



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PORTO NACIONAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**JOBHERLANE FARIAS COSTA**

**ESTUDO DA DINÂMICA DO FOGO NA ÁREA DA ESTAÇÃO  
ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS:  
USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

PORTO NACIONAL/TO  
2018

**JOBHERLANE FARIAS COSTA**

**ESTUDO DA DINÂMICA DO FOGO NA ÁREA DA ESTAÇÃO  
ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS:  
USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Porto Nacional, Como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Dr. Sandro S. V. de Cristo

**PORTO NACIONAL/TO  
2018**

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

---

- CS37e COSTA, JOBHERLANE FARIAS .  
ESTUDO DA DINÂMICA DO FOGO NA ÁREA DA ESTAÇÃO  
ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS: USO DE TÉCNICAS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO . / JOBHERLANE FARIAS COSTA. – Porto  
Nacional, TO, 2018.  
102 f  
  
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Porto Nacional - Curso de Pós-Graduação  
(Mestrado) em Geografia, 2018.  
Orientador: Sandro S. V. de Cristo  
  
1. Cicatrizes de Fogo. 2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada  
(NDVI). 3. Unidade de Conservação da Natureza. 4. Focos de Calor. I. Título
- CDD 910**

---

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

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

JOBHERLANE FARIAS COSTA

**ESTUDO DA DINÂMICA NA ÁREA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA  
GERAL DO TOCANTINS: USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO  
REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Câmpus de Porto Nacional, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 29 de março de 2018.

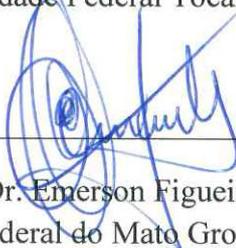
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo (Orientador)  
Universidade Federal Tocantins - UFT



Profa. Dra. Mariléia Oliveira Bispo  
Universidade Federal Tocantins – UFT



Prof. Dr. Emerson Figueiredo Leite  
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS

Porto Nacional – TO  
2018

*Aos meus pais, Josafá F. Costa e Claudete César, a quem tudo devo. Ao meu querido esposo, Rangel C. Costa, pela dedicação, companheirismo e paciência. Aos meus irmãos, Joberth, Claudehany, Josafá Júnior, Naura. A todos os meus familiares. Em especial a minha amada tia Alcirene Gomes (In memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e pela chance de crescimento intelectual e espiritual durante este período. Agradeço ao meu esposo, Rangel C. Costa, por manter sua mão sempre estendida para me acolher em todos os momentos. Sua dedicação e paciência é incontestável.

Agradeço aos meus pais, Josafá Felinto Costa e Claudete César Farias Costa, por todo amor, dedicação, apoio e confiança.

Ao meu professor orientador, Sandro Sidnei Vargas de Cristo, por acreditar em mim, pelos ensinamentos, paciência e dedicação na realização deste trabalho.

Agradeço ao ICMBio pelo apoio a pesquisa, em específico nos trabalhos de campo.

Aos meus colegas de trabalho do IFTO, por todo apoio e compreensão para conclusão deste trabalho: Débora Cândido, Jonathas Rabelo, Jeane Pâmela, Rosicleia, Arnon Batista, Daniel Araújo, Viviane Borges, Kyara Souza, Junyslei Mudim, Francisco Chaves, Soraya Viana, Soraia Blank, Tereza Cristina, Raquel Francisca.

Ao Engenheiro Ambiental Guilherme Magalhães pelo auxílio e esclarecimentos em muitas questões referente a pesquisa.

Agradeço aos meus colegas da turma de mestrado: Claudnei, Ednaura, Laureci, Israel Maia, Simoni, Silvaldo, Shirley, Luiz Ricardo, pelos bons momentos que passamos juntos.

Agradeço a secretária do programa de Pós -graduação em geografia Poliana Cunha Damacena pelo bom atendimento prestado junto a coordenação do mestrado.

Agradeço as Professoras do IFTO: Liliane Guimarães, Patrícia Azevedo, Zuleide Ferreira e Tamara Milhomem, Andreia Lucini, pelos esclarecimentos e até por simplesmente me ouvirem.

Agradeço em especial as minhas amigas: Dalila Barros, Marileia Lacerda, Jozeane Nogueira pelos bons momentos de conversas, por compartilharem comigo seus conhecimentos.

Agradeço a Meteorologista da UFT, Dr. Roberta Araújo pela atenção e pelos esclarecimentos.

Agradeço ao técnico do Laboratório em Geoprocessamento da UFT, Raony Santos pelo apoio e motivação.

Em especial agradeço a Geógrafa Marta Eichemberger Ummus pelo apoio e esclarecimento no qual foram norteadores no desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os meus familiares e amigos que contribuíram de maneira direta e indiretamente para a realização desse trabalho.

## RESUMO

A presente pesquisa trata de uma análise da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) localizada entre os Estados do Tocantins e da Bahia, tendo como principal objetivo investigar a ação do fogo, antes e depois da sua criação, ou seja, entre os anos de 1998 e 2015. A metodologia utilizada foi o Sensoriamento Remoto com o qual aplicou-se diferentes técnicas que permitiram observar a ação do fogo com base nos Aspectos Regionais, NDVI, Focos de Calor e Cicatrizes do Fogo (queimadas e incêndios florestais) e a Recorrência destas áreas. Desta maneira, utilizou-se um conjunto de imagens de satélites Landsat Sensor -TM e Resourcesat - 1, dos anos de 1998, 2001, 2007, 2012 e 2015, obtidas no período seco entre junho e outubro. Com os softwares QGis e ArcGIS® foi aplicado o Índice de Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI) que permitiu a identificação de áreas atingidas pelo fogo, as quais foram aferidas ou confirmadas com a sobreposição dos focos de calor e observação visual de uma composição colorida (RGB) de imagem de satélite. No mesmo sentido, foi realizado uma classificação supervisionada de imagens de satélite, o que permitiu a identificação e o delineamento das cicatrizes de fogo e conseqüentemente, a ação do fogo na área de pesquisa. Entre os resultados obtidos, pode-se observar que no ano de 1998, a ação do fogo correspondeu a cerca de 50% de área, no ano de 2001 cerca de 46%, no ano de 2007 cerca de 68%, no ano de 2012 cerca de 54% e 2015 cerca de 41%. De maneira geral, pode-se observar uma redução da ação do fogo na área da EESGT nos últimos anos, o que pode estar associado “os fatores à diferentes formas” de manejo do fogo, o que precisa ser aprofundado com o andamento de novas pesquisas. Também foi possível observar, que anterior a criação da unidade, até o ano de 2001, os valores correspondentes a ação do fogo (50 e 46%) não reduziram, após a criação da unidade, no ano de 2007(68%) aumentaram. Porém, nos últimos anos ocorre uma redução da ação de fogo anos de 2012 e 2015 (54 e 41%), sendo um sinal positivo quanto a conservação do Cerrado e manutenção da função da unidade.

**Palavras – Chaves:** Cicatrizes de Fogo, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Unidade de Conservação da Natureza, Focos de Calor, Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

The present research deals with an analysis of the Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, located between the states of Tocantins and Bahia, with the main objective of investigating the fire action, before and after its creation, that is, between 1998 and 2015. The methodology used was the Remote Sensing with which different techniques were applied to observe the fire action based on the Regional Aspects, NDVI, Heat Sources and Fire Scars (burnings and forest fires) and Recurrence of these areas. A set of Landsat Sensor-TM and Resourcesat-1 satellite images from 1998, 2001, 2007, 2012 and 2015 were obtained in the dry period between June and October. As the QGIS and ArcGIS® software were applied Standardized Vegetation Difference Index (NDVI) that allowed the identification of areas affected by fire, which were measured or confirmed with the overlap of heat fires and visual observation of a color composition (RGB) satellite imagery. In the same direction a supervised classification of satellite images was carried out, which allowed the identification and the design of the fire scars and consequently the fire action in the research area. Among the results obtained, it can be observed that in 1998 the fire action corresponded to about 50% of area, in 2001 about 46%, in 2007 about 68%, in the year of 2012 about 54% and 2015 about 41%. In general, it can be observed a reduction of the fire action in the area of the EESGT in the last years, which may be associated the “factors to the different forms” of fire management, which needs to be deepened with the progress of new researches. It was also possible to observe that before the creation of the unit, until the year 2001, the values corresponding to the action of the fire (50 and 46%) did not reduce, after the creation of the unit, in the year of 2007 (68%) yes they increased. However, in recent years there has been a reduction in the fire action for the years 2012 and 2015 (54 and 41%), which is a positive sign for the conservation of the Cerrado and maintenance of the unit's function.

**Key Words:** Fire Scars, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Nature Conservation Unit, Heat Spotlights, Remote Sensing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. ....	18
Figura 2 - Instrumento de combate ao Fogo na EESGT.....	34
Figura 3 - Pontos de observação da Ação do Fogo em trabalhos de campo na EESGT .....	35
Figura 4- Estações meteorológicas utilizadas na pesquisa .....	38
Figura 5- Procedimentos adotados na definição dos anos de análise da ação do fogo.....	39
Figura 6 -Página de coleta de dados (Focos de Calor) no site do BD- queimadas/INPE.....	42
Figura 7- Rotina Metodológica para Classificação Supervisionada.....	50
Figura 8 - Sobreposição dos anos com Ação do Fogo .....	51
Figura 9 - Síntese dos procedimentos técnicos e metodológicos adotados na pesquisa .....	52
Figura 10 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 1998 .....	55
Figura 11- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença por Normalizada – NDVI em 1998.....	57
Figura 12- Mapa de cicatrizes da ação do fogo, ano de 1998 .....	57
Figura 13 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 2001 .....	58
Figura 14- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença por Normalizada – NDVI em 2001.....	60
Figura 15- Mapa de cicatrizes da ação do fogo, ano de 2001 .....	63
Figura 16 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 2007 .....	63
Figura 17- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 2007 .....	65
Figura 18 - Mapa de Cicatrizes da Ação do Fogo, ano de 2007.....	69
Figura 19 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 2012 .....	69
Figura 20- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 2012 .....	73
Figura 21- Mapa de Densidade de Focos de calor do ano de 2015 .....	75
Figura 22- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença por Normalizada – NDVI em 2015.....	75
Figura 23- Mapa de Cicatrizes da Ação do Fogo – 2015.....	78
Figura 24- Ação do fogo na descaracterização da cobertura vegetal .....	86
Figura 25 - Ação do fogo sobre os aspectos geomorfológicos.....	86
Figura 26 -Ação do fogo sobre área de vereda com a descaracterização do solo e da vegetação local .....	87
Figura 27 - Ação do fogo em área de vereda com a descaracterização da cobertura vegetal e colapso do solo .....	87
Figura 28 - Ação do fogo sobre Mata Ciliar com a descaracterização da cobertura vegetal ...	88
Figura 29 -Mapa de Recorrência de Fogo entre 1998 a 2015 .....	88
Figura 30 - Mapa de Recorrência de Fogo sobre a Cobertura Vegetal entre 1998 a 2015 .....	89
Quadro 1 - Características da Cobertura Vegetal na EESGT.....	21
Quadro 2- Amostra de treinamento para classificação supervisionada.....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Climograma Anual ( anos de 1998 a 2015) .....	400
Gráfico 2 - Climograma do ano de 1998 .....	53
Gráfico 3 Climograma do ano de 2001 .....	59
Gráfico 4 - Climograma do ano de 2007 .....	64
Gráfico 5 - Climograma do ano de 2012 .....	70
Gráfico 6 - Climograma do ano de 2015. ....	74
Gráfico 7 - Distribuição dos Focos de calor na área EESGT entre 1998 a 2015 .....	80
Gráfico 8 - Distribuição mensal dos Focos de calor na área da EESGT .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Municípios na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins .....	19
Tabela 2- Identificação das folhas topográficas que perfazem a área de pesquisa.....	32
Tabela 3- Localização das Estações meteorológicas utilizados na pesquisa.....	37
Tabela 4- Características das imagens e Sensores utilizados na pesquisa.....	40
Tabela 5- Características dos satélites utilizados no mapeamento dos Focos de Calor .....	42
Tabela 6 - Descrição das Chaves de interpretação de ação do Fogo.....	46
Tabela 7 -Valores adotado para o índice Kappa com respectivo nível de Concordância .....	48
Tabela 8 - Avaliação da Acurácia do Mapeamento de Eventos de Fogo.....	49
Tabela 9 – Intervalos Espectrais do NDVI - 1998.....	54
Tabela 10- Ocorrência de Fogo em 1998 .....	56
Tabela 11- Intervalos Espectrais do NDVI - 2001 .....	61
Tabela 12 - Ocorrência de fogo em 2001 .....	61
Tabela 13-- Intervalos Espectrais do NDVI - 2007.....	66
Tabela 14- Ocorrência de fogo em 2007 .....	66
Tabela 15- Ocorrência de fogo no ano em 2012 .....	72
Tabela 16- Intervalos Espectrais do NDVI - 2015 .....	76
Tabela 17 - Ocorrência de Fogo em 2015 .....	76
Tabela 18 - Total de Focos de Calor por Município.....	821
Tabela 19 - Intervalo Espectral da dinâmica do Fogo.....	822
Tabela 20- Síntese da dinâmica do fogo entre 1998 - 2015. ....	83
Tabela 21 - Recorrência da dinâmica do fogo entre os anos de 1998 a 2015 na EESGT .....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
BA	Estado da Bahia
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EESGT	Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins
FBR	Fator de Refletância Bidirecional
FNT	Floresta Nacional do Tapajós
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABGEOP	Laboratório de Geoprocessamento
MA	Estado do Maranhão
MA	Média Aritimética Simples.
MIF	Manejo Integrado do Fogo
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTA	Massa Tropical Atlântica
NASA	NationalAeronauticsand Space Administration
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
NDs	Números Digitais
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PEJ	Parque Estadual do Jalapão
PI	Estado do Piauí
PN	Parque Nacional
RL	Reserva Legal
SEPLAN	Secretaria de Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto
TM	ThemáticMapper
TO	Estado do Tocantins
UCs	Unidades de Conservação da Natureza
UFT	Universidade Federal do Tocantins
USGS	United StatesGeologicalSurvey
LISS	Linear Imaging Self-Scanner
OLI	Operational Land Imager

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Localização e Caracterização da Área de Pesquisa.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo da dinâmica do fogo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Aplicação e Conceito Básicos do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Incêndios Florestais e Queimadas no Bioma Cerrado .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Manejo Integrado do Fogo em Unidades de Conservação da Natureza</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Levantamento de Materiais Bibliográfico e Cartográfico.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Trabalho de Campo.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Trabalhos de Laboratório.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Caracterização dos Aspectos Climáticos Regionais.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Mapeamento dos Focos de Calor.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI ....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Mapeamento de Cicatrizes de Fogo.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Aplicação do Índice de Recorrência de Queimada.....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>LEVANTAMENTOS DINAMICA DO FOGO NA EESGT.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Ação do Fogo em 1998.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>Ação do Fogo em 2001.....</b>	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>Ação do Fogo em 2007.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4</b>	<b>Ação do Fogo em 2012.....</b>	<b>70</b>
<b>4.5</b>	<b>Ação do Fogo em 2015.....</b>	<b>74</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DA AÇÃO DO FOGO.....</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais ocorrem em diversas partes do mundo, provocando impactos no uso da terra, na biodiversidade, no clima regional e em alguns casos a saúde humana, fator ligado a liberação de gases traço e aerossóis, causando modificações na química da atmosfera e conseqüentemente modificando o balanço de energia (VAN DER WERF et al, 2006; FEARNSSIDE et al., 2009).

Os incêndios florestais causam prejuízos econômicos e sociais, aceleram os processos de desertificação, degradação florestal e perda de biodiversidade (BRASIL, 2010).

No Brasil, grande parte das Unidades de Conservação da natureza (UCs) vem sendo atingidas por incêndios florestais. A ocorrência de grandes incêndios pode ser considerada uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade e manutenção dos processos ecológicos (PRUDENTE, 2010).

Nas décadas 1980 e 1990, esta questão torna-se mais evidente nas UCs, período em que a legislação ambiental passou por refinamentos e foram intensificadas ações de gestão com o propósito de se ter maior domínio destas áreas, para que as mesmas passassem a desempenhar seu papel de acordo com seus planos de criação (CRISTO, 2013).

Áreas que ao longo do tempo, notadamente no século XX, ganharam maior respeito e reconhecimento da comunidade internacional, cenário de várias conferências e eventos que demonstram preocupação na busca de soluções para os problemas de implantação, preservação, gestão e convívio do ser humano nas áreas de entorno das UCs (CRISTO, 2013)..

