada) apresentou um percentual médio de 48,23%, sendo o segundo pior resultado da série, com maior concentração na região sul do estado. De acordo com a Figura 21 o ano de 2019 apresenta uma melhor distribuição do nível de degradação 2, sendo observada em toda a região do estado, e ainda para esse mesmo ano uma maior concentração do nível 1 ao norte do estado na região do Bico do Papagaio. Para os anos finais da série 2021 e 2022 os percentuais de nível 4 apresentaram similaridade com ocorrência de 46,30% e 44,04% respectivamente, e apresentam distribuição espacial semelhante entre a região central e sul do estado, sendo a região norte com maiores percentuais dos níveis 3 e 2 de degradação. Os anos de 2013 e 2014 apresentaram um total precipitado acima da média estadual, porém os anos de 2015 a 2017 apresentaram acumulados abaixo da média conforme Figura 22, o que pode ter contribuído para um avanço da degradação ocasionada por estresse hídrico.

Figura 22 - Precipitação anual acumuladas no Estado do Tocantins



Fonte: CHIRPS (Clima Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) de 2013 a 2022 (2024).

5.4 Correlação entre os níveis de degradação e os índices pluviométricos

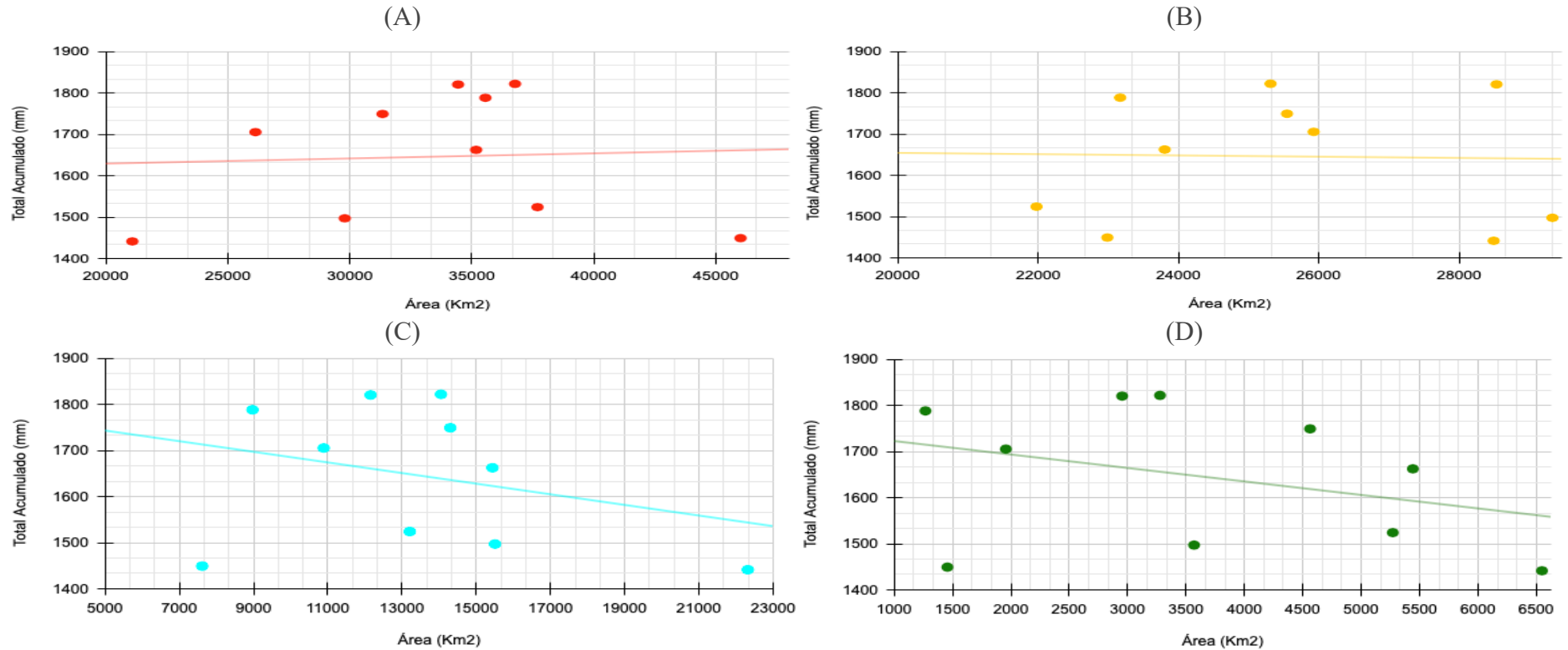
Foram realizadas análises de correlação entre as áreas de cada nível de degradação e a lâmina total precipitada para cada ano da série histórica, com o objetivo de verificar a relação entre a degradação e a oferta de chuvas, conforme a Figura 23.

De acordo com a Figura 23, verifica-se que não houve correlação entre nenhum dos níveis de degradação das pastagens com o total pluviométrico acumulado anual. Os resultados mostram valores de correlação nulos ou baixos. Os valores de R^2 foram de 0,003; 0,001; 0,0093; e 0,116; respectivamente para as correlações entre os níveis: quatro, três, dois, e um versos o total acumulado anualmente dos anos de 2013 a 2022, descartando desta forma a hipótese de o stress hídrico ser responsável direto pela degradação das pastagens.

Cabe ressaltar que o índice pluviométrico contribui para a condição de degradação, conforme constatado por Pereira et al (2018), ao verificar que, para os anos hidrológicos estudados os índices degradação das pastagens foram maiores para os meses secos, concluindo que o mês de setembro apresentou o maior nível de degradação.

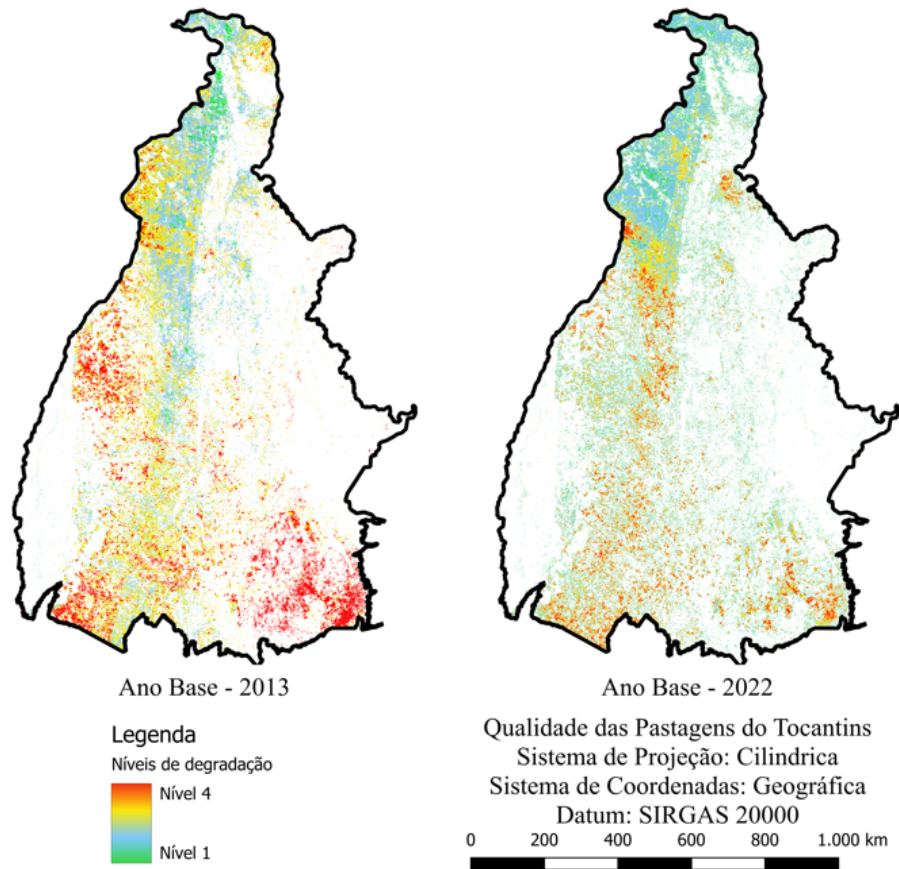
A partir do cálculo do CVP, e de forma a auxiliar na identificação da variação dos níveis de degradação entre os anos inicial e final da série, foi elaborado um mapa (Figura 24), com a espacialização dos níveis de degradação para o período de 2013 a 2022.

Figura 23 - Correlações entre os níveis de degradação e totais precipitados anualmente, (A) correlação nível quatro vs total pluviométrico acumulado; (B) correlação nível três vs total pluviométrico acumulado; (C) correlação nível dois vs total pluviométrico acumulado; (D) correlação nível um vs total pluviométrico acumulado



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Figura 24 - Espacialização dos níveis de degradação no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 e 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

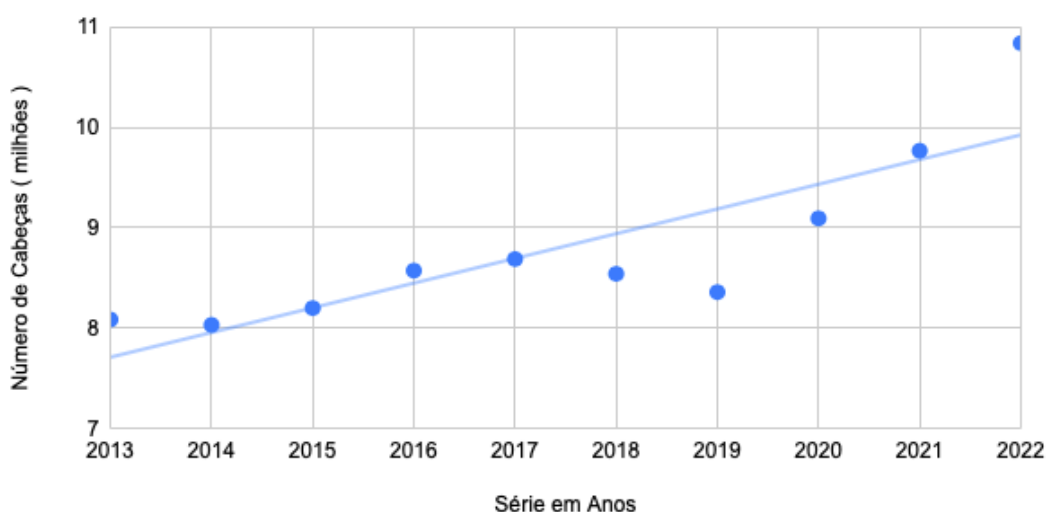
De acordo com a Figura 24, observa-se que a porção, mais ao norte do estado apresentou ganho de biomassa, por convenção de área do nível 4 de degradação para o nível 2. Também a porção sudeste do estado, com áreas inicialmente classificadas como severamente degradadas, passaram a apresentar classes moderadamente degradadas, sendo esse comportamento também observado nas regiões centro e sul do estado.

5.5 População Bovina do Estado do Tocantins

Ao analisar dados Centro de Inteligência da Carne Bovina - Cicarne (2019), e programa da Embrapa Gado de Corte em parceria com o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) e IBGE, Araújo et al (2023) apontam um crescimento da taxa de lotação bovina para a série de 1985 a 2019, demonstrando que houve uma variação de 0,654 animal.ha⁻¹ em 1985 para 1,524 animal.ha⁻¹ em 2019, o que pode ter contribuído para a manutenção dos altos índices de degradação das pastagens.

Um aspecto relevante nesse caso é que de acordo Dias-Filho (2014), o potencial de aumento de produtividade vem sendo constatado nos últimos anos, com o crescimento do rebanho bovino superando o aumento das áreas de pastagem (Figura 25).

Figura 25 - Crescimento do rebanho bovino no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 a 2022



Fonte: Adapec (2023).

A Figura 25 mostra um crescimento do rebanho bovino, entretanto para esse mesmo período não houve acréscimo de áreas de pastagens no estado do Tocantins, desta forma o acréscimo de animais por hectare, reforça a hipótese de manejo inadequado, em virtude da pressão do sobrepastejo que pode contribuir para manutenção dos níveis de degradação das pastagens (Dias-Filho, 2014).

Dessa forma, uma maneira de reduzir as pressões sobre as pastagens e mudar o atual cenário consiste na manutenção das pastagens e no manejo adequado da capacidade de suporte do pasto. Sobre a perda na capacidade de produção de carne na fase de engorda, Macedo et al. (2000), mencionam que pastagens degradadas podem produzir até seis vezes menos que uma pastagem produtiva, e, apesar do tempo transcorrido dessa afirmação ainda continua bastante relevante.

