



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**CARLOS VINICIUS DOS SANTOS BORGES**

**USO DE ÍNDICES ESPECTRAIS PARA QUANTIFICAR STATUS DA  
REGENERAÇÃO VEGETATIVA APÓS EVENTO DE FOGO, ESTUDO DE  
CASO**

**Chapadina – MA  
Julho de 2022**

**CARLOS VINICIUS DOS SANTOS BORGES**

**USO DE ÍNDICES ESPECTRAIS PARA QUANTIFICAR STATUS DA  
REGENERAÇÃO VEGETATIVA APÓS EVENTO DE FOGO, ESTUDO DE  
CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Washington da Silva Sousa

**Chapadinha – MA  
Julho de 2022**

## **CARLOS VINICIUS DOS SANTOS BORGES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

TCC defendido e aprovado, em 04 de julho de 2022, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

---

Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira

Orientadora

---

Prof. Dr. Washington da Silva Sousa

Examinador

---

MSc. Carlos Augusto Alves Cardoso Silva

Examinador

**Chapadinha – MA**  
**Julho de 2022**

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

Borges, Carlos Vinicius dos Santos.

USO DE ÍNDICES ESPECTRAIS PARA QUANTIFICAR STATUS DA  
REGENERAÇÃO VEGETATIVA APÓS EVENTO DE FOGO, ESTUDO DE  
CASO/Carlos Vinicius dos Santos Borges. - 2022.

61 f.

Coorientador(a): Washington da Silva Sousa.

Orientador(a): Kamilla Andrade de Oliveira.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade  
Federal do Maranhão, Chapadinha - MA, 2022.

1. Área Protegida. 2. Rebrotas. 3. Vegetação.

I. Sousa, Washington da Silva. II. Oliveira, Kamilla Andrade de. III. Título.

À minha mãe Maria Deuza dos Santos, símbolo de amor, fortaleza e  
perseverança.

Meu pai Benedito Carlos de Oliveira Borges, símbolo de proteção e  
determinação.

Meu irmão, Clemerton dos Santos Borges, símbolo de apoio.

À minha namorada Emanuelle Sousa Baeta, símbolo de companheirismo  
e carinho.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, em primeiro lugar, pela proteção e sempre me guiar.

Aos meus pais, especialmente a minha mãe Maria Deuza dos Santos, meu pai Benedito Carlos de Oliveira Borges, que já não está mais entre nós, ao meu irmão Clemerton dos Santos Borges e, à minha namorada Emanuelle Sousa Baeta, que sempre me apoiou e me acompanhou nesta trajetória.

A minha orientadora professora Kamilla Andrade de Oliveira pelos ensinamentos, oportunidades e amizade, e por acreditar em mim.

Ao professor Washington da Silva Sousa, pela amizade e pela disposição para todas as ocasiões.

A todos os meus amigos de turma e da universidade, por todos os momentos de alegria e troca de experiências vividas durante a academia.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal do Maranhão pela oportunidade de educar-se no curso de Engenharia de Agrícola, e a todos os professores do Centro de Ciências de Chapadinha pelo enorme aprendizado que me proporcionaram.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xi
LISTA DE SIGLAS .....	xii
RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	14
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS.....	17
1.1 Objetivo geral .....	17
1.2 Objetivos específicos .....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1 Queimadas florestais.....	17
2.2 Rebrot.....	18
2.3 Sensoriamento remoto .....	19
2.4 Sensores .....	20
2.5 Índices espectrais .....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3.1 Caracterização da área de estudo .....	23
3.2 Fluxograma .....	24
3.3 Levantamento de dados .....	26
3.4 Pré-processamento das imagens .....	27
3.5 Índices de queimadas .....	27
3.5.1 Índice de queimada por razão normalizada – NBR.....	27
3.5.2 Índice diferenciado de queimada por razão normalizada – dNBR.....	28
3.5.3 Índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada – RdNBR .....	28
3.5.4 Rebrot.....	29
3.6 Níveis de rebrot da vegetação e severidade das queimadas.....	29
3.7 Atividade de campo e instalação de parcelas permanentes .....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31

4.1	Validação de campo.....	51
5.	CONCLUSÕES.....	54
6.	REFERÊNCIAS.....	55



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da Terra Indígena Governador, Amarante do Maranhão - MA, Brasil .....	23
<b>Figura 2.</b> Fluxograma apresentando as etapas metodológicas.....	25
<b>Figura 3.</b> Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de severidades das queimadas entre 2003 e 2014. ....	32
<b>Figura 4.</b> Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de severidades das queimadas entre 2015 e 2020. ....	33
<b>Figura 5.</b> Gráficos comparativos entre o dNBR e RdNBR para cada nível de rebrota e severidade de queimada da TI Governador. ....	40
<b>Figura 6.</b> Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de rebrota entre 2003 e 2014. ....	41
<b>Figura 7.</b> Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de rebrota entre 2015 e 2020. ....	42
<b>Figura 8.</b> Gráficos comparativos entre o dNBR e RdNBR para cada nível de rebrota e severidade de queimada da TI Governador .....	49
<b>Figura 9.</b> Gráficos comparativos de todos os índices e níveis da TI Governador. ....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Data do imageamento das cenas .....	26
<b>Tabela 2.</b> Níveis de severidade de queimadas dos índices dNBR e RdNBR. Adaptado de Teobaldo e Baptista (2013).....	29
<b>Tabela 3.</b> Metodologia da atividade de campo .....	30
<b>Tabela 4.</b> Área total em hectares e percentual das severidades do índice dNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020. ....	35
<b>Tabela 5.</b> Área total em hectares e percentual das severidades do índice RdNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020. ....	37
<b>Tabela 6.</b> Área total em hectares e percentual das severidades e rebrota do índice RdNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020.	44
<b>Tabela 7.</b> Área total em hectares e percentual das severidades e rebrota do índice RdNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020.	46
<b>Tabela 8.</b> Relação de famílias e espécies regenerantes amostradas em uma parcela permanente na TI Governador.....	52
<b>Tabela 9.</b> Espécies com maior densidade de indivíduos em cada tratamento .....	54

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1.</b> Índice NBR .....	28
<b>Equação 2.</b> Índice dNBR .....	28
<b>Equação 3.</b> Índice RdNBR .....	29
<b>Equação 4.</b> Índice dNBR rebrota.....	29
<b>Equação 5.</b> Índice RdNBR rebrota .....	29

## LISTA DE SIGLAS

AP – Área de Preservação

dNBR – Índice Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada

NBR – Índice de Queimada por Razão Normalizada

RdNBR - Índice Relativo Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada

TI – Terra Indígena

UCs – Unidades de Conservação

USGS - Pesquisa Geológica dos Estados Unidos

ZA – Zona de Amortecimento

## RESUMO

Os incêndios florestais em Áreas Protegidas (AP) são caracterizados como um dos principais fatores de destruição dos recursos naturais, uma vez que estes territórios possuem a finalidade de preservação e conservação do ambiente local e permanência de costumes das populações tradicionais e regionais. O presente trabalho objetivou-se analisar as severidades de queimadas e quantificar o *status* de rebrota da vegetação na Terra indígena Governador, incluindo zona de amortecimento com 49.753,45 ha, no período de 2003 a 2020. Para tal finalidade, foram obtidas imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8, para quais aplicou-se os índices de Queimada por Razão Normalizada – NBR, índice Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada – dNBR e índice Relativo Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada – RdNBR, e posteriormente, aplicado os intervalos de cicatrizes e rebrota da vegetação, e uma classificação dos sete níveis de severidades e rebrota: alta rebrota, baixa rebrota, não queimado, baixa severidade, severidade moderada baixa, severidade moderada alta e alta severidade. Na série temporal, o nível de área não queimada nas cicatrizes e rebrota apresentou média de 79,88% e 69,22%, respectivamente, do território da TI Governador com o dNBR e, 65,20% e 52,84% por meio do RdNBR, assim como a diminuição da quantidade de áreas com altas severidade das queimadas com o passar dos anos. Os índices se mostraram satisfatórios para a quantificação da rebrota da vegetação após as queimadas, visto que as áreas que sofreram com queimadas apresentaram algum nível de rebrota, com o RdNBR se sobressaindo, em razão de, em média, 39,66% da área da TI expor algum nível de rebrota, ao contrário do dNBR que apenas mostrou 26,58%. Uma vez, a partir de dados de campo, os valores de rebrota ficaram em 8,9%.

**Palavras-chave:** Área Protegida; Rebrota; Vegetação.

## **ABSTRACT**

Forest fires in Protected Areas (PA) are characterized as one of the main factors of destruction of natural resources, since these territories have the purpose of preserving and conserving the local environment and permanence of customs of traditional and regional populations. The present study aimed to analyze the severity of fires and quantify the regrowth status of vegetation in the Governador Indigenous Land, including a buffer zone with 49,753.45 ha, in the period from 2003 to 2020. For this purpose, satellite images were obtained LANDSAT 5 and 8, for which the Burning Index by Normalized Ratio - NBR, Differentiated Burning Index by Normalized Ratio - dNBR and Relative Differentiated Burning Index by Normalized Ratio - RdNBR were applied, and later, applied the intervals of scars and vegetation regrowth, and a classification of the seven levels of severities and regrowth: high regrowth, low regrowth, unburnt, low severity, moderately low severity, moderately high severity, and high severity. In the time series, the level of unburned area in scars and regrowth showed an average of 79.88% and 69.22%, respectively, for the territory of the Governador TI with the dNBR and, 65.20% and 52.84% for the dNBR, respectively. of the RdNBR, as well as the decrease in the number of areas with high severity of fires over the years. The indices proved to be satisfactory for the quantification of vegetation regrowth after the fires, since the areas that suffered from fires showed some level of regrowth, with the RdNBR standing out, due to, on average, 39.66% of the area of the TI exhibit some level of regrowth, unlike dNBR which only showed 26.58%. Once, from field data, regrowth values stood at 8.9%.

**Keywords:** Protected Area; Regrowth; Vegetation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios estão entre os principais responsáveis na destruição dos ambientes florestais, provocando mudanças no ecossistema e contribuindo para o acréscimo da poluição atmosférica (AXIMOFF; RODRIGUES, 2011). As suas origens são comumente associadas às atividades antrópicas, seja para execução de práticas econômicas, como a agropecuária, e até mesmo provocados intencionalmente, por motivos pessoais ou comportamentais, todavia, a dinâmica dos fatores climáticos, principalmente seca e vento, e o tipo de relevo favorecem o espalhamento e a severidade das queimas (SANTOS et al., 2006; CUNHA, 2016).

Os danos provocados pelos incêndios florestais podem afetar vários componentes do ambiente, como: o solo, a vegetação, a fauna e o ar atmosférico, gerando perdas irreparáveis e imensuráveis da perspectiva conservacionista, econômica e cientista, como também oferecem risco para a saúde das pessoas que habitam em áreas próximas dos incêndios (PAULO-KROPOSKI et al. 2004).

Observando o cenário das queimadas no Brasil entre os anos de 1983 e 2002, Soares et al. (2006) constataram que o período mais comum para a ocorrência dos incêndios florestais abrange os meses de junho a novembro, destacando-se os meses de agosto e setembro como maior período de registros. Da mesma forma, Junior et al. (2018) ao analisarem o comportamento dos incêndios no cerrado maranhense, concluíram que devido à sazonalidade do regime de chuva, as queimadas são diretamente influenciadas pelo volume de chuva mensal, temperaturas e umidade do ar.

Apesar da preocupação com o ambiente e as formas de preservação serem mais evidentes nos últimos anos, a degradação da floresta ainda acontece, inclusive em Unidades de Conservação (UCs), muito em razão do desmatamento, da não aplicação de práticas de manejo sustentável das áreas, sustentada pela falta de conhecimento adequado, das queimadas e toda sua consequência, redução da qualidade de vida, entre outras situações (ARAÚJO et al., 2012).

Entre 2008 e 2012, registrou-se 19.048 focos de calor nas APs do Maranhão, dentre elas Terras Indígenas (TIs), que deviam ser locais de proteção e conservação dos seus ecossistemas, o que correspondeu a 19,5% de todos os focos ocorridos no Estado para o intervalo de tempo (GERUDE, 2013).

Dentro desse contexto, estudos que visem avaliar os impactos dos incêndios florestais para analisar o potencial de regeneração das florestas exploradas e o seu manejo são de suma importância (GERWING, 2002). A intensidade da regeneração pós-fogo da

vegetação depende da força, frequência, duração do incêndio e tipo de formação vegetativa atingida (SILVA et al., 2005). Sartorelli et al. (2007), observaram que espécies vegetativas do cerrado se comportaram de maneira singular após a passagem do fogo, com o poder de rebrota de cada uma sendo equilibrado em consequência dos incêndios. O controle inadequado das áreas que sofreram com queimadas, a longo prazo, incluindo o risco de novos incêndios, pode afetar seus ecossistemas e prejudicar a função dos remanescentes florestais, que são os principais responsáveis para a regeneração da vegetação (XAVIER, 2011).

A utilização de tecnologias como o sensoriamento remoto oferecem recursos viáveis para o monitoramento de áreas naturais que sofrem com o fogo e a quantificação de suas consequências (DOS SANTOS et al., 2019). As informações obtidas com os mapeamentos e monitoramento dos incêndios através de imagens de satélites são significativas para o manejo das florestas e dos recursos terrestres presentes, já que para grandes territórios, aliados com os difíceis acessos, torna-se inviável o monitoramento periódico à campo (ZHAN et al., 2002; BEZERRA et al., 2020). O uso do sensoriamento remoto, aliado a adoção de políticas e gestão de conservação para biomas e áreas preservadas, são necessários para o monitoramento e tomadas de decisão, afim de preservar a reconstituição da vegetação destes ambientes (ROSAN et al., 2019).

Os índices espectrais se sobressaem sobre outras metodologias de avaliação de queimadas e demarcação de áreas de regeneração, já que utilizam dados provenientes de bandas específicas com espectro magnético acopladas nos sensores orbitais, tornando-se simples e eficientes, obtendo respostas espectrais de cobertura vegetal, vigor vegetativo e efeitos do fogo (RESENDE et al., 2015). Desta forma, vários autores apresentaram índices espectrais que aferem o grau de severidade das queimadas, dentre os quais se destacam o índice de queimada por razão normalizada (*Normalized Burn Ratio* - NBR), elaborado por Key e Benson (2006), índice diferenciado de queimada por razão normalizada (*differenced Normalized Burn Ratio* - dNBR), desenvolvido por Roy et al. (2006) e o índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada (*Relative differenced Normalized Burn Ratio* - RdNBR) (MILLER; THODE, 2007).

Observando as pesquisas, todas as técnicas de sensoriamento remoto vistas anteriormente colaboram com o objetivo de monitorar os incêndios e apoiar as tomadas de decisões que visam preservar e cuidar das APs, principalmente as áreas indígenas que abrigam comunidades tradicionais, já que estas estão diretamente dependentes dos recursos naturais disponíveis no ambiente habitado.



## **2. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo geral**

Analisar as severidades de queimadas e quantificar o status de rebrota da vegetação na Terra indígena Governador, utilizando imagens dos sensores TM (*Thematic Mapper*) /LANDSAT – 5 e OLI (*Operational Land Imager*) /LANDSAT – 8, durante um período de 17 anos (2003-2020).

### **1.2 Objetivos específicos**

- Avaliar e quantificar a vegetação nativa pós queima na Terra Indígena Governador, no município de Amarante do Maranhão – MA, no período de 2003 a 2020;
- Quantificar a regeneração vegetativa pós-fogo;
- Criar mapas temáticos de regeneração vegetal.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Queimadas florestais**

Dentre todos causadores dos danos aos recursos naturais, o fogo é o principal agente de destruição, em que florestas e demais tipos de formação vegetativa estão fortemente vulneráveis a sofrerem com queimadas de qualquer escala de severidade, que podem levar a danos irreparáveis para a biodiversidade local (SOARES; SANTOS, 2002). É de conhecimento de todos que as queimadas começam através de uma reação endotérmica, sendo necessária uma fonte de energia externa para ocorrer o fogo, e após esse processo, ocorre a reação exotérmica, e continuará nessa sequência até que alguma ação exterior seja tomada, o que é o ponto chave para o combate dos incêndios florestais (RIBEIRO, 2004).

No cerrado brasileiro, o fogo já é um elemento constituidor do ambiente, podendo ser positivo ou negativo para o ambiente, visto que a ocorrência de queimadas é um acontecimento periódico, muito por conta das atividades agrícolas que são comuns nas regiões onde o bioma predomina, ou até mesmo por fatores climáticos favoráveis, quantidade de combustível disponível e práticas com uso de fogo descontroladas (SOARES, 1992).