AsUCs possuem como objetivo a proteção da natureza, em longo prazo, não permite o uso de recursos naturais dentro dos seus limites, isso, vem gerado diversos conflitos de interesse, devido a visões distintas do manejo do fogo entre órgãos ambientais, extrativistas, os pecuaristas e a população local.

Assim, percebe-se que é uma situação preocupante, pois essas áreas sofrem com a pressão política de diversos setores, principalmente econômicos como: pecuário, agrícola, imobiliário e mineração, na busca de desenvolver e expandir suas atividades econômicas.

A questão do fogo está inserida neste contexto, e no Estado do Tocantins, a questão se assemelha. A Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) está inserida na categoria de Unidade de Proteção Integral, de acordo com o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC) contem aproximadamente 707.139 ha, representa quase 40% da área total protegida por UC de proteção integral em território tocantinense (BARRADAS, 2017).

E por ser uma área extensa,proporciona grande desafio para sua conservação, pois exige maior esoforço de fiscalização e controle. Além disso a ocupação humana em seu em entorno, tem contribuído para a alteração do regime do fogo no cerrado tocantinense,causando mudança na frequência temporal, ocasionando redução no intervalo de ocorrência, a dimensão das áreas afetadas e conseqüentemente, aumentando os impactos causados por esses eventos (PESSOA, 2014).

Com isso, vários problemas ambientais são desencadeados ou se agravam como a pecuária extensiva, agricultura, retirada de madeira, caça, coleta de capim-dourado, exploração turística, incêndios em veredas, erosão, grandes projetos de agricultura no entorno e projeção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e, além das queimadas, em vista a presença humana (ICMBio, 2014).

Em vista disso, na EESGT são desenvolvidas ações que possuem relação direta e/ou indireta com o fogo, que podem ser observadas pelas conseqüências ambientais na área. Como exemplo, algumas mencionadas por Cristo (2013): descaracterização da cobertura vegetal do cerrado, perda da biodiversidade, alterações das funções naturais das veredas, avanço dos processos erosivos e a degradação das feições geomorfológicas.

Em contrapartida, algumas atividades são desenvolvidas conforme o plano de manejo, na EESGT, cuja intenção é sensibilizar através da Educação Ambiental, fiscalização, pesquisas, atividades de visitação, atividades conflitantes e gestão integrada quanto tal prática.

Com a intensa atuação do fogo, há necessidade de se estimar, de forma regular e sistemática, a extensão das áreas atingidas e os locais de ocorrências, como é o caso da presente pesquisa.

Contudo, vale destacar as duas faces dos efeitos do fogo - benefícios ou malefícios, dependendo das circunstâncias. Um dos efeitos mais imediatos se dá na ocorrência do fogo é a elevação da temperatura local, seja do ar, seja do solo. Alguns estudos mostram dados de temperatura momentânea do ar na chama podendo atingir 800°C ou mais (COUTINHO,2000).

Ainda segundoCoutinho (2000), esta elevação de temperatura é de curta duração. Outro efeito do fogo, de grande importância ecológica para os Cerrados, é a aceleração da remineralização da biomassa e a transferência dos nutrientes minerais nela existentes para a superfície do solo, sob a forma de cinzas. Desta forma, nutrientes que estavam imobilizados na palha seca morta e inútil, são devolvidos rapidamente ao solo e colocados à disposição das raízes.

Apesar disso, na EESGT os efeitos negativos são marcantes, a exemplo da pesquisa realizado por Cristo (2013) que destaca a passagem do fogo em áreas como veredas e lagoas

vêm eliminando a cobertura vegetal das áreas marginais deixando o solo exposto aos processos erosivos, favorecendo o transporte de sedimentos para o interior das lagoas, assoreando-as e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade de retenção e armazenamento de água (CRISTO, 2013).

Conforme informações da equipe da EESGT, o histórico de pesquisas na área da unidade não é muito extenso. Não obstante seja significativo o número de solicitações de licenças (35) para o mês (dezembro/2013), observa-se que poucas pesquisas foram executadas na EESGT, estas voltadas principalmente para linha da Biologia. Em meio ao conjunto de solicitações de licenças, há um predomínio de trabalhos ligados à flora (ICMBio, 2014).

A ação do fogo pode ser mensurada em alguns casos pela dimensão dos estragos ocasionados pela sua passagem, levando em consideração alguns fatores como frequência, intensidade e condições climáticas que acrescentam potencialidade a esses eventos.

Vale ressaltar que as informações sobre a localização e a extensão dos incêndios florestais são importantes para a definição de estratégias de combate e prevenção, bem como para a avaliação de danos ecológicos e econômicos, além de serem úteis no delineamento de estratégias que podem implicar em redução de gastos provocados por incêndios florestais em áreas agrícolas ou de vegetação nativa (DE JESUS, 2011).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem desenvolvendo e aprimorando desde a década de 1980 um sistema operacional de detecção de queimadas, denominado de BD – Queimadas, com intuito de monitorar e minimizar as alterações advindas da ação do fogo utilizando imagens de satélite como instrumento de análise.

Com base nisso, os registros de áreas atingidas pelo fogo e a necessidade de se obter dados históricos e especializados, o Sensoriamento Remoto (SR) auxilia na captura das imagens, numa frequência temporal e espacial satisfatória para muitos estudos científicos. Além disso, este permite o acesso remotamente aos locais difíceis, principalmente durante a passagem do fogo em períodos distintos.

Considerando-se que o fogo no Cerrado é um fenômeno cíclico e ocorre principalmente quando existe acúmulo de combustíveis vegetais, sua magnitude e a importância de impactos ecológicos advindos da sua passagem, afetando a fauna e a flora, desperta cada vez mais o interesse por esta temática que aqui vamos chamar “fogo no cerrado”.

Portanto, a importância da pesquisa sobre a dinâmica do fogo e os efeitos sobre a cobertura vegetal, a qual parte do princípio de que a vegetação passa a ser o primeiro elemento ambiental alterado, quando não suprimido.

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar a dinâmica do fogo na área da EESGT entre os anos de 1998 a 2015, utilizando -se de técnicas de SR.

Para atender o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos: analisar a influência dos aspectos climáticos regionais quanto a ação do fogo; identificar e mapear as áreas de ação do fogo através de técnicas de sensoriamento remoto: Focos de Calor; NDVI; Cicatrizes de fogo; e, verificar a recorrência do fogo no período analisado.

### **1.1 Localização e Caracterização da Àreade Pesquisa**

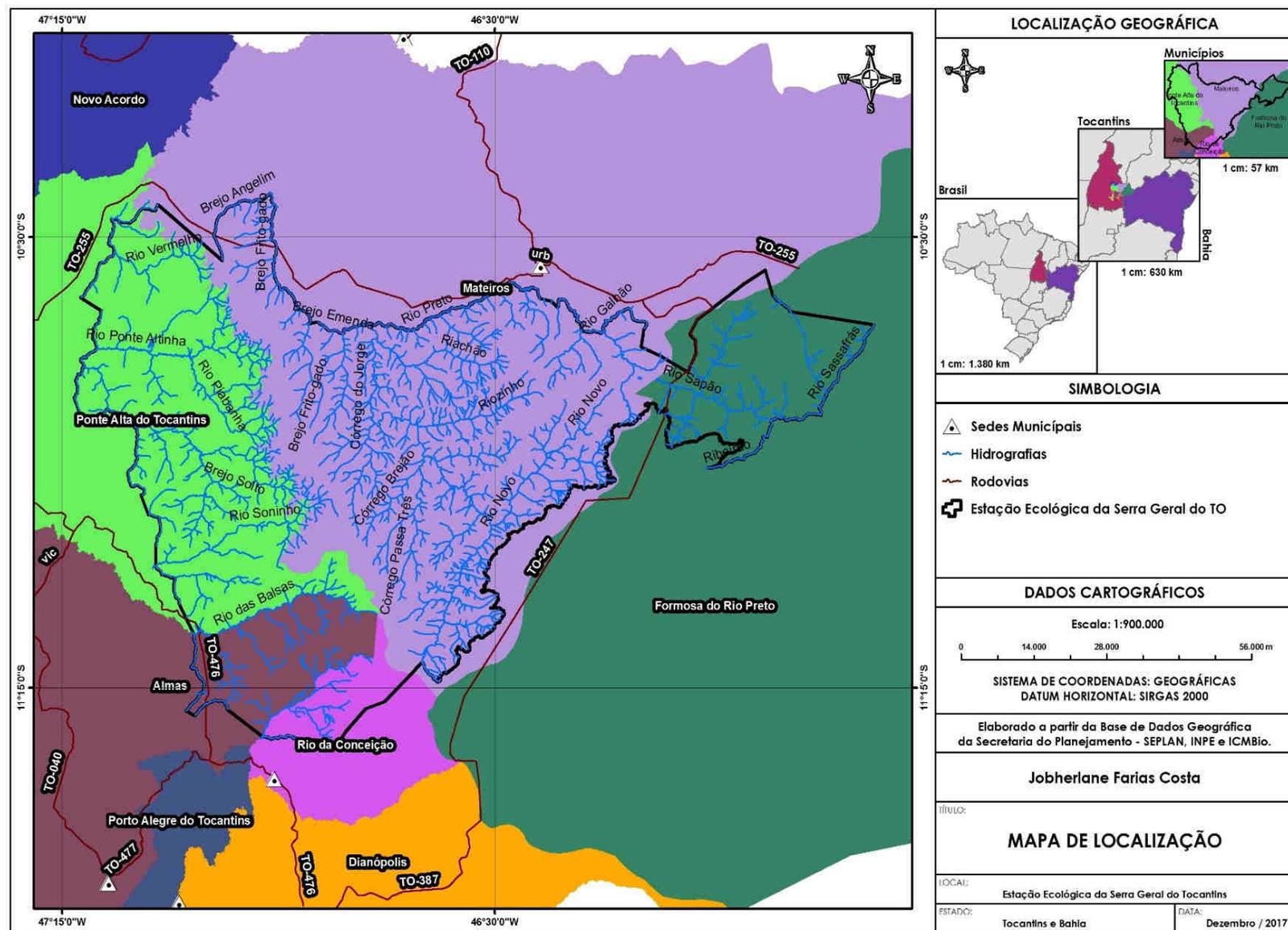
A Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins(EESGT) é uma UC integrante do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) -Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. De acordo com o decreto presidencial, estabelecido em 27 de setembro de 2001, a EESGT foi criada com o objetivo de proteger e preservar amostras dos ecossistemas do cerrado, além de auxiliar no desenvolvimento de pesquisas científicas.

É uma dasUCs maiores do país e sua área perfaz aproximadamente 707.139ha. Dos quais, cerca de 631.598 ha (89,3% da área) ficam no Estado do Tocantins e de 75.541ha (10,7% da área) ficam no Estado da Bahia (CRISTO, 2013)

Sua área estáinserida em grande parte na região sudeste do Tocantins, com abrangência em quatro municípios: Mateiros, Ponte Alta do Tocantins, Almas e Rio da Conceição, além disso, a mesma ultrapassa o limite estadual do Tocantins, com uma pequena porção no extremo oeste Baiano, no município de Formosa do Rio Preto (Figura1 e Tabela 1).

A EESGT é gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com a sede localizada no município Rio da Conceição ao sul da área. De acordo com a divisão regional do Brasil, em mesorregiões e microrregiões geográficas, o nortetocatinense fica na microrregião de Dianópolis e a Baiana na microrregião de Barreiras(IBGE, 2009).

Figura 1-Mapa de localização da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.



Conforme com Plano de Manejo da área, os municípios abrangidos pela EESGT, se diferenciam tanto pela porcentagem da área de cada município na UC como pela porcentagem da área da UC dentro de cada município.

Tabela 1-Municípios na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins

<b>MUNICÍPIOS</b>	<b>ÁREA DOS MUNICÍPIO NA EESGT(%)</b>	<b>ÁREA DA UC NOS MUNICÍPIOS (%)</b>
Almas (Tocantins)	13,36	7,60
Mateiros (Tocantins)	37,26%	50,53
Ponte Alta do Tocantins (Tocantins)	30,42	27,94
Rio da Conceição (Tocantins)	29,00	3,16
Formosa do Rio Preto (Bahia)	4,69	10,75

Fonte:(ICMBio, 2014)

Ressalta-se que a EESGT integra o Corredor Ecológico da Região do Jalapão (CERJ), composto por várias UCs, de proteção integral e de uso sustentável, dentre elas estão: o Parque Estadual do Jalapão (PEJ), a Área de Proteção Ambiental (APA) do Jalapão (UC estadual), a APA da Serra da Tabatinga (UC federal) no Tocantins, e o Parque Nacional (PN) Nascentes do Rio Parnaíba, que abrange os estados do Piauí (PI), Maranhão (MA), Tocantins (TO) e Bahia (BA).

O Cerrado é caracterizado pela presença de invernos secos e verões chuvosos, cujo clima principal é classificado como Aw de Köppen (tropical chuvoso) – clima Aw que coincide com a distribuição da maioria das savanas. As chuvas concentram-se de outubro a março (estação chuvosa) e a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Nota-se uma homogeneidade espacial e sazonal da temperatura, o que não acontece em relação à pluviosidade.

De acordo com a regionalização climática proporcionada pela SEPLAN (2012), que adotou o Método de Thornthwaite, o clima da região onde está inserida a área de pesquisa pode ser caracterizado como Úmido Subúmido, predominando na sua porção norte com uma moderada deficiência hídrica (C2wA´a´´) e na porção sul com uma pequena deficiência hídrica (C2w2A´a`).

É importante caracterizar os Aspectos Climáticos Regionais o qual podem ser descritos de acordo com a caracterização realizada por Leite (2011), a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), são identificados na área dois períodos contrastantes: um marca o período chuvoso da área em questão que vai desde outubro a abril, e outro marca o período seco que são os meses de maio a setembro.

O clima da região onde está inserida a EESGT também pode ser caracterizado como subúmido seco com moderada deficiência hídrica no inverno (C1dA'a'), evapotranspiração potencial média anual de 1.300mm, distribuindo-se no verão em torno de 360mm (SEPLAN, 2008).

Ainda, na região leste do Brasil e conseqüentemente com influências na EESGT visualizaram a Massa Tropical Atlântica (MTA) baseado em Pinto e Souza (2010); Pinto et al., (2010).

A diferenciação climática regional verifica-se pela alternância do predomínio de sistemas de circulação de alta umidade em contraste com a presença de sistemas carentes de umidade (Muller, 2003 citado por ICMBio, 2014)

Assim, sob a influência do Anticiclone do Atlântico Sul, observa-se o tempo estável com tardes quentes e muito secas, em contraste com as madrugadas frescas ou, por vezes, frias. A escassez das chuvas é demonstrada pelo percentual que variam entre 5 e 9% em relação ao total anual médio, com ocorrência registrada de maio a setembro (NATURATINS, 2003).

O clima também tem influência temporal na origem da vegetação do cerrado, pois as chuvas, ao longo do tempo geológico, intemperizaram os solos deixando-os pobres em nutrientes essenciais (WALTER, 2006).

É evidente que a vegetação do Cerrado é condicionada por fatores ligados ao clima, por características físico-químicas do solo, pelo fogo, pela profundidade do lençol freático e mais recentemente, por atividades antrópicas como criação de gado, desmatamento e agricultura (RIBEIRO E WALTER, 1998).

A vegetação do Cerrado é constituída basicamente por dois estratos: o arbóreo/ arbustivo, de caráter lenhoso, e o herbáceo/ subarbustivo, formado pelas gramíneas, outras ervas e pequenos subarbustos (COUTINHO, 1990).

A área de Vegetação distingue-se pela presença de cobertura vegetal natural de Cerrado que se distribui em todos os setores da área de pesquisa, alcançando cerca de 52,5% do terreno que são caracterizadas com base em (RIBEIRO e WALTER, 1998) no Quadro 1.

Quadro 3- Característica da Cobertura Vegetal na EESGT

<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA VEGETAL</b>
Campo Limpo	Apresentam principalmente hábito herbáceo, sendo raros os arbustos e não existem árvores.
Campo Sujo	Vegetação campestre semelhante aos Campos Limpos, mas que apresentam maior densidade de arbustos, os quais, muitas vezes, são constituídos de espécies arbóreas de Cerrado Sentido Restrito.
Cerrado Senso Restrito	Apresenta árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, cuja característica acentuada são as plantas lenhosas com tronco retorcido e de casca de cortiça grossa, com gemas pilosas e folhas rígidas.
Mata de Galeria ou Mata Ciliar	São formações florestais que acompanham córregos e rios de pequeno porte na região do Cerrado onde as copas das árvores das duas margens dos cursos de água são geralmente encostadas formando um corredor. Já a mata ciliar segue os rios de médio e grande porte do cerrado e como as margens dos cursos d'água distantes umas das outras, diferente da mata galeria a vegetação não forma corredores.