Segundo Valle Junior et al (2019), apesar das pastagens serem importantes fontes de nutrientes, o aumento do rebanho, aliado à falta de manejo para reposição de nutrientes no solo, tem afetado negativamente a qualidade das mesmas, e o reflexo dessa superlotação resulta em pastagens cada vez mais degradadas e com tendência de baixa capacidade de suporte animal.

A tendência de crescimento do rebanho bovino tocaninense apresentado, e a estabilidade observada na área de pasto corrobora com Feitosa (2019), ao afirmar que a produção de carne bovina no Brasil teve um grande aumento nas últimas décadas, sobretudo em pastagens, mas que durante esse período, a área utilizada para a criação de gado diminuiu, indicando um aumento na eficiência dos sistemas de produção. No entanto, a produtividade média do Brasil é baixa, muito abaixo do potencial de pastagem intensiva existente.

De acordo com Araújo et al. (2023), houve uma melhora na produtividade dessas pastagens, uma vez que as áreas de pastagens não demonstraram aumento expressivo e o rebanho tocaninense continua a aumentar o seu quantitativo ano após ano. Dentre fatores que explicam esse fato está a introdução de cultivares desenvolvidas para regiões de solos e clima do Cerrado, como cultivares do gênero *Brachiaria* e *Panicum*. Essa afirmação encontra força ao observarmos que para os últimos anos da série, 2020 a 2022, pode-se notar uma pequena melhora nas classes de degradação nível 1 e 2.

5.6 Capacidade de lotação bovina por hectare de pastagens

Dias-Filho (2014) calculou o grau de degradação das pastagens segundo a capacidade de suporte por hectare, concluindo que pastagens de nível de degradação 3 e 4 apresentaram uma capacidade de suporte animal por hectare de $0,4 \text{ UA.ha}^{-1}$, e, quando produtivas e sem degradação, essa capacidade de suporte pode chegar a $1,5 \text{ UA.ha}^{-1}$. Essa também é a afirmação de Borghi et al, (2015) ao mencionar que a exploração extensiva das pastagens limita a capacidade de suporte, que não ultrapassa $0,5 \text{ U.A.h}^{-1}$, além dos baixos índices de produção de forragem das espécies utilizadas no pastejo. Desse modo, ao verificamos o ano de 2022, observamos que as áreas com nível de degradação entre 3 e 4 somam 73,85% das áreas de pastagens, apresentando elevado potencial para aumento da produtividade em mais de 5 vezes sua capacidade de produção.

O potencial de crescimento da produtividade nas pastagens do Tocantins pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição do número de U.A.h-1 por nível de degradação

| Ano referência 2022 | | | | | | | | |
|---------------------|--------|----------------------|--------|-------|-----------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Nível | % Área | Área em Milhões (ha) | U.A/ha | Ideal | Diferença | Capacidade (U.A/ha) | Aumento (U.A/ha) | Otimização |
| 4 | 44,04 | 3.516.726,12 | 0,4 | 1,5 | 1,1 | 1.406.690,45 | 3.868.398,73 | 5.275.089,18 |
| 3 | 29,81 | 2.380.417,93 | 0,4 | 1,5 | 1,1 | 952.167,17 | 2.618.459,72 | 3.570.626,90 |
| 2 | 19,33 | 1.543.558,49 | 0,8 | 1,5 | 0,7 | 1.234.846,79 | 1.080.490,94 | 2.315.337,74 |
| 1 | 6,82 | 544.597,46 | 1,5 | 1,5 | 0 | 816896,19 | | |
| SOMA | | 7.985.300,00 | | | | 4.410.600,60 | 7.567.349,40 | 11.977.950,00 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Tabela 4, o número atual de suporte animal por hectare corresponde a 4.410.600,60 milhões de U.A.ha⁻¹, para a situação de degradação das pastagens no ano de 2022, e que o potencial de produtividade otimizado, com pastagens não degradadas é de 11.997.950,00 U.A.ha⁻¹, implicado desta forma em um aumento percentual da ordem de 171,57%, o que resultaria uma produção total de quase 3 vezes a atual capacidade instalada, sem a necessidade de aberturas de novas de pastagens.

5.7 Análise estática dos resultados

Estatisticamente não houve diferença significativa ao nível de confiança de 95%, entre as classes de degradação de pastagens, como pode-se observado na Tabela 5 de acordo com os percentuais médios de cada classe de degradação.

Tabela 5 - Comportamento dos níveis de degradação das pastagens

| Nível 1 | | Nível 2 | | Nível 3 | | Nível 4 | |
|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) |
| 4,71 ± 13,13 aa | 46,92 | 17,62 ± 23,61 aa | 27,76 | 33,69 ± 29,29 aa | 11,54 | 43,97 ± 30,76 aa | 19,37 |

Letra minúsculas no lado direito do intervalo de confiança da proporção, com $p < 0,05$, é utilizada para comparar as classes de 1 a 4 de pastagem degradada de uma mesma microrregião. Letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos, enquanto letras diferentes significa que há diferenças entre os tratamentos. Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

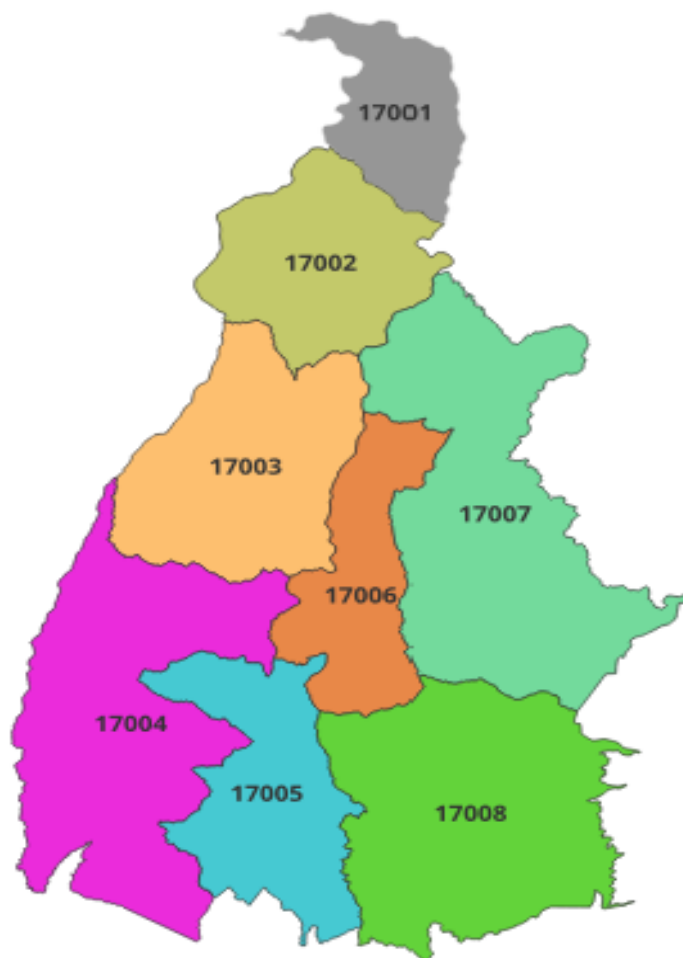
Analisando o comportamento dos níveis de degradação das pastagens na (Tabela 5), pode-se afirmar que para o nível 1 (classe não degradada), observamos que a variabilidade foi muito alta ($CV > 30\%$), evidenciando assim uma alternância de manejo. Fatores como clima, além da perda de fertilidade do solo e o sobrepastejo, conduzem a uma situação de esgotamento da capacidade produtiva do solo, que quando esgotada leva o setor pecuarista a buscar novas áreas de exploração. Já o nível 2 (classe levemente degradada), apresentou a segunda maior

variabilidade (27,86%), sendo caracterizada como de variabilidade alta ($20\% < CV < 30\%$). Nos níveis 3 (classe moderadamente degradada) e 4 (classe severamente degradada), observa-se a variabilidade média ($10\% < CV < 20\%$), representando assim que as estratégias de manejo não foram suficientes para melhorar a qualidade das pastagens, caracterizado por uma homogeneidade dos dados. Ainda de acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, observa-se que, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as classes ao longo da série.

5.8 Degradação das pastagens por microrregiões do Estado

Para a verificar o comportamento da degradação das pastagens nas regiões do estado do Tocantins, foram realizadas análises individuais por microrregião, segundo a base de dados do IBGE (2022), conforme Figura 26 e Quadro 3.

Figura 26 - Subdivisão do estado por microrregiões de acordo com o IBGE



Fonte: IBGE (2023).

Quadro 3 - Descrição das microrregiões do estado de acordo com o IBGE

| Código IBGE | Nome da microrregião |
|--------------------|-----------------------------|
| 17001 | Bico do Papagaio |
| 17002 | Araguaína |
| 17003 | Miracema do Tocantins |
| 17004 | Rio Formoso |
| 17005 | Gurupi |
| 17006 | Porto Nacional |
| 17007 | Jalapão |
| 17008 | Dianópolis |

Fonte: IBGE (2023).

5.8.1 Área de pastagens por microrregião estadual

De acordo com a base de dados do MAPBIOMAS coleção 8, podemos verificar a distribuição das áreas de pastagens por microrregião do estado, na Tabela 6.

Tabela 6 - Distribuição das áreas de pastagens por microrregião do Estado do Tocantins

| Ano | Área de pastagens por micro região (km²) | | | | | | | |
|-------------|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 17001 | 17002 | 17003 | 17004 | 17005 | 17006 | 17007 | 17008 |
| 2013 | 6.456,99 | 14.761,15 | 15.127,56 | 11.289,21 | 11.011,63 | 4.103,63 | 3.259,80 | 9.731,41 |
| 2014 | 5.960,61 | 13.728,16 | 14.131,98 | 10.523,66 | 10.217,14 | 3.041,77 | 1.748,92 | 9.605,11 |
| 2015 | 6.692,58 | 14.606,83 | 15.095,26 | 11.709,10 | 10.976,21 | 4.305,30 | 3.697,08 | 10.979,83 |
| 2016 | 6.800,28 | 14.655,44 | 14.910,81 | 11.708,88 | 10.951,69 | 4.345,01 | 3.909,35 | 11.158,75 |
| 2017 | 6.883,54 | 14.671,17 | 14.897,47 | 11.633,34 | 10.606,34 | 4.190,98 | 4.013,26 | 11.246,29 |
| 2018 | 6.912,72 | 14.643,87 | 14.876,57 | 11.668,28 | 10.373,43 | 4.114,94 | 4.056,84 | 11.424,72 |
| 2019 | 6.886,17 | 14.633,54 | 14.917,29 | 11.781,03 | 10.143,82 | 4.077,52 | 4.119,19 | 11.688,27 |
| 2020 | 5.945,55 | 13.390,56 | 13.252,20 | 10.088,58 | 9.072,55 | 2.694,32 | 2.160,00 | 8.293,36 |
| 2021 | 6.823,27 | 14.609,81 | 15.091,99 | 11.965,05 | 10.012,21 | 4.136,50 | 4.266,23 | 12.499,05 |
| 2022 | 6.929,85 | 15.047,42 | 15.358,95 | 11.731,74 | 9.725,15 | 4.153,84 | 4.326,90 | 12.578,11 |

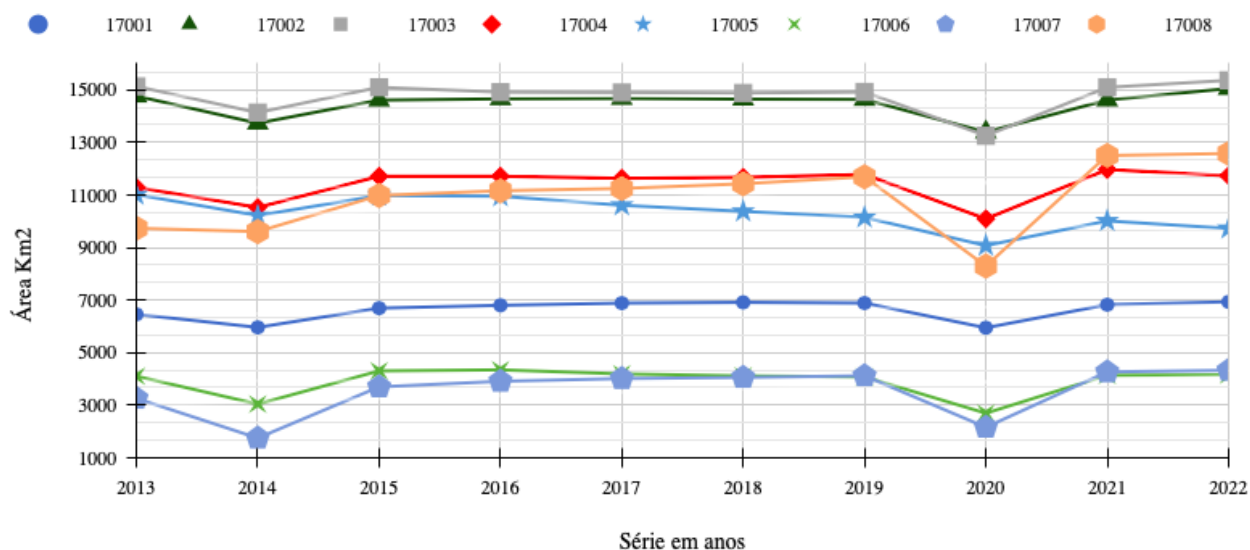
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

As microrregiões de destaque em termos de área de pastagens são 17003, com um percentual médio de 19,43% do total da área de pastagens (14.766,11 Km²), seguida da região 17002 com 19,05% (14.474,80 Km²), região 17004 com 15,02% (11.409,90 Km²), região 17008 com 14,37% (10.920,49 Km²) e região 17005 com 13,57% (10.309,02 Km²).