Contudo, os danos causados pelo fogo descontrolado em queimadas florestais podem ser imensuráveis, como os danos físicos, que abrangem aquecimento e redução de

nutrientes do solo, diminuição do teor de matéria orgânica e água e elevação da acidez do solo, alteração do microclima local do ambiente, emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera; danos bióticos, como alteração da fauna e flora, desequilíbrio no ecossistema, desaparecimento de espécies nativas; e os danos socioeconômicos, uma vez que os incêndios causam perturbações nas sociedades locais, modifica a paisagem e destrói as áreas de preservação (GUIMARÃES et al., 2014).

O uso de queimadas por produtores rurais para a limpeza de áreas agrícolas é algo normal e rotineiro no Brasil, sobretudo em locais que há pouco desenvolvimento econômico, e o emprego de métodos rústicos é algo comum, em consequência de muitos desses produtores rurais serem pessoas com costumes tradicionais, aumentando o risco de espalhamento do fogo e ocasionar incêndios incontrolados (GONÇALVES, 2005).

Nas queimadas que ocorrem nas APs brasileiras, uma das principais causas de incêndios é o uso incorreto do fogo destinados à renovação de pastos e limpezas de áreas agrícolas vizinhas, contradizendo os objetivos das UCs e causando severas consequências para áreas naturais remanescentes, e em alguns casos, a pouca disponibilidade de equipamentos e recursos financeiros para o combate das chamas, intensifica o prejuízo (TORRES et al., 2017). É importante citar, que próximo às unidades de conservação há um engajamento de todas as comunidades locais para a derrubada e queima de madeira, aos quais comunidades indígenas, seringueiros, colonos e fazendeiros colaboram para a realização do processo (MESQUITA, 2008).

## **2.2 Rebrotas**

O procedimento de rebrotas de plantas depois de queimadas varia com o tipo de bioma, espécies envolvidas, magnitude do fogo, e outros parâmetros, dado que existem muitas espécies que são completamente destruídas por causa do fogo, e quando isso ocorre, o meio de ocorrer a reprodução é por sementes (reprodução sexuada) (CIRNE; SCARANO, 1996; CASTRO-NEVES, 2007).

Mesmo sendo notório que o fogo é um evento antigo e frequente, estudos apontam que em muitos casos, há um forte incremento de vegetação nas áreas queimadas como uma forma de proteção ao acontecido, o que favorece o estabelecimento de árvores em muitas áreas de savana, como é o caso do cerrado brasileiro (SATO, 2003).

Coutinho (1990), constatou que após o incêndio, a rebrotas de plantas lenhosas de Cerrado ocorre de três aspectos diferentes: copa, rizoma dos caules e estruturas

subterrâneas. No Cerrado *sensu stricto*, a vegetação lenhosa proporcionou 66% de rebrota nas partes do tronco e ramos, e 20% apresentaram rebrota próximas ao solo e raízes (MIRANDA et al., 1996).

O fogo diminui em largas dimensões a taxa de crescimento de muitas espécies vegetativas, mesmo existindo alguma forma de regeneração da vegetação depois do incêndio, lembrando que estas espécies demoram mais a desenvolverem-se no período de seca em relação ao período com alto regime de chuvas (ARMANDO, 1994).

### **2.3 Sensoriamento remoto**

De acordo com Moraes (2003), o sensoriamento remoto pode ser conceituado como um conjunto de atribuições que visa coletar dados de objetos que estão presentes na superfície terrestre, mas que não há a necessidade do contato físico direto com os mesmos, das quais envolvem a detecção, obtenção e análise de informações através da energia eletromagnética adquirida dos objetos pelos sensores remotos. Para Ponzoni et al. (2015), o sensoriamento remoto é a interação da radiação eletromagnética com os alvos, que são os objetos em destaque para a extração de informações que, para o sensoriamento remoto da superfície terrestre, podem ser diferentes recursos naturais, como o solo, as águas, a vegetação e as rochas.

Granemann e Carneiro (2009), afirmam que o sensoriamento remoto, em conjunto com os sistemas de informações geográficas, se tornará uma ferramenta indispensável para a identificação e monitoramento de queimadas florestais, em escala global, em virtude de seus dados serem confiáveis e essenciais, auxiliando tomadas de decisões em relação à gestão e preservação de áreas de vegetação.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de geotecnologias na área ambiental tornaram-se instrumentos fundamentais para a realização de monitoramento de uso e ocupação das terras, e principalmente nas áreas de preservação ambiental, logo que os dados estão cada vez mais precisos, e a sua disponibilidade é frequente, uma vez que sua atualização de informações ocorre periodicamente em poucos dias de intervalo (VAEZA et al., 2010).

Gomes et al. (2005), definem o geoprocessamento como a representação da área científica que emprega técnicas matemáticas e computacionais que abordam informações geográficas. Para Antunes (2013), o geoprocessamento, método aplicado ao sistema de

projeção geográfica, é um conjunto de técnicas e procedimentos que aludem a aquisição, a retenção, o processamento e a representação de dados georreferenciados.

As técnicas de geoprocessamento possibilitam uma estimativa mais fiel dos sistemas naturais, na medida em que os dados são processados com mais agilidade e os resultados dos estudos dos recursos naturais são otimizados (CARELLI; LOPES, 2011). A utilização de geotecnologias tornara-se uma ferramenta indispensável para auxiliar entidades governamentais na gestão de recursos ambientais, como monitoramento para cumprimento de leis e otimização de uso e ocupação do solo (GASPARINI et al., 2013).

Os resultados provenientes do sensoriamento remoto são fontes de dados que norteiam estudos de diversas áreas, além de ser um instrumento viável na visão econômica, tanto para o monitoramento local quanto global, eficiente, rápido e periódico (CRÓSTA, 2002).

## 2.4 Sensores

Os satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8 fazem parte do sistema Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*, ou Satélite de Sensoriamento Remoto Terrestre), administrado pela *National Aeronautical and Space Administration* – NASA e auxiliado pelo *United States Geological Survey* - USGS, inaugurado na década de 60, com o objetivo de observar exclusivamente os recursos naturais terrestres. Até os dias atuais, o programa já lançou nove satélites para a órbita terrestre, todos nomeados com o nome do programa e suas respectivas ordens de lançamento, com o mais atual sendo o LANDSAT-9 (EMBRAPA, 2018).

O LANDSAT-5 foi lançado em 01 de março de 1984 e atuou até novembro de 2011, operando em uma altitude de 705 km em relação à superfície terrestre, com uma resolução temporal de 16 dias de revisita para o imageamento sob um mesmo ponto da Terra, com uma faixa de cobertura de área de 185 km x 185 km e possuía uma resolução radiométrica de 8 bits (SLATER, 1974; SALOMONSON et al., 1981). A bordo do LANDSAT-5, está acoplado o sensor multiespectral TM (*Thematic Mapper*), no qual também equipou o satélite anterior da série (LANDSAT-4), que gera imagens em 7 bandas espectrais, com diferentes características e resoluções espaciais. As bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 ofertam uma gama de imagens nas faixas do visível e infravermelho próximo e médio, com uma resolução espacial de 30m para cada pixel, e a banda espectral 6 é a do infravermelho termal, com resolução espacial de 120m

(NAPOLEÃO, 2001; BRAGA, 2015). O sensor TM proporcionou uma série de fatores, bem melhores em relação ao seu antecessor, o sensor MSS (*Multispectral Scanner System*), como resolução espacial, posicionamento geométrico e acurácia radiométrica, facilitando estudos e pesquisas em diversas áreas do conhecimento científico, e utilizado em larga escala no sensoriamento remoto mundial (EMBRAPA, 2018).

O oitavo satélite do programa, o LANDSAT-8, foi lançado para a órbita terrestre em 11 de fevereiro de 2013, e está ativo até os dias atuais, atuando também em uma distância de 705 km da superfície da Terra, com resolução temporal de 16 dias de revisita e faixa imageada de 185 km, com resolução radiométrica de 16 bits (EMBRAPA, 2018). Conectado ao LANDSAT-8 estão os sensores OLI (*Operation Land Imager*) com imagens espectrais e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com resposta termal, oferecendo continuidade do propósito de sensores anteriores e melhorias nas resoluções espaciais.

O sensor OLI tem resoluções espaciais diversas, como a banda pancromática com 15m de resolução, as bandas espectrais 1 a 4, com imagens na faixa do visível e, bandas 5 a 7 na faixa do infravermelho próximo e médio, e banda 9 Cirrus, ambas com resolução espacial de 30m, e as bandas 10 e 11 do sensor TIRS, com resolução de 100m. Tanto o sensor OLI quanto o sensor TIRS já embarcam as tecnologias melhoradas que os outros sensores da NASA demonstraram em experimentos antecedentes (INPE, 2011; SOARES et al., 2015).

## **2.5 Índices espectrais**

Os índices espectrais possuem o propósito de discernir as informações do alvo de interesse dos demais com semelhança espectral, sendo provenientes de expressões matemáticas que envolvem valores de reflectância, e são sensíveis às alterações das características espectrais das fitofisionomias (PEREIRA et al., 2016). Na maioria das vezes, estes ajustam informações obtidas nas faixas do visível, infravermelho próximo e frações do infravermelho médio do espectro eletromagnético, que podem distinguir variações da cor e composição do solo, umidade e teor de clorofila da vegetação, além do vigor no pré e pós-fogo, apontando áreas que foram afetadas pelo fogo (DA SILVA LOTUFO et al., 2020).

Fazem parte das diversas ferramentas do sensoriamento remoto para o monitoramento de vegetação e de áreas queimadas, pois analisam a resposta singular do vigor vegetativo em relação ao solo por meio de intervalos numéricos, e se mostram

eficientes para a identificação de cicatrizes de incêndios florestais (FERNANDES et al, 2016). O processo de identificação de áreas queimadas através dos índices espectrais pode ser explicado por meio do processo físico que ocorre no evento fogo, em razão da retirada de água da vegetação, as áreas afetadas pelo fogo acabam refletindo mais para o comprimento de onda específico, e aumenta seu contraste em relação às áreas não atingidas pelo fogo (LOZANO et al., 2007).

O índice de Queimada por Razão Normalizada – NBR (*Normalized Burn Ratio*) foi um índice que surgiu através da amostragem de reflectância do sensor TM de informações de superfícies queimadas, no qual foi empregado para aperfeiçoar o contraste e a detecção de mudanças na paisagem no antes e depois do fogo (KEY; BENSON, 2006). O NBR possui valores que variam de -1 a +1, e considera duas faixas espectrais equivalentes ao infravermelho próximo (NIR) e ao infravermelho médio (MIR), onde o NIR tem baixa reflectância para matéria orgânica queimada e alta resposta para vegetação com elevado vigor, o que diferencia do infravermelho de comprimento de ondas curtas, que obtém alta resposta para matéria orgânica da superfície vegetal, independente da circunstância física da matéria (DA SILVA, 2020).

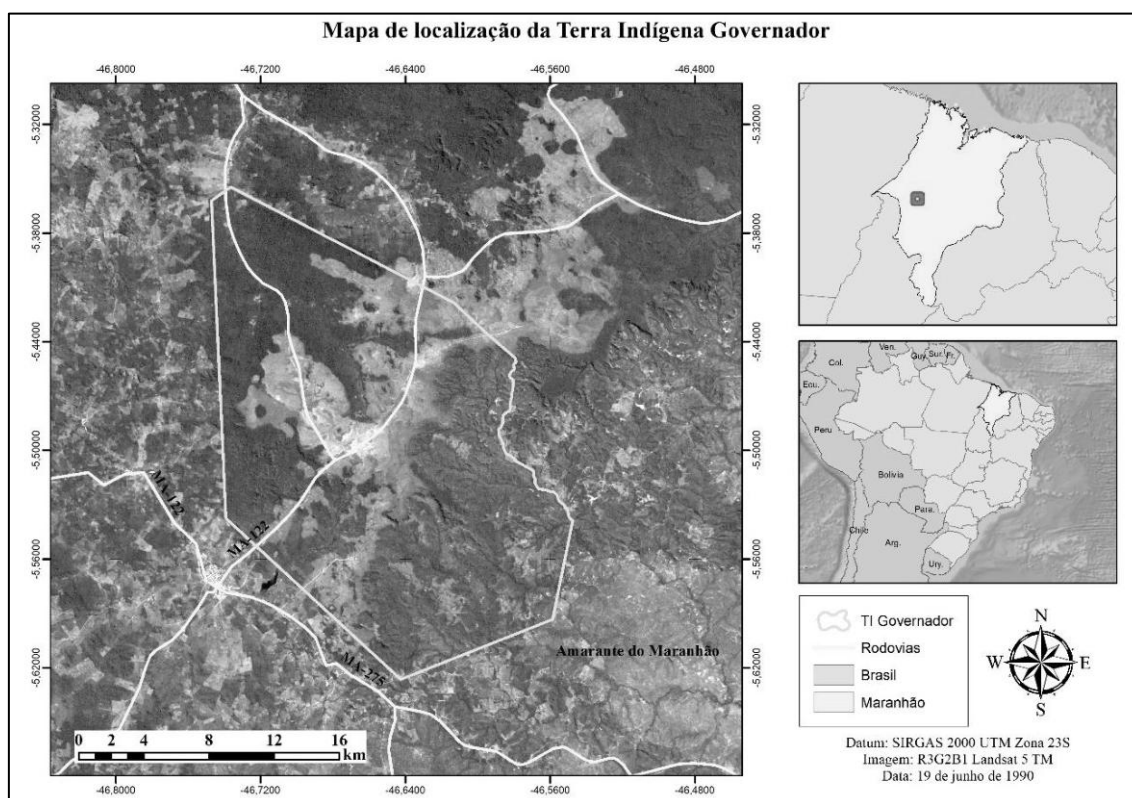
Em complemento ao NBR, foi desenvolvido o índice diferenciado de queimada por razão normalizada - dNBR (*differenced Normalized Burn Ratio*) tem como foco estimar a extensão e o grau de severidade de uma área queimadas, mediante a relação entre a diferença dos valores do índice NBR antes e depois do evento de fogo, podendo variar de 2000 ou -2000, mas que raramente ultrapassa o intervalo de -500 a 1200 em superfícies queimadas e, que também é utilizado para monitorar a área de rebrota após a queimada, uma vez que o dNBR consegue diferenciar as severidades dos incêndios das áreas não atingidas (KEY; BENSON, 2006; ROY et al., 2006).

Contudo, Miller e Thode (2007), relativizaram o índice dNBR através de calibração matemática para adequá-lo à vegetação mais escassa, por meio da raiz quadrada dos valores absolutos do NBR antes do incêndio, e dividindo por 1000, originando o índice Relativo diferenciado de Queimada por Razão Normalizada – RdNBR (*Relative Differenced Normalized Burn Ratio*). O RdNBR consegue analisar de forma mais precisa o dano causado pelo fogo, quantificando a biomassa queimada em diversas fitofisionomias (LIMA; ANUNCIACÃO, 2019).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo definida para o presente trabalho foi a Terra Indígena Governador, situada no município de Amarante do Maranhão, região centro-oeste do Estado do Maranhão, a uma distância de 10 km da sede do município. O marco inicial da TI localiza-se nas coordenadas geográficas UTM -5.799722, -45.969444, conforme representado na Figura 1. A TI Governador foi delimitada e homologada nos anos de 1978 e 1982 (Decreto Nº 88.001), respectivamente, e conta com uma área de 41.912,64 ha, abrigoando as comunidades indígenas Gavião Pykopjê, Guajajara e Tabajara (ISA, 2022).



**Figura 1.** Mapa de localização da Terra Indígena Governador, Amarante do Maranhão - MA, Brasil.

O município de Amarante do Maranhão compreende uma área de 743.821 ha, com uma população estimada de 42.017 habitantes, distribuídos em 5,10 hab/km<sup>2</sup> de densidade demográfica (IBGE, 2021). Está centrado a uma altitude de 249 m e apresenta variação térmica que oscilam entre 19 e 35°C, com o clima da região caracterizado como tropical subúmido Aw de acordo com a classificação de Köppen, com período chuvoso que

predomina entre os meses de dezembro e maio, e outro período mais seco, correspondente aos meses de junho a novembro (FILHO, 2011).