Organização: J. F. COSTA, 2018

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o embasamento teórico da pesquisa foram considerados alguns pontos importantes para direcionar a discussão servindo de base conceitual como: Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo da dinâmica do fogo; Aplicação e conceitos básicos do índice de vegetação por diferença normalizada; Incêndios florestais e queimadas no bioma Cerrado, manejo do fogo em Unidades de Conservação da Natureza.

### 2.1 Sensoriamento Remoto Aplicado ao Estudo da Dinâmica do Fogo.

O Sensoriamento Remoto pode ser dividido em dois períodos: um antes do lançamento do satélite russo em 04 de outubro de 1957, período em que a técnica de fotografia aérea era a única opção e a outra, após essa data, em que diversos sensores de satélites foram desenvolvidos (LIU, 2007).

Desde então, o uso e a aplicação de Sensoriamento Remoto (SR) no início da década de 1970, conforme o acesso a computadores, combinado com o desenvolvimento de programas amigáveis e com interface gráfica de fácil compreensão com aplicações cada vez mais interativa.

A definição conhecida ou clássica de Sensoriamento Remoto (SR) é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto, através do uso de imagens órbitas, estes sensores têm papel importante para aquisição dessas informações passíveis de interpretações diversas (MENESES E ALMEIDA, 2012).

Para Rosa (2007) o Sensoriamento Remoto (SR) pode ser definido, de uma maneira ampla, como uma forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo.

Ainda de acordo com o mesmo autor, as informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais, como o radar.

O desenvolvimento do Sensoriamento Remoto (SR) aplicado aos incêndios florestais/queimadas no Brasil originou-se com um trabalho do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realizado na Amazônia com o apoio da National Aeronautics and Space Administration (NASA) em julho de 1985.

Desde então, são produzidos e aperfeiçoados trabalhos nessa linha. As características delineadas através do mapeamento das áreas atingidas pelo fogo através dos sensores orbitais podem registrar quatro tipos de sinais espectrais em vista a ação do fogo, em que o fogo emite radiação perceptível através do canal termal, este canal é utilizado na detecção de focos de calor ativos, registrando a passagem do fogo sobre os locais que estão ocorrendo na hora da passagem do satélite (JUSTICE; MORISETTE; ROY, 2002; SCHROEDER et al., 2014; SETZER; PEREIRA, 1991).

A principal característica ponderada no mapeamento dessas áreas são os sinais deixados pelos resíduos sólidos do carvão (marcas deixadas após a passagem do fogo) e na estrutura da vegetação alterada.

Vale frisar determinados problemas encontrados no mapeamento de queimadas/incêndios florestais por meio de sensores orbitais que vão desde a confusão com alvos com características espectrais similares (ex. sombras, corpos d'água, agricultura, rochas), a permanência do sinal espectral deixado pela deposição das cinzas e da cicatriz na vegetação e a presença de nuvens e sombras nas imagens ( TRIGG; FLASSE, 2001)

Ligados a essas condicionantes que influenciam no grau de discriminação dos alvos terrestre estão: Sistema sensor (resolução espacial); geometria de iluminação (sombra do relevo); ângulo de elevação Solar e condições ambientais (CHUVIECO, 1996).

Com auxílio do Sensoriamento Remoto (SR) estas informações podem ser extraídas através de métodos de análise de dados de SR, os quais se dividem em dois grandes conjuntos: análise digital e análise visual de imagens. O primeiro engloba uma série de técnicas de manipulação numérica de dados, como processamento de imagens digitais, por exemplo o que inclui a análise quantitativa dos níveis de cinza (NOVO, 1992). Já o segundo, depende de outros fatores, a contar da experiência do intérprete. Ambas são complementares em estudos acerca de queimadas, apesar de este último proporcionar maior rapidez e consistência na extração das informações.

Associadas a estas análises, têm-se informações complementares extraídas dos focos de calor que podem validar áreas atingidas pelo fogo. Esta relação foco verso cicatrizes de queimada não é direta nas imagens de satélites. Em muitos casos, um foco implica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 1 km x 1 km até 5km x 4 km (INPE, 2011).

Ainda conforme o INPE (2011), nesta faixa de extensão determinada pelo tamanho do pixel pode haver uma ou várias queimadas distintas que visualmente apresenta como um único foco. Do contrário, se a área for muito extensa, ela será detectada em alguns pixels

vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma grande única queimada. Ainda, é comum uma mesma queimada ser detectada por vários satélites, a ocorrência disso é conhecida como multifocalidade.

Assim, esses dados permitem analisar as tendências nos números de focos de calor. De acordo com INPE (2011), as seguintes condições impedem ou prejudicam muito a detecção das queimadas:

- Frente de fogo com menos de 30 m;
- Fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores;
- Nuvens cobrindo a região (atenção: nuvem de fumaça atrapalha);
- Queimadas de pequena duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis;
- Fogo em uma encosta, enquanto que o satélite faz uma varredura pelo outro lado.

Estas ferramentas estão cada dia mais próximo dos usuários (pesquisadores, profissionais etc.) possibilitando diversas interpretações dos elementos na superfície terrestre, integrando várias áreas e auxiliando ou validando informações de maneira dinâmica e atualizada em escalas distintas.

Em concordância com os autores acima, abordagens quanto à identificação e quantificação de áreas queimadas a partir de dados orbitais podem ser vistas sobre óptica distinta.

O primeiro visa à observação das queimadas no momento em que estão ocorrendo, quando ainda estão ativas, informação extraída na região do infravermelho termal. O segundo ponto de vista, parte da observação das áreas após a ocorrência do fogo mediante a cicatriz deixada no terreno, estas informações extraídas principalmente nas regiões do infravermelho próximo e médio na faixa do espectro eletromagnético (LOMBARDI, 2005).

Pesquisas desenvolvidas em savanas africanas, durante o período seco, indicaram que as imagens orbitais adquiridas e as técnicas empregadas no mapeamento destas áreas eram adequadas para esse tipo de estudo (DESHLER, 1974).

Vale destacar que os dados oriundos de produtos a partir do SR constituem um dos maiores mananciais de informações para SIGs, permitindo a montagem da base de dados espaciais realizadas através de cartas temáticas obtidas direta e indiretamente por este

processo. Além disso, oferecem vantagens que vão desde a correção de informações e a atualização de base de dados (ROCHA, 2000).

Desta maneira, permitem correlacionar os diversos elementos que interagem/interferem em alguns processos decorrentes da ação do ser humano.

Neste sentido, o SR tem papel fundamental, uma vez que possibilita estudar o ambiente terrestre através das interações entre a radiação eletromagnética e substâncias componentes do planeta Terra, ponderando o desempenho espectral de cada alvo para a interpretação dos dados/fenômenos.

O mesmo fornece dados de grandes áreas do solo, em intervalos regulares e constantes com maior rapidez na coleta, armazenamento e análise de dados, além disso, a um custo menor e/ou disponível gratuitamente ao usuário comum (INPE, 2014).

## **2.2 Aplicações e Conceitos Básicos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).**

O geoprocessamento é uma ferramenta importante e tem sido usado para avaliar em alguns casos os impactos causados ao meio ambiente, além de correlacionar estudos ambientais em várias linhas. Com isso, há cada vez mais aprimoramento e adequação de fórmulas de dados remotos, possibilitando obter uma série de informações sobre a superfície.

Dentre estas ferramentas de análise, destaca-se o Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) que são medidas quantitativas, baseadas nos valores digitais, que tentam medir biomassa ou vigor vegetativa. A medição é feita através da combinação de bandas espectrais que podem ser adicionadas, subtraídas, divididas ou multiplicadas de maneira que ao produzir um valor único indique a quantidade ou o vigor da vegetação.

Como resultado das operações utilizando-se o NDVI, o elevado valor de brilho, indica pixel cobertos por uma alta proporção de vegetação sadia. Assim, o NDVI baseia-se no princípio físico da assinatura espectral da vegetação verde, mais especificamente, nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo (GOWARD e MARKHAM 1991)

Os níveis de cinza de uma imagem NDVI, encontram-se escalonados entre 0 -255 (8bits), o que significa que a imagem apresenta diferentes tons de cinza, os quais estão relacionados a valores que podem variar no intervalo entre -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de 1 (um), maior a densidade de cobertura vegetal. O valor próximo de 0 (zero) representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas.

Nesse mesmo sentido Liu (2015), comenta que o objetivo é utilizar os índices de vegetação para condensar as informações espectrais e discriminar o que é vegetação e não vegetação para então avaliar as condições ambientais decrescimento das culturas, ocorrências de doenças, pragas, secas e geadas, e diversos eventos catastróficos meteorológicos.

Diante das diversas finalidades que se pode aplicar o NDVI destacamos as seguintes vantagens:

- a) os dados compactos de NDVI são calculados com os dados de reflectâncias das várias faixas espectrais da energia de radiação eletromagnética;
- b) os valores relativos compensam a variação de intensidade da radiação;
- c) corrigem parcialmente os efeitos das variações locais das condições atmosféricas e das variações de ângulo de visada de sensores e ângulos solares, considerando se esses efeitos na variação da refletância recebida pelos sensores nas bandas que compõem os índices são da mesma magnitude (LIU, 2015).

Este índice tem sido sugerido na literatura com a finalidade de explorar as características espectrais da vegetação, especialmente na região do visível e do infravermelho próximo.

Moreira (2005) descreve que no SR orbital, o NDVI é o índice de vegetação mais empregado na avaliação do vigor da cobertura vegetal. Isso ocorre porque o NDVI está relacionado a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal como biomassa e índice de área foliar, e minimiza os efeitos iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de refletância da vegetação (PONZONI et al 2012).

Em princípio, quanto maior for à densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a reflectância na região do visível, virtude da maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. Em contrapartida, maior será a refletância verificada na região do infravermelho próximo, devido ao espalhamento múltiplo da reflexão eletromagnética nas diferentes camadas de folhas (PONZONI, 2012).

O pré-processamento é uma importante etapa, pois consiste na aplicação dos algoritmos que fazem a correção atmosférica, proposto por Chavez (1988), conhecido comumente de correção atmosférica pelo pixel escuro (ou DarkObjectSubtraction-DOS).

Segundo essa aplicação, em toda e qualquer cena e banda espectral existem pixels que deveriam assumir o valor "0". Seja nas imagens originais com números digitais (NDs), seja naquelas já convertidas para fator de refletância bidirecional aparente FRB (PONZONI et al.,2012).

O mesmo autor descreve que a correção atmosférica é um procedimento feito com objetivo de identificar, em cada banda espectral, quais as quantidades de NDs aparentes ou FRB deveriam ser subtraídas de cada imagem como todo. Com aplicação do método, o resultado final é denominado refletância de superfície, ou seja, assim é possível então, a caracterização espectral através de um gráfico com valores numéricos.

É um método de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica.

Na correção atmosférica é feita subtração dos valores estimados para toda a imagem, assumindo um espalhamento uniforme em toda a cena, o que não é comum acontecer (CHAVEZ, 1988). Etapa essa que antecede a aplicação do NDVI, pois o mesmo é sensível a influência da atmosfera, e sem correção atmosférica os valores assumidos para o NDVI dos alvos de vegetação tendem a ser subestimados.

No entanto, é indispensável fazer a correção atmosférica adequada, caso contrário pode se gerar uma informação que não corresponde à realidade observada em campo. Sendo dispensados os valores originais, ou seja, não servem como referência para a caracterização espectral de objetos.

Visto que as imagens orbitais geradas pelos sensores estão sujeitas a um série de distorções espaciais e radiométrica, que acarretam imprecisões cartográficas, dentre outros efeitos deletérios (DA SILVA, 2008).

Existem outros estudos sendo aplicados em conjunto com outros índices, contudo faz-se necessário o entrosamento das suas especificidades na faixa do espectro eletromagnético como é o caso da Metodologia BAMS (mapeamento de áreas queimadas) que evidenciam diferentes índices sendo aplicado em conjunto, através de algoritmos de detecção automática (com base em um processo de limiar em duas fases com aplicação de vários índices de área queimada), isso através de uma equação simplificada de refletâncias (BASTARRIKA et al 2014).

Segundo estudo desenvolvido por Bastarrika et al (2014) a metodologia BAMS aborda multi - índices (NBR, MIRBI, Gemi, Baim e índice de NDVI, mais as diferenças temporais desses cinco índices). Conforme o mesmo autor, o ponto crucial do algoritmo é a seleção de valores de limiar para cada um dos índices espectrais de entrada, no entanto, ficaremos retidos somente a Análise do NDVI.

Outro modelo bastante utilizado é o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), este é amplamente utilizado por muitos pesquisadores e apresenta resultados consistentes.

A mistura espectral dependendo das características específicas dos alvos do terreno, pode ser linear ou não linear. Esta tem sido considerada desde o início da década de 1970.

O MLME são utilizados para modelar a influência da resposta característica de alvos puros no valor radiométrico de cada pixel, já que este valor possui informações sobre a proporção de solo, vegetação e sombra.

Ponzoni et al (2012) aplicaram em conjunto os índices MLME e o NDVI para a estimar a resposta espectral das áreas mapeadas como queimadas na Floresta Nacional do Tapajós (FNT) no Estado do Pará. Estes autores observaram a aparência de uma imagem de NDVI e de uma imagem Fração-Vegetação (MLME) em uma porção da FNT, relacionando-a com uma composição colorida elaborada com imagens ETM+. Observou-se que as áreas mais escurecidas às classes associadas a pouco biomassa, tal análise foi aprimorada numericamente.

Também na literatura encontram-se muitos trabalhos com a aplicação individual dos algoritmos. Com intuito de mapear áreas queimadas no Parque Nacional das Emas, utilizou-se a fração sombra (MLME) no qual indicou que as áreas queimadas, através da imagem fração sombra tende a reduzir as confusões entre vegetação queimadas e água que são comuns no NDVI (QUINTANO et al,2011).

### **2.3 Incêndios Florestais e Queimadas no Bioma Cerrado**

Embora a descoberta do uso do fogo tenha sido um grande avanço para os seres humanos, com diferentes aplicações ao longo de toda sua história, esse fenômeno tem preocupado o ser humano. Para um melhor entendimento da questão do fogo faz-se necessário a distinção entre os termos “incêndios” e “queimadas”

O termo “incêndio” caracteriza a queima de maneira descontrolada e pode causar diferentes impactos para o meio ambiente assim como para a sociedade; o incêndio florestal pode ocorrer de forma natural, acidental ou criminosa, sendo este último caso, provocado pelo ser humano (FERREIRA, 2006).

As principais causas dos incêndios florestais são: analfabetismo ambiental; fenômenos naturais como raios, combustão natural, efeito lupa; queima de lixo, distúrbios psíquicos (piromania); Extrativismo – extração da flora, extração de madeira, extração mineral e incidentes que se dão na preparação de aceiros, fagulhas de máquinas, rompimento de cabos de alta tensão dentre outros (DIAS, 2007).

Para que isso ocorra, Pereira Júnior (2002) destaca que três condições simultâneas são necessárias para a ocorrência de incêndios em vegetação do Cerrado: disponibilidade de combustível vegetal, condições meteorológicas propícias e existência de fonte de ignição.

De todo modo, a ação do fogo é generalizada ou confundida com as queimadas controladas, que se trata de uma prática agropecuária ou florestal onde seu uso se dá de forma racional e localizada, atuando como um fator de produção ou no manejo de combustível seco (vegetação). De acordo com Ferreira (2006), o termo “queimada” se caracteriza pela queima de maneira controlada e de origem antrópica.

Na ocorrência de incêndios florestais quer sejam urbanos ou florestais, as perdas tornam-se mais evidentes do que qualquer outro benefício. Por ser uma prática agropastoril ou florestal antiga, arraigada culturalmente na mente e nos costumes das pessoas que fazem uso dessa ferramenta (fogo) de forma controlada ou não para viabilizar suas atividades com fins econômicos.

A passagem do fogo, quer seja por queimada ou incêndio florestal, representa uma grande preocupação, pois se de um lado o fogo desempenha um importante papel na manutenção de alguns ecossistemas naturais e artificiais do outro a sua ocorrência de forma descontrolada pode representar uma fonte de perturbação constante, acarretando perdas muitas vezes de difícil mensuração (NUNES, 2005).

Logo, é fundamental desenvolver estratégias apropriadas de manejo, porém a falta de informação sobre os efeitos do fogo são um empecilho (MARVALHAS, 2013).