As regiões com menores percentuais médios de área de pastagens foram 17001, 17006 e 17007, respectivamente com 8,72%, 5,15% e 4,68%. Desta forma a região com maior atividade de pecuária segundo o percentual médio é Miracema do Tocantins (17003) com 19,43%, e a menor Jalapão (17007) com 4,68%.

De acordo com a Tabela 6, observa-se que, assim, como na condição geral do estado, nas microrregiões não houve acréscimo de áreas de pastagens entre os anos de 2013 a 2022, comportamento que fica melhor evidenciado na Figura 27.

Figura 27 - Áreas de pastagens por microrregião do Estado do Tocantins



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Figura 27 algumas regiões apresentaram redução de pastagens nos anos de 2014 e 2020. A região que apresentou menor amplitude foi a 17001 com uma estabilidade entre os anos de 2015 e 2019, queda em 2020 e nos anos seguintes voltando à estabilidade com área média de aproximadamente 7 mil Km². Já a microrregião que apresentou maior amplitude foi a 17005 com tendência de queda entre os mesmos anos de 2015 a 2020, e leve crescimento em 2021. Entre os anos de 2015 e 2019 todas apresentam uma certa estabilidade, à exceção da já mencionada 17005, que para o mesmo período apresenta tendência de redução de área de pastagens. A região 17008 (Dianópolis) apresenta uma tendência geral de crescimento com variação de crescimento de 29,25% de área de pastagem, saindo de 9.731,41 Km² para 12.578,11 Km². As regiões 17002 e 17003 (Araguaína e Miracema do Tocantins) apresentam semelhança no comportamento entre os anos de 2015 e 2020, assim com proximidade entre seus percentuais médios de área de 19,05% para a 17003 e 19,43% para 17002, o que corresponde a 38,48% de toda área de pastagens do estado, evidenciando seu protagonismo a nível estadual para atividade pecuarista.

5.8.2 Avaliação da qualidade das pastagens por microrregião estadual

Utilizando os arquivos vetoriais de microrregião do estado, disponibilizados na base de dados do IBGE (2022), foram realizadas classificação dos níveis de degradação para a série, com o objetivo de identificar a distribuição das classes por microrregião. A Tabela 7 apresenta os percentuais médios de cada classe separados por microrregião.

Tabela 7 - Percentual de área de pastagens degradadas por microrregião estadual

| Região | Nível 1 | | Nível 2 | | Nível 3 | | Nível 4 | |
|--------|------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|------------------|--------|
| | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) |
| 17001 | 12,72 ± 20,65 aA | 52,85 | 29,74 ± 28,33 aA | 33,28 | 34,42 ± 29,45 aA | 15,38 | 23,11 ± 26,13 aA | 60,25 |
| 17002 | 6,63 ± 15,42 aA | 45,16 | 28,36 ± 27,94 aA | 28,58 | 42,98 ± 30,68 aA | 8,67 | 22,02 ± 25,68 aA | 48,87 |
| 17003 | 3,77 ± 11,80 aA | 47,03 | 21,91 ± 25,64 aA | 35,69 | 43,26 ± 30,71 aA | 8,39 | 31,04 ± 28,68 aA | 34,67 |
| 17004 | 2,70 ± 10,04 aA | 43,48 | 11,71 ± 19,93 abA | 30,14 | 29,54 ± 28,28 abA | 12,46 | 56,05 ± 30,76 bA | 14,43 |
| 17005 | 1,11 ± 6,48 aA | 66,24 | 6,91 ± 15,72 aA | 50,70 | 24,70 ± 26,73 abA | 28,43 | 67,28 ± 29,08 bA | 16,52 |
| 17006 | 1,74 ± 8,10 aA | 41,61 | 10,95 ± 19,35 abA | 34,71 | 31,45 ± 28,78 abA | 20,45 | 55,86 ± 30,78 bA | 19,22 |
| 17007 | 3,05 ± 10,66 aA | 51,20 | 15,67 ± 22,53 aA | 32,86 | 39,21 ± 30,26 aA | 13,4 | 42,06 ± 30,60 aA | 26,27 |
| 17008 | 1,41 ± 7,30 aA | 105,38 | 9,59 ± 18,25 abA | 49,49 | 32,42 ± 29,01 abA | 26,19 | 56,59 ± 30,72 bA | 23,32 |

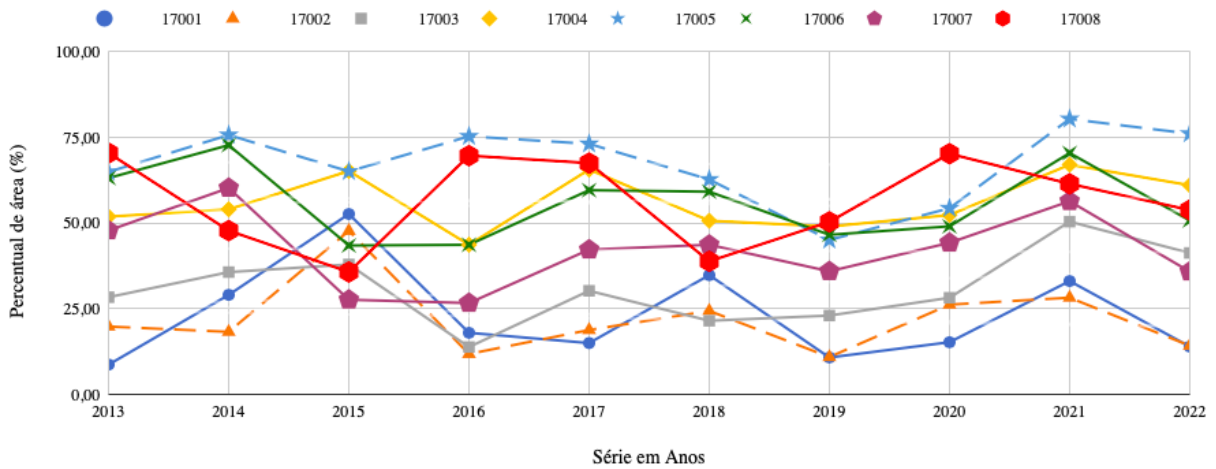
Letra minúsculas no lado direito do intervalo de confiança da proporção, com $p < 0,05$, é utilizada para comparar os níveis de 1 a 4 de pastagem degradada de uma mesma microrregião. Letra maiúscula no lado direito do intervalo de confiança da proporção, com $p < 0,05$, é utilizada para comparar os níveis de pastagem degradada entre os anos da série estudada. Letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos, enquanto letras diferentes significam que há diferenças entre os tratamentos. Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Analisando o comportamento dos níveis de degradação das pastagens por microrregião na Tabela 7, pode-se afirmar que para o nível 1 (classe não degradada) todos apresentam muito alta ($CV > 30\%$), mesmo comportamento para quase o nível 2 (classe levemente degradada), exceto pela microrregião 17002, que apresentou alta ($20\% < CV < 30\%$). Já o nível 3 (classe moderadamente degradada) observa-se a média ($10\% < CV < 20\%$) para as microrregiões 17001, 17004 e 17007, e baixa dispersão ($CV < 10\%$) para as regiões 17002 e 17003, e ainda alta ($20\% < CV < 30\%$) para as microrregiões 17005, 17006 e 17008. Para o nível 4 (classe severamente degradada) as regiões 17001, 17002, e 17 003 apresentaram muito alta ($CV > 30\%$), já as para as microrregiões 17004, 17005 e 17006 apresentou média ($10\% < CV < 20\%$), e ainda para 17007 e 17008 alta ($20\% < CV < 30\%$).

Ainda de acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, nenhum dos níveis, em toda a série, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$). Quanto à análise de cada nível por microrregião, as regiões 17001, 17002 e 17003 também não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$).

Apesar de estatisticamente não haver diferença significativa entre microrregiões do estado para a série estudada, ao analisarmos os dados de forma individual pode-se observar que algumas microrregiões apresentaram um melhor comportamento em relação às demais, conforme Figura 28.

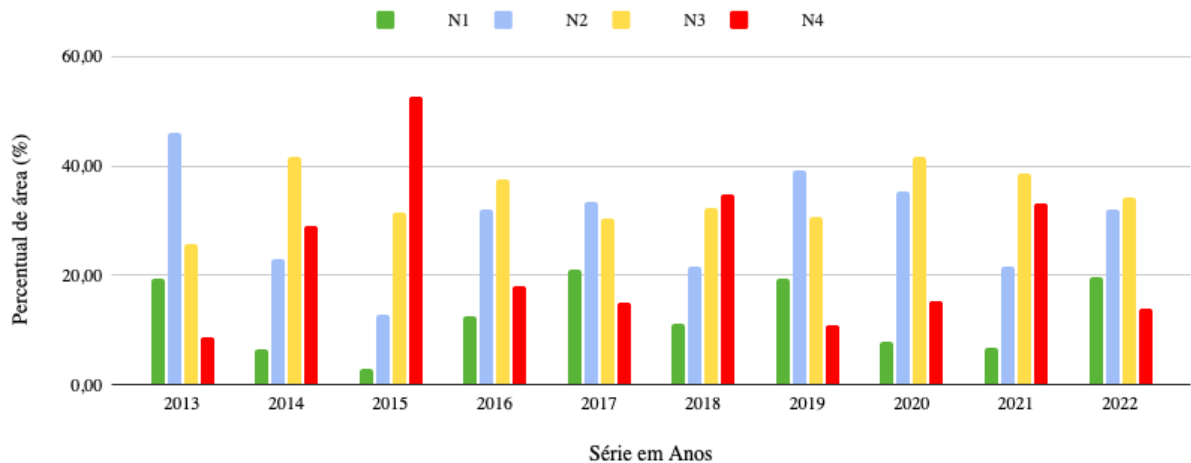
Figura 28 - Comportamento da classe 4 de degradação por microrregião para a série de 2013 a 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Figura 28, a microrregião 17005 (Gurupi), apresentou o maior percentual médio do nível 4 de degradação (classe severamente degradada) para todo o período estudado. Por outro lado, as microrregiões que apresentaram melhor comportamento foram as microrregiões 17001 e 17002 por apresentarem menores valores médios dos níveis de degradação 4 e 3, conforme Figuras 29, 30, 31 e 32.