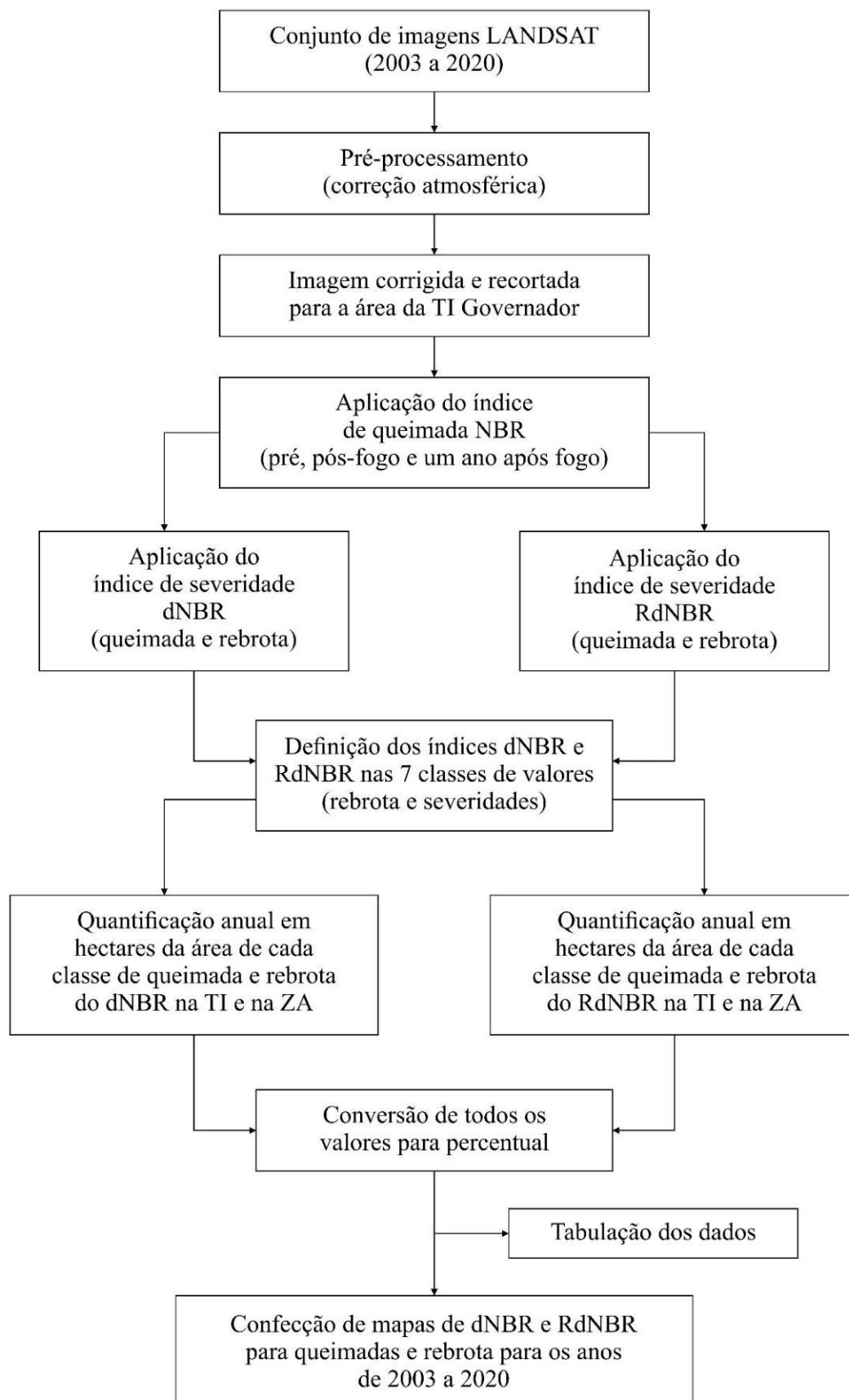
A área da TI Governador localiza-se na transição dos biomas da Amazônia legal e do cerrado (IBGE, 2019), concentrando no seu interior as características fitofisionômicas de coberturas vegetais o contato savana-floresta estacional, correspondendo a 21,63% da área, e floresta estacional decidual, com 78,37% do território (ISA, 2022), com os entornos da TI sendo predominadas por coberturas de pastagens (MIRANDA et al., 2022).

No território, prevalecem os solos do tipo Argissolos Vermelho-Amarelos, distribuídos em cerca de 36,4% da área, seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos órticos com 28,6%, ambos relativos às formações savânicas, em contrapartida os Latossolos Vermelho-Amarelos estão coesos às Florestas Ombrófilas Densa (EMBRAPA, 2006; IBGE, 2019).

### **3.2 Fluxograma**

As etapas metodológicas empregadas no mapeamento das severidades das queimadas e quantificação de rebrota da TI Governador e na zona de amortecimento de 5 km localizam-se esquematizadas a seguir (Figura 2).





**Figura 2.** Fluxograma apresentando as etapas metodológicas.

### 3.3 Levantamento de dados

O mapeamento das severidades das queimadas e da quantificação de extensões com rebrota de vegetação foram realizados através do método de interpretação visual de imagens obtidas dos sensores de satélites orbitais. Foram utilizados dados dos sensores TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT-5 e OLI (*Operational Land Imager*) acoplado no satélite LANDSAT-8, em que as cenas cobrissem todo o território onde está localizada a TI Governador e sua zona de amortecimento, que confere a uma área em torno da terra indígena com um limite externo de 5 km a partir do seu limite.

As cenas foram adquiridas do banco de dados de imagens Earth Explorer, do catálogo Pesquisa Geológica dos Estados Unidos – USGS (*United States Geological Survey*), sob domínio da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço – NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). A série histórica das imagens compreendeu aos anos de 2003 a 2020, exceto os anos 2004, 2011, 2012 e 2013 por conta que as cicatrizes de incêndios serem inexpressíveis para a área (MIRANDA et al., 2022), com os períodos mensais correspondendo entre os meses de maio e setembro de cada ano. Lembrando que, para a obtenção dos dados de severidade e rebrotas, as imagens correspondem a datas pré-fogo (em média, uma semana antes do fogo ativo), pós-fogo (fogo ativo e cicatrizes) e rebrota (com um período de 1 ano após o fogo). As cenas pertencem a órbita 222 de ponto 064 para os sensores utilizados.

**Tabela.1** Data do imageamento das cenas.

<b>Data do imageamento das cenas</b>				
<b>Satélite</b>	<b>Sensor</b>	<b>Pré-fogo</b>	<b>Pós-fogo</b>	<b>Rebrota</b>
LANDSAT-5	TM	09/07/2003	25/07/2003	09/06/2004
LANDSAT-5	TM	14/07/2005	30/07/2005	17/07/2006
LANDSAT-5	TM	15/06/2006	01/07/2006	01/07/2007
LANDSAT-5	TM	18/06/2007	05/08/2007	07/08/2008
LANDSAT-5	TM	06/07/2008	22/07/2008	09/07/2009
LANDSAT-5	TM	09/07/2009	10/08/2009	13/08/2010
LANDSAT-5	TM	28/07/2010	13/08/2010	17/09/2011
LANDSAT-8	OLI	07/07/2014	08/08/2014	24/06/2015
LANDSAT-8	OLI	11/08/2015	27/08/2015	26/06/2016
LANDSAT-8	OLI	26/06/2016	28/07/2016	29/06/2017
LANDSAT-8	OLI	29/06/2017	15/07/2017	31/05/2018
LANDSAT-8	OLI	31/05/2018	02/07/2018	21/07/2019
LANDSAT-8	OLI	21/07/2019	06/08/2019	21/06/2020
LANDSAT-8	OLI	23/07/2020	08/08/2020	10/07/2021

### **3.4 Pré-processamento das imagens**

Para se utilizar os índices de queimadas e obter resultados mais precisos é necessário que as imagens primárias adquiridas dos sensores passem antes por um pré-processamento, relacionados à calibração radiométrica, com o objetivo de reduzir possíveis intervenções na resposta espectral da imagem causadas pela atmosfera e por aerossóis através de uma simples correção atmosférica (PACHECO, 2009).

As bandas brutas foram importadas para um complemento do software SIG QGIS denominado *Semi-Automatic Classification Plugin – SCP*, que é um *plugin* de código aberto gratuito, que propicia várias ferramentas de atividades do sensoriamento remoto, como classificação semiautomática, downloads de imagens, pré-processamento, pós-processamento e cálculo de rasters (CONGEDO, 2016). O método de correção selecionado foi o DOS1 (*Dark Object Subtraction 1*), que é um método de correção do espalhamento atmosférico em que os números digitais (ND) da cena obtida do satélite são diretamente responsáveis pela interferência atmosférica (CHAVEZ, 1988). Sanchez et al. (2011), consideraram que o DOS1, assim como o seu sucessor DOS2, são eficientes para obtenção dos valores de reflectância de superfície dos sensores do LANDSAT.

Após o pré-processamento, as bandas corrigidas foram recortadas para a área da zona de amortecimento da TI Governador, através do recorte por extração do arquivo vetorial (*shapefile*).

### **3.5 Índices de queimadas**

Com as imagens corrigidas, aplicou-se os índices espectrais de queimadas de acordo com estudo de Teobaldo e Baptista (2013), sendo os índices de queimada por razão normalizada - NBR (KEY; BENSON, 2006), índice diferenciado de queimada por razão normalizada - dNBR (ROY et al., 2006) e índice Relativo diferenciado de Queimada por Razão Normalizada – RdNBR (MILLER e THODE, 2007).

#### **3.5.1 Índice de queimada por razão normalizada – NBR**

O NBR é um índice que permite realçar as áreas afetadas pelo fogo e suas severidades, e foi aplicado para os períodos anteriores e posteriores do fogo, e para o intervalo de 1 ano após o evento da queimada para a mesma área. Utiliza os comprimentos

de bandas do infravermelho próximo e médio, e seu resultado foi multiplicado por mil para facilitar seu escalonamento e sua classificação posterior, conforme Equação 1.

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \times 1000 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

NIR = comprimento de onda do infravermelho próximo;

SWIR = comprimento de onda do infravermelho médio;

\*correspondendo o NIR à banda 4 e o SWIR à banda 7 do LANDSAT-5, e NIR à banda 5 e SWIR à banda 7 do LANDSAT-8.

### **3.5.2 Índice diferenciado de queimada por razão normalizada – dNBR**

O índice dNBR é a subtração dos índices NBR de antes e depois do fogo. Com o dNBR consegue-se avaliar a extensão e o gradiente da severidade da queimada, além de, também, verificar e quantificar o processo de rebrota da área, obtido por meio da Equação 2.

$$dNBR = NBR_{\text{pré-fogo}} - NBR_{\text{pós-fogo}} \quad \text{Equação 2}$$

Através deste índice é possível isolar as áreas que foram modificadas em consequência do fogo em relação às não afetadas, gerando um índice contínuo de valores de severidade, iniciando das áreas não queimadas em direção as mais severas (TEOBALDO; BAPTISTA, 2013).

### **3.5.3 Índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada – RdNBR**

Apresentado por Miller e Thode (2007), o índice RdNBR, assim com o dNBR, avalia o tipo de vegetação e a severidade da queimada, mas que, ao modificarem o cálculo do índice proposto por Roy et al. (2006), relativizou e quantificou melhor as áreas atingidas pelo fogo e a densidade de rebrota da vegetação, de acordo com a seguinte Equação:

$$\text{RdNBR} = \frac{(\text{NBRpré-fogo} - \text{NBRpós-fogo})}{\sqrt{\text{ABS}\left(\left(\frac{\text{NBRpré-fogo}}{1000}\right)\right)}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

ABS = valores absolutos;

### 3.5.4 Rebrotas

Para quantificar os valores de rebrotas da área da TI Governador, as equações dos índices dNBR e RdNBR foram adaptadas para aplicação de imagens pós-queimadas no intervalo de 1 ano (DA SILVA; BAPTISTA, 2015), segundo as Equações a seguir:

$$\text{dNBR} = \text{NBRpós-fogo} - \text{NBRrebrotas} \quad \text{Equação 4}$$


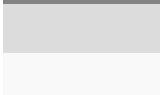



$$\text{RdNBR} = \frac{(\text{NBRpós-fogo} - \text{NBRrebrotas})}{\sqrt{\text{ABS}\left(\left(\frac{\text{NBRpós-fogo}}{1000}\right)\right)}} \quad \text{Equação 5}$$

Depois da aplicação dos índices realizou-se a quantificação anual em hectares de cada índice e tipos de severidades para os territórios da TI e da ZA, convertendo as quantidades de hectares para percentual, posteriormente.

### 3.6 Níveis de rebrotas da vegetação e severidade das queimadas

Após aplicação dos índices espectrais de queimadas, foi quantificado os níveis de severidades. As cores para cada nível de severidade podem ser identificadas conforme mostra a Tabela 2.

**Tabela 2.** Níveis de severidade de queimadas dos índices dNBR e RdNBR. Adaptado de Teobaldo e Baptista (2013).

Níveis de severidade	Legenda	Extensão
Alta rebrotas		-500 a -250
Baixa rebrotas		-250 a -100
Não queimado		-100 a +100
Baixa severidade		+100 a +270
Severidade moderada baixa		+270 a +440

Severidade moderada alta

Alta severidade



+440 a +660

+660 a +1300

### 3.7 Atividade de campo e instalação de parcelas permanentes

A validação dos resultados ocorreu através da instalação de tratamentos em campo para o monitoramento dos efeitos do fogo na vegetação e a taxa de rebrota após a queimada, por meio de parcelas permanentes na TI Governador, conforme a metodologia de VERLY (2021).

Foram realizados dois tipos de inventários florestais, dispostos na Tabela 3:

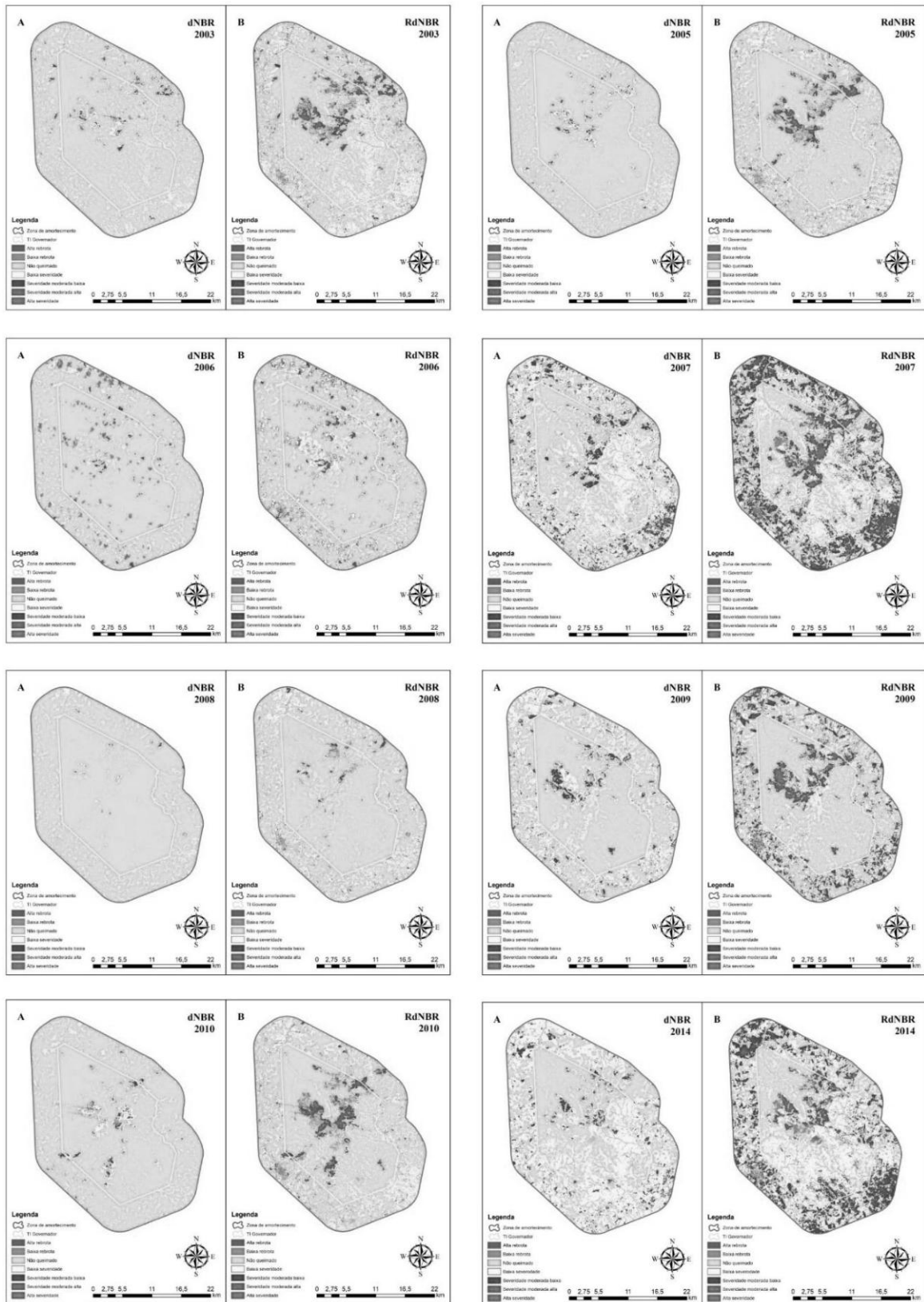
**Tabela 3.** Metodologia da atividade de campo.