Nota-se, que uma necessidade por parte do ICMBio - sede de obter dados retroativos quanto a ocorrência e a extensão dessas áreas atingidas pelo fogo a fim de tomarem medidas preventivas, fato que em muitos anos o acesso a esses locais durante a ocorrência são tardios, onerosos e deficientes.

Percebe-se que no Cerrado há necessidade de manejar grandes áreas devido à rapidez da renovação da vegetação após a queima e, conseqüentemente, essas áreas tornam-se propensas a queima novamente em curto espaço de tempo. Em vista disso, criar ferramentas para educar ambientalmente sobre o período e os cuidados que antecedem essa prática torna-se importante.

Então, ações com instituições governamentais em parceria internacional vêm ocorrendo desde 2012 em que vem sendo desenvolvidas estratégias de manejo do fogo, visando melhorar o combate a incêndios e aumentar a integração de ações relacionadas a educação ambiental e alternativas ao uso do fogo.

Com isso, gerar o fortalecimento da gestão das unidades por meio do envolvimento de vários profissionais inseridos nos conselhos consultivos e uma integração com a comunidade local.

#### **2.4 Manejo do Fogo em Unidades de Conservação da Natureza**

De acordo com a lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, a Unidade de Conservação da Natureza (UC) é definida como o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

No Brasil, a partir das décadas de 1980 e 1990 houve uma preocupação com a questão ambiental e conseqüentemente com as UCs. Permeavam na legislação ambiental algumas reformas que visavam maior controle destas áreas, com intuito das mesmas desempenharem seu papel de acordo com o plano de criação (CRISTO, 2013).

Conforme Torquato e Costa (2007), a divisão das Áreas Protegidas no Brasil quanto à tipologia ocorre com a definição das mesmas em: Área de Proteção Permanente (APP); Reserva Legal (RL); Terra Indígena; Área de Reconhecimento Internacional e Unidades de Conservação (UC).

De acordo com Cristo(2013), com o passar dos tempos, o ser humano apropriou-se dos recursos fornecidos pela natureza. Algum tempo atrás essa relação era menos intensa ou menos notada/estudada. Não obstante, na medida em que isso foi crescendo com o avanço das técnicas, ampliou-se também a capacidade de intervenção humana.

No que concerne o fogo provocado pelo ser humano, ações com intuito de minimizar ou prevenir os efeitos do fogo no cerrado são dirigidas por meio de educação ambiental, de leis rigorosas e/ou pela redução dos riscos dos incêndios florestais, mediante a retirada prévia do material combustível e uso de técnicas como: construção de estradas, aceiros, proibição de acesso público a áreas consideradas de riscos, entre outras (LIU, 2007).

Partindo dessa ideia, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) é um programa que combina estudos e pesquisa sobre o fogo como fator ecológico, investigação da origem e causas dos incêndios e elementos de prevenção, supressão ou combate e uso do fogo. Sua escala de abrangência pode ser nacional, regional ou mais reduzida, contemplando apenas uma unidade de conservação (IBAMA, 2016).

O MIF faz parte do Projeto “Prevenção, Controle e Monitoramento de Queimadas Irregulares e Incêndios Florestais no “Cerrado”, conhecido como Cerrado Jalapão, fruto de um acordo entre o Brasil e a Alemanha, por meio de seus parceiros institucionais (PEREGRINI, 2014).

O projeto é desenvolvido em áreas piloto, que após testes passam por uma reavaliação dos fatores de êxito para atingir os resultados pretendidos do projeto e conseqüentemente, as hipóteses de impactos (PEREGRINI, 2014).

O objetivo principal da aplicação é mapear as áreas tendenciosas a queima e antecipar a passagem do fogo sendo conhecido como fogo precoce, aplicado no final da estação chuvosa ou início da estação seca, em vista às condições climáticas serem mais favoráveis, ao controle do mesmo, além disso, a severidade advinda da passagem do fogo considerada mais baixa (PEREGRINI, 2014).

Já que é comum a realização da queima no auge do período seco, ou sem nenhum planejamento, fato que apresentava grande acúmulo de biomassa, e que resultava em incêndios florestais de alta intensidade e severidade e de difícil controle.

No entanto, agora a aplicação do fogo nestas áreas faz-se necessário um planejamento detalhado das áreas a serem queimadas, com intuito de proteger áreas prioritárias para conservação da biodiversidade e nascentes, realizado conjuntamente com equipe de brigadistas, agricultores e comunidades residentes no interior e entorno das áreas elegidas (ICMBio, 2012b)

Esses instrumentos contribuem para evitar a ocorrência e diminuir impactos provocados por incêndios florestais, onde acúmulo de biomassa seca (palha) cria condições favoráveis ao fogo, que ao menor descuido com o seu uso poderão causar incêndios rigorosos com difícil possibilidade de cerceamento (MMA, 2014).

Segundo Peregrini (2014) a proposta visou elaborar um plano de queimadas na região para que as áreas mais propícias ao fogo sejam queimadas em períodos mais amenos e com o devido controle, sendo chamada de queimada prescrita.

Nesse sentido, o MIF é uma forma de visualizar esse elemento em dois aspectos: positivo e negativo. De forma positiva, o MIF pode ser o caminho adequado para aliar a conservação dos ecossistemas com a subsistência daqueles que dependem do uso do fogo, como a limpeza de pastagens e rebrota do capim dourado. Porém, negativamente, quando este sai do controle e toma áreas próximas a nascentes, rios e serras causando prejuízos à biodiversidade (PEREGRINI, 2014).

Em um contexto mais amplo, entende-se que o fogo incorpora as dimensões ecológicas, sociais, econômicas e culturais, ou seja, em diversas escalas. Esse motivo faz com que o manejo adequado do fogo em áreas protegidas de cerrado venha constituir-se um eficiente meio para a conservação dos ecossistemas, da saúde pública, flora e da fauna.

### 3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS

De maneira geral, os procedimentos técnicos e metodológicos demonstram o uso de técnicas de Sensoriamento remoto aplicadas a ação do fogo que envolvem os Aspectos Climáticos Regionais, os Focos de Calor, as Cicatrizes de Fogo, o NDVI e a Recorrência do Fogo.

#### 3.1 Levantamento de Materiais Bibliográfico e Cartográfico

O material bibliográfico foi adquirido através de consulta, leitura e seleção de bibliografias relacionadas à EESGT e a temática em questão. Entre as referências levantadas, podem ser destacadas pesquisas e trabalhos desenvolvidos em âmbito nacional, sobre o cerrado e pontualmente, na região do Jalapão, local onde se encontra a área de pesquisa.

O material Cartográfico foi obtido junto aos órgãos públicos dentre estes estão: Secretária de Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins (SEPLAN), Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército (DSG), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre outros.

Materiais cartográficos utilizados como cartas topográficas (Tabela 2), mapas temáticos e imagens de satélites, dados de precipitação e temperatura, além de dados vetoriais compilados da base de dados disponibilizados por Cristo (2013).

A área de pesquisa perfaz parcialmente 11 folhas topográficas de maneira específica.

Tabela 2- Identificação das folhas topográficas que perfazem a área de pesquisa

AUTOR	NOME DA FOLHA	NOMENCLATURA DA FOLHA	DATA
DSG	Mata Nova	SC. 23-Y-A-V	1977
IBGE	Mateiros	SC.23-Y-B-IV	1981
IBGE	Rio da Conceição	SC. 23-Y-C-III	1980
DSG	Rio das Pratas	SC. 23-Y-B-I	1980

<b>AUTOR</b>	<b>NOME DA FOLHA</b>	<b>NOMENCLATURA DA FOLHA</b>	<b>DATA</b>
DSG	Rio Sapão	SC.23-Y-B-V	1980
DSG	Rio Soninho	SC. 23-Y-A-II	1977
DSG	Serra da Jalapinha	SC.23-Y-A-III	1980
IBGE	Serra da Tabatinga	SC.23-Y-B-II	1980
IBGE	Serra do Cinzeiro	SC.23-Y-A-VI	1980
DSG	Serra Negra	SC. 23-Y-C-II	1977

Organização: J. F. COSTA, 2018

### **3.2 Trabalhos de Campo**

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos conforme etapas realizadas da pesquisa. Inicialmente, foi feita uma visita a sede da EESGT no dia 05 de outubro de 2016, no município de Rio da Conceição para discussão e apresentação do projeto de pesquisa a ser desenvolvido com apoio, conforme interesse do órgão e da pesquisadora.

Após a liberação da licença para pesquisa, em outubro de 2017 foi realizado um segundo trabalho de campo para o reconhecimento da área, análise dos locais com cicatrizes de fogo com ações do fogo, bem como locais atingidos por incêndios florestais.

Este auxiliou na identificação das características conferida as áreas atingidas pelo fogo, assim como os diferentes estágios das cicatrizes de queima com base na recomposição da vegetação que anteriormente foram visualizadas nas imagens de satélites.

Na ocasião, foram observados ações de combate a incêndios florestal “in locu”, feita pela equipe de brigadistas do ICMBio-sede da EESGT, ou seja, acompanhou-se ações em campo quando estava ocorrendo um incêndio florestal em área de vereda.

Entre os locais visitados na UC estão a cachoeira da Fumaça, a Mata da Lagoa Espreadada, a Lagoa Espreadada, a borda da Serra da Muriçoca, o Morro do Fumo, entre outros. Além disso, foi possível conhecer alguns instrumentos utilizados pelos brigadistas (sede - EESGT) no combate aos Incêndios Florestais, a exemplo das bombas de água e dos abafadores (Figuras 2A e 2B).

Figura 2- Instrumento de combate ao Fogo na EESGT

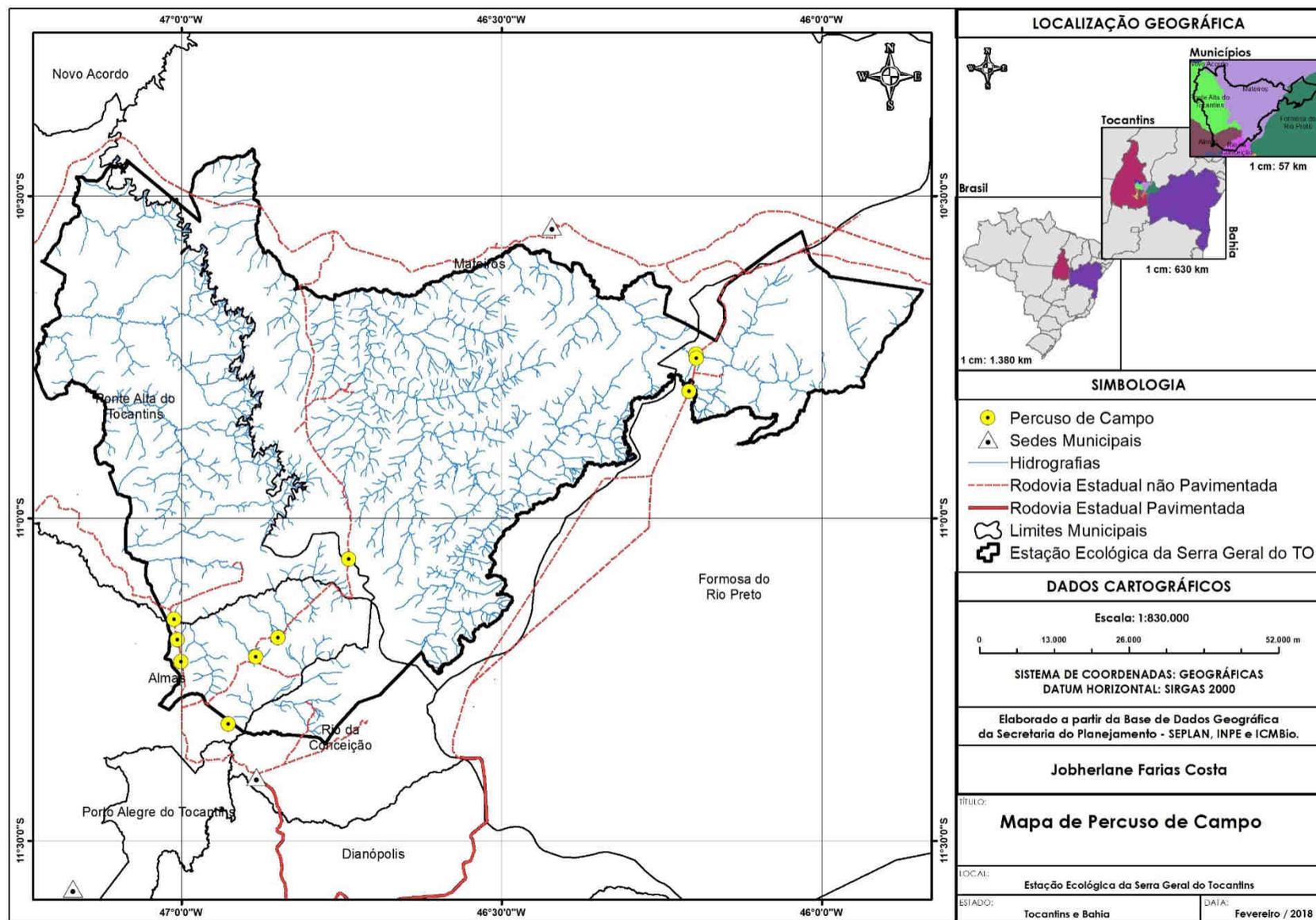


Fonte: Cristo, outubro de 2017

Em campo foram observados alguns pontos específicos que apresentavam sinais da ação do fogo sobre a cobertura vegetal nos mais diferentes estágios. Locais estes, que após identificados, foram mapeados, descritos e fotografados in locu (Figura 3).

Também houve aferições de materiais cartográficos preliminares que foram pré-editados em laboratório. Utilizou-se como apoio, um receptor de navegação do sistema GPS e uma máquina fotográfica digital.

Figura 3 - Pontos de observação da Ação do Fogo em trabalhos de campo na EESGT



### 3.3 Trabalhos de Laboratório

De maneira geral, os trabalhos de laboratório foram desenvolvidos em cinco etapas que seguiram a metodologia adotada na pesquisa. Na primeira etapa houve a caracterização geral dos Aspectos Climáticos Regionais adquiridos juntos ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); na segunda, foi realizado o mapeamento de focos de calor obtidos juntos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do banco de dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC); a terceira, com o índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com base em imagens de satélites; na quarta etapa, o Mapeamento das Cicatrizes de Fogo através da classificação supervisionada das imagens de satélites; e, a quinta etapa foi aplicado o Índice de Recorrência de Queimada (IRQ), com base no mapeamento da ação do fogo no período analisado entre 1998 a 2015.

#### 3.3.1 Caracterização dos Aspectos Climáticos Regionais

A caracterização geral de aspectos climáticos regionais foi realizada com intuito de analisar as variáveis definidas na pesquisa, temperatura e precipitação, que possibilitassem a investigação da ação do fogo na área de pesquisa.

Cabe ressaltar, que primeiramente, foi necessário a definição do período de análise temporal da dinâmica do fogo, antes, durante e depois da criação da UC (2001). Deste modo, o ano base de início da análise foi 1998 (antes da criação da UC) devido a disponibilidade de dados de focos de calor pelo BD- Queimadas/Inpe, a partir de junho de 1998, e o ano base do final da análise foi 2015, para a observação das imagens de satélites recentes.

Ainda destaca-se, que as variáveis climáticas utilizadas na referida definição foram temperatura e precipitação, considerando que as mesmas possuem relação direta com a ação do fogo, objeto de pesquisa.

Diante das dificuldades encontradas devido a ausência dos dados de interesse nas estações meteorológicas convencionais próximas a área de pesquisa, a busca se concentrou nas estações que apresentavam o maior número de dados possíveis e suficientes para a pesquisa, pois, recomenda-se a utilização de um período de pelo menos 10 (dez) anos e com ao menos 50% dos dados disponíveis ao longo desse período (TABONY, 1983).

Levando em consideração esse critério, os aspectos climáticos regionais tiveram como base os dados obtidos juntos as estações meteorológicas mais próximas da área, sendo estas: Alto Parnaíba; Barreiras, Correntina, Porto Nacional e Taguatinga (Tabela 3 e Figura 4).

Tabela 3- Localização das Estações meteorológicas utilizados na pesquisa.

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>
ALTO PARNAÍBA/MA	09° 06' 00" s	45° 55' 48" w
BARREIRAS/BA	12° 09' 00" s	45° 00' 00" w
CORRENTINA/BA	13° 19' 48" s	45° 00' 00" w
PEIXE/TO	12° 00' 36" s	48° 21' 00" w
PORTONACIONAL/TO	9° 06' 00" s	45° 55' 48" w
TAGUATINGA/TO	12° 24' 00" s	46° 24' 36" w

Organização: J. F. COSTA, 2018

Os arquivos com dados meteorológicos foram extraídos do Banco de Dados Meteorológicos de Estudos e Pesquisa (BDMEP) em formato '.txt' logo em seguida foram convertidos em formato '.xls' para serem abertos no software Excel® de modo a se obter uma planilha.