Figura 29 - Distribuição das classes de degradação para a microrregião 17001(Bico do Papagaio)



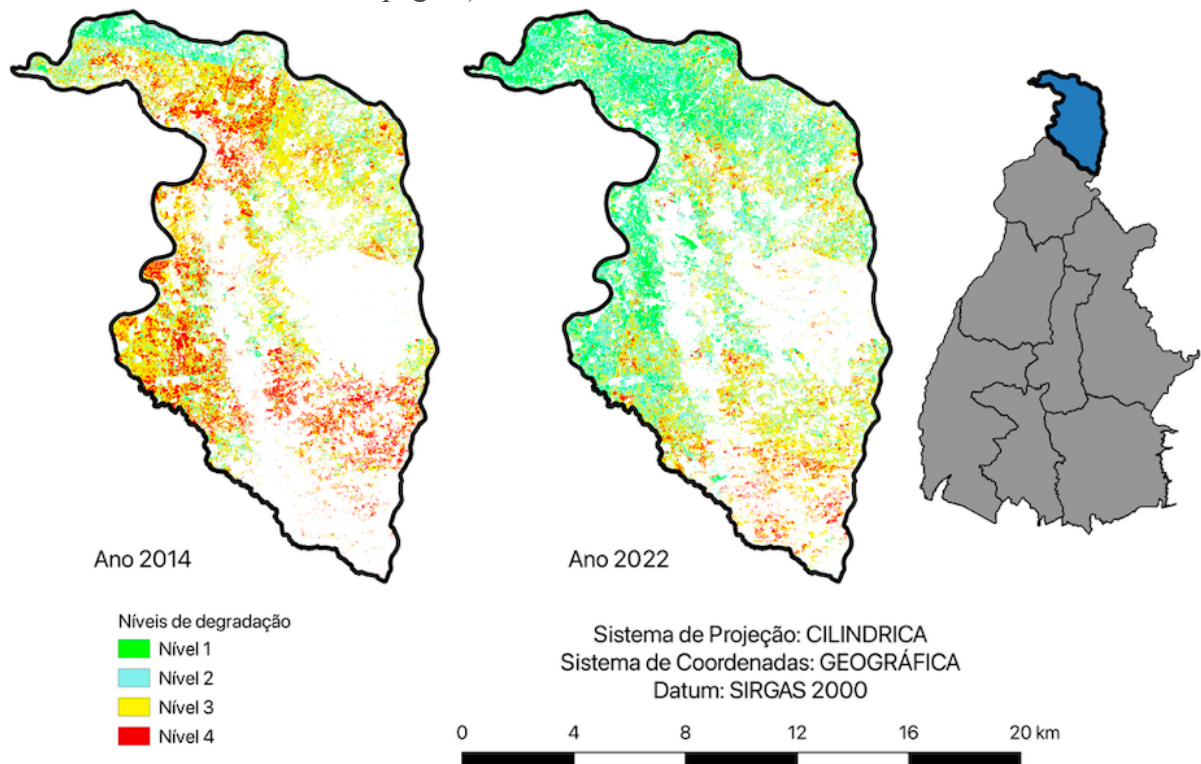
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Na Figura 29 podemos observar que o nível 3 (classe moderadamente degradada) apresenta maior percentual médio para todo o período (34,42%). Já o nível 4 (classe severamente degradada) apresenta valor médio de 23,11%, com os anos de 2015 chegando a (52,65%) e 2021 a (33,07%). Já o nível 2 de degradação apresenta uma média de 29,74%, ficando o nível 1 com média de 12,71%.

5.8.2.1 Avaliação das pastagens na Região do Bico do Papagaio

Ao analisarmos a microrregião 17001 (Bico do Papagaio) entre os anos de 2013 e 2022, é perceptível um ganho de biomassa (Figura 30). O nível 4 em 2014 apresenta um percentual da ordem de 29,03%, já em 2022 esse mesmo nível apresenta um percentual de 13,93%, caracterizando assim uma tendência de redução do nível severamente degradada.

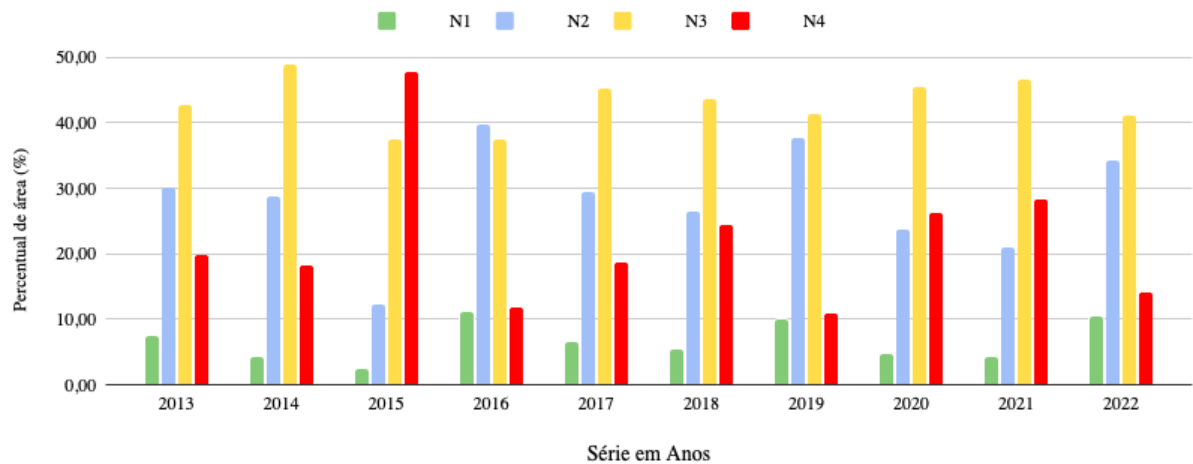
Figura 30 - Espacialização dos níveis de degradação na microrregião 17001(Bico do Papagaio) entre os anos de 2014 e 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A microrregião 17002 apresenta comportamento semelhante a microrregião 17001, com o nível 3 de degradação mostrando um maior percentual de área (42,98%), o nível 4 com 22,02%, o nível 2 com 28,36 e o nível 1 com 6,63%.

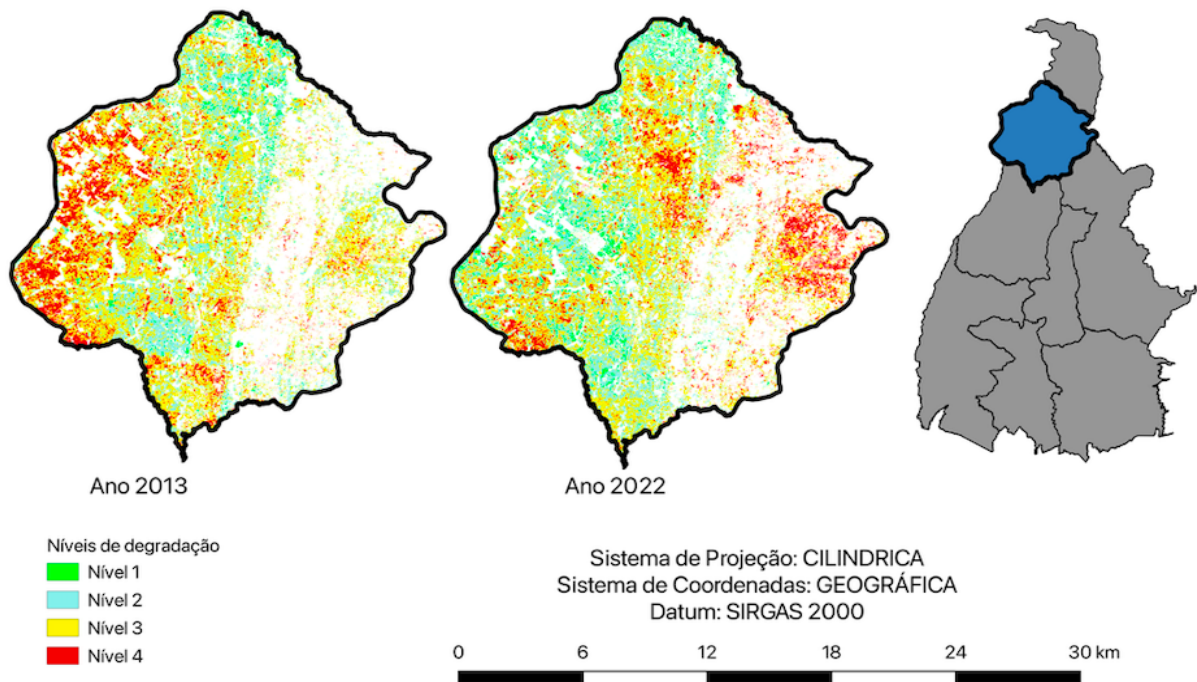
Figura 31 - Distribuição das classes de degradação para microrregião 17002(Araguaína)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Seguindo o mesmo comportamento da microrregião 17001, a microrregião 17002 (Araguaína) apresenta tendência leve de melhora na qualidade das pastagens, visto que para o ano de 2013 o nível 4 corresponde a 19,79% da área total de pastagens, passando para 14,19%, em 2022, representando desta forma ganho de biomassa vegetal, conforme pode ser observado na Figura 32.

Figura 32 - Especialização dos níveis de degradação na microrregião 17002(Araguaína) entre os anos de 2013 e 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Apesar de apresentarem resultados semelhantes em termos de ganho de biomassa, ao analisarmos o nível 4 como critério de avaliação, a microrregião 17002 (Araguaína),

estatisticamente apresentou melhores resultados que a 17001 (Bico do Papagaio), como pode-se verificada nas Tabelas 8 e 9, onde consta os percentuais de cada região para a série estudada.

Tabela 8 - Resumo de área de pastagens e níveis de degradação na microrregião 17001(Bico do Papagaio)

| Ano | Área de Pasto (Km2) | Classes de degradação (%) | | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2013 | 6.456,99 | 19,50 | 46,16 | 25,67 | 8,67 |
| 2014 | 5.960,61 | 6,46 | 22,93 | 41,58 | 29,03 |
| 2015 | 6.692,58 | 3,00 | 12,91 | 31,44 | 52,65 |
| 2016 | 6.800,28 | 12,52 | 32,10 | 37,43 | 17,96 |
| 2017 | 6.883,54 | 21,12 | 33,51 | 30,40 | 14,97 |
| 2018 | 6.912,72 | 11,17 | 21,60 | 32,42 | 34,81 |
| 2019 | 6.886,17 | 19,39 | 39,31 | 30,53 | 10,75 |
| 2020 | 5.945,55 | 7,73 | 35,38 | 41,67 | 15,22 |
| 2021 | 6.823,27 | 6,67 | 21,51 | 38,75 | 33,07 |
| 2022 | 6.929,85 | 19,66 | 31,97 | 34,33 | 13,93 |
| Média | | 12,72 | 29,74 | 34,42 | 23,11 |
| Desvio Padrão | | 6,72 | 9,90 | 5,30 | 13,92 |
| Coefficiente de Variância | | 52,85 | 33,28 | 15,38 | 60,25 |
| Erro máximo | | 20,65 | 28,33 | 29,45 | 26,13 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 9 - Resumo de área de pastagens e classes de degradação na microrregião 17002(Araguaína)

| Ano | Área de Pasto (Km2) | Classes de degradação (%) | | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2013 | 14.761,15 | 7,38 | 30,17 | 42,65 | 19,79 |
| 2014 | 13.728,16 | 4,17 | 28,72 | 48,85 | 18,24 |
| 2015 | 14.606,83 | 2,37 | 12,35 | 37,54 | 47,73 |
| 2016 | 14.655,44 | 11,01 | 39,77 | 37,41 | 11,79 |
| 2017 | 14.671,17 | 6,58 | 29,43 | 45,19 | 18,78 |
| 2018 | 14.643,87 | 5,46 | 26,53 | 43,63 | 24,37 |
| 2019 | 14.633,54 | 9,93 | 37,69 | 41,47 | 10,88 |
| 2020 | 13.390,56 | 4,74 | 23,65 | 45,40 | 26,19 |
| 2021 | 14.609,81 | 4,17 | 21,07 | 46,53 | 28,22 |
| 2022 | 15.047,42 | 10,48 | 34,24 | 41,08 | 14,19 |
| Média | | 6,63 | 28,36 | 42,98 | 22,02 |
| Desvio Padrão | | 2,99 | 8,11 | 3,72 | 10,76 |
| Coefficiente de Variância | | 45,16 | 28,58 | 8,67 | 48,87 |
| Erro máximo | | 15,42 | 27,94 | 30,68 | 25,68 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