<b>M1: Inventário florístico para queima</b>	<b>M2: Inventário florístico em diferentes regimes de fogo</b>
O objetivo desta metodologia foi verificar a resposta da vegetação à aplicação de queimada controlada. Para tal, uma parcela da vegetação foi delimitada por aceiro. Os indivíduos arbóreos e arbustivos com diâmetro a 1,30 m (DAP) $\geq 5$ cm foram inventariados, enumerados com plaquetas metálicas e as espécies identificadas. A circunferência de todos os fustes foi medida com uma fita métrica à esta mesma altura. A altura total dos indivíduos foi medida com Vertex V. Após o inventário foi realizada a queima, a qual não foi bem-sucedida dada a falta de condições ideais para sua realização.	O propósito foi verificar a resposta da vegetação a diferentes regimes de fogo já ocorrido na área: i) incêndio; ii) Manejo Integrado do Fogo (MIF); e iii) MIF sucedido de incêndio. Em cada área foram instaladas cinco parcelas de 100 m <sup>2</sup> (10x10m) em que os indivíduos arbóreos e arbustivos com diâmetro a 1,30 m (DAP) $\geq 5$ cm foram inventariados conforme descrição da metodologia anterior. Estas parcelas foram divididas em quadrantes de 5x5 m, e um deles foi sorteado para ser a subparcela de avaliação da regeneração natural. Foram identificadas todas as plantas maiores que 30 cm até o critério de inclusão no estrato arbóreo. Os vértices das parcelas foram georreferenciados com equipamento GPS.

Os dados adquiridos serão utilizados para validar as quantificações obtidas neste estudo pela técnica de sensoriamento remoto por meio dos índices dNBR e RdNBR.

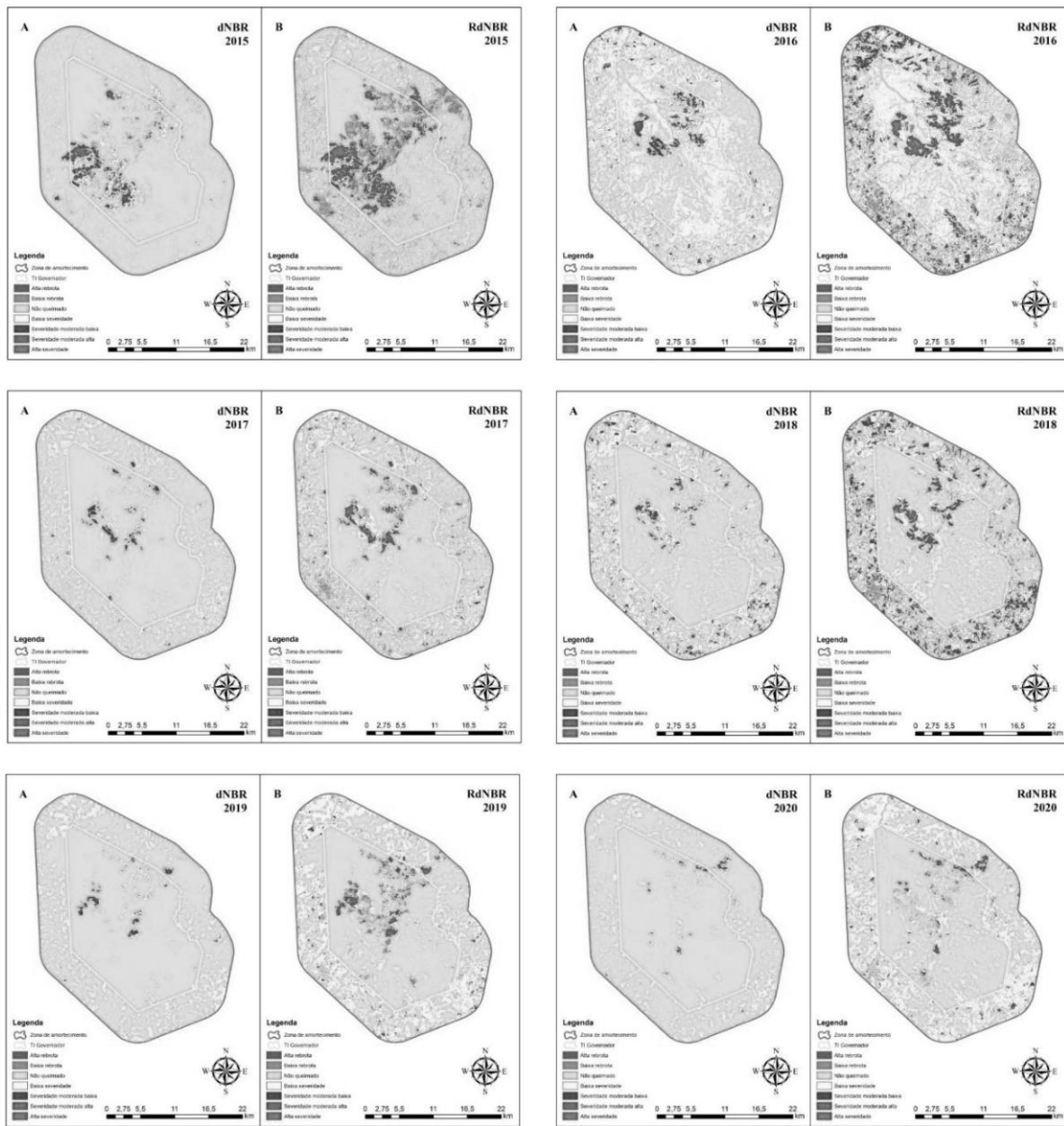
#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Através da análise visual dos mapas de severidade no período das cicatrizes, verificou-se que em metade dos anos estudados, os índices dNBR (A) e RdNBR (B) diferenciaram-se entre si, de acordo com as Figuras 3 e 4. Contudo, nos anos de 2008 e 2017, o índice RdNBR pouco distinguiu do dNBR, apontando diferenças quase imperceptíveis das áreas atingidas pelo fogo.



**Figura 3.** Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de severidades das queimadas entre 2003 e 2014.





**Figura 4.** Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de severidades das queimadas entre 2015 e 2020.

Nos anos de 2003 e 2005, as áreas com severidades não se divergiram entre si, se concentrando na região central da TI, e predominando as áreas não queimadas no restante do território, assim como na ZA. Para o dNBR, o maior nível detectado foi o de baixa severidade, com 16,85% (2003) e 7,28 % (2005) do território da TI. O RdNBR, apontou maior percentual de baixa severidade para os anos detalhados, além de exibir 1364,22 e 956,25 ha de severidade moderada baixa para os dois anos, expondo maior severidade de danos do que o dNBR para o intervalo de tempo.

Um detalhe a se destacar para o ano de 2006, é que houve alguns pontos distintos de alta e baixa rebrota, com os percentuais variando entre 3,72% e 4,34% para o dNBR e

RdNBR, tanto na TI quanto na ZA. Isso se deu por conta da imagem de satélite conter circunstâncias de nuvens, alterando a eficiência do estudo para o ano. É importante citar, que essa foi a imagem mais adequada encontrada no banco de dados, por conta do período de imageamento ter ocorrido alta quantidade de nuvens presentes na revisita. Sousa (2014), enfatiza que a ocorrência de interferências atmosféricas, como as nuvens e neblinas, é algo normal em regiões de clima equatorial e tropical quente e semiúmido, dificultando o imageamento de satélites e atividades de monitoramento ambiental e urbano e, conseqüentemente, a extração de informações da cena.

Os anos de 2007 a 2010 demonstraram um aumento de supressão de vegetação das áreas degradadas pelo fogo, especificamente os anos de 2007 e 2009, no qual boa parte do território da TI apresenta devastação da vegetação por queimadas. O RdNBR mostrou-se mais eficiente para exposição dos níveis de severidade, com média de 12,41% da área. É notório também, que na delimitação da ZA os danos à vegetação aumentaram expressivamente em relação aos anos anteriores, chegando a mais de 80% da área em 2007 e 61,55% em 2009. Em estudo realizado no interior do Estado do Maranhão, Conceição et al. (2020) destacam que a atividade agrícola é responsável pela perda de mais de 80% da população onde, para o desenvolvimento das atividades, o desmatamento de áreas próxima às APs para a expansão agrícola com a utilização do fogo prevalece. Segundo Oliveira (2018), entre os anos de 2007 e 2009 ocorreram 360 focos de calor, com o ano de 2007 apresentando mais de 232 focos, acima da média do período de 2000 a 2009, que variavam em torno de 54 focos de calor por ano.

No ano de 2010, o percentual de área não queimada foi de 85,78% para o índice dNBR, com o nível de baixa severidade apresentando 11,36% do limite territorial da TI. Enquanto o RdNBR apresentou mais de 20% de regiões com baixa severidade, não condizendo com o aspecto visual, já que muitas áreas que apresentaram esse nível fazem parte de matas ciliares de cursos d'água. No entanto, na ZA o RdNBR apontou melhor o nível de severidade em relação ao dNBR, chegando a 41,89% da superfície.

O ano de 2014 se destaca entre 2014 e 2016, pois os graus de severidade das queimadas, tanto visual quanto com dados quantitativos, onde novamente o RdNBR retratou mais de 51% da extensão da TI com baixa severidade, se destacando mais de 448,77 ha de devastação completa, acusadas pelo nível de alta severidade de queimada. Na ZA não foi diferente, 80% da sua área apresentou dano causado pelas queimadas, onde somente 19,05% do território não foi atingido. Em estudo realizado, Masullo e Castro (2015) relatam que entre 2007 e 2014 percebeu-se um aumento exponencial na

quantidade de focos de queimadas nas terras indígenas do Maranhão, totalizando 78,1% do total no estado, com mais de 53.340 focos no período. Em 2016, o realce se dá por conta do percentual de rebrota presente no índice RdNBR, mesmo sendo na época onde houve cicatrizes de queimadas, totalizando 11,39% da TI, entre alta e baixa rebrota da vegetação.

Percebeu-se que para os anos seguintes, houve uma redução considerável das cicatrizes de fogo na TI, onde 2017, 2018, 2019 e 2020 apresentaram apenas 4,37%, 5,06%, 3,27% e 1,93% de danos mais severos, respectivamente, com o maior percentual sendo de vegetação não queimada, com média de 91,71% para o dNBR e 80,47% para o RdNBR.

A quantificação dos dados extraídos dos níveis de severidades das cicatrizes se encontra nas tabelas 4 e 5, possuindo um detalhamento mais acurado das severidades observadas.

**Tabela 4.** Área total em hectares e percentual das severidades do índice dNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020.

Severidade das queimadas com dNBR em hectares (ha)					
Ano	Classe	TI Governador	Percentual (%)	ZA	Percentual (%)
2003	Alta rebrota	52,19	0,12	68,52	0,14
	Baixa rebrota	254,48	0,60	453,60	0,91
	Não queimado	34108,23	81,01	37273,00	74,92
	Baixa severidade	7096,20	16,85	11299,42	22,71
	Severidade mod. baixa	563,42	1,34	570,64	1,15
	Severidade moderada alta	14,31	0,03	46,83	0,09
	Alta severidade	16,61	0,04	0,00	0,00
2005	Alta rebrota	1,12	0,00	9,45	0,02
	Baixa rebrota	98,52	0,23	254,64	0,51
	Não queimado	38317,03	91,00	39810,19	80,01
	Baixa severidade	3065,31	7,28	9301,38	18,69
	Severidade mod. baixa	610,38	1,45	299,76	0,60
	Severidade moderada alta	13,19	0,03	33,62	0,07
	Alta severidade	0,06	0,00	0,63	0,00
2006	Alta rebrota	562,16	1,34	743,58	1,49
	Baixa rebrota	1003,73	2,38	1307,08	2,63
	Não queimado	38145,18	90,59	40457,50	81,32
	Baixa severidade	2010,27	4,77	6721,43	13,51
	Severidade mod. baixa	360,53	0,86	400,19	0,80
	Severidade moderada alta	16,60	0,04	76,25	0,15
	Alta severidade	0,00	0,00	0,18	0,00
2007	Alta rebrota	0,18	0,00	8,45	0,02
	Baixa rebrota	123,13	0,29	66,87	0,13
	Não queimado	21786,51	51,74	15808,29	31,77
	Baixa severidade	18166,92	43,15	27480,80	55,23
	Severidade mod. baixa	1947,52	4,63	6179,43	12,42

	Severidade moderada alta	81,09	0,19	160,70	0,32
	Alta severidade	0,21	0,00	3,06	0,01
<b>2008</b>	Alta rebrota	12,12	0,03	5,97	0,01
	Baixa rebrota	99,10	0,24	244,19	0,49
	Não queimado	40853,14	97,03	41870,76	84,16
	Baixa severidade	1070,79	2,54	7445,54	14,96
	Severidade mod. baixa	70,08	0,17	123,46	0,25
	Severidade moderada alta	0,30	0,00	19,18	0,04
	Alta severidade	0,00	0,00	0,18	0,00
<b>2009</b>	Alta rebrota	0,15	0,00	1,26	0,00
	Baixa rebrota	27,64	0,07	96,52	0,19
	Não queimado	33037,89	78,46	25804,65	51,87
	Baixa severidade	7208,21	17,12	21631,74	43,48
	Severidade mod. baixa	1774,63	4,21	2031,91	4,08
	Severidade moderada alta	56,61	0,13	106,15	0,21
	Alta severidade	0,24	0,00	36,69	0,07
<b>2010</b>	Alta rebrota	50,75	0,12	6,04	0,01
	Baixa rebrota	130,22	0,31	234,26	0,47
	Não queimado	36118,05	85,78	41694,06	83,80
	Baixa severidade	4781,47	11,36	7481,26	15,04
	Severidade mod. baixa	894,42	2,12	234,67	0,47
	Severidade mod. alta	55,50	0,13	55,06	0,11
	Alta severidade	13,69	0,03	3,14	0,01
<b>2014</b>	Alta rebrota	0,42	0,00	5,00	0,01
	Baixa rebrota	150,02	0,36	15,26	0,03
	Não queimado	22899,68	54,39	17580,49	35,34
	Baixa severidade	17750,69	42,16	29005,21	58,30
	Severidade mod. baixa	1226,22	2,91	2932,33	5,89
	Severidade moderada alta	74,33	0,18	133,70	0,27
	Alta severidade	4,20	0,01	37,56	0,08
<b>2015</b>	Alta rebrota	40,11	0,10	23,89	0,05
	Baixa rebrota	959,17	2,28	811,25	1,63
	Não queimado	34319,56	81,51	46402,35	93,26
	Baixa severidade	4081,59	9,69	2210,69	4,44
	Severidade mod. baixa	1948,85	4,63	202,63	0,41
	Severidade moderada alta	619,89	1,47	59,18	0,12
	Alta severidade	136,89	0,33	0,12	0,00
<b>2016</b>	Alta rebrota	5,20	0,01	7,92	0,02
	Baixa rebrota	32,09	0,08	183,19	0,37
	Não queimado	16856,49	40,03	23449,00	47,13
	Baixa severidade	23131,62	54,94	24735,68	49,72
	Severidade mod. baixa	1792,49	4,26	1259,40	2,53
	Severidade moderada alta	272,63	0,65	80,64	0,16
	Alta severidade	15,03	0,04	4,65	0,01
<b>2017</b>	Alta rebrota	1,53	0,00	13,80	0,03
	Baixa rebrota	87,68	0,21	423,98	0,85
	Não queimado	38565,64	91,59	38186,27	76,75
	Baixa severidade	2448,61	5,82	10771,43	21,65
	Severidade mod. baixa	885,60	2,10	275,87	0,55
	Severidade moderada alta	115,63	0,27	43,04	0,09
	Alta severidade	0,87	0,00	5,96	0,01
<b>2018</b>	Alta rebrota	0,78	0,00	15,05	0,03
	Baixa rebrota	39,45	0,09	309,81	0,62