Na planilha, a primeira coluna apresenta os valores das abscissas (escala de tempo) e na segunda, os valores registrados de cada variável selecionada: temperatura e precipitação. Na sequência, aplicou-se a média aritmética simples (MA) entre cada ano e as variáveis para cada estação.

De maneira geral, pode-se observar uma síntese dos procedimentos para a definição dos anos de análise na Figura 5.

Figura 4- Estações meteorológicas utilizadas na pesquisa

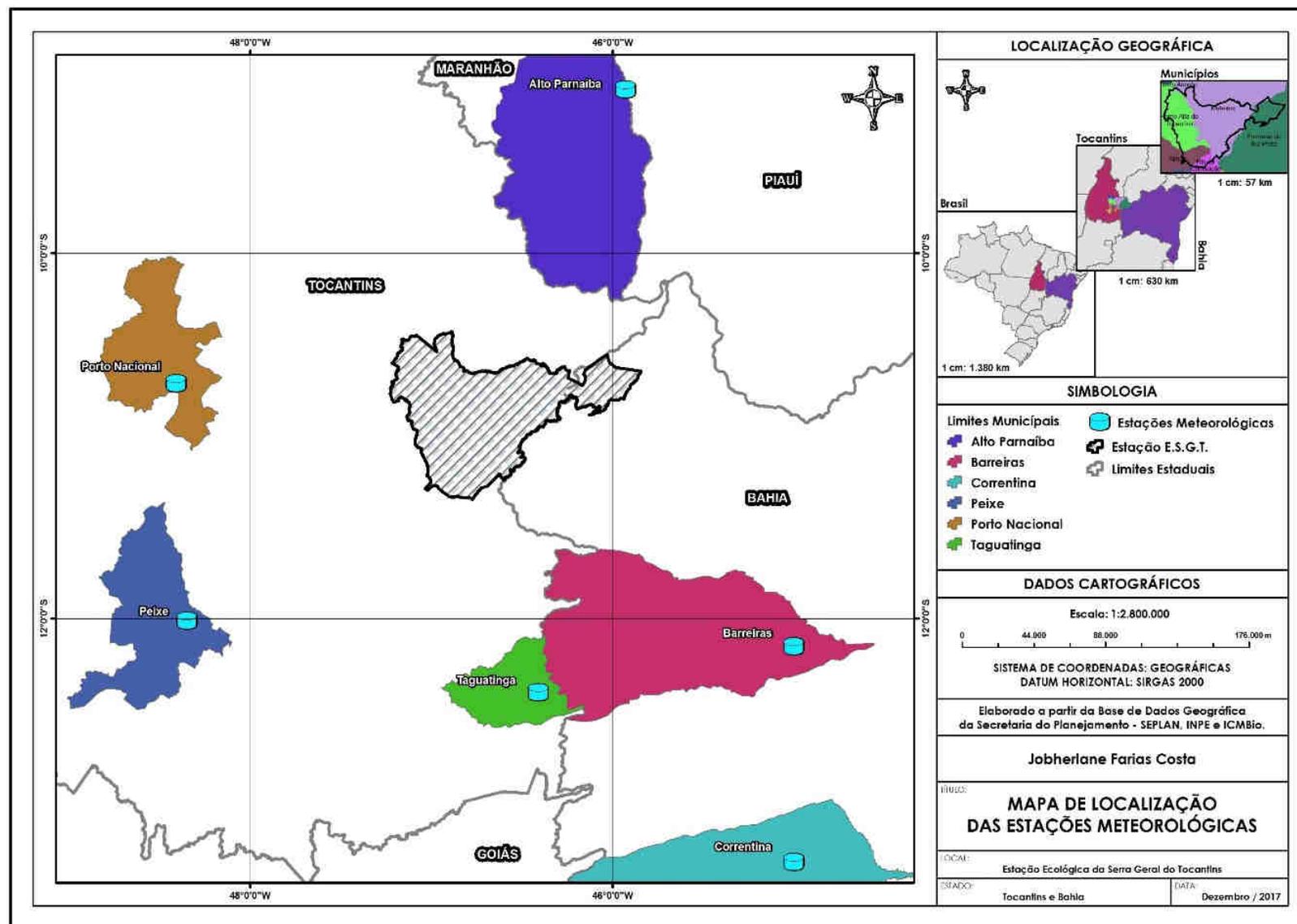
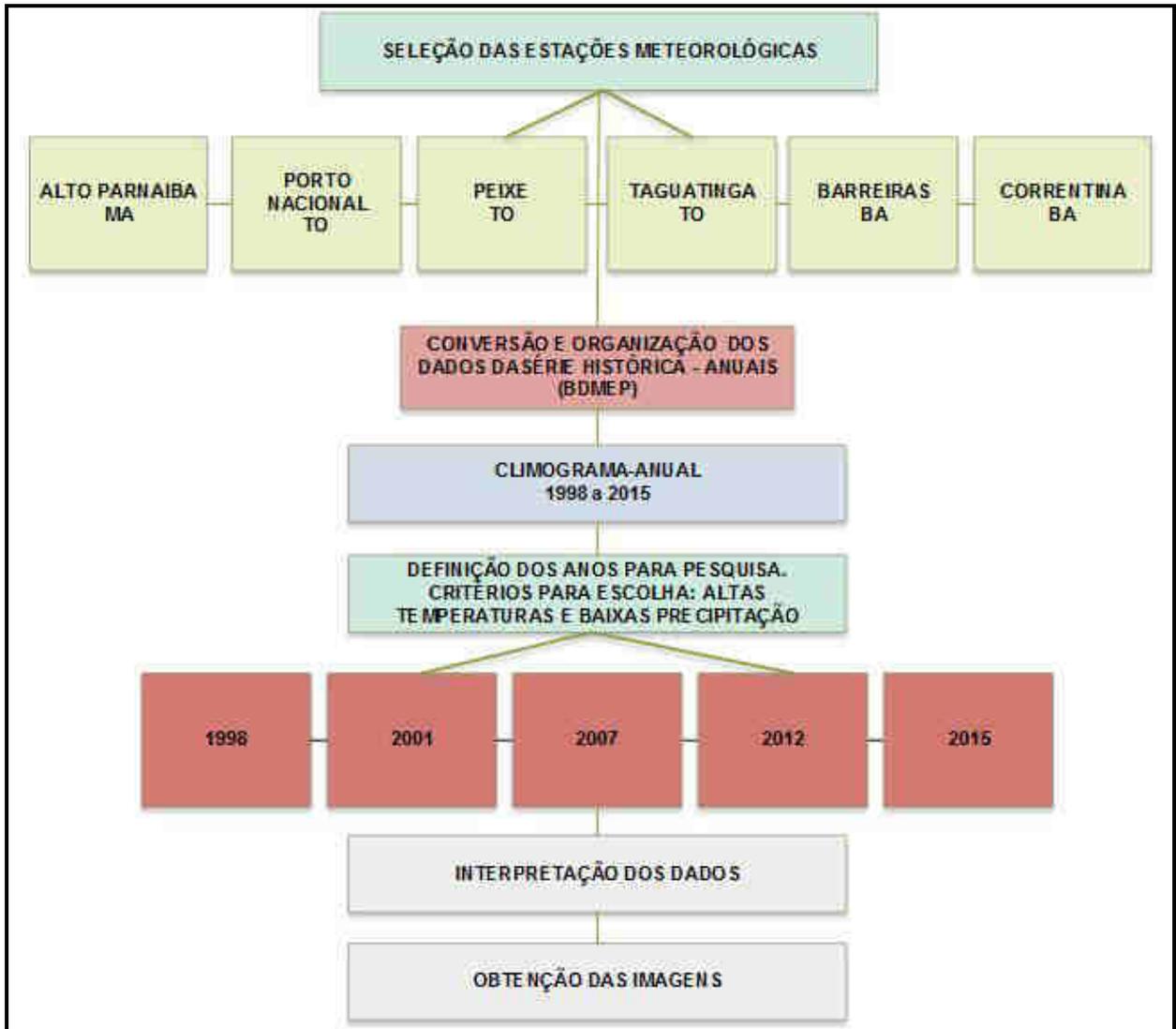


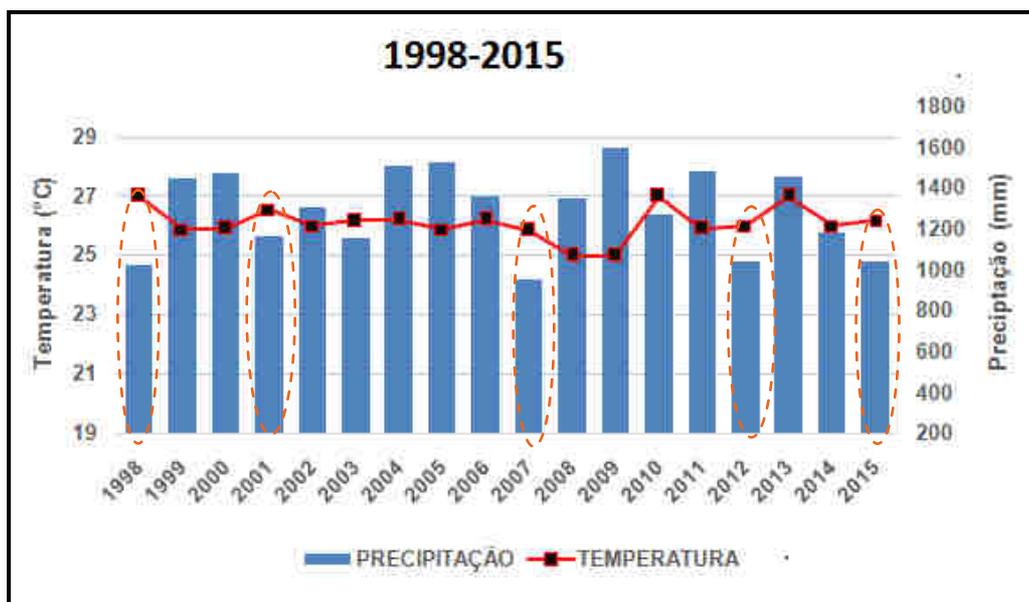
Figura 5 -Procedimentos adotados na definição dos anos de análise da ação do fogo



Organização: J. F. COSTA, 2018

As informações obtidas permitiram a identificação do período - temporal de análise da dinâmica do fogo nos anos de 1998, 2001, 2007, 2012 e 2015 (Gráfico 1).

Gráfico 1- Climograma Anual ( anos de 1998 a 2015)



Organização: J. F. COSTA, 2018

Com base na definição dos anos de análise, fez-se a escolha das imagens de satélites correspondentes, tendo-se como base o período seco devido a ser a época propícia a ocorrências de incêndios florestais/queimada. A partir de então, foram selecionadas as imagens em formato digital junto ao United States Geological Survey (USGS) disponíveis gratuitamente (Tabela 4).

A seleção das bandas espectrais e a composição colorida (5R, 4G, 3B) do satélite Landsat5 foi definida em função de suas especificidades, a saber: a banda 5 (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ , infravermelho médio) apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas e permite a observação do stress vegetal; a banda 4 (0,78 a 0,90  $\mu\text{m}$ , infravermelho próximo) possui alta absorção dos corpos d'água e alta reflexão da vegetação verde, sensibilidade à rugosidade do dossel e da geomorfologia; banda 3 (0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ , vermelho) a vegetação verde densa e uniforme, apresenta grande absorção, também permite o contraste entre as áreas ocupadas e a vegetação (INPE, 2008).

Tabela 4- Características das imagens e Sensores utilizados na pesquisa

SATÉLITE SENSOR	COMPOSIÇÃO FALSA COR	ÓRBITA/ PONTO	DATAS DE AQUISIÇÃO	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)
<b>LANDSAT-5</b> Sensor TM	5R, 4G, 3B	220-067 220-068 221-068 221-067	15/09/1998 15/09/1998 06/09/1998 22/09/1998	30
<b>LANDSAT-5</b> Sensor TM	5R, 4G, 3B	220- 067 220-068 221-068 221-067	07/09/2001 07/09/2001 28/07/2001 12/09/2001	30
<b>LANDSAT -5</b> Sensor TM	5R, 4G, 3B	220-067 220-068 221-067 221-068	24/09/2007 24/09/2007 01/10/2007 01/10/2007	30
<b>RESSREOURSAT</b> SensorLISS III	4R, 3G,2B	328-084 329-084	29/07/2012 03/08/2012	23,5
<b>LANDSAT- 8</b> Sensor OLI	6R, 5G,4B	220-067 220-068 221-067 221-068	14/09/2015 14/09/2015 05/09/2015 05/09/2015	30

Organização: J. F. COSTA, 2018

Vale destacar que devido a indisponibilidade de imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, nos anos de 2012 e 2015, foram utilizadas as imagens dos satélites Resourcesat, Sensor LISS-III e Landsat 8 sensor OLI, respectivamente.

Apesar das resoluções espaciais dos sensores (LISS III e TM) serem diferentes, estudos comparativos demonstram que o sensor LISS III pode ser utilizado como complemento ou em substituição aos dados TM, levando em consideração uma diferença média menor que 20% entre as refletâncias de superfície recuperadas pelas bandas espectrais equivalentes aos dois sensores (BERRA et al, 2013).

### 3.3.2 Mapeamento dos Focos de Calor

Para realização do mapeamento dos Focos de Calor, utilizou-se como base os registros feitos pelos satélites meteorológicos NOAA-12, sensor AVHRR de passagem noturna e o AQUA M-T, sensor Modis de passagem vespertino (Tabela 5).

Nos anos de 1998 e 2001, utilizou-se os dados do satélite NOAA-12 e nos anos de 2007, 2012 e 2015 do satélite AQUA e TERRA. Satélites estes, que operam na faixa do infravermelho, conhecidos como satélites de referência (INPE, 2011).

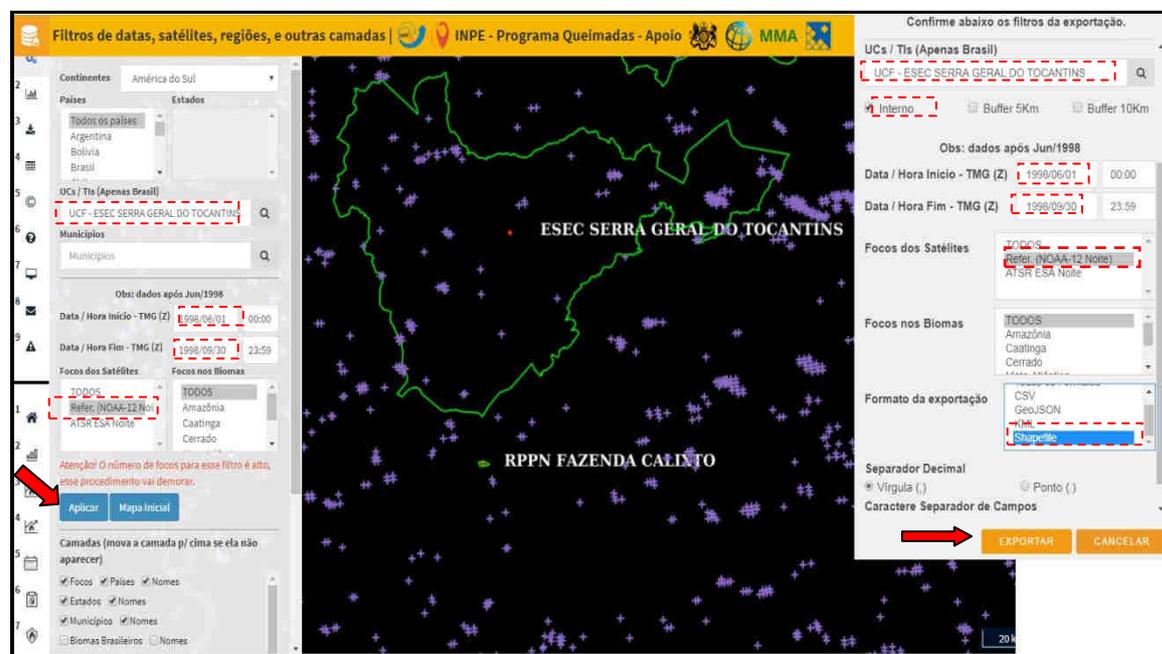
Tabela 5- Características dos satélites utilizados no mapeamento dos Focos de Calor

SATÉLITES	ÓRBITA	RESOLUÇÃO ESPACIAL(Km)	RESOLUÇÃO TEMPORAL(dia)	CANAL TERMAL BANDA/INTERVALO ESPECTRAL
AQUA/TERRA	Polar	1	2	20(3,66-3,84 $\mu\text{m}$ )
NOAA-12	Polar	1,1	2	3 (3,55-3,93 $\mu\text{m}$ )

Organização: J. F. COSTA, 2018

Os dados sobre os focos de calor são disponibilizados pela divisão de processamento de imagens do INPE-BD/Queimadas a partir de junho do ano 1998. O link para obtenção dos dados é <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/> e o menu inicial de extração pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 -Página de coletade dados (Focos de Calor) no site do BD- queimadas/INPE



Organização: J. F. COSTA, 2018

Na sequência, para facilitar a visualização das informações, os dados geoespaciais foram organizados por ano, em uma única base de dados, o das informações. A abordagem permeou o período de seca referente aos meses de junho, julho, agosto e setembro para cada ano.