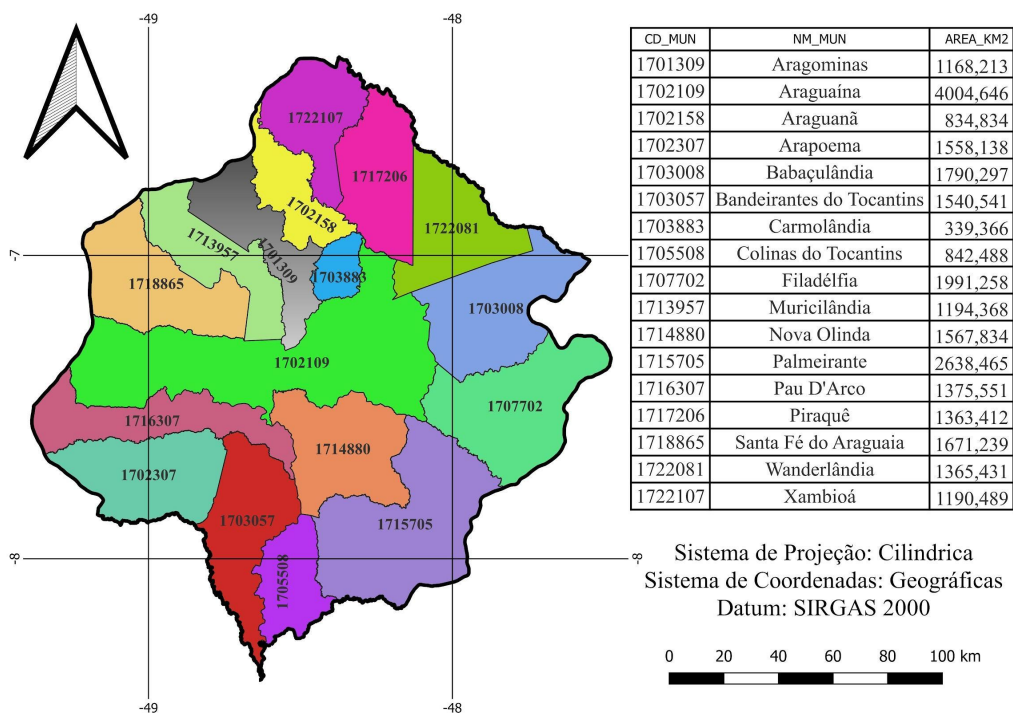
5.9 Avaliação da qualidade das pastagens na microrregião de Araguaína

Ao considerarmos a classificação da degradação de pastagens segundo Dias-Filho (2015), que caracteriza dois grupos de degradação, a agrícola (níveis 1 e 2) e a biológica (níveis 3 e 4), que é quando ocorre também degradação do solo por perda de micronutrientes,

verificamos que a região 17001 apresenta menor média da soma dos níveis 3 e 4 (57,53%), já que na microrregião 17002 a soma desses mesmos níveis gera uma média de (65,00%), apresentando, desta forma, o pior resultado em termos de ganho de biomassa e conservação do solo. Por outro lado, como a região de Araguaína (17002), é mais representativa em termos de área de pastagens (18,74%) da área média de pastagens do estado, enquanto a microrregião do Bico do Papagaio (17001) representa 8,72%. Desta forma, a análise para escala municipal da degradação de pastagens será realizada na microrregião de Araguaína.

A microrregião de Araguaína (17002) é formada por 17 municípios, e tem uma área total de 26.436,57 Km², conforme Figura 33, sendo o município de Araguaína o de maior expressão por corresponder a 15,15% (4.004,65 km²) de toda a área.

Figura 33 - Municípios que compõem a microrregião 17002 (Araguaína)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Ao realizar o teste de comparação de médias observa-se que, estatisticamente não houve diferença significativa ao nível de confiança de 95%, como pode ser observado na Tabela 10, de acordo com os percentuais médios de cada classe de degradação.

Tabela 10 - Percentual de área de pastagens por classe de degradação na microrregião 17002(Araguaína)

| Município | Nível 1 | | Nível 2 | | Nível 3 | | Nível 4 | |
|---------------------------|------------------|--------|-------------------|--------|------------------|--------|-------------------|--------|
| | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) | Proporção (%) | CV (%) |
| Aragominas | 9,34 ± 18,04 aA | 75,86 | 33,28 ± 29,21 aA | 41,74 | 40,34 ± 30,41 aA | 21,91 | 17,16 ± 23,37 aA | 81,73 |
| Araguaína | 8,75 ± 17,51 aA | 89,06 | 30,52 ± 28,54 aA | 53,4 | 37,33 ± 29,98 aA | 19,55 | 23,42 ± 26,25 aA | 74,44 |
| Araguanã | 6,56 ± 15,43 aA | 129,33 | 26,72 ± 27,43 aA | 71,29 | 39,52 ± 30,30 aA | 87,8 | 27,22 ± 27,59 aA | 87,8 |
| Arapoema | 5,68 ± 14,43 aA | 79,09 | 28,11 ± 27,86 aA | 56,69 | 42,01 ± 30,59 aA | 21,03 | 24,20 ± 26,55 aA | 80,27 |
| Babaçulândia | 4,28 ± 12,54 aA | 169,18 | 24,97 ± 26,83 aA | 87,45 | 39,96 ± 30,36 aA | 28,68 | 30,84 ± 28,62 aA | 78,73 |
| Bandeirantes do Tocantins | 6,46 ± 15,23 aA | 118,78 | 24,69 ± 26,73 aA | 66,95 | 40,34 ± 30,41 aA | 31,28 | 28,61 ± 28,01 aA | 76,18 |
| Carmolândia | 5,86 ± 14,55 aA | 132,65 | 25,88 ± 27,14 aA | 60,81 | 40,52 ± 30,43 aA | 79,98 | 27,76 ± 27,75 aA | 79,98 |
| Colinas do Tocantins | 5,21 ± 13,77 aA | 198,77 | 20,61 ± 25,07 aA | 71,36 | 43,76 ± 30,75 aA | 32,24 | 30,77 ± 28,61 aA | 66,35 |
| Filadélfia | 2,16 ± 9,00 aA | 172,36 | 19,39 ± 24,50 abA | 96,82 | 44,28 ± 30,79 bA | 25,53 | 34,21 ± 29,40 abA | 68,7 |
| Muricilândia | 7,06 ± 15,88 aA | 70,68 | 31,03 ± 28,67 aA | 33,37 | 43,17 ± 30,70 aA | 16,96 | 18,74 ± 24,19 aA | 54,82 |
| Nova Olinda | 5,27 ± 13,85 aA | 111,86 | 23,77 ± 26,38 aA | 70,87 | 39,81 ± 30,34 aA | 75,98 | 31,43 ± 28,77 aA | 75,98 |
| Palmeirante | 3,44 ± 11,30 aA | 110,84 | 21,10 ± 25,29 aA | 19,93 | 39,82 ± 30,34 aA | 19,93 | 35,70 ± 29,70 aA | 55,97 |
| Pau D'Arco | 6,67 ± 15,47 aA | 112,82 | 27,09 ± 27,55 aA | 68,95 | 40,30 ± 30,40 aA | 30,15 | 26,20 ± 27,25 aA | 75,82 |
| Piraquê | 16,09 ± 22,77 aA | 103,91 | 33,11 ± 29,17 aA | 40,86 | 32,17 ± 28,95 aA | 36,29 | 18,67 ± 24,15 aA | 88,04 |
| Santa Fé do Araguaia | 6,58 ± 15,37 aA | 65,98 | 30,92 ± 28,64 aA | 31,9 | 43,00 ± 30,69 aA | 12,94 | 19,50 ± 24,56 aA | 53,49 |
| Wanderlândia | 6,17 ± 14,91 aA | 115,61 | 28,80 ± 28,07 aA | 57,24 | 41,66 ± 30,56 aA | 21,48 | 23,38 ± 26,23 aA | 77,02 |
| Xambioá | 7,12 ± 15,94 aA | 84,71 | 33,99 ± 29,36 aA | 53,56 | 40,22 ± 30,39 aA | 28,04 | 18,69 ± 24,16 aA | 117,49 |

Letra minúsculas no lado direito do intervalo de confiança da proporção, com $p < 0,05$, é utilizada para comparar as classes de 1 a 4 de pastagem degradada de uma mesma microrregião. Letra maiúscula no lado direito do intervalo de confiança da proporção, com $p < 0,05$, é utilizada para comparar a classe pastagem degradada entre os municípios da região estudada. Letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos, enquanto letras diferentes significa que há diferenças entre os tratamentos. Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Tabela 10 podemos observar que para o nível 1 todos os municípios apresentam variabilidade muito alta, sendo que o menor valor do coeficiente de variação para esse nível é de 65,98%. No nível 2, a exceção do município de Palmeirante que apresentou coeficiente de variação 19,93% ($10\% < CV < 20\%$), todos os municípios apresentaram a também variabilidade muito alta.

Já o nível 3 apresentou menor amplitude de variabilidade, sendo os municípios Araguaína, Muricilândia, Palmeirante e Santa Fé do Araguaia com média variabilidade ($10\% < CV < 20\%$) e, os municípios de Aragominas, Arapoema, Filadélfia, Wanderlândia, Xambioá e Babaçulândia com alta variabilidade ($20\% < CV < 30\%$). Já os municípios de Araganã, Bandeirantes do Tocantins, Carmolândia, Colinas dos Tocantins, Nova Olinda, Pau D' Arco e Piraquê apresentaram variabilidade muito alta ($CV > 30\%$) para este nível.

Para o nível 4 os valores de CV variaram de 53,49% (Santa Fé do Araguaína) a 117,49% (Xambioá), apresentando variabilidade muito alta ($CV > 30\%$). Ainda de acordo com a Tabela 10 apenas o município de Filadélfia tem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os níveis 3 e 1 para a série estudada. Essa diferença está diretamente associada ao intervalo do erro calculado, que para o nível é de ($\pm 9,00\%$), enquanto para o nível 3 é de ($\pm 30,79\%$).

Para determinação do município com melhor desempenho para a série estudada foram então analisados os dados de classes de degradação somando as áreas dos níveis 1 e 2 de

degradação agrícola e 3 e 4 de degradação biológica. Dessa forma o ganho de biomassa pode ser observado por menores percentuais médios dos níveis 3 e 4 caracterizado como degradação agrônômica (Tabela 11).

Tabela 11 - Percentual médio de áreas degradadas por município da microrregião 17002(Araguaína)

| Ordem | Município | N1 + N2 | N3 + N4 |
|--------------|---------------------------|----------------|----------------|
| 1 | Aragominas | 42,62 | 57,50 |
| 2 | Araguaína | 39,27 | 60,75 |
| 3 | Araguanã | 33,28 | 66,74 |
| 4 | Arapoema | 33,79 | 66,21 |
| 5 | Babaçulândia | 29,25 | 70,79 |
| 6 | Bandeirantes do Tocantins | 31,15 | 68,95 |
| 7 | Carmolândia | 31,73 | 68,28 |
| 8 | Colinas do Tocantins | 25,81 | 74,53 |
| 9 | Filadélfia | 21,55 | 78,50 |
| 10 | Muricilândia | 38,10 | 61,91 |
| 11 | Nova Olinda | 29,04 | 71,23 |
| 12 | Palmeirante | 24,54 | 75,52 |
| 13 | Pau D'Arco | 33,76 | 66,50 |
| 14 | Piraquê | 49,20 | 50,84 |
| 15 | Santa Fé do Araguaia | 37,50 | 62,50 |
| 16 | Wandelândia | 34,97 | 65,03 |
| 17 | Xambioá | 41,10 | 58,91 |
| | Média | 33,76 | 66,50 |