	Não queimado	35139,92	83,46	27068,44	54,41
	Baixa severidade	5956,96	14,15	19868,23	39,93
	Severidade mod. baixa	907,15	2,15	2293,07	4,61
	Severidade moderada alta	60,82	0,14	127,56	0,26
	Alta severidade	0,49	0,00	37,43	0,08
	Alta rebrota	1,11	0,00	0,61	0,00
	Baixa rebrota	71,25	0,17	13,44	0,03
<b>2019</b>	Não queimado	40065,76	95,16	40352,57	81,11
	Baixa severidade	1340,67	3,18	9162,64	18,42
	Severidade mod. baixa	562,36	1,34	151,69	0,30
	Severidade moderada alta	62,42	0,15	29,27	0,06
	Alta severidade	0,00	0,00	1,85	0,00
	Alta rebrota	6,89	0,02	0,69	0,00
	Baixa rebrota	9,52	0,02	7,45	0,01
<b>2020</b>	Não queimado	40686,59	96,63	42870,08	86,17
	Baixa severidade	1133,69	2,69	6620,21	13,31
	Severidade mod. baixa	239,61	0,57	169,71	0,34
	Severidade moderada alta	15,16	0,04	37,45	0,08
	Alta severidade	5,06	0,01	6,49	0,01

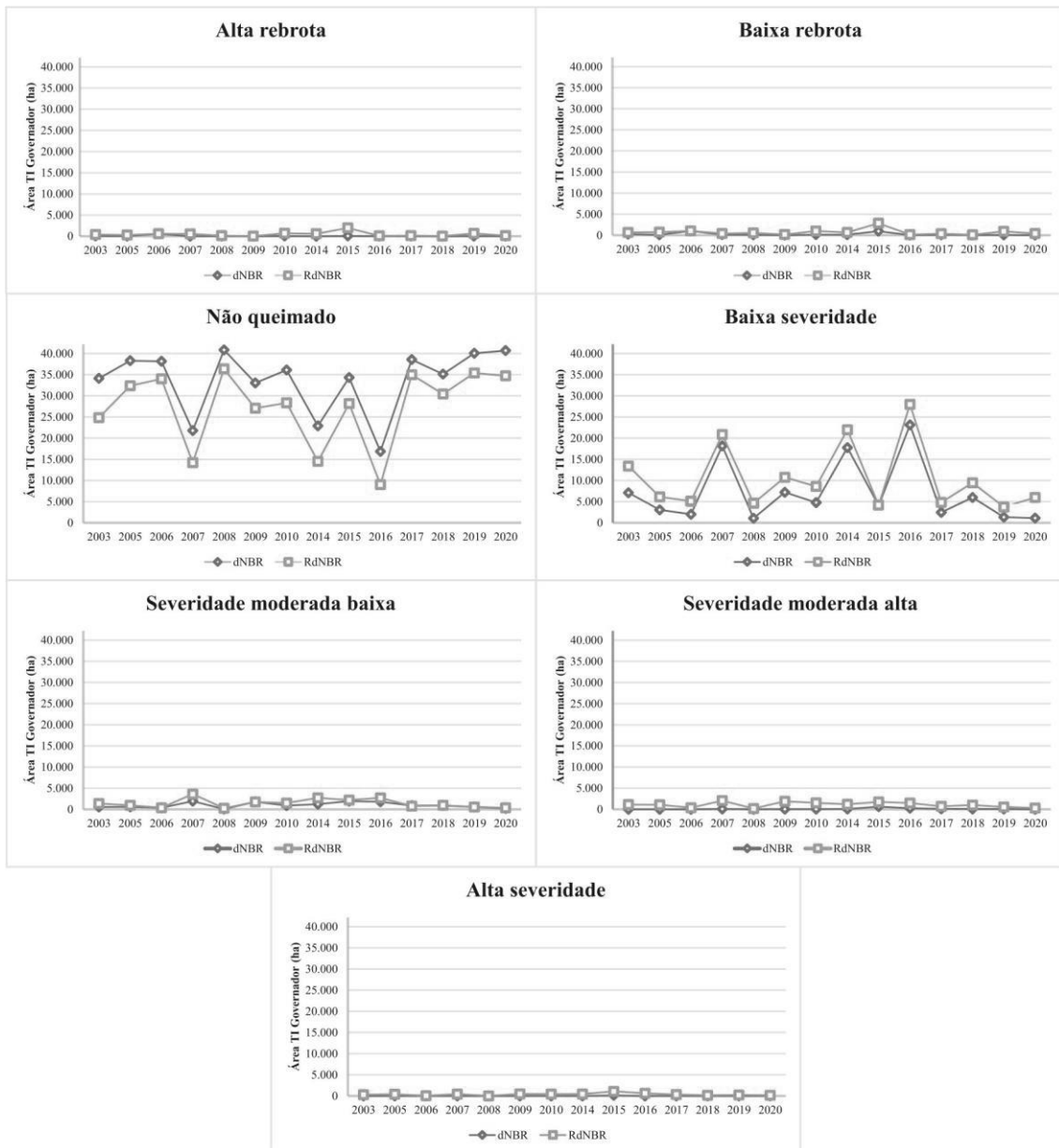
**Tabela 5.** Área total em hectares e percentual das severidades do índice RdNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020.

<b>Severidade das queimadas com RdNBR em hectares (ha)</b>					
<b>Ano</b>	<b>Classe</b>	<b>TI Governador</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>ZA</b>	<b>Percentual (%)</b>
2003	Alta rebrota	381,47	0,91	388,73	0,78
	Baixa rebrota	669,79	1,59	900,64	1,81
	Não queimado	24846,17	59,01	25083,05	50,41
	Baixa severidade	13413,47	31,86	20631,41	41,47
	Severidade mod. baixa	1364,22	3,24	2017,06	4,05
	Severidade moderada alta	1123,77	2,67	593,06	1,19
	Alta severidade	303,94	0,72	97,19	0,20
2005	Alta rebrota	280,16	0,67	227,17	0,46
	Baixa rebrota	741,58	1,76	785,11	1,58
	Não queimado	32371,87	76,88	27704,55	55,68
	Baixa severidade	6127,83	14,55	18453,48	37,09
	Severidade mod. baixa	956,25	2,27	1727,57	3,47
	Severidade moderada alta	1096,71	2,60	528,77	1,06
	Alta severidade	403,02	0,96	197,06	0,40
2006	Alta rebrota	576,78	1,37	781,36	1,57
	Baixa rebrota	1039,62	2,47	1377,01	2,77
	Não queimado	34007,01	80,77	34097,27	68,53
	Baixa severidade	5123,29	12,17	11116,80	22,34
	Severidade mod. baixa	388,97	0,92	1260,41	2,53
	Severidade moderada alta	368,34	0,87	273,07	0,55
	Alta severidade	43,98	0,10	45,26	0,09
2007	Alta rebrota	523,53	1,24	71,55	0,14
	Baixa rebrota	410,92	0,98	205,50	0,41
	Não queimado	14182,92	33,68	9568,22	19,23
	Baixa severidade	20868,61	49,56	21519,58	43,25
	Severidade mod. baixa	3622,45	8,60	14349,35	28,84
	Severidade moderada alta	2045,45	4,86	3745,66	7,53

	Alta severidade	445,85	1,06	248,06	0,50
	Alta rebrota	132,45	0,31	173,26	0,35
	Baixa rebrota	536,24	1,27	691,78	1,39
	Não queimado	36349,76	86,33	31522,99	63,36
2008	Baixa severidade	4617,89	10,97	16189,40	32,54
	Severidade mod. baixa	268,38	0,64	968,67	1,95
	Severidade moderada alta	182,89	0,43	120,23	0,24
	Alta severidade	16,24	0,04	42,80	0,09
	Alta rebrota	37,39	0,09	80,12	0,16
	Baixa rebrota	152,34	0,36	279,02	0,56
	Não queimado	27079,58	64,31	18726,14	37,64
2009	Baixa severidade	10728,33	25,48	21432,85	43,08
	Severidade mod. baixa	1751,30	4,16	8073,39	16,23
	Severidade moderada alta	1887,66	4,48	995,04	2,00
	Alta severidade	467,43	1,11	122,04	0,25
	Alta rebrota	693,01	1,65	286,65	0,58
	Baixa rebrota	978,81	2,32	917,86	1,84
	Não queimado	28326,58	67,28	27662,99	55,60
2010	Baixa severidade	8599,23	20,42	19151,40	38,49
	Severidade mod. baixa	1502,20	3,57	1258,55	2,53
	Severidade moderada alta	1540,12	3,66	290,72	0,58
	Alta severidade	459,81	1,09	139,18	0,28
	Alta rebrota	595,07	1,41	30,14	0,06
	Baixa rebrota	665,64	1,58	45,93	0,09
	Não queimado	14497,54	34,43	9479,62	19,05
2014	Baixa severidade	21977,92	52,20	25425,03	51,10
	Severidade mod. baixa	2739,12	6,51	13118,59	26,37
	Severidade moderada alta	1179,60	2,80	1361,24	2,74
	Alta severidade	448,77	1,07	247,94	0,50
	Alta rebrota	1954,42	4,64	1299,34	2,61
	Baixa rebrota	2839,49	6,74	3134,68	6,30
	Não queimado	28154,58	66,87	36688,64	73,74
2015	Baixa severidade	4117,16	9,78	7583,99	15,24
	Severidade mod. baixa	2193,28	5,21	595,42	1,20
	Severidade moderada alta	1748,75	4,15	240,94	0,48
	Alta severidade	1093,63	2,60	164,06	0,33
	Alta rebrota	77,72	0,18	202,01	0,41
	Baixa rebrota	124,99	0,30	557,77	1,12
	Não queimado	9017,71	21,42	12008,37	24,14
2016	Baixa severidade	27990,53	66,48	28245,73	56,77
	Severidade mod. baixa	2731,79	6,49	8107,08	16,29
	Severidade moderada alta	1510,14	3,59	521,11	1,05
	Alta severidade	652,31	1,55	79,27	0,16
	Alta rebrota	134,25	0,32	281,96	0,57
	Baixa rebrota	346,06	0,82	1045,11	2,10
	Não queimado	34984,66	83,09	29408,86	59,11
2017	Baixa severidade	4800,19	11,40	17097,60	34,36
	Severidade mod. baixa	771,96	1,83	1711,23	3,44
	Severidade moderada alta	724,28	1,72	139,11	0,28
	Alta severidade	344,14	0,82	36,61	0,07
	Alta rebrota	28,49	0,07	197,35	0,40
2018	Baixa rebrota	93,41	0,22	667,85	1,34
	Não queimado	30422,25	72,25	21217,84	42,65

	Baixa severidade	9429,98	22,40	20131,87	40,46
	Severidade mod. baixa	981,17	2,33	6670,87	13,41
	Severidade moderada alta	995,39	2,36	729,97	1,47
	Alta severidade	154,86	0,37	104,18	0,21
	Alta rebrota	655,63	1,56	52,30	0,11
	Baixa rebrota	922,36	2,19	88,53	0,18
	Não queimado	35401,45	84,08	26429,93	53,12
2019	Baixa severidade	3744,61	8,89	21898,39	44,01
	Severidade mod. baixa	565,12	1,34	1031,66	2,07
	Severidade moderada alta	570,80	1,36	112,02	0,23
	Alta severidade	241,75	0,57	96,50	0,19
	Alta rebrota	123,08	0,29	15,27	0,03
	Baixa rebrota	391,60	0,93	50,84	0,10
	Não queimado	34725,07	82,47	24149,75	48,54
2020	Baixa severidade	5979,89	14,20	24092,20	48,42
	Severidade mod. baixa	365,28	0,87	1061,39	2,13
	Severidade moderada alta	290,60	0,69	192,08	0,39
	Alta severidade	155,30	0,37	132,47	0,27

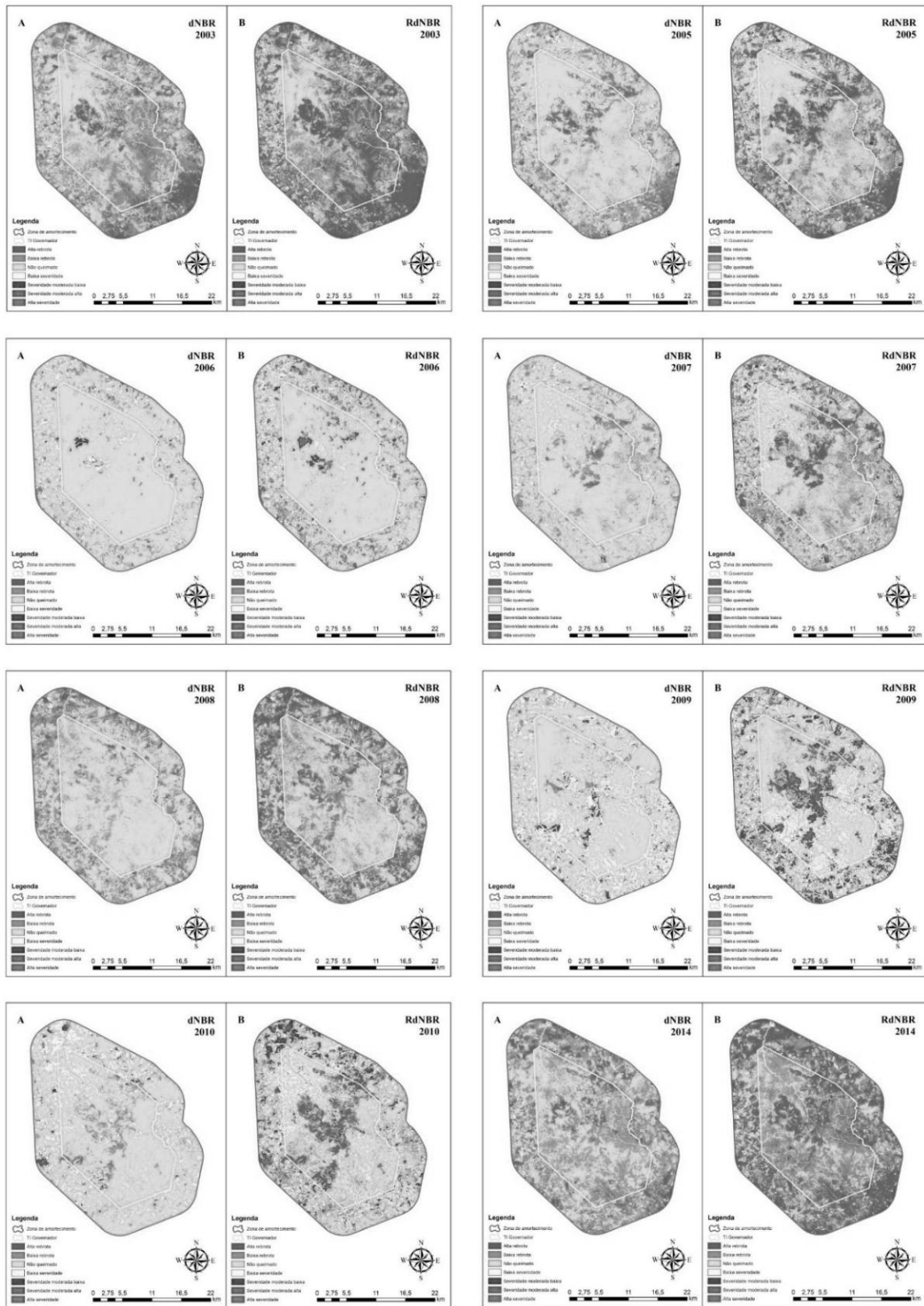
Com a quantificação dos níveis de severidade de queimadas e percentuais de rebrota da TI Governador, é possível analisar a relação dos índices dNBR e RdNBR, em hectares, nos gráficos da Figura 5.