Buscou-se as imagens orbitais conforme o período estabelecido levando como critério de escolha as imagens com melhor qualidade e menor cobertura de nuvens e fumaça.

Após a compilação dos dados vetoriais com focos de calor no software QGIS, sobrepostos sobre o mosaico de imagens de satélite da área de pesquisa, iniciando-se então o processo de interpretação das informações e geração do mapa de densidade de Focos de calor através do estimador Kernel.

Com base em Beato (2008) o uso do algoritmo estatístico para geração do mapa de Kernel de densidade de Focos podem ser resumidos da seguinte maneira:

- Criar uma grade sobre o mapa a ser analisado;
- Para cada ponto da grade, identifica-se os pontos que estão a uma distância menor ou igual ao raio do círculo centrado nele;
- Para cada ponto encontrado dentro do círculo, calcula-se a função kernel nesse ponto e acumula o resultado;
- O resultado da soma acumulada é o Kernel do ponto da grade.

De modo geral, o estimador de densidade kernel desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência ( $r \geq 0$ ), e então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, de 0, na fronteira da vizinhança, local este conhecido como “alisamento” da superfície gerada. O valor para cada célula é a soma dos valores kernel sobrepostos e divididos pela área de cada raio de pesquisa (SILVERMAN, 1986).

Com isso, pode-se verificar a intensidade pontual do processo em toda área de estudo, ou seja, os locais com maior agrupamento desses focos de calor e, por sua vez, identificar as áreas críticas.

A classificação adotada para o mapeamento dos focos de calor foram: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Entretanto, o objetivo da análise de kernel é obter estimativa suavizada da densidade de focos de calor no local através da exposição de uma superfície contínua de dados amostrais.

Esta etapa foi realizada no software QGis através do menu Raster> Mapa de Calor > Mapa de Calor, gerando um arquivo matricial, em seguida foi feita uma renderização “Banda simples falsa cor” o que gerou um novo mapa de cores, possibilitando assim, a interpretação.

### 3.3.3 Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Conforme descrevem Novo (2008) e Jensen (2009), o pré-processamento consiste na aplicação de diferentes rotinas de tratamento digital de imagem de satélite. Sendo assim, os procedimentos metodológicos permeiam ações que podem ser sintetizadas em três principais etapas: pré-processamento (correção atmosférica, correção geométrica), realce, classificação ou processamento.

Após este pré-processamento, realizou-se a aplicação do NDVI, no qual consiste em delinear o comportamento espectral das imagens de satélite.

A variação do NDVI é calculada pela Equação 1 descrita matematicamente abaixo:

$$NDVI = \frac{(IVP - Ver)}{(IVP + Ver)} [Eq. 1]$$

Onde,

IVP: Reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

VER: Refletância da vegetação na banda do vermelho.

Nesta equação, as bandas usadas na composição são a b4 e b3 que representam as refletâncias nas bandas 4 na faixa do infravermelho próximo (IVP) (0,72 a 1,10  $\mu$ m) e 3 na faixa do vermelho do espectro visível (VER) com (0,63 a 0,70  $\mu$ m). do sensor TM/Landsat, respectivamente.

Os índices de vegetação são obtidos das várias combinações matemáticas das refletâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética (LIU, 2015).

A escala de medida do NDVI varia no intervalo de -1 a +1, onde os valores positivos indicam aumento da vegetação, enquanto o zero e valores negativos indicam áreas sem vegetação (JENSEN, 2011).

Assim, o NDVI tem como objetivo básico reduzir o volume de dados a ser analisado e redistribuir a informação espectral entre as novas principais componentes (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Esta etapa foi desenvolvida no software QGis versão 2.14.13 através no menu Raster no submenu Calculadora Raster, onde aplicou-se a equação matemática do NDVI (equação 1), gerando um arquivo matricial. Em seguida, aplicou-se uma paleta de cores (estilo de Banda) para melhor visualização dos resultados, ou seja, áreas com ou sem vegetação.

### 3.3.4 Mapeamento das Cicatrizes de Fogo

Nessa etapa foi realizado o contraste das imagens de satélite, que consistiu no melhoramento das características desta, sob critérios subjetivos ao olho humano, através da manipulação/equalização do histograma no ArcGIS® sobre a composição colorida da imagem, o que aumenta a possibilidade de discriminação visual entre os objetos.

Por conseguinte, realizou-se a seleção e caracterização das classes de cicatrizes de fogo através da interpretação visual das imagens de satélite dos anos de 1998; 2001; 2007; 2012 e 2015. Houve a validação do mapeamento das cicatrizes de fogo através da comparação do mapeamento de cicatrizes de fogo realizado por Cristo (2013) e ICMBio (2014) do ano de 2007. Além disso, houve aferição dos locais com cicatrizes atuais para comparar com o ano de 2015.

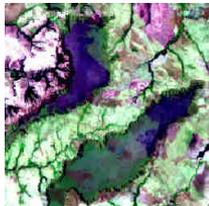
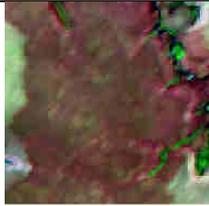
O Mapeamento das cicatrizes foi feito de maneira semi-automático/classificação supervisionada (Maximum Likelihood), na medida em que identificava-se erros na classificação, ampliava-se o número de polígonos de amostras (treinamento), com intuito de corrigir as distorções na classificação.

As amostras de treinamento das classificações foram geradas considerando-se três classes distintas: cicatrizes tardias, cicatrizes de fogo precoce e área com vegetação (Tabela 6). Uma síntese das etapas podem ser visualizadas.

Estas composições ajudaram a delinear a presença da vegetação na área de pesquisa, as quais apresentavam variação de coloração entre verde clara a verde escura. Isso, de acordo com o tipo de cobertura vegetal, nas áreas previamente atingidas pelo fogo, em até 60 dias, a coloração varia do preto ou roxo escuro ou magenta, dependendo da intensidade do fogo e do tipo de solo (GRANADO et al, 2015 citado por RIBEIRO, 2016).

Com base nisso, foram feitos os mapas de cicatrizes de fogo dos anos de 1998, 2001, 2007, 2012 e 2015. Esta etapa foi auxiliada pela elaboração de chaves de interpretação (Tabela 6) para cada uma das classes. Nestas chaves foram analisados os elementos de interpretação: cor, tamanho, forma, localização e textura e proximidades com os focos de calor.

Tabela 6 - Descrição das Chaves de interpretação de ação do Fogo

CLASSE	DESCRIÇÃO	AMOSTRA
Cicatrices Tardia	Área atingidas durante o período seco	
Cicatrices Precoce	Área atingidas antes do período seco	
Área sem queima	Área com vegetação	

Organização: J. F. COSTA, 2018

Os vetores foram extraídos a partir da inspeção e análise visual sobre a classificação supervisionada, em seguida, foram correlacionados com os resultados obtidos na aplicação do índice de vegetação numa sobreposição dos dados com intuito de estabelecer-se o intervalo espectral das áreas atingidas pelo fogo através da aplicação dos modelos.

Em seguida, com o intuito de avaliar a qualidade das amostras coletadas, e conseqüentemente a qualidade da classificação das imagens, realizou-se a validação do mapeamento de cicatrizes do através do Índice Kappa.

O índice kappa é considerada uma técnica de análise multivariada discreta eficaz, utilizada para medição e comparação de mapas temáticos oriundos das classificações de imagens (CONGALTON e GREEN, 1999).

Nesta aplicação do Índice Kappa, realizou-se uma coleta de amostras sobre as composições coloridas, por meio de pontos de referências (Quadro 2), que no formato vetor foram convertidos para o formato raster, para então serem combinados aos arquivos das assinaturas geradas na classificação.

Quadro 4- Pontos de Referência

Classes	1998	2001	2007	2012	2015
Fogo Precoce	121	117	78	41	230
Fogo Tardio	88	287	190	34	83
Vegetação	107	305	158	73	174
Total de amostras	316	709	426	148	487

Organização: J. F. COSTA, 2018

Na sequência, dessa combinação, gerou-se uma tabela matriz com os valores obtidos do cruzamento entre os arquivos rastes da classificação e os arquivos convertidos para rasters de pontos de referencia.

Posteriormente, foram aplicados aos valores do índice kappa (equação 2) e da exatidão global (equação 3), com objetivo de descrever e testar o grau de concordância (confiabilidade e precisão) obtidos na classificação.

Equação Kappa é:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad [\text{Eq. 2}]$$

K= Coeficiente Kappa de Concordância;

N=o número total de observações;

r = número de linhas ou colunas da matriz de confusão;

x<sub>ii</sub>, o número de observações na linha i e coluna i (diagonal da matriz de confusão);

x<sub>i+</sub>=∑x<sub>ij</sub>, a soma dos valores da linha i;

x<sub>+i</sub>=∑x<sub>ji</sub>, a soma dos valores da coluna i;

No que diz respeito a avaliação de concordância entre as observações, o índice Kappa é uma medida estatística amplamente aceita Brennan et al (1992). Vale frizar que este expressa probabilidade e não porcentagem (LANDIS et al, 1977).

Para o cálculo da Exatidão Global foi usada a equação:

$$EG = \frac{A}{N} \text{ [Eq. 3]}$$

N

Onde,

EG= Exatidão Global;

A= Acerto Geral (Pontos amostrais com acertos);

N= Números de pontos amostrais.

O nível de concordância demonstrado através do valor do índice Kappa, quando for igual a zero, infere que os acertos do classificador foram por acaso; se o valor de for maior que zero, denota-se que os acertos não foram por acaso; se o valor de for menor que zero, significa que os acertos do classificador são piores do que uma classificação por acaso; e se o valor for igual a um, significa que a classificação foi perfeita (COHEN 1960).

Sendo assim, na Tabela 7 é possível visualizar os valores admitidos para o índice Kappa e seus respectivos níveis de concordância.

E, através do coeficiente Kappa, quantificou-se a concordância entre as escolhas de amostras realizadas e a escolha feita de forma aleatória, incluindo neste cálculo um fator que subtrai a interferência do acaso, assim indicando a probabilidade que um pixel classificado na imagem de fato representar aquela categoria no campo.

Tabela 7 -Valores adotado para o índice Kappa com respectivo nível de Concordância.

<b>VALOR DE KAPPA</b>	<b>NÍVEL DE CONCORDÂNCIA</b>
< 0,20	Péssimo
>0,20 e < 0,40	Razoável
>0,40 e < 0,60	Bom
>0,60 e < 0,80	Muito bom
>0,80 e < 1,00	Excelente

Fonte: Cohen, 1960

Os valores de índice Kappa e a Exatidão Global encontrados, demonstraram que a obtenção dos resultados com a classificação supervisionada foi satisfatória.

O ano de 1998 foi o ano que obteve melhor resultado em relação a Exatidão Global com 96,26 (%) e índice kappa de 0,96. Já o ano de 2001, obteve a de Exatidão Global de 97,12 (%) e Índice Kappa de 0,95, ambos classificados de acordo com literatura como excelentes. De maneira geral, os valores atingidos pela Exatidão Global e Índice kappa de anos analisados estiveram resultados entre muito bom e excelente (Tabela 8).

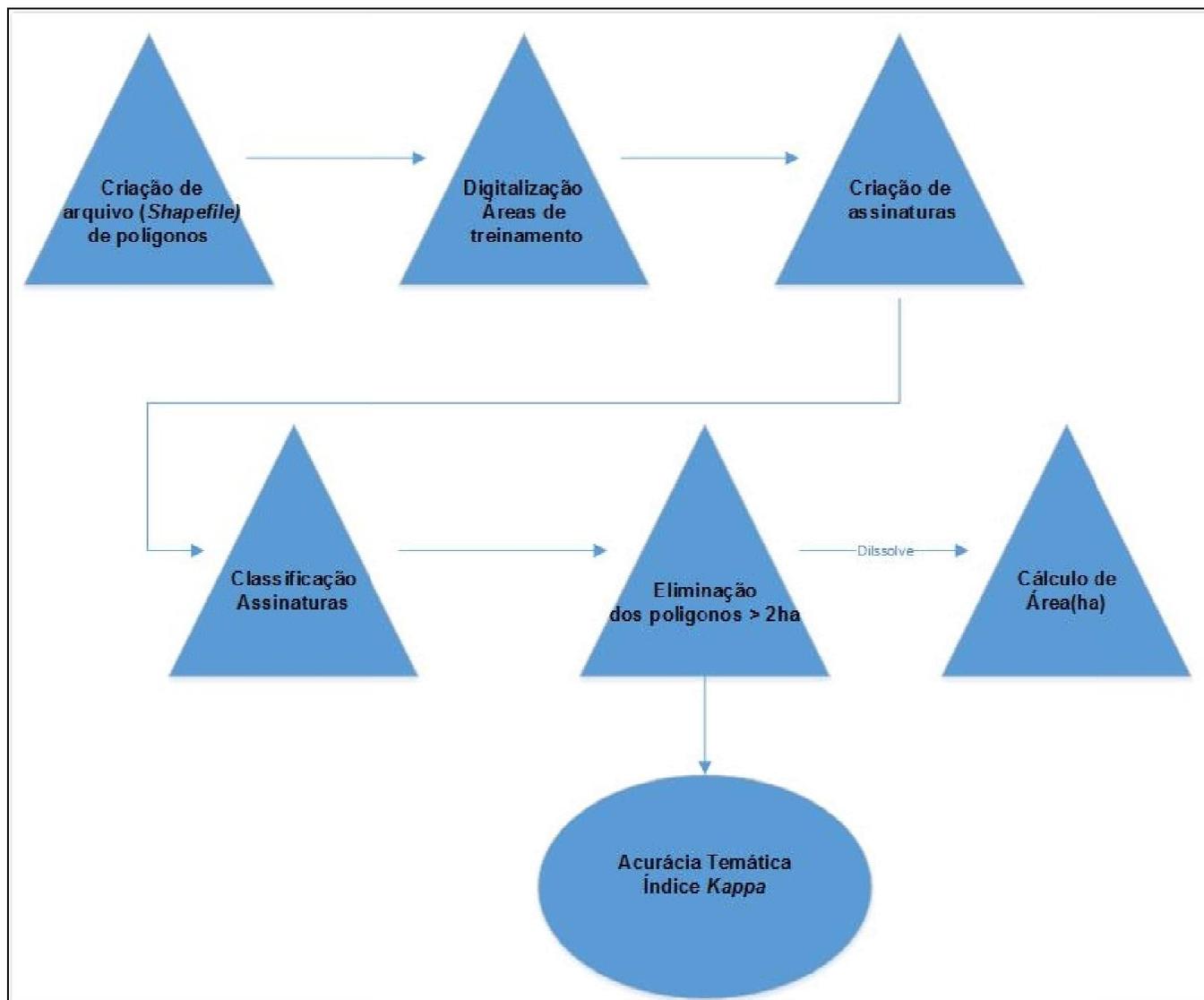
Tabela 8 - Avaliação da Acurácia do Mapeamento de Eventos de Fogo.

<b>ANO</b>	<b>CLASSES</b>	<b>ÍNDICE <i>Kappa</i></b>	<b>EXATIDÃO Global (%)</b>
1998	Fogo Tardio Fogo Precoce Vegetação	0,96	97,53
2001	Fogo Tardio Fogo Precoce Vegetação	0,95	97,12
2007	Fogo Tardio Fogo Precoce Vegetação	0,89	93,22
2012	Fogo Tardio Fogo Precoce Vegetação	0,86	90,80
2015	Fogo Tardio Fogo Precoce Vegetação	0,91	94,03

Organização: J. F. COSTA, 2018

Exemplificando os procedimentos metodológicos utilizados na realização do mapeamento das cicatrizes de Fogo na EESGT nos anos de análise, pode-se visualizar a rotina a seguir (Figura 7).