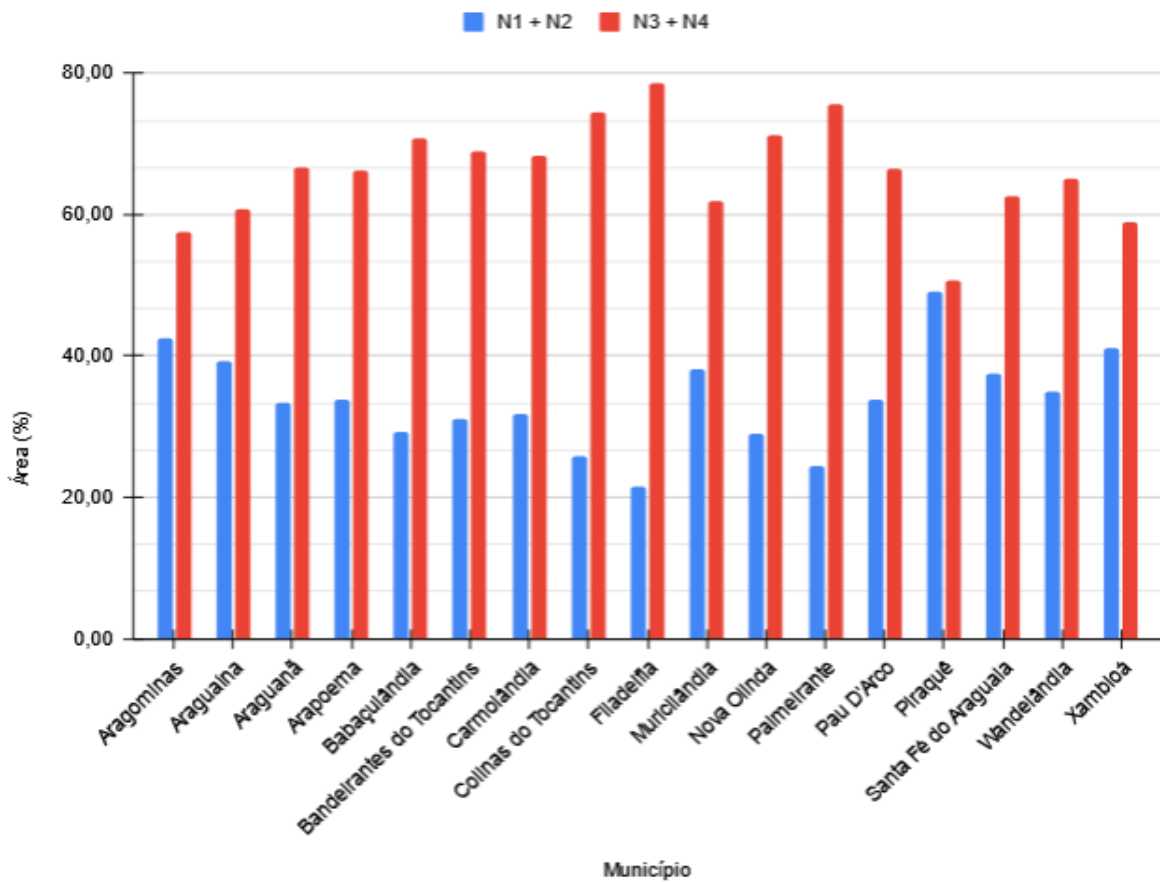
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Tabela 11 o município de Piraquê com área total de 1363,412, e área de pastagens de 839,51 Km², apresentou melhor desempenho quanto a manutenção da qualidade das pastagens na série estudada, apresentando um total percentual médio das classes 3 e 4 de 50,84% da área de pastagens, sendo o restante de 49,20% atribuído aos níveis 1 e 2, seguido do município de Xambioá com 58,91% das pastagens contidos nos níveis 3 e 4. Por outro lado, o município de Filadélfia apresentou o pior desempenho com total percentual dos níveis 3 e 4 de 78,50%, caracterizando assim alto índice de degradação das pastagens e também degradação do solo, havendo assim perda significativa da capacidade de recuperação microbiológica do solo (Dias-Filho, 2017).

5.9.1 Avaliação da qualidade de pastagens no Município de Piraquê

Com exceção dos municípios de Aragominas, Araguaína, Muricilândia e Santa Fé do Araguaia, os demais municípios apresentaram um percentual médio dos níveis 3 e 4, superior à média observada para a microrregião, que foi de 66,50% (Figura 34).

Figura 34 - Distribuição dos níveis de degradação por município na microrregião 17002



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

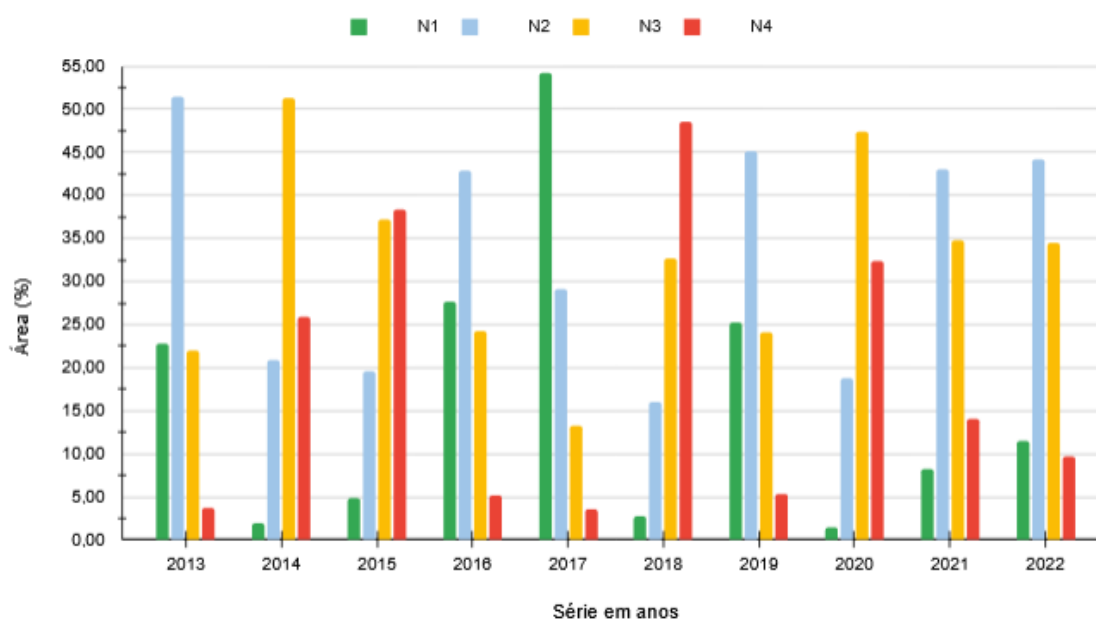
Os anos com os piores resultados para o município de Piraquê foram 2014, 2015, 2018 e 2020 com valores percentuais do nível 4 (classe severamente degradada), de 25,83%, 38,31%, 48,59% e 32,38% respectivamente, conforme Tabela 12 e Figura 35. O ano de 2017 apresentou o melhor resultado com a soma dos níveis 1 e 2 de 83,39% do total da área de pastagens, enquanto os níveis 3 e 4 somaram 16,61%, demonstrando dessa forma que para esse ano provavelmente foram utilizadas boas práticas de manejo favorecendo o aumento da biomassa de pastagens.

Tabela 12 - Áreas de níveis de degradação no município de Piraquê

| Ano | Área de Pasto (Km ²) | Classes de degradação (%) | | | |
|------|----------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2013 | 839,25 | 22,76 | 51,44 | 22,05 | 3,75 |
| 2014 | 803,64 | 2,00 | 20,88 | 51,30 | 25,83 |
| 2015 | 795,69 | 4,85 | 19,62 | 37,24 | 38,31 |
| 2016 | 775,50 | 27,66 | 42,92 | 24,30 | 5,13 |
| 2017 | 772,61 | 54,22 | 29,17 | 13,20 | 3,56 |
| 2018 | 764,97 | 2,76 | 15,97 | 32,71 | 48,59 |
| 2019 | 773,82 | 25,30 | 45,17 | 24,14 | 5,39 |
| 2020 | 749,78 | 1,48 | 18,71 | 47,46 | 32,38 |
| 2021 | 791,24 | 8,28 | 42,99 | 34,74 | 14,02 |
| 2022 | 832,41 | 11,56 | 44,21 | 34,51 | 9,75 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Figura 35 - Totais por níveis de degradação de pastagens no município de Piraquê

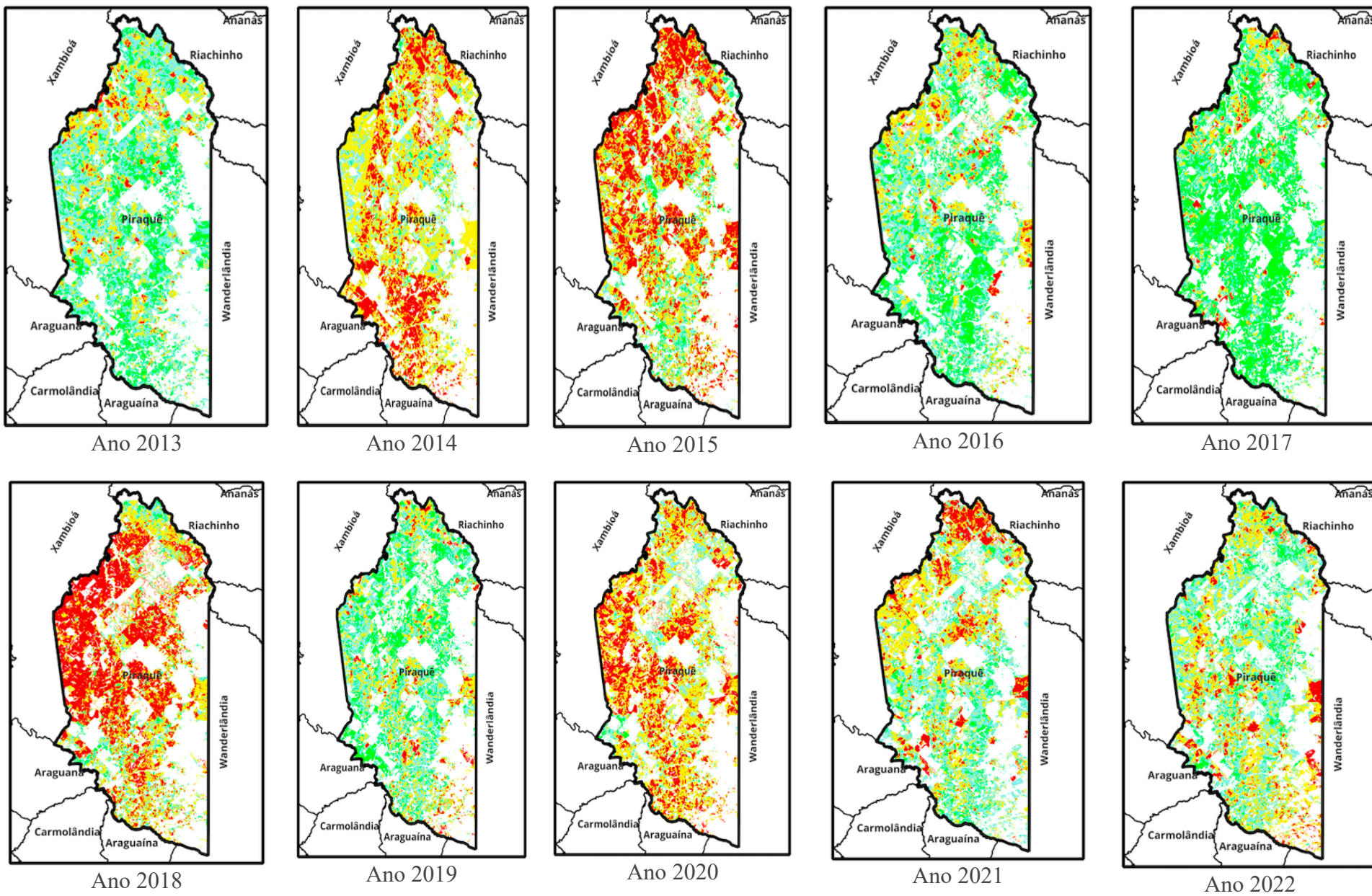


Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Figura 35 podemos identificar os anos de 2013, 2016, 2017, 2019 e 2022, como os anos com melhores resultados, visto que a soma dos níveis 1 e 2 superam a soma de 50% de área de pastagens, sendo o ano de 2017 o que apresenta melhor resultado para a série com o nível 1 de 54,22% do total de pastagens, significando desta forma boas práticas de manejo adequadas à recuperação das pastagens. Já o ano de 2018 apresentou o pior resultado com percentual do nível 4 de 48,59%.

De forma a visualizar a distribuição das classes de degradação foram elaborados mapas de espacialização dos níveis de degradação para os anos 2013 a 2022, conforme Figura 36.

Figura 36 - Espacialização dos níveis de pastagens degradadas no município de Piraquê



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Figura 36, o nível 2 de degradação ocorre em praticamente toda a região do município de Piraquê, com uma concentração do nível 4 mais ao norte do município, para o ano de 2013. Em 2014 toda a região encontrava-se nos dois piores níveis (3 e 4) caracterizados como degradação biológica, com maior distribuição do nível 3 (51,30%) seguida do nível 4 (25,83%), somando esses dois níveis 77,13% da área total de pastagens, ficando acima da média de 66,50% para a os municípios desta microrregião.

Para o ano de 2015 os níveis 3 e 4, somaram 75,55% do total das pastagens, valor semelhante ao ano de 2014, com uma distribuição mais concentrada da região central para a região norte do município, ficando uma parcela menor representada pelos níveis 1 e 2, nas proximidades da região mais ao sul do município.