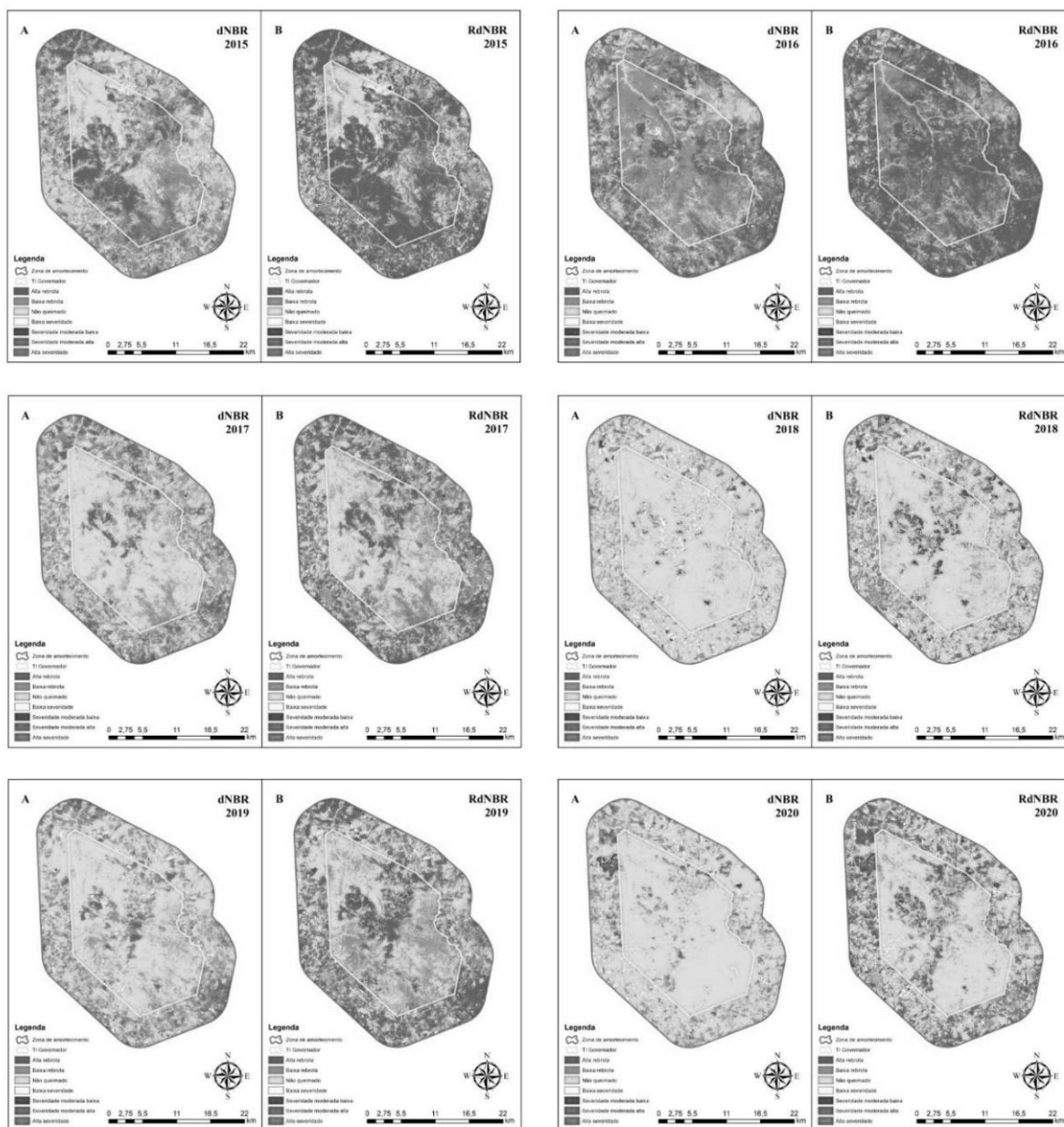
**Figura 5.** Gráficos comparativos entre o dNBR e RdNBR para cada nível de rebrota e severidade de queimada da TI Governador.

Os mapas temáticos para identificação de áreas de cicatrizes com rebrota da vegetação estão dispostos nas figuras 6 e 7. Por meio da série temporal, a severidade de rebrota analisada geralmente foram em resposta da queimada do ano anterior, com o surgimento de vegetação nas áreas devastadas pelo fogo.





**Figura 6.** Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de rebrota entre 2003 e 2014.



**Figura 7.** Mapas dNBR (A) e RdNBR (B) de rebrota entre 2015 e 2020.

Em 2003, notou-se a predominância de alta e baixa rebrota para os dois índices, destacando-se mais de 66% para o RdNBR, nos limites da TI. Pode-se perceber que as classes de severidade de queimada foram quase imperceptíveis para ambos os índices, favorecendo a rebrota da vegetação. Tal comportamento pode ser explicado por Oliveira (2018), que ressalta, que no intervalo de 2003 a 2004, houve um decréscimo na quantidade de queimadas em Governador, prevalecendo a conservação da área. Este resultado também corrobora com Masullo (2018), que encontrou resultados condizentes com o presente estudo, no qual o período dos anos de 2002 e 2007 é caracterizado pela diminuição e incidência de focos de queimadas no Estado do Maranhão.

De 2005 até 2007, constatou-se alguns pontos de cicatriz de queimada tanto na TI quanto na ZA. O RdNBR apresentou melhor detecção, tanto de rebrota quanto das severidades, em relação ao dNBR, frisando mais de 35% de rebrota nas cicatrizes em 2005 e 2.811,05 ha de áreas críticas em 2006. Contudo, os dois índices apresentaram, em média, mais de 77% de áreas não queimadas do território da TI Governador, ressaltando boa conservação ambiental entre o intervalo de análise para o período.

O ano de 2008 evidenciou-se a domínio das classes de rebrota e de área não queimada, nos quais a quantificação do dNBR e RdNBR para as classes de severidade foram semelhantes, exibindo, em média, 0,21% da área da TI e 0,65% na ZA. Os anos de 2009 e 2010 se distinguiram dos demais anos em relação ao padrão apresentado. Detectou-se altos índices de severidade de queimadas, principalmente no ano de 2009, onde mais de 38% da área da TI e 49,15% da ZA apresentou algum tipo de dano, segundo o RdNBR. Aliado a isso, Miranda et al. (2022), em trabalho realizado na mesma área, obtiveram resultados de cicatrizes de queimadas significativos, realçando que o ano de 2010, assim como o ano de 2005, foram os anos com maiores extensões de queimadas, ultrapassando 5.500 ha dos territórios da TI e ZA. Ramos et al. (2011), afirmam que o ano de 2010 foi um ano bastante seco, que, associado ao regime de chuvas dos anos anteriores e à quantidade de biomassa produzida, facilitou a propagação do fogo.

Para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017, os resultados obtidos foram bem semelhantes. Em 2016, houve uma anormalidade na resposta da rebrota do RdNBR, no qual mais de 51% do território da TI e 61% da ZA apresentou alta rebrota, inclusive em regiões que normalmente não são atingidas pelo fogo. Uma explicação para esse fenômeno pode ser a resposta espectral da vegetação quando há alta umidade presente nas folhas das plantas e da umidade relativa do ar, causando interferência na aplicação dos índices espectrais (BRITO; FARIAS, 2013). Para os demais anos, as classes de rebrota em conjunto com as áreas não queimadas foram predominantes, novamente destacando uma alta conservação das regiões de rebrota atingidas antes pelo fogo.

O ano de 2018 não apresentou alta porcentagem de rebrota em ambos territórios, com um pouco mais de 11% da TI averiguado pelo RdNBR. O maior predomínio foi de área não queimada, com 88,01% apontado pelo dNBR e 78,90 pelo RdNBR. Porém, foi notado pontos com severidades de queimadas, com os dois índices aferindo 5% da área de baixa severidade na TI, e o RdNBR realçando melhor as severidades mais críticas, com 3,08% de severidade moderada baixa, 1,72% de severidade moderada alta e 0,12% de alta severidade, o que corresponde a uma área de 49,10 ha com alta devastação.

E, os anos de 2019 e 2020 se divergiram entre si, de acordo com os seus resultados. O ano de 2019 apresentou mais áreas de rebrota do que os anos de 2018 e 2020, com quase 50% da área da TI apresentando rebrota no RdNBR, e 24,88% no dNBR. Assim como em 2018, o ano de 2020 foi semelhante, destacando-se boa preservação da AP, com média de 83,13% de território não queimado em ambos os índices. Não muito diferente da TI, a ZA apontou resultados similares, apesar de possuir mais áreas com severidades de queimadas, com mais de 14% da área conforme o índice RdNBR.

Em geral, pode-se perceber que, no decorrer dos anos, as áreas de vegetação com rebrota após evento de fogo voltaram a permanecer mais intactas, conservando as áreas e o processo de propagação da flora, já que, nos anos preliminares do estudo, alguns expuseram degradação nas regiões que deveriam ser protegidas para rebrota.

Em conjunto com adoção de boas práticas de controle do fogo, há também atividades de restauração e educação ambiental nas terras indígenas do Maranhão, iniciadas em 2017 onde as brigadas do Prevfogo já estão instaladas, como na TI Araribóia, que ocorre o incentivo de restauração de áreas de degradadas por meio do reflorestamento e aumento da fiscalização sobre estas (MARQUES et al., 2019).

As tabelas 6 e 7 detêm a quantificação das áreas de rebrota e severidades observadas.

**Tabela 6.** Área total em hectares e percentual das severidades e rebrota do índice RdNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020.

<b>Severidade das queimadas e rebrota com dNBR em hectares (ha)</b>					
<b>Ano</b>	<b>Classe</b>	<b>TI Governador</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>ZA</b>	<b>Percentual (%)</b>
2003	Alta rebrota	3672,27	8,72	8224,87	16,53
	Baixa rebrota	17670,99	41,97	19181,00	38,55
	Não queimado	20600,94	48,93	21057,08	42,32
	Baixa severidade	137,08	0,33	1123,62	2,26
	Severidade mod. baixa	21,10	0,05	111,39	0,22
	Severidade moderada alta	2,53	0,01	11,94	0,02
	Alta severidade	0,54	0,00	0,36	0,00
2005	Alta rebrota	1758,17	4,18	3245,89	6,52
	Baixa rebrota	5916,57	14,05	15379,15	30,91
	Não queimado	33824,27	80,33	28428,37	57,14
	Baixa severidade	554,60	1,32	2334,36	4,69
	Severidade mod. baixa	23,12	0,05	267,18	0,54
	Severidade moderada alta	0,51	0,00	25,43	0,05
	Alta severidade	0,00	0,00	0,36	0,00
2006	Alta rebrota	183,12	0,43	812,19	1,63
	Baixa rebrota	725,24	1,72	4755,82	9,56
	Não queimado	39696,50	94,28	38693,66	77,77
	Baixa severidade	1144,27	2,72	4873,74	9,80

	Severidade mod. baixa	351,85	0,84	520,71	1,05
	Severidade moderada alta	4,46	0,01	30,32	0,06
	Alta severidade	0,00	0,00	0,63	0,00
2007	Alta rebrota	723,11	1,72	450,29	0,91
	Baixa rebrota	5193,05	12,33	7568,40	15,21
	Não queimado	34177,66	81,17	36816,21	74,00
	Baixa severidade	1979,48	4,70	4463,44	8,97
	Severidade mod. baixa	28,84	0,07	357,66	0,72
	Severidade moderada alta	2,22	0,01	48,81	0,10
	Alta severidade	0,09	0,00	1,55	0,00
2008	Alta rebrota	441,13	1,05	4580,22	9,21
	Baixa rebrota	6269,92	14,89	17645,33	35,47
	Não queimado	35190,43	83,58	26461,24	53,18
	Baixa severidade	179,29	0,43	840,10	1,69
	Severidade mod. baixa	23,84	0,06	93,04	0,19
	Severidade moderada alta	0,56	0,00	13,37	0,03
	Alta severidade	0,00	0,00	0,18	0,00
2009	Alta rebrota	198,48	0,47	182,45	0,37
	Baixa rebrota	1091,46	2,59	1658,72	3,33
	Não queimado	30677,88	72,86	31000,78	62,31
	Baixa severidade	8766,41	20,82	15172,42	30,50
	Severidade mod. baixa	1295,14	3,08	1500,58	3,02
	Severidade moderada alta	71,60	0,17	156,88	0,32
	Alta severidade	4,40	0,01	13,49	0,03
2010	Alta rebrota	518,40	1,23	179,44	0,36
	Baixa rebrota	4368,19	10,37	1936,49	3,89
	Não queimado	32580,14	77,38	35212,24	70,77
	Baixa severidade	4344,13	10,32	10842,59	21,79
	Severidade mod. baixa	280,00	0,66	1303,90	2,62
	Severidade moderada alta	5,26	0,01	217,24	0,44
	Alta severidade	1,53	0,00	9,80	0,02
2014	Alta rebrota	2320,20	5,51	7574,21	15,22
	Baixa rebrota	18563,83	44,09	21908,28	44,03
	Não queimado	21030,51	49,95	19252,19	38,70
	Baixa severidade	169,54	0,40	829,37	1,67
	Severidade mod. baixa	19,49	0,05	109,76	0,22
	Severidade moderada alta	1,78	0,00	29,51	0,06
	Alta severidade	0,14	0,00	4,67	0,01
2015	Alta rebrota	9262,05	22,00	7187,16	14,45
	Baixa rebrota	16693,95	39,65	18870,73	37,93
	Não queimado	15580,46	37,00	21697,23	43,61
	Baixa severidade	556,00	1,32	1703,89	3,42
	Severidade mod. baixa	7,73	0,02	208,10	0,42
	Severidade moderada alta	2,58	0,01	40,44	0,08
	Alta severidade	2,72	0,01	0,54	0,00
2016	Alta rebrota	6761,37	16,06	15221,04	30,59
	Baixa rebrota	27331,65	64,91	22088,35	44,40
	Não queimado	7807,35	18,54	11658,79	23,43
	Baixa severidade	199,68	0,47	606,34	1,22
	Severidade mod. baixa	5,51	0,01	122,26	0,25
	Severidade moderada alta	0,00	0,00	21,99	0,04
	Alta severidade	0,00	0,00	2,45	0,00
2017	Alta rebrota	1912,84	4,54	6902,36	13,87

	Baixa rebrota	9227,58	21,92	19234,08	38,66
	Não queimado	30726,09	72,97	21919,66	44,06
	Baixa severidade	224,32	0,53	1382,81	2,78
	Severidade mod. baixa	12,21	0,03	200,45	0,40
	Severidade moderada alta	2,45	0,01	71,84	0,14
	Alta severidade	0,09	0,00	7,94	0,02
	Alta rebrota	129,16	0,31	1217,16	2,45
	Baixa rebrota	2007,60	4,77	7370,48	14,81
	Não queimado	37057,26	88,01	34496,02	69,33
2018	Baixa severidade	2332,57	5,54	5638,01	11,33
	Severidade mod. baixa	552,39	1,31	809,37	1,63
	Severidade moderada alta	24,07	0,06	177,58	0,36
	Alta severidade	2,52	0,01	12,43	0,02
	Alta rebrota	1531,91	3,64	4032,36	8,10
	Baixa rebrota	8942,75	21,24	17219,72	34,61
	Não queimado	31015,17	73,66	26612,87	53,49
2019	Baixa severidade	567,95	1,35	1568,37	3,15
	Severidade mod. baixa	43,85	0,10	218,03	0,44
	Severidade moderada alta	3,85	0,01	81,68	0,16
	Alta severidade	0,06	0,00	2,09	0,00
	Alta rebrota	476,09	1,13	1926,24	3,87
	Baixa rebrota	2785,93	6,62	9727,02	19,55
	Não queimado	38057,71	90,39	34053,59	68,44
2020	Baixa severidade	729,09	1,73	2892,03	5,81
	Severidade mod. baixa	55,35	0,13	492,38	0,99
	Severidade moderada alta	1,30	0,00	355,63	0,71
	Alta severidade	0,09	0,00	261,27	0,53

**Tabela 7.** Área total em hectares e percentual das severidades e rebrota do índice RdNBR na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento aos anos de 2003 a 2020.