Figura 7 - Rotina Metodológica para Classificação Supervisionada



Fonte: Mendes et al (2015), Adaptado por: J. F.Costa (2018)

### 3.3.5 Aplicação do Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ)

Após mapeamento das áreas atingidas pelo fogo nos cinco anos trabalhados, calculou-se o Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ), o qual indica o grau de propagações/ repetições do evento, em um determinado pixel, naquele período.

Fez-se a soma dos eventos ocorridos em cada ano, pelo rastercalculator (ArcGIS 10.3), pixel a pixel, dividindo o produto pelo total de mapas utilizados na série conforme equação:

$$\text{IRQ} = \frac{\text{QA1} + \text{QA2} + \text{QA3} + \dots + \text{QA5}}{n} \text{ [Eq.4]}$$

n

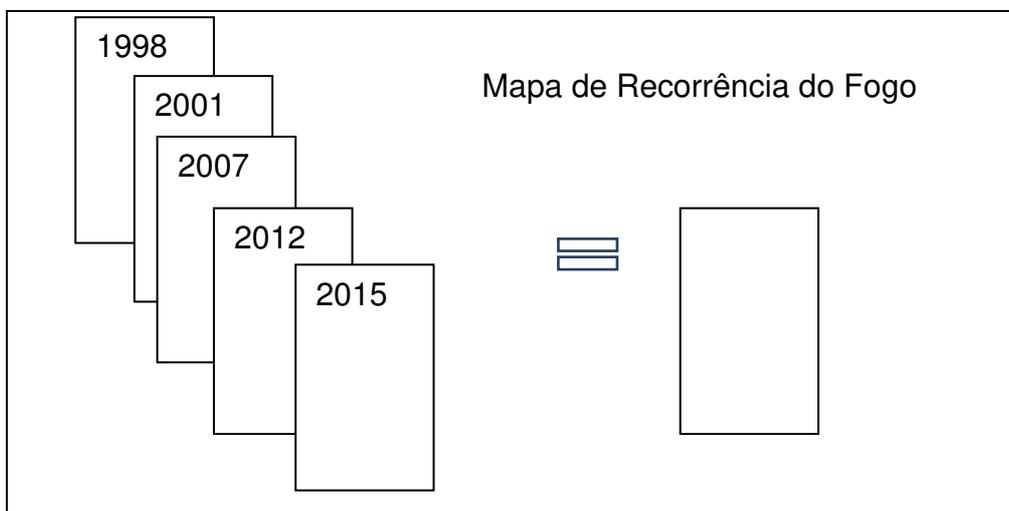
Onde QA1,QA2, QA3 e QA5 são as áreas de incêndios florestais/queimadas observadas por área, respectivamente, no 1 ano, 2 Anos, 3Anos, 4Anos e 5Anos;

n é o número total de anos da série histórica, sendo o valor máximo o qual um pixel da série pode ser atingido por queimadas.

Neste caso, a série histórica apresenta n = 5, considerando que trabalhou-se nos anos de 1998, 2001, 2007, 2012 e 2015.

Para identificar uma recorrência do fogo numa mesma área, realizou-se a soma de todas elas. E, com sobreposição dos polígonos (Figura 8) gerou o mapa resultado mostrando valores entre 0 e 1, visto que quanto mais próximo de 0, menor recorrência de eventos e quanto mais próximo de 1, maior a recorrência, ou seja, a incidência do fogo sobre aquele local (MESSIAS e FERREIRA, 2018).

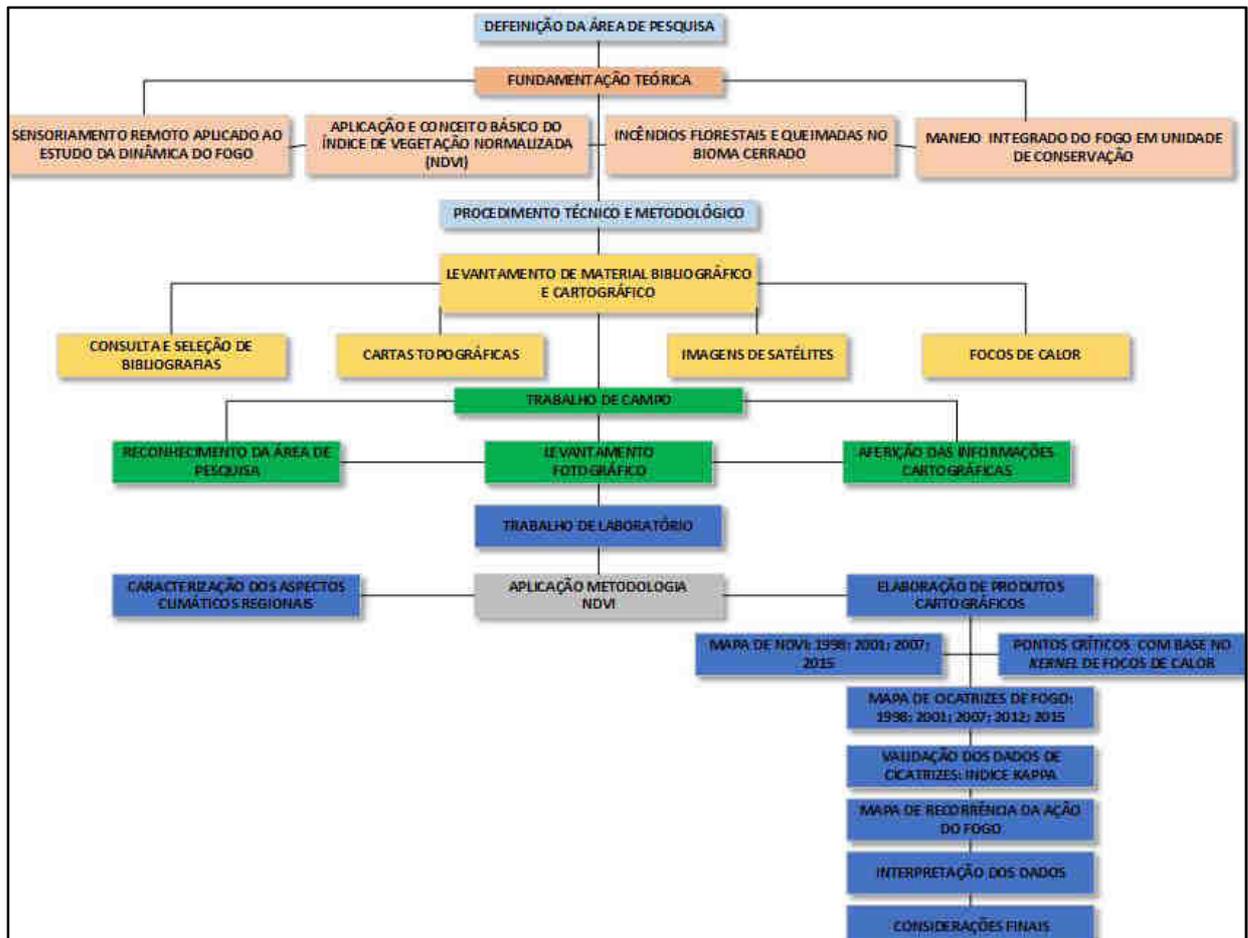
Figura 8 - Sobreposição dos anos com Ação do Fogo



Organização: J. F. COSTA, 2018

Destaca-se que a aplicação do IRQ é no sentido da análise da ação do fogo onde considera-se as áreas atingidas por queimadas ou incêndios florestais. Em síntese, a operação adotada na pesquisa pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 - Síntese dos procedimentos técnicos e metodológicos adotados na pesquisa



Organização: J. F. COSTA, 2018

#### 4 LEVANTAMENTOS DA DINÂMICA DO FOGO NA EESGT

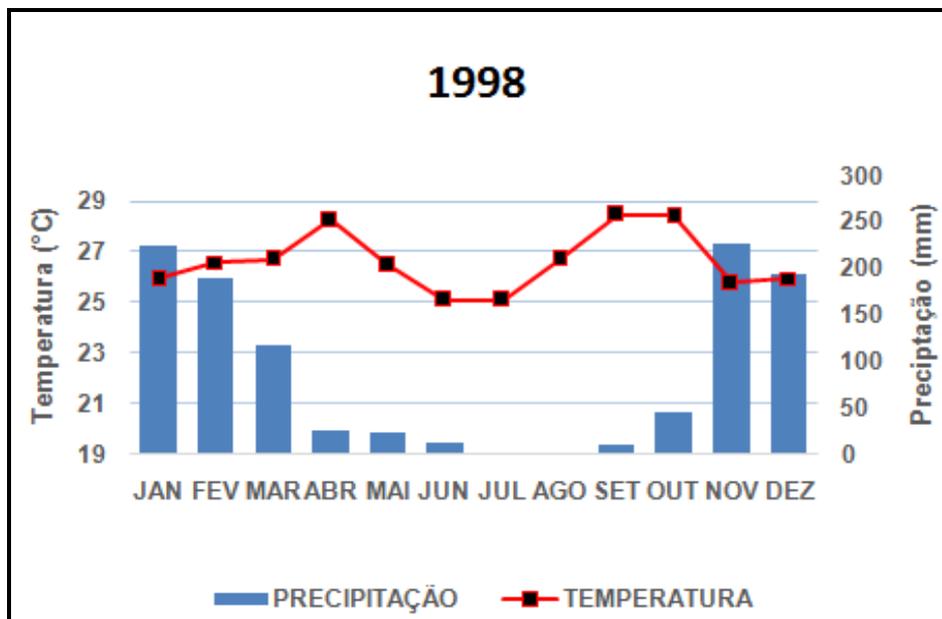
Na Busca de analisar a dinâmica do fogo na EESGT entre os anos de 1998 a 2015, apresenta-se o levantamento dos resultados baseados nos parâmetros de análise adotados na pesquisa, sendo este os Aspectos Climaticos Regionais, Focos de Calor, NDVI e Mapeamento de Cicatrizes de Fogo.

Com estes parâmetros, obteve-se os dados de antes da criação da UC (1998 e 2001) e de depois da criação (2007, 2017 e 2012).

##### 4.1 Ação do Fogo em 1998

No ano de 1998, destacam-se as elevadas temperaturas entre os meses de abril, setembro e outubro, acima de 27°C e as baixas precipitações com menos de 50mm, entre os meses de abril a outubro (Gráfico 2).

Gráfico 2-Climograma do ano de 1998



Organização: J. F. COSTA, 2018

Em relação aos focos de calor, foram registrados 106 focos que ocorreram entre os meses de junho a setembro, sendo que podem ser destacados os meses com maior número de registros de julho e setembro, com 33 e 37 focos, respectivamente.

Com base nisso, espacializou-se os pontos críticos, verificando-se que a maior concentração dos focos de calor está no setor nordeste da área de pesquisa, considerada como

de densidade muito alta, que corresponde aos meses de julho, agosto e setembro, totalizando 95 focos de calor (Figura 10).

Ainda em 1998, pode-se supor que a densidade de focos de calor muito alta, verificada no setor nordeste da área de estudo, poderia estar relacionada a presença de ocupação humana fazendo uso do fogo em suas atividades, a exemplo a Comunidade dos Prazeres.

Outro elemento utilizado nesse análise, foi o comportamento espectral dos alvos, nesse caso, as áreas sem vegetação, inferindo a ação do fogo através do NDVI, onde a resposta espectral dos pixels nas áreas onde o vigor da vegetação era baixo, acusaram valores com intervalos espectrais entre de 0.11 a 0.22.

Os locais onde havia maior oferta de densidade da cobertura vegetal, com destaque para setor nordeste da área de pesquisa, acusaram valores numéricos mais elevados, ficando entre 0.22 a 0.54 (Figura 11 e Tabela 9).

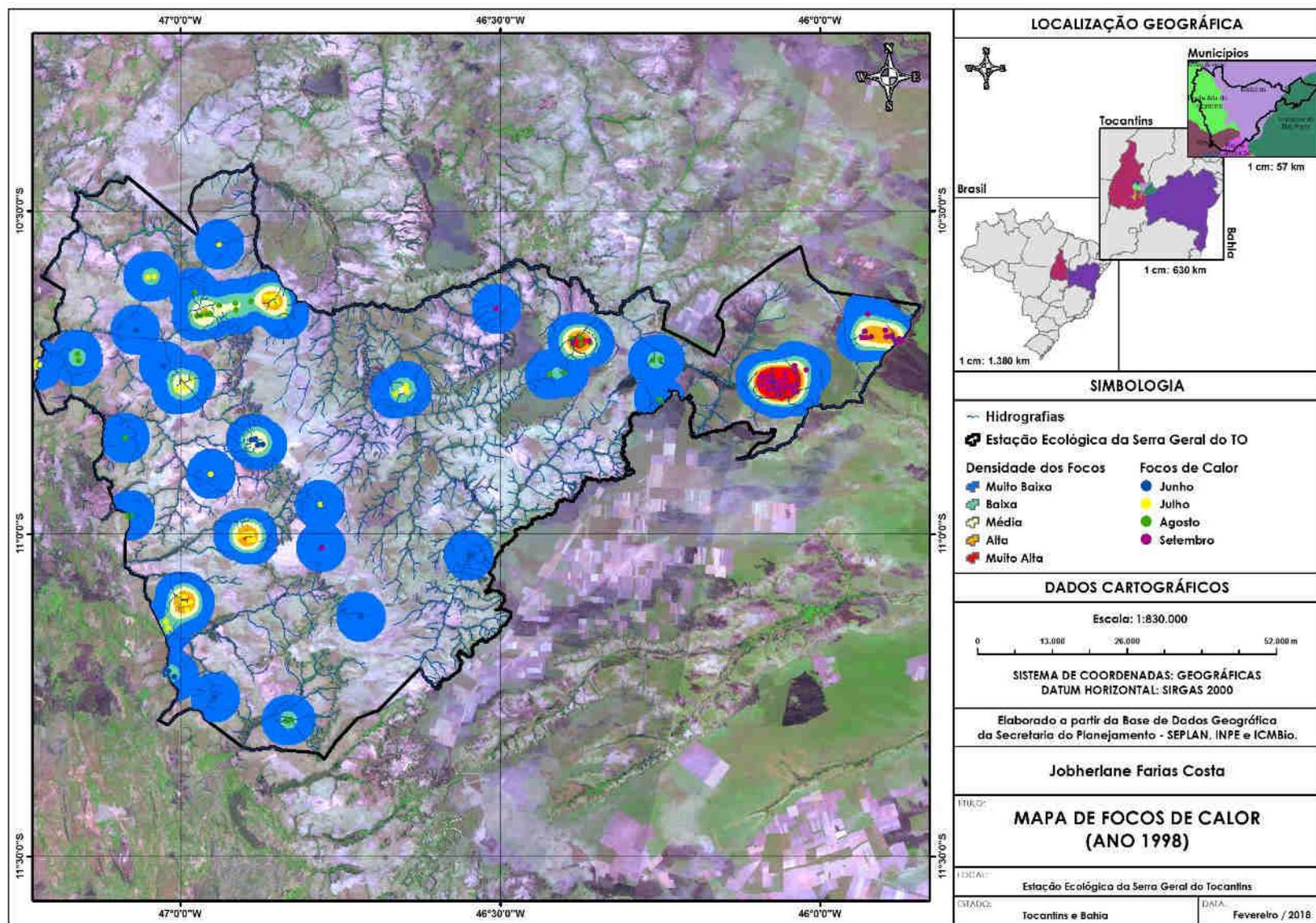
Tabela 9 - Intervalos Espectrais do NDVI - 1998

<b>ANO(1998)</b>	<b>INTERVALO ESPECTRAL(<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Área com Ação do Fogo	0.11 a 0.22
Área com Vegetação	0.22 a 0.54

Organização: J. F. COSTA, 2018

No mesmo sentido, observou-se a presença de cicatrizes de fogo, junto ao principal patamar de dissecação que atravessa a área no sentido Sudeste - Noroeste, local conhecido como a Serra da Muriçoca, nos topos planos das feições de chapadas (Serra Geral) além de mesas e mesetas (Serras do Meio, da Estiva e da Bocaína) ambas localizadas na porção leste e nordeste da área, resultados semelhantes aos encontrados por Cristo (2013).

Figura 10- Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 1998



Quanto à extensão das áreas, observou-se que a ação do fogo ocorreu em pequenas parcelas distribuídas por toda área e verificou-se que a incidência do fogo nos dois períodos, tanto o Precoce com 181.522 has (26%) como o Tardio com 173.118 (24%) se distribuem em proporções semelhantes pelos setores centro, noroeste e nordeste (Figura 12 e Tabela 10).