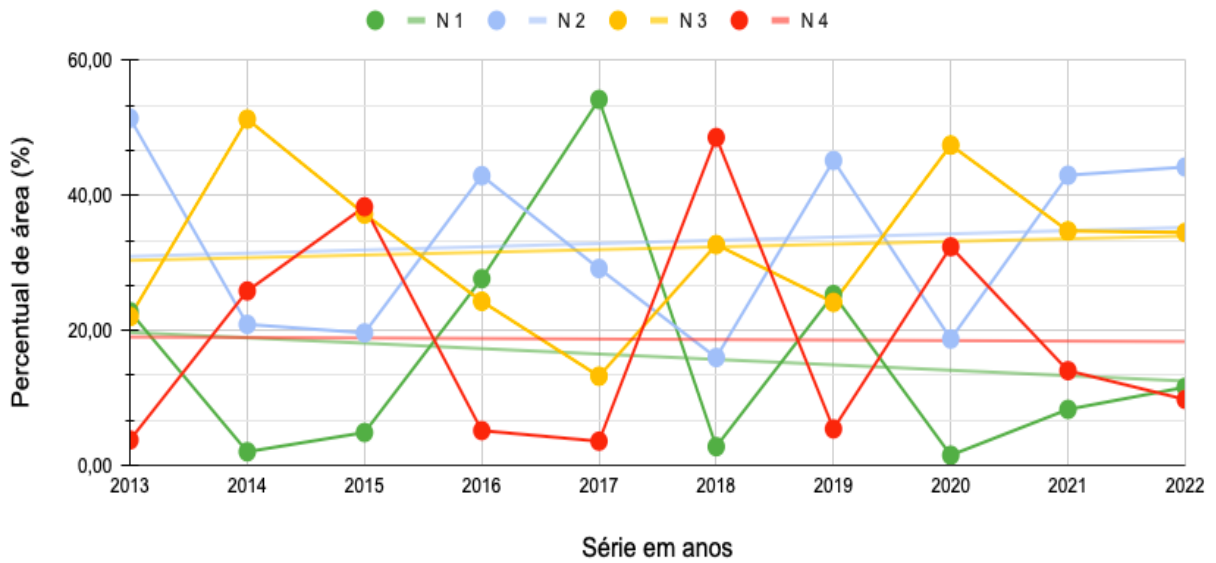
Os anos de 2016 e 2017 apresentaram um mesmo comportamento de distribuição das classes de degradação, sendo a soma dos níveis classes 1 e 2 dominantes em toda a região do município, com percentual médio de 70,58% e 83,39% respectivamente. Ainda de acordo com a Figura 31, o ano de 2017 se destaca com maior área de cobertura de pastagens no nível 1, com poucos pontos do nível 4 de degradação.

O ano de 2018 apresenta maior cobertura de pastagens no nível 4 (classe severamente degradada) seguida do nível 3. Em 2019 volta a haver maior cobertura das classes de degradação agrícola (níveis 1 e 2), com destaque para o nível 2 ocupando 45,17% e o nível 1 superando o nível 4 com valor percentual de 25,30% e 24,14% respectivamente. Ainda para o ano de 2020 há uma queda brusca da degradação agrícola em favor da degradação biológica, sendo a soma dos níveis 1 e 2 é de apenas 20,19% da área de pastagens. Dessa forma a degradação biológica é de 79,81%, como pode-se observar na Tabela 12.

5.9.1.1 Distribuição temporal das classes de degradação de pastagens no Município de Piraquê

Os anos finais da série 2021 e 2022 apresentam semelhança de distribuição do nível 2 de degradação, sendo para 2021 de 42,99% e para 2022 (44,21%), para o nível 3 observa-se uma proximidade dos percentuais entre esses mesmos anos, sendo o ano de 2021 com 34,74% e o ano de 2022 de 34,51%. Há uma inversão de percentuais entre o nível 1 e 4 para os dois esses mesmos anos, como pode ser observado na Figura 36. Em 2021 há uma maior concentração dos níveis 3 e 4 na região central em direção a região norte do município, enquanto para o ano 2022 esses níveis estão com uma distribuição menos concentrada e mais localizada na região sudeste do município. Na Figura 37 observa-se a tendência dos níveis de degradação de pastagens no município de Piraquê para a série estudada de 2013 a 2022.

Figura 37 - Comportamento dos níveis de degradação das pastagens no município de Piraquê entre os anos de 2013 e 2022



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

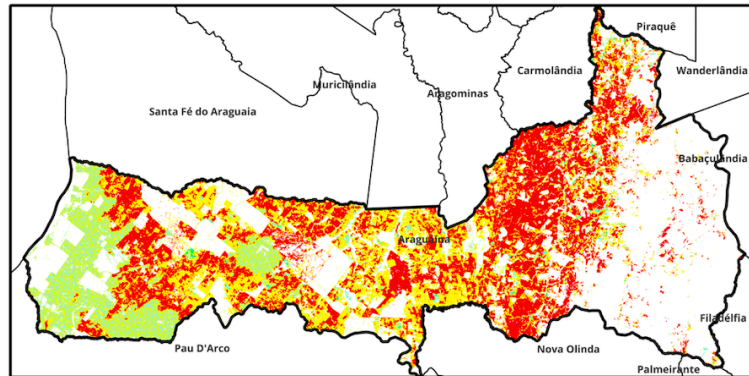
A partir da Figura 37 pode-se observar a alternância da degradação agrícola e biológica na área estudada, além de que os níveis 2 e 3 apresenta a mesma tendência de crescimento, que o nível 4 apresenta estabilidade e que o nível 1 apresenta tendência de redução ao longo da série, o que caracteriza desta forma uma estabilidade geral em termos de biomassa verde de pastagens.

5.10 Qualidade das pastagens no Município de Araguaína

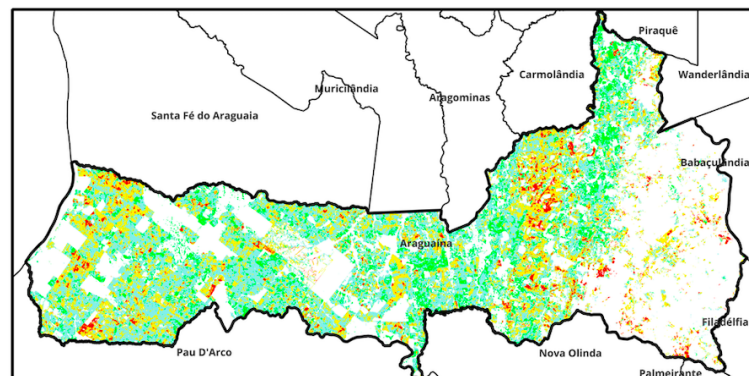
O município de Araguaína tem destaque por ser o maior em extensão territorial da microrregião, e ainda segundo a Tabela 11 a soma dos níveis 3 e 4 totalizam 60,75% das áreas de pastagens, ficando abaixo da média de 66,50% para o município e da média da soma destes níveis (77,73% do total das áreas de pastagens) também para o estado (Figura 38).

Figura 38 - Espacialização das pastagens degradadas no município Araguaína para os anos de 2014 e 2016

Ano 2014



Ano 2016



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com Figura 38, para o ano de 2014, considerando o pior ano da série, há uma predominância dos níveis 3 e 4 (degradação biológica) com representatividade de 88,88% das áreas de pastagens, por outro lado o melhor ano da série para o município de Araguaína é de 2016, sendo a soma dos níveis 1 e 2 (degradação agrícola) da ordem de 67,32%, dos quais 52,65% de áreas estão com degradação no nível 2.

6 CONCLUSÕES

A maior parte das pastagens encontra-se com algum grau de degradação, sendo observado em toda a série o percentual médio de 95,62% do total das pastagens do estado com algum nível de degradação, e que em média 47,02% da área encontra-se no nível, mas alto de degradação. Os níveis de degradação variaram ao longo de toda a série estuda, sendo que o nível 4 (pastagens severamente degradadas) apresentou maior variabilidade temporal.

Para o cenário das pastagens no ano de 2022, o potencial de produtividade otimizado, com pastagens não degradadas é de 11.997.950,00 U.A.ha⁻¹, implicado desta forma em um aumento percentual da ordem de 171,57%, o que resultaria uma produção total de quase 3 vezes a atual capacidade instalada, sem a necessidade de aberturas de novas de pastagens.

A avaliação espaço temporal mostrou que para a série analisada houve leve melhora na qualidade das pastagens, considerando uma redução percentual do nível 4 (classe severamente degradada), em favor dos demais níveis.

Do ponto vista da degradação biológica e agrícola, a região 17001 apresentou melhor resultado em relação a 17002, porém do ponto vista da área com menor percentual médio do nível 4, a microrregião 17002 apresentou um resultado melhor com percentual médio deste nível de 22,02%, enquanto a 17001 apresentou média percentual de 23,11% deste nível.

Entre os municípios que compõem a microrregião 17002, o município de Piraquê destacou-se como o melhor desempenho para a série, com percentual médio dos níveis 4 e 3 de 50,84%, e dos níveis 1 e 2 de 49,16%.

No município de Araguaína houve uma predominância da degradação biológica, onde há degradação também do solo, em relação a degradação agrícola, sendo percentual de degradação biológica, soma dos níveis 4 e 3 de 60,75% e de dos níveis 1 e 2 de degradação agrícola de 39,25%.

REFERÊNCIAS

ABIEC. **Beef REPORT Perfil da Pecuária no Brasil 2022**. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/>. Acesso em: 23 nov. 2023

Aires, U. R. V., Silva, D. D., Moreira, M. C., Ribeiro, C. A. A. S., Ribeiro, C. B. M., 2020. The Use of the Normalized Difference Vegetation Index to Analyze the Influence of Vegetation Cover Changes on the Streamflow in the Manhuaçu River Basin, Brazil. **Water Resources Management [online]** 34.

Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02536-1>. Acesso: 19 jul. 2020.

ARANTES, Ariela Elias, **Caracterização Biofísica e Potencial à Intensificação Sustentável da Pecuária Brasileira em Pastagens**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Cidade de Goiás, 2017.

ARAUJO, Valquíria Dayce da Silva. et al. **Cenário atual das pastagens no estado do Tocantins**. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano. 08, Ed. 03, Vol. 03, pp. 05-30. março de 2023. Disponível em :

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/agronomia/pastagens>, acessado em: 8 nov. 2023.

AZEVEDO, Laízy de Sanatana; BARBOSA, Leonardo Carlos. Estudo do índice de vegetação e temperatura da superfície terrestre na área de proteção ambiental Triunfo do Xingu (PA) utilizando o Google Eart Engine. **Rev. Geociênc. Nordeste**, Caicó, v.6, n.2, (Jul-Dez) p.244-256, 2020.

Barros, Antônio Soares; Farias, Lucas Menezes de; Marinho, Jefferson Luiz Alves. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.06 (2020) 2885-2895.

BORGES, Bruno Carramaschi. **Avaliação da qualidade das pastagens plantadas de capim *Panicum maximum cv Mombaça* por meio do uso de índices de vegetação, fotografias digitais e imagens de satélite**. 108p. Dissertação de Mestrado no XX - Universidade de Brasília / Instituto de Geociências, 2018.

BORGES, K. L. C. **Dados Espectrorradiométricos de Campo e Índices de Vegetação para Estimar a Porcentagem de Cobertura Vegetal Verde de Pastagens Cultivadas**.

Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, 2015.

BORGHI, E.; LUCHIARI JUNIOR, A.; AVANZI, J. C.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMPOS, L. J. M.; CORREA, L. V. T. **Estado da arte da agricultura e pecuária do estado do Tocantins**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015.

BORÉM, Aluízio; QUEIROZ, Daniel Marçal; VALENTE, Domingos Sárvio Magalhães; PINTO, Francisco de Assis de Carvalho. **Agricultura digital**. São Paulo: Oficina de Textos, 2. Ed - 2021.

BRITO, Brenda Nogueira de; BRITO, Jorge Luiz Silva. **Mapeamento de qualidade em pastagens do cerrado por meio de imagens Sentinel 2**. Geografia Ensino e Pesquisa. Universidade federal de Santa Maria- UFMS. Santa Maria, v. 24 e44, 2020.

BRITO, Brenda Nogueira, **Mapeamento e avaliação de qualidade em pastagens na bacia hidrográfica do rio Tijuco (Triângulo Mineiro)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Geografia.