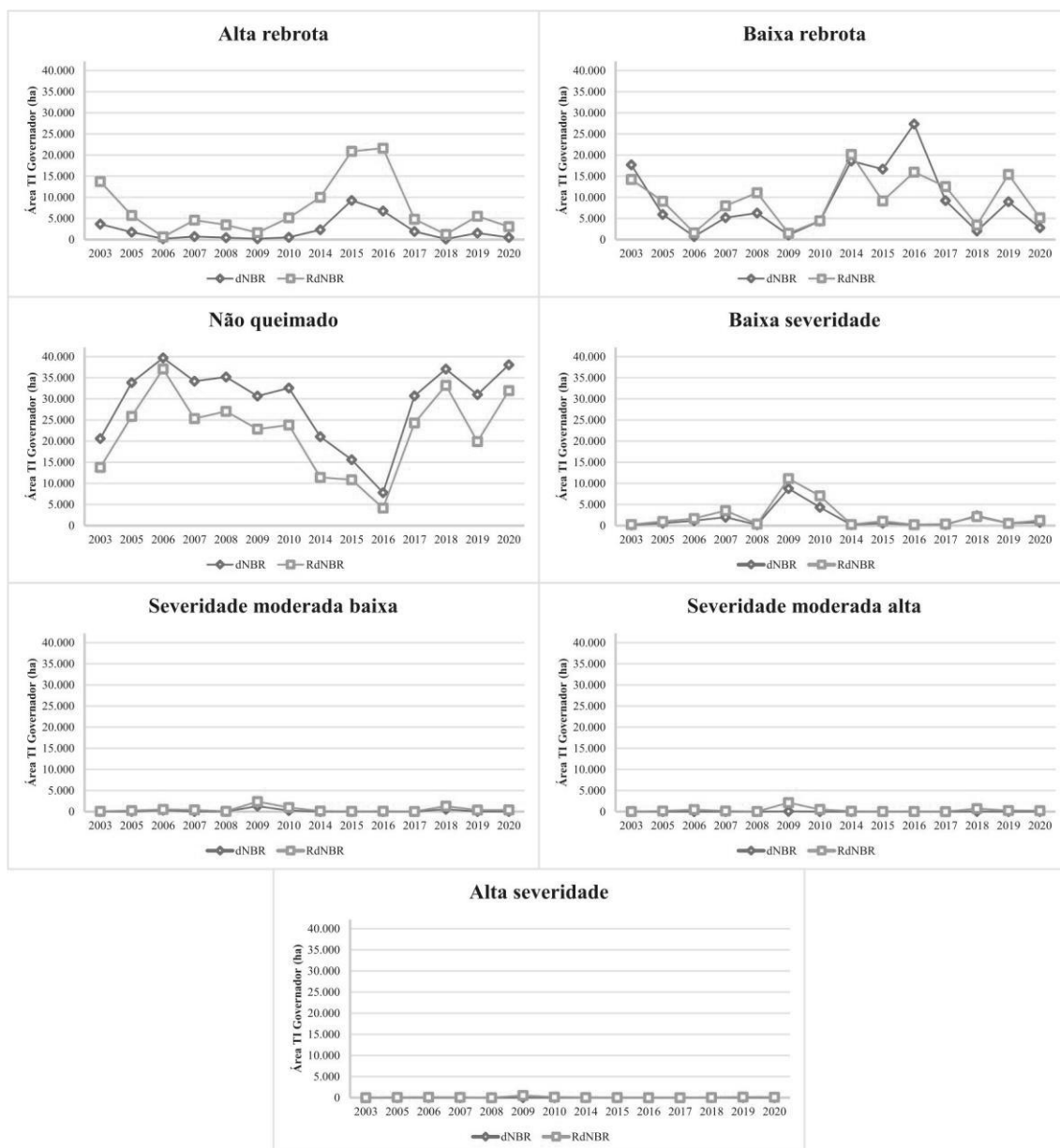
<b>Severidade das queimadas e rebrota com RdNBR em hectares (ha)</b>					
Ano	Classe	TI	Percentual	ZA	Percentual
		Governador	(%)		(%)
2003	Alta rebrota	13746,10	32,65	20086,11	40,37
	Baixa rebrota	14218,70	33,77	13658,18	27,45
	Não queimado	13786,31	32,74	13892,60	27,92
	Baixa severidade	243,74	0,58	1669,11	3,35
	Severidade mod. baixa	64,48	0,15	318,59	0,64
	Severidade moderada alta	30,92	0,07	72,66	0,15
	Alta severidade	8,38	0,02	12,77	0,03
2005	Alta rebrota	5709,66	13,56	14306,45	28,75
	Baixa rebrota	9055,52	21,51	11810,98	23,74
	Não queimado	25863,63	61,43	19255,03	38,70
	Baixa severidade	983,86	2,34	3360,97	6,76
	Severidade mod. baixa	265,92	0,63	730,98	1,47
	Severidade moderada alta	144,61	0,34	208,65	0,42
	Alta severidade	73,46	0,17	33,50	0,07
2006	Alta rebrota	627,53	1,49	3224,94	6,48
	Baixa rebrota	1595,03	3,79	5855,94	11,77
	Não queimado	37071,77	88,04	32498,20	65,32
	Baixa severidade	1686,31	4,00	6433,51	12,93
	Severidade mod. baixa	515,88	1,23	1485,62	2,99

	Severidade moderada alta	497,81	1,18	191,00	0,38
	Alta severidade	111,05	0,26	19,64	0,04
2007	Alta rebrota	4596,28	10,92	6491,87	13,05
	Baixa rebrota	7988,53	18,97	10612,10	21,33
	Não queimado	25338,62	60,18	23936,74	48,11
	Baixa severidade	3551,57	8,43	6717,53	13,50
	Severidade mod. baixa	417,32	0,99	1604,06	3,22
	Severidade moderada alta	143,99	0,34	261,86	0,53
	Alta severidade	61,14	0,15	82,94	0,17
2008	Alta rebrota	3488,67	8,29	15577,68	31,31
	Baixa rebrota	11076,74	26,31	13466,33	27,07
	Não queimado	27040,87	64,22	19030,83	38,25
	Baixa severidade	359,32	0,85	1287,92	2,59
	Severidade mod. baixa	90,17	0,21	278,18	0,56
	Severidade moderada alta	41,25	0,10	56,61	0,11
	Alta severidade	5,10	0,01	11,57	0,02
2009	Alta rebrota	1643,88	3,90	1646,86	3,31
	Baixa rebrota	1488,27	3,53	2600,76	5,23
	Não queimado	22822,96	54,20	21006,09	42,22
	Baixa severidade	11107,19	26,38	16577,12	33,32
	Severidade mod. baixa	2372,73	5,64	6564,00	13,19
	Severidade moderada alta	2124,80	5,05	1081,67	2,17
	Alta severidade	534,75	1,27	231,77	0,47
2010	Alta rebrota	5145,71	12,22	1826,20	3,67
	Baixa rebrota	4445,15	10,56	4154,63	8,35
	Não queimado	23800,00	56,52	22852,52	45,93
	Baixa severidade	7070,01	16,79	13644,98	27,43
	Severidade mod. baixa	955,62	2,27	5573,97	11,20
	Severidade moderada alta	529,84	1,26	1209,98	2,43
	Alta severidade	158,63	0,38	447,39	0,90
2014	Alta rebrota	9988,98	23,72	22836,34	45,90
	Baixa rebrota	20152,12	47,86	14133,13	28,41
	Não queimado	11399,80	27,07	11114,18	22,34
	Baixa severidade	267,57	0,64	1214,94	2,44
	Severidade mod. baixa	162,56	0,39	291,84	0,59
	Severidade moderada alta	96,58	0,23	83,30	0,17
	Alta severidade	33,09	0,08	34,60	0,07
2015	Alta rebrota	20894,54	49,62	22026,48	44,27
	Baixa rebrota	9158,27	21,75	11579,30	23,27
	Não queimado	10868,01	25,81	12265,37	24,65
	Baixa severidade	1030,67	2,45	2798,06	5,62
	Severidade mod. baixa	83,76	0,20	747,05	1,50
	Severidade moderada alta	36,60	0,09	233,89	0,47
	Alta severidade	28,21	0,07	57,37	0,12
2016	Alta rebrota	21616,74	51,34	30397,50	61,10
	Baixa rebrota	15962,51	37,91	11452,51	23,02
	Não queimado	4125,70	9,80	6665,43	13,40
	Baixa severidade	238,39	0,57	833,99	1,68
	Severidade mod. baixa	110,20	0,26	248,37	0,50
	Severidade moderada alta	48,61	0,12	99,56	0,20
	Alta severidade	2,67	0,01	22,86	0,05
2017	Alta rebrota	4832,29	11,48	17136,66	34,44
	Baixa rebrota	12546,00	29,80	14443,37	29,03

	Não queimado	24306,17	57,73	15722,36	31,60
	Baixa severidade	366,35	0,87	1808,91	3,64
	Severidade mod. baixa	40,53	0,10	428,42	0,86
	Severidade moderada alta	12,83	0,03	125,80	0,25
	Alta severidade	1,08	0,00	55,24	0,11
	Alta rebrota	1244,94	2,96	5585,13	11,23
	Baixa rebrota	3440,14	8,17	7377,91	14,83
2018	Não queimado	33220,95	78,90	27212,23	54,69
	Baixa severidade	2127,00	5,05	7026,09	14,12
	Severidade mod. baixa	1296,72	3,08	1911,99	3,84
	Severidade moderada alta	726,18	1,72	490,95	0,99
	Alta severidade	49,10	0,12	116,89	0,23
	Alta rebrota	5508,65	13,08	15398,46	30,95
	Baixa rebrota	15424,85	36,63	13787,80	27,71
2019	Não queimado	19874,97	47,20	17524,02	35,22
	Baixa severidade	514,57	1,22	2231,37	4,48
	Severidade mod. baixa	379,09	0,90	552,99	1,11
	Severidade moderada alta	252,58	0,60	165,62	0,33
	Alta severidade	146,72	0,35	47,13	0,09
	Alta rebrota	3056,11	7,26	10444,60	20,99
	Baixa rebrota	5143,78	12,22	9407,59	18,91
2020	Não queimado	31946,85	75,87	22563,33	45,35
	Baixa severidade	1239,90	2,94	4738,58	9,52
	Severidade mod. baixa	399,61	0,95	1406,38	2,83
	Severidade moderada alta	217,03	0,52	548,46	1,10
	Alta severidade	98,10	0,23	598,23	1,20

Nos gráficos da figura 8 estão apresentados os níveis de rebrota e severidade das queimadas para o dNBR e RdNBR do território da TI Governador, relacionando os anos e a quantidade de área para os coeficientes.





**Figura 8.** Gráficos comparativos entre o dNBR e RdNBR para cada nível de rebrota e severidade de queimada da TI Governador.

Na figura 9, é possível verificar os gráficos comparativos entre o dNBR e o RdNBR, para todos os níveis e variáveis (cicatriz e rebrota), e apontar qual o melhor índice para cada classe da série temporal analisada na TI Governador, assim como observar o comportamento da vegetação e áreas queimadas no intervalo dos anos de 2003 a 2020.



**Figura 9.** Gráficos comparativos de todos os índices e níveis da TI Governador.

As queimadas presentes nas TIs do Estado do Maranhão estão relacionadas à incorporação de novas áreas de manejo da agropecuária nos entornos das APs, que após os anos precisam passar por renovação cíclica realizada por meio de queimadas, assim como prática de extração de madeira, que não controlam as queimadas e afetam a vegetação da TI, além das atividades feitas nas terras indígenas que comumente utilizam o fogo (MASULLO; CASTRO, 2015).

De acordo com Miranda et al. (2006), o tempo necessário para a ocorrência de regeneração da vegetação varia para cada tipo de bioma no qual ela faz parte, como exemplo, no cerrado a biomassa é recuperada no período de 1 a 1,5 anos, levando em

consideração que as queimadas ocorreram durante a período de seca. Sartorelli et al. (2007), diz que grande parte da vegetação do cerrado é adaptada ao fogo e pode crescer e se reproduzir rapidamente após o incêndio, por conta dos meristemas ficarem bem protegidos nas árvores, com os primeiros ramos surgindo em até 1,45 semanas para algumas espécies.

De modo geral, o índice espectral RdNBR mostrou-se mais consistente em relação ao dNBR na apresentação dos níveis de severidade e rebrota da vegetação nas áreas atingidas pelo fogo na TI e ZA. Os resultados corroboram com Silva e Baptista (2015), que em estudo elaborado no Distrito Federal para quantificar o grau de severidade de áreas queimadas, o RdNBR foi mais preciso, já que não subestimou áreas queimadas e nem possui restrição para avaliar regiões com menor densidade vegetal.

Segundo Arellano-Pérez et al. (2018), o dNBR é capaz de apontar diferentes níveis de severidade do fogo, no entanto, precisa passar por uma calibração em seus limiares de gravidade. Teobaldo e Baptista (2013), concluíram que o modelo do dNBR não foi apropriado para quantificação de severidades de queimadas em UCs no Distrito Federal, por apresentar problemas de superestimação de uma classe e omissão de níveis com maior severidade.

Na mesma perspectiva, o índice RdNBR pode se tornar uma ferramenta ainda mais eficiente se for correlacionado com estimadores relacionados ao fogo, como o sequestro de carbono, mostrando-se satisfatório nos resultados de verificação de queimadas em UCs, também no Distrito Federal, e obtenção de resposta além do esperado para quantificação de rebrota (TEOBALDO; BAPTISTA, 2016).

Mas, é necessário que a construção de banco de dados e pré-processamento das imagens para verificação de cicatriz de incêndio estejam em conformidade para evitar erros e resultados confusos. Como aponta Lima e Anunciação (2019), a demanda de estudar de forma mais detalhada as imagens no momento do fogo e metodologias que possam analisá-las com mais precisão, resultará em um estudo mais próximo a realidade ocorrida, já que, geralmente as imagens são sempre do antes e depois do fogo.

#### **4.1 Validação de campo**

Dados de campo, com o intuito de verificar a resposta da vegetação em diferentes regimes de fogo, analisou e quantificou espécies de plantas com maior facilidade de regeneração e rebrota após evento de fogo, as quais estão apresentadas no quadro 3.

**Tabela 8.** Relação de famílias e espécies regenerantes amostradas em uma parcela permanente na TI Governador. Adaptado de Verly (2021).

<b>Espécie</b>	<b>Família</b>
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	Opiliaceae Valeton
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	Rubiaceae Juss.
<i>Allagoptera campestris</i> (Mart.) Kuntze	Arecaceae Schultz Sch.
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae R.Br.
<i>Andira humilis</i> Mart. ex Benth.	Fabaceae Lindl.
<i>Andira vermifuga</i> (Mart.) Benth.	Fabaceae Lindl.
<i>Annona</i> cf. <i>dioica</i> A.St.-Hil.	Annonaceae Juss.
<i>Annona</i> cf. <i>monticola</i> Mart.	Annonaceae Juss.
<i>Annona coriacea</i> Mart.	Annonaceae Juss.
<i>Antonia ovata</i> Pohl	Loganiaceae R.Br. ex Mart.
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Anacardiaceae R.Br.
<i>Attalea eichleri</i> (Drude) A.J.Hend.	Arecaceae Schultz Sch.
<i>Bauhinia</i> cf. <i>burchellii</i> Benth.	Fabaceae Lindl.
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae Gaudich.
<i>Byrsonima</i> cf. <i>coccolobifolia</i> Kunth	Malpighiaceae Juss.
<i>Byrsonima</i> cf. <i>oblongifolia</i> A.Juss.	Malpighiaceae Juss.
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae Juss.
<i>Byrsonima gardneriana</i> A.Juss.	Malpighiaceae Juss.
<i>Caryocar</i> cf. <i>coriaceum</i> Wittm.	Caryocaraceae Voigt
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae Mirb.
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Bixaceae Kunth
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Connaraceae R.Br.
<i>Cordia</i> cf. <i>rufescens</i> A.DC.	Boraginaceae Juss.
<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae Salisb.
<i>Diospyros lasiocalyx</i> (Mart.) B.Walln.	Ebenaceae Gürke
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	Erythroxylaceae Kunth
<i>Erythroxylum</i> P.Browne 01	Erythroxylaceae Kunth
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	Erythroxylaceae Kunth
Fabaceae Lindl. 03	Fabaceae Lindl.
Fabaceae Lindl. 04	Fabaceae Lindl.
Gema-Dourada	
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltld.	Rubiaceae Juss.
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae Juss.
<i>Helicteres</i> cf. <i>eitenii</i> Leane	Malvaceae Juss.
<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel	Apocynaceae Juss.
<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson	Apocynaceae Juss.
<i>Himatanthus</i> Willdenow 01	Apocynaceae Juss.
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Fabaceae Lindl.
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Calophyllaceae J.Agardh
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	Fabaceae Lindl.
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Fabaceae Lindl.
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	Sapindaceae Juss.

---

<i>Manihot tripartita</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae Juss.
Morfoespécie 03	
Morfoespécie 04	
Morfoespécie 06	
Morfoespécie 09	
Morfoespécie 10	
Morfoespécie 11	
Morfoespécie 13	
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Myrtaceae Juss.
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	Ochnaceae DC.
<i>Ouratea</i> sp. 02	
<i>Parkia platycephala</i> Benth.	Fabaceae Lindl.
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae Lindl.
<i>Psidium myrsinites</i> DC.	Myrtaceae Juss.
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	Fabaceae Lindl.
<i>Qualea</i> Aubl. 01	Vochysiaceae A.St.-Hil.
<i>Qualea</i> Aubl. 02	Vochysiaceae A.St.-Hil.
<i>Qualea</i> Aubl. 04	Vochysiaceae A.St.-Hil.
<i>Qualea</i> Aubl. 05	Vochysiaceae A.St.-Hil.
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae A.St.-Hil.
<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	Vochysiaceae A.St.-Hil.
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Euphorbiaceae Juss.
<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	Simaroubaceae DC.
<i>Sorocea guilleminiana</i> Gaudich.	Moraceae Gaudich.
<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.	Fabaceae Lindl.
<i>Syagrus comosa</i> (Mart.) Mart.	Arecaceae Schultz Sch.
<i>Syagrus</i> Mart. 01	Arecaceae Schultz Sch.
<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	Fabaceae Lindl.
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae R.Br.
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schtdl.) K.Schum.	Rubiaceae Juss.
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae Lindl.
<i>Vitex polygama</i> Cham.	Lamiaceae Martinov

---

Os dados levantados no estudo de campo foram adquiridos através da aplicação do índice de Diversidade Shannon (H'). O índice Shannon-Winner deduz que todas as espécies são amostradas, no decorrer da análise para uma biocenose infinita, logo, a correlação amostral é positiva, ou seja, o número de diferentes classes de parcelas aumenta quando a distribuição de áreas entre diferentes classes de parcelas se torna equitativas (KREBS, 2013).