Diante de inúmeros polígonos de cicatrizes de fogo, mesmo que em extensões pequenas e fragmentadas, pode estar atrelado a fatores climáticos como, o alto número de dias sem chuva que podem ser desencadeadores desse eventos, pois favorece o surgimento de material combustível (biomassa vegetal morta sobre o solo) e reduzida umidade desse material (abaixo de 10%, tornando-o mais inflamável) tornando uma fonte inicial de ignição.

Tabela 10- Ocorrência de Fogo em 1998

<b>ANO(1998)</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>	<b>(%)</b>
Fogo Precoce	181.522	26
Fogo Tardio	173.118	24
Área com Vegetação	352.499	50
<b>Total</b>	<b>707.139</b>	<b>100</b>

Organização: J. F. COSTA, 2018

Figura 11 - Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 1998

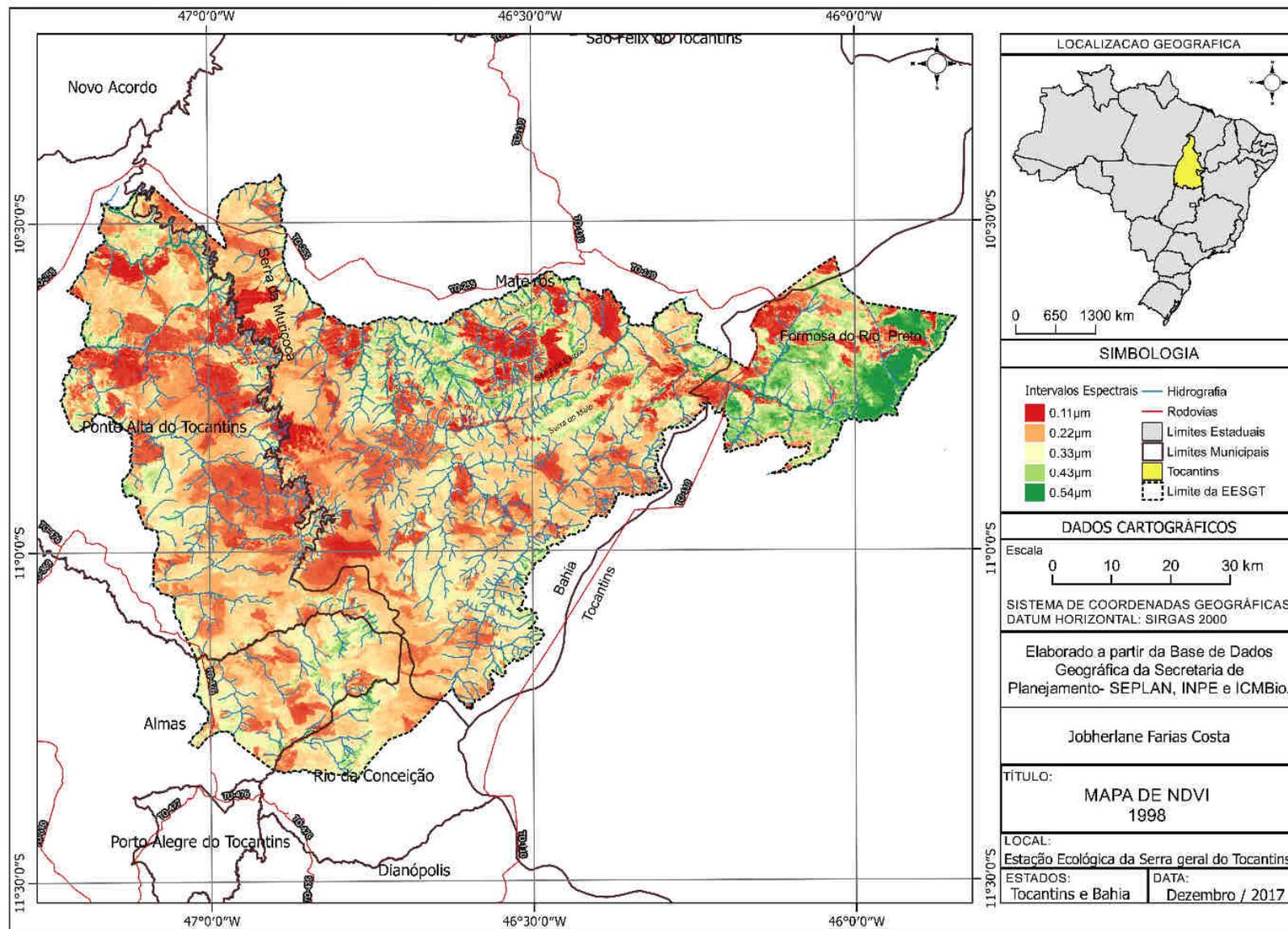
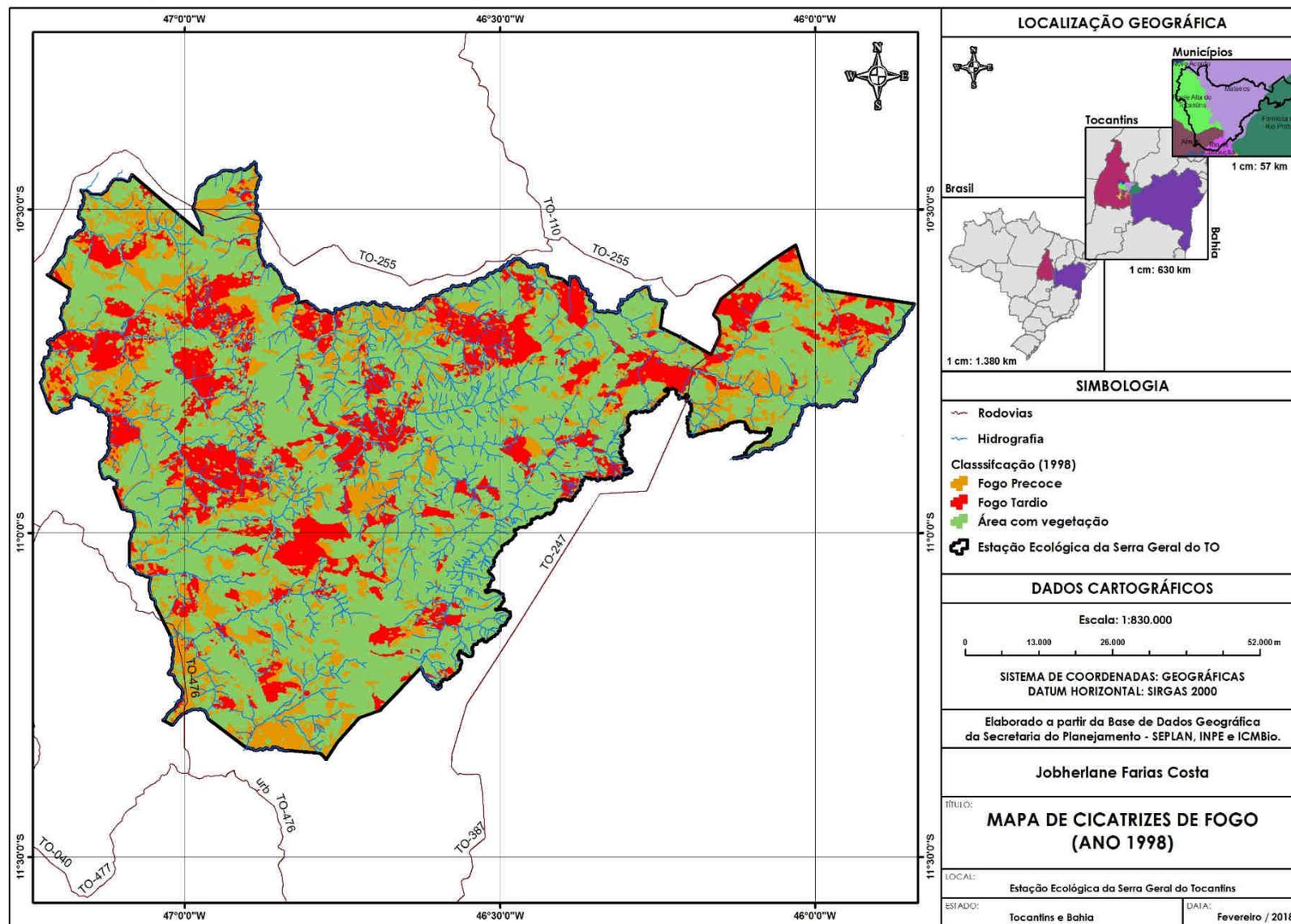


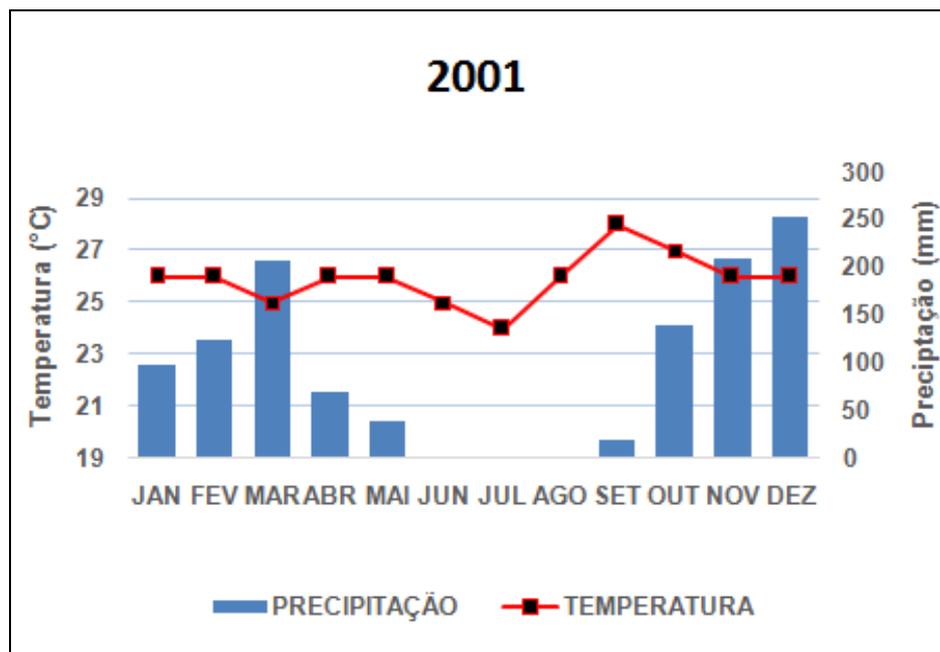
Figura 12- Mapa de Cicatrizes da Ação do Fogo, ano de 1998



## 4.2 Ação do Fogo em 2001

No ano de 2001, destaca-se elevada temperatura no mês de setembro, acima de 27°C, e as baixas precipitações, com menos de 50mm, nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro (Gráfico 3).

Gráfico 3 Climograma do ano de 2001



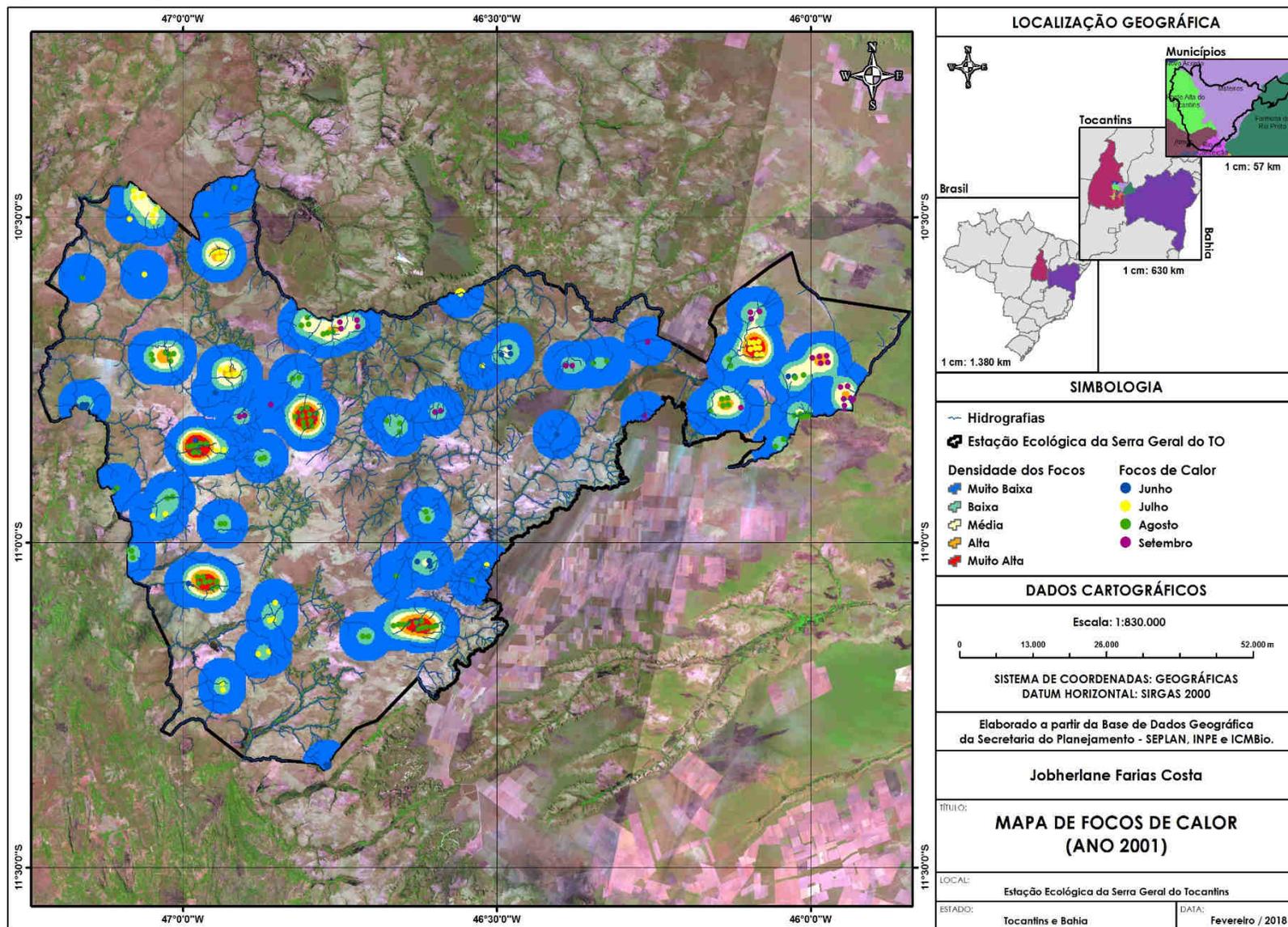
Organização: J. F. COSTA, 2018

Ainda no ano de 2001, observou-se, diante de um cenário de seca, o registro de 170 focos de calor. Isto representa 64 focos a mais do que o ano anterior de 1998 (Figura 13).

Com base nos registros de focos de calor, pode-se verificar um adensamento muito alto nas porções nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste.

As aglomerações advindas dos focos de calor correspondentes a classe muito alta, são resultantes dos meses de agosto e julho, com 87 e 40 focos respectivamente.

Figura 13 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 2001



De maneira geral, através do NDVI obteve valores numéricos referente a resposta espectral dos pixels para áreas entre 0.12 a 0.62 (Figura 14 e Tabela 11). Nos quais, os comportamentos espectrais se diferenciam conforme o vigor da vegetação. Áreas de baixo vigor vegetativo, acusaram valores com intervalos espectral entre de 0.12 a 0.24 e para setores onde o grau de vigor da cobertura vegetal apresentava-se sadia, estas apresentaram valores numéricos um pouco mais elevados assumindo intervalos espectrais entre 0.24 a 0.62.

Tabela 11- Intervalos Espectrais do NDVI - 2001

<b>ANO(2001)</b>	<b>INTERVALO ESPECTRAL (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Área com Ação do Fogo	0.12 a 0.24
Área com Vegetação	0.24 a 0.62

Organização: J. F. COSTA, 2018

Já quanto a extensão das áreas atingidas pelo fogo, observou-se que as queimas acontecerem tanto no período seco (Tardio), como no período que antecede ao seco (precoce), e que somados os dois períodos, as cicatrizes atingiram cerca de 328.526ha correspondendo a 46% do total da área.

Contudo, as cicatrizes de fogo Precoce atingindo cerca de 206.431has (26%) foram maiores do que fogo Tardio 122.095has (17%), o que indica a queima antes do período seco, principalmente nas porções centro, norte e nordeste da unidade, de forma fragmentada (Figura 15 e Tabela 12).

Tabela 12 - Ocorrência de fogo em 2001

<b>ANO (2001)</b>	<b>ÁREA (HA)</b>	<b>(%)</b>
Fogo Precoce	206.431	29
Fogo