BRITO, J. L. S. Mapeamento e avaliação da qualidade das pastagens cultivadas no Triângulo Mineiro a partir de imagens Oli/Landsat-8. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 67, p. 68-82, set. 2018b.

Brito, Brenda Nogueira de. **Mapeamento e avaliação de qualidade em pastagens na bacia hidrográfica do rio Tijuco (Triângulo Mineiro)**. 2021.

Brito, Brenda Nogueira de; Brito, Jorge Luiz Silva. Mapeamento de qualidade em pastagens do Cerrado por meio de imagens Sentinel 2. **Geog Ens Pesq**, Santa Maria, v. 24, e. 44, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/43352>

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; e PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, p. 0947-1073, 2017.

CICARNE. **Pecuária em números**. Cicarne, 2019. Disponível em: <https://www.cicarne.com.br/pecuaria-em-numeros/>

COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. R.; VICTÓRIA, D. C.; ANDRADE, A. M. **Cenários prospectivos de mudanças climáticas para o Estado do Tocantins**. Agricultura e Mudanças do Clima no Estado do Tocantins: Vulnerabilidade, Projeções e Desenvolvimento. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142912/1/PL-Cenarios-prospectivos-mudancas-2022.pdf> acessado em 12nov, 2023.

CONCEIÇÃO, M. P. C.; BAYMA-SILVA, G.; NOGUEIRA, S. F. **Elaboração de perfis temporais de índices de vegetação a partir de imagens Landsat**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Circular Técnica, 32). Disponível em: ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139750/1/025-15-V2.pdf. Acesso em: 29 jan. 2024.

CONCEIÇÃO, M. P. C.; NOGUEIRA, S. F.; GREGO, C. R.; MANJOLIN, R. C. Avaliação temporal de sistemas pecuários usando índice de vegetação NDVI derivado de imagens Landsat. **Brazilian Journal of Animal and Environmental**, Curitiba, v.4,n.1,p.1451-1467 jan/mar.2021.

COSTA, Lorena de Oliveira. **Agronegócio brasileiro: história, importância no cenário internacional e perspectivas**. [S. l.: s. n.], 2018.

COSTA, B. M. da. **Tipos de pastagens, sob o ponto de vista ecológico**. [199-]. Disponível em: http://www.agronline.com.br/agrociencia/pdf/public_47.pdf. Acesso em 21 agosto 2023.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2014, v.1. 38p.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. reimp. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 215 p.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4.ed. 2a impressão correções e revisão. Belém: Ed. do Autor, 2015. 216p.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar?** Brasília, DF. 2017, Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf>. Acesso em 11 abril 2023.

EMBRAPA, **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**/Elena Charlotte Landau ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2020.

FEITOSA, Cid Olival. Panorama das atividades agropecuária de exportação do Tocantins: Soja e Carne. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 71- Dossiê Agronegócios no Brasil, p. 154-174, Abril. 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n71p154>

FERREIRA, G. C. V.; NETO, J. A. F.; Usos de geoprocessamento na avaliação de degradação de pastagens no assentamento Ilha do Coco, Nova Xavantina-Mato Grosso, Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 02, p 140-148,2018.

FERREIRA, Gabriel Caymmi Vilela; MIZIARA, Fausto; COUTO, Victor Rezende Moreira. Pecuária em Goiás: Análise da distribuição espacial e produtiva. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, Brasil, v. 13, n. 2, p.21 - 39. 2019. ISSN: 1982-5528.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação / Paulo Roberto Fitz**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Flores, D. D. C., Benítez, E. A. C., Sánchez, I. F., Ávila, D. D., 2020. Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba. **Revista Ecosistemas [online]** 29. Disponível: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1885>. Acesso: 25 jul. 2020.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FRAGOSO, Daniel Brito; CARDOSO, Expedito Alves. **Expansão da agricultura no Estado do Tocantins**. Brasília: Embrapa, 2019. 51p.

GAO, Q; LI, Y; WAN, Y; LIN, E. J. **Grassland degradation in Nothern Tibet based on remote sensing data**. Geographical Sciences, v.16, n.2, p.165-173, 2016.

GOOGLE LLC. **Earth Engine Code Editor**. 2020. Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/playground>. Acesso em: 15 jul. 2022.

GOOGLE EARTH ENGINE. **A planetary-scale platform for Earth Science Data & Analysis**. 2021. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2024.

GOMES, R.C.; FEIJÓ, G.L.D.; CHIARI, L. **Evolução e qualidade da pecuária Brasileira**. – Embrapa, nota técnica, 2017.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R., 2017. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing of Environment, v.202, p.18-27.

GOSCH, M. S.; PARENTE, L. L.; FERREIRA, N. C.; OLIVEIRA, A. R.; JÚNIOR, L. G. F. Pastagens degradadas, uma herança dos imóveis rurais desapropriados para assentamento rurais do cerrado goiano. **Campo-Território: revista de geografia agrária**, v.15, n.35, p. 202-229, abr., 2020.

GRISE, M. M.; BARBOSA, C.F.; ALCÂNTARA, P. H. R. de. **TT ILPF – construindo capacidades e inovando no setor produtivo do Tocantins e sul do Pará**. Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia – CONTECC, Palmas/TO 2019; Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208234/1/CNPASA-2019-contecc.pdf>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/formoso-do-araguaia/pesquisa/18/16459?ano=2020&tipo=grafico&indicador=16533> . Acesso em: 21 maio.2023.

IBGE, **2019 – Pesquisa da Pecuária Municipal**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>. Acesso em: 09 maio 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2023. Estado do Tocantins: IBGE, 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html> . Acesso em: 21 set.2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2023. Estado do Tocantins: IBGE, 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html> . Acesso em: 21 set.2024.

MALAFAIA, G. C.; AZEVEDO, D. B. de; PEREIRA, M. de A.; MATIAS, M. J. de A. A sustentabilidade na cadeia produtiva da pecuária de corte brasileira. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p. p. 117-130.

MALAFAIA, G.C et al. **Cadeia produtiva da carne bovina: contexto e desafios futuros. Relatório técnico. Centro de Inteligência da Carne Bovina. Embrapa Gado de Corte**. Campo Grande, 2021.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; Zimmer, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 2000. 4 p. (Comunicado Técnico, 62).

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. Coleção 8. Goiânia, Brasil. 2022. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em: 22 out. 2022.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012.

Moreira, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. atual. ampl. – Viçosa: Ed. UFV. 2005.

Moura, Valdir. **Mapeamento De Uso Do Solo E Caracterização Espectral Dos Diferentes Níveis De Degradação De Pastagens No Estado De Rondônia**. Tese. 164f. Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná Campus De Cascavel, 2022.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p.

PALUDO, A. et al. **Mapping summer soybean and corn with remote sensing on Google Earth Engine cloud computing in Parana state–Brazil**. International Journal of Digital Earth, v. 13, n. 12, p. 1624–1636, Jun., 2020. DOI10.1080/17538947.2020.1772893. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2020.1772893>. Acesso em: 08 setembro 2023.

PASSOS, Andreia de Oliveira. **Índices de reflectância, NDVI e EVI como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais - Jaboticabal, 2021**. p52. / Tese (doutorado) Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

PEREIRA, Luís Flávio; FERREIRA, Cecília Fátima Carlos; GUIMARÃES, Ricardo Morato Fiúza. **Manejo, qualidade e dinâmica das pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais – Brasil**. Nativa, Sinop, v.6, n.4, p.370-379, jul/ago. 2018. Pesquisas Agrárias e Ambientais.

Pimentel-Gomes, F. Curso de estatística experimental. Piracicaba: Esalq-USP, ed. 14, 2000. PREY, L; HU, Y; SCHMIDHALTER, U. High-throughput field phenotyping traits of grain yield formation and nitrogen use efficiency: optimizing the selection of vegetation indices and growth stages. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1672, 2020.

RAMOS, A. W. P.; GALVANINE. E.A. S.; XAVIER, F. V.; BATISTA, V. F.; SOARES, B. R. B.; AZEVEDO, U.R. **Estado da conservação ambiental das pastagens da municipalidade de Araputanga-MT, Brasil**. Revista Tamoios, São Gonçalo (RJ), v.17, n.2, págs. 137-157, jul-dez. 2021.

ROLDÃO, Aline de Freitas, FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. **Climatologia do Estado do Tocantins – Brasil**. Caderno de Geografia, v.29, n.59, 2019.

ROSA, Aline Rombega Tito. **Formação geológica e pastagens degradadas no município de Vêrissom-MG** / Aline Rombega Tito Rosa – Jaboticabal, 2020 64 p. / Tese (doutorado) Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

ROUSE, John Wilson et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, v. 351, n. 1974, p. 309, 1974.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **Land Use**. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: “<https://ourworldindata.org/land-use>” [Online Resource]. 2019

SANO, E. E. et al. **Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 54, p. 1-5, apr. 2019.

SALMAN, Ana Karina Dias; SCHLINDWEIN, Jairo André; PFEIFER, Luiz Francisco Machado. **Avanços da pecuária na Amazônia: pesquisas em desenvolvimento Regional em Rondônia / organização – Ana Karina Dias Salman, Jairo André Schlindwein, Luiz Francisco Machado Pfeifer**. - Porto Velho, RO: Coleção Pós-Graduação da UNIR - EDUFRO, 2021. 183 p.; il.

SCARAMUZZA, C. A. M. et al. **Land-use and land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on landsat-8 satellite images**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 6, p. 1041-1051, jun. 2017.

SENAR - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Projeto ABC Cerrado recuperou no Tocantins 20.129 hectares de áreas degradadas**. Senar Tocantins, 2019. Disponível em: <https://sistemafaetsenar.org.br/senar/noticia.php?l=90ca193eda5a6f351a2e2d063bb23d70>. Acesso em: 16 abr. 2023.

SILVA, Alyne Madja dos Santos. **Diagnóstico de pastagem degradada a partir de índice de vegetação do espectro visível: relação entre conflito e a erosão hídrica**. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) – Instituto Federal do Triângulo Mineiro-Campus Uberaba-MG, 2023.. 65 f.: il.

SILVA, G. M. A. DA, FIEDLER, N. C., SILVA, E. C., & RAMALHO, A. H. C. Ocupação da Terra e Diagnóstico de Degradação no Sul do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 16, n. 1, p. 45-51, 2020.

SOUSA, M.F. F.; MOREIRA, A.N.H.; CIAPPINA, A.L. **Avaliação da degradação de pastagens com o uso de sensoriamento remoto e índices de vegetação**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer – Jandaia – GO. v.19. n.39; p.48, 2022.

SOUZA FILHO, H. M. DE; ROSA, F. T.; VINHOLIS, M. de M. B. Análise da competitividade da cadeia produtiva da carne bovina do estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 40, n.3, mar. 2010. p. 16-28.

TOCANTINS GOVERNO DO ESTADO. **Secretaria da Agricultura e Agropecuária. Plano ABC+TO 2020-2030.** Tocantins Governo do Estado, 2021. Disponível em: <https://www.to.gov.br/seagro/plano-abc-to/5gnxp5sy5b0e>

TOCANTINS GOVERNO DO ESTADO. **Secretaria da Agricultura e Agropecuária (Adapec).** Senso bovino. Tocantins Governo do Estado, 2023.

VALLE JÚNIOR, R. F.; SIQUEIRA, H. E.; VALERA, C. A.; OLIVEIRA, C. F.; FERNANDES, L. F. S.; MOURA, J. P.; PACHECO, F. A. L. **Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil).** Remote Sens. Appl.: Soc. Environ. v. 14, p. 20-33, 2019.

Vale, Jones Remo Barbosa. **Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará por meio da Plataforma Google Earth Engine.** / Jones Remo Barbosa Vale. – Belém, 2019. 68 f.

VERGARA, Roberta Mara de Oliveira. **Uso da terra, aptidão hídrica e expansão da atividade agrícola no sudoeste do Tocantins: identificação de cenários e fragilidades.** 2021, 182 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional) – Universidade federal do Tocantins, Palmas, TO, 2021.

VIEIRA, Pedro Abel; BUAINAIN, Antônio Marcio; CONTINI, Elisio; GRUNDLING, Roberta Dalla Porta. **Geopolítica das Carnes Mudança na Produção e Consumo.** Revista da Política Agrícola. Ano XXX – No 2 – Abr/Maio/Jun. 2021.

OLIVEIRA, M. J. **Proposta Metodológica para Delimitação Automática de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morros e em Linha de Cumeada.** 2002. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. organização sócio-espacial do Pontal do Paranapanema-SP. Presidente Prudente.