As espécies que apresentaram maior densidade de regeneração estão apresentadas na Tabela 9. O incremento de vegetação na área da parcela foi de 8,9% de rebrota vegetativa, durante o intervalo de um ano.

**Tabela 9.** Espécies com maior densidade de indivíduos em cada tratamento. Adaptado de Verly (2021).

Tratamento	Espécie	Família	N indivíduos	%
Incêndio	<i>Attalea cf. eichleri</i> (Drude) A.J.Hend.	Arecaceae Schultz Sch.	41	26,28%
	<i>Syagrus</i> Mart. 01	Arecaceae Schultz Sch.	23	14,74%
	<i>Erythroxylum</i> P.Browne 01	Erythroxylaceae Kunth	12	7,69%
MIF	<i>Erythroxylum</i> P.Browne 04	Erythroxylaceae Kunth	48	25,00%
	<i>Helicteres cf. eitenii</i> Leane	Malvaceae Juss.	32	16,67%
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae Mirb.	14	7,29%
MIF + Incêndio	<i>Helicteres cf. eitenii</i> Leane	Malvaceae Juss.	37	24,83%
	<i>Manihot tripartita</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae Juss.	23	15,44%
	<i>Attalea cf. eichleri</i> (Drude) A.J.Hend.	Arecaceae Schultz Sch.	19	12,75%

## 5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que o índice RdNBR, foi mais eficaz em relação ao dNBR para medir a biomassa queimada na TI Governador e na zona de amortecimento, independente da densidade da biomassa queimada ou do grau de severidade, com maior precisão nas áreas detectadas como alta severidade, com média de 3,11% de apontamento da área da TI Governador, enquanto o dNBR só apresentou média de 0,46% da área, com vários anos mostrando valor 0%, por conta da mensuração das áreas serem inexpressíveis para as dimensões da Terra Indígena (41.912,64 ha).

Os dados de campo para o monitoramento realizado de 2021 para 2022 verificaram que a taxa de rebrota da vegetação foi de 8,9% na parcela de campo. Recomenda-se em estudos futuros com os índices analisados, a aplicação de testes estatísticos para a constatação da taxa de rebrota na área da TI Governador.

Apesar de também poder detectar e quantificar regiões atingidas pelo fogo e sua severidade e em alguns anos analisados ser parelho ao RdNBR, o dNBR acaba subestimando os valores de resposta espectral, em torno de 80% de todos os anos somente

como área não queimada, identificando inadequadamente áreas menos arborizadas e resultando os valores de forma ineficiente nos demais níveis.

O RdNBR foi mais eficiente e preciso que o dNBR, para quantificar e apontar os níveis de rebrota nas zonas de cicatrizes, uma vez que nos mapas temáticos de rebrota, as áreas de cicatrizes realçaram regeneração da vegetação dentro do período de um ano, e os números distinguem média de 17,32% de áreas com alta rebrota, sobre os 5,07% do dNBR.

Ambos os índices detectaram resposta de queimadas e rebrota na sede do município de Amarante do Maranhão – MA, que se localizou dentro dos limites da zona de amortecimento, indicando extrapolação na aplicação dos índices. Nesta técnica de sensoriamento remoto recomenda-se o emprego de uma máscara para bloquear os pixels indevidos.

## 6. REFERÊNCIAS

ANTUNES, A. F. B. **Iniciando em geoprocessamento**. <[http://www/people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf](http://www.people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf)>. Acedido em, v. 17, 2013.

ARAÚJO, E. P.; LOPES, J. R., CARVALHO FILHO, R. Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense. In: Martins, M. B.; Oliveira, T. G. (Org.). *Amazônia Maranhense: diversidade e conservação*. Belém: MPEG, 2011. p.35-44.

ARMANDO, M. S. O impacto do fogo na rebrota de algumas espécies de árvores do cerrado. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 1994.

AXIMOFF, I.; RODRIGUES, R. C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 83-92, 2011.

BEZERRA, A. C.; BEZERRA DA SILVA, J. L.; SILVA, D. A. O.; BATISTA, P. H. D.; PINHEIRO, L. C.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 286-301, 2020.

BRAGA, J. V. **Mapeamento de áreas queimadas usando séries temporais normalizadas derivadas de dados NBR-MODIS durante o período 2001-2014 no Parque Nacional das Emas**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Departamento de Geografia, 2015.

CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização fisiográfica da bacia Olhos D'água em Feira de Santana/BA: Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 43-54, 2011.

CASTRO-NEVES, B.M. Efeito de queimadas em áreas de cerrado stricto sensu e na biomassa de raízes finas. Dissertação de Doutorado. Universidade de Brasília. 2007.

CHAVEZ Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479, 1988.

CIRNE, P.; SCARANO, F.R. Rebrotamento após o fogo de *Andira legalis* (leguminosae) em restinga fluminense. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C. H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996

CONCEIÇÃO, C. B.; GOMES, M. O. C.; PEREIRA, A. K.; DE SOUSA, D. Z. S.; DE CARVALHO, B. E. R. Estudo sobre as Práticas de Queimadas desenvolvidas por Produtores Rurais no Município de São João do Sóter, Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e099129521-e099129521, 2020.

CONGEDO, L. Semi-automatic classification plugin documentation. **Release**, v. 4, n. 0.1, p. 29, 2016.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: **Fire in the tropical biota**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1990. p. 82-105.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 1992. 170 p. Reimpressão, 2002.

CUNHA, L. Vulnerabilidade e riscos naturais: Exemplos em Portugal. In *Vulnerabilidade e riscos: Reflexões e aplicações na análise do território* (11 de março, pp. 55-62). CEGOT e Departamento de Geografia; Universidade de Coimbra – Portugal. 2016.

DA SILVA LOTUFO, J. B.; MACHADO, N. G.; DE MELLO TAQUES, L.; DE SOUZA MÜTZENBERG, D. M.; NETO, N. L.; BIUDES, M. S. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 648-663, 2020.

DA SILVA, S. L.; BAPTISTA, G. M. M. Análise do grau de severidade de áreas queimadas na estação ecológica de águas emendadas por meio de dados do Landsat 8. **Rev. Bras. Geogr. Física**, v. 8, p. 431-438, 2015.

DE BRITO, M. M.; FARIAS, A. Espectroradiometria foliar de árvores frutíferas e o efeito da umidade sobre a resposta espectral das folhas. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil**, v. 13, 2013.

DE MORAES, E. C. Capítulo 1: fundamentos de sensoriamento remoto. 2002.

DE PAULO KOPROSKI, L.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrências de incêndios florestais no Parque Nacional de Ilha Grande-Brasil. *Floresta*, v. 34, n. 2, 2004.



DOS SANTOS, S. M. B., BENTO-GONÇALVES, A., DOS DE JESUS SANT'ANNA, W., DE MELLO BAPTISTA, G. D. M., & DE SANTANA, C. D. C. S. Caracterização do grau de severidade em incêndios florestais ocorridos em 2015 no Parque Nacional da Chapada Diamantina, por meio do cálculo dos índices espectrais dNBR e RdNBR. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 1, p. 192-192, 2019.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 3 jun. 2022

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Solos do Nordeste. Recife, 2006. Disponível em: <[www.uep.cnps.embrapa.br](http://www.uep.cnps.embrapa.br)>. Acesso em: 07 de junho de 2022.

FERNANDES, A. C. G.; COUTINHO, M. A. N.; SANTOS, V. G.; NASCIMENTO, C. R. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016.

FILHO, F. L. C. Relatório diagnóstico do município de amarante do maranhão. **CPRM – Serviço Geológico do Brasil**. 2011.

GASPARINI, K. A. C.; LYRA, G. B.; FRANCELINO, M. R.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F. D.; FACCO, A. G. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 296-306, 2013.

GERUDE, R. G. Focos de queimadas em áreas protegidas do Maranhão entre 2008 e 2012. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR. Foz do Iguaçu-PR, 2013.

GERWING, J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 157, n.1, p.131-141, 2002.

GOMES, M. P.; AGUIAR, M. D.; FERREIRA, M. E. Fundamentos de Geoprocessamento. **Goiás: UFG**, 2005.

GONÇALVES, J. S. A Prática da Queimada no Saber Tradicional e na Concepção Científica de Risco: Estudo Sobre o Uso do Fogo por Pequenos Produtores Rurais do Norte do Estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. Páginas 55-62, 2009.

GUIMARÃES, P.; SOUZA, S.; FIEDLER, N. C.; SILVA, A. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 01, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05/06/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. Geociências. Cartas e mapas, versão 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 06 de junho de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Landsat. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 03 de junho de 2022.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL – ISA, 2022. Terras indígenas no Brasil: Terra Indígena Governador. Disponível em <<https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3672#direitos>>. Acesso em: 05 de junho de 2022.

JUNIOR, C. H. L. S.; ANDERSON, L. O.; OLIVEIRA, L. E.; DE ARAGÃO, C.; RODRIGUES, B. D. Dinâmica das queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 35, p. 1-14, 2018.

KEY, C.H.; BENSON, N.C. Landscape Assessment (LA). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. **Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD.**, v. 164, 2006.

KREBS, C. J. *Ecological methodology*. New York, Harper & Row, USA, 2013.

LIMA, F. D. N. D.; ANUNCIACÃO, T. H. T. D. Severidade do incêndio e sequestro florestal de carbono no Parque Nacional de Brasília entre os meses de abril de 2016 a junho de 2017. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Ambientais - Instituto de Geociências - Universidade de Brasília. Brasília – DF. 2019.

LOZANO, F. J., SUAREZ-SEOANE, S., LUIS, E. Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal landsat data for fire occurrence probability modelling. **Remote Sensing of Environment**. v.107. p. 533-544, 2007.

MARQUES, A.R; AMORIM, A.; FONSECA, A.A.P. Atividades de restauração florestal junto à comunidade indígenas no Maranhão. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 1, p. 52-52, 2019.

MASULLO, Y. A. G. Análise preditiva de ocorrências de incêndios no bioma amazônico do Maranhão. **GeoTextos**, 2018.

MASULLO, Y. A. G.; DE CASTRO, C. E. Aspectos socioeconômicos e a incidência de queimadas nas terras indígenas do estado do Maranhão. **Revista Geografar**, v. 10, n. 2, p. 112-139, 2016.

MESQUITA, A. G. G. Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade acreana. *Revista Ramal de Ideias*, 1(1), 2008-2009.

MILLER, J. D.; THODE, A. E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio(dNBR). *Science Direct.Remote Sensing of Environment* 109 (2007) 66-80, 2007.

MIRANDA, E. E.; MORAES, A. V. C.; OSHIRO, O. T. **Queimadas em Áreas Protegidas da Amazônia em 2005**. Comunicado Técnico, 19. Embrapa Monitoramento por Satélite Área de Comunicação e Negócios, Campinas, SP, 2006.

MIRANDA, G. J. D.; MENDONÇA, B. A. F.; OLIVEIRA, E. R. S.; OLIVEIRA, K. A.; ROMEIRO, J. M. N.; TORRES, F. T. P. Large fires and fire danger indices in ‘Governador’ indigenous territory, Maranhão state. *Floresta*, v. 52, n. 1, p. 083-092, 2022.

MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga. **Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p**, 1996.

NAPOLEÃO, M. C. Fusão de imagens Landsat-5 TM e spot pancromática aplicada ao mapeamento do uso da terra. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 7, n. 2, 2001.

OLIVEIRA, A. K. S. Caracterização de cicatrizes de incêndios na terra indígena Governador, Maranhão – BR. 2020. 44f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2020.

PACHECO, R. C. **Processamento de dados de imagem multiespectral aplicado à geobotânica por sensoriamento remoto: uma abordagem para áreas cobertas por Floresta Atlântica da planície costeira**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEREIRA, A. A.; TEIXEIRA, F. R.; LIBONATI, R.; MELCHIORI, E. A.; CARVALHO, L. M. T. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no cerrado utilizando dados LandSat TM. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 8, n. 68, p. 1665-1680, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO; Y. E., & KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

RAMALHO, M. F. J. L. A aplicação do sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise Ambiental - Vale Do Pitimbu/RN. **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, v. 1, 2002.

RESENDE, F. C., SOARES, T. B. O., SANTOS, P. R., PEREIRA, G. Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas. **Revista Territorium Terram**, v. 3, n. 5, p. 95-104, 2015.

RIBEIRO, G. A. Estratégias de prevenção contra os incêndios florestais. *Floresta*, v. 34, n. 2, 2004.

ROSAN, T. M.; ARAGÃO, L.; OLIVERAS, I.; PHILLIPS, O.; MALHI, Y.; GLOOR, M.; WAGNER, F. Extensive twenty-first century woody encroachment in South America's Savanna. **Geophysical Research Letters**. 10.1029/2019GL082327.

ROY, D. P., BOSCHETTI, L., & TRIGG, S. N. Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, p. 112-116, 2006.

SALOMONSON, V. V.; WILLIAMS D. L.; BARKER J. L. Information expeditions from Landsat-D; 15th. International Symposium on Remote Sensing. Ann Arbor, Michigan - USA 1981.

SANCHES, I. D. A.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5-TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: **Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011., 2011.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n. 1, 2006.

SARTORELLI, P. A. R.; SILVA, J. M. S.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E.; & ÁVILA, E. Q. Rebrotas após fogo de espécies arbóreas de diferentes grupos fenológicos foliares em cerrado stricto sensu. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 6, n. 10, p. 13, 2007.

SATO, M. N. Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do Cerrado sensu stricto. **Universidade de Brasília, Brasília, Brazil**, 2003.

SILVA, V.F.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; VENTURIN, N.; CARVALHO, W.A.C.; GOMES, J.B.V. 2005. Impacto do fogo no componente arbóreo de uma floresta estacional semidecídua no município de Ibituruna, MG, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19: 701-716.

SLATER, P. N. A. A reexamination of the Landsat MSS. *PE&RS*, V. 45, nº II, p. 1479-1485. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing – USA, 1974.

SOARES, R. B.; SOARES, C. B. S. S.; COSTA, J. A. L.; COSTA, S. S.; SOARES, R. B. Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/OLI. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil**, v. 25, p. 4836-4843, 2015.

SOARES, R. V. Ocorrência de incêndios em povoamentos florestais. **Floresta**, v. 22, n. 1/2, 1992.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SANTOS, J. F. Evolution of forest fire statistics in Brazilian protected lands in the last 20 years. *Forest Ecology and Management*, n. 234, p. S239, 2006.

SOARES, R. V.; SANTOS J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Floresta*, v. 32, n. 2, 2002.

SOUSA, D. F. Uma abordagem híbrida e semiautomática para estimativa de regiões cobertas por nuvens e sombras em imagens de satélite: análise e avaliação. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém – PA. 2014.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação do grau de severidade de queimada em unidades de conservação no Distrito Federal por meio dos índices espectrais dNBR e RdNBR. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**1, p. 6534-6540, 2013.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. Quantificação da severidade das queimadas e da perda de sequestro florestal de carbono em unidades de conservação do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 250-264, 2016.

TORRES, F. T. P.; LIMA, G. S., DAS GRAÇAS COSTA; A., DE ARAÚJO FÉLIX, G.; DA SILVA JÚNIOR, M. R. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. *Floresta*, 2017. 46(4), 531-542.

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO; P. C.; MAIA, A. D.; DISPERATI, A. A. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. *Floresta e Ambiente*, v. 17, nº 1, p. 23–29, jan/jun. 2010.

VERLY, O. M. Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – CCAA, Universidade Federal de Viçosa – UFV: inventário florístico na TI Governador. Viçosa; 2021.

XAVIER, K. R. F.; DE ANDRADE, L. A.; FABRICANTE, J. R.; COELHO, M. D. S. E.; DE MEDEIROS ASSIS, F. N. Impactos pós-fogo na regeneração natural em um fragmento de floresta ombrófila aberta no município de Areia, Paraíba, Brasil. **Revista brasileira de Biociências**, v. 9, n. 3, p. 257, 2011.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R. A.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; CARROLL, M. L.; EASTMAN, J. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250m data. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.336-350, 2002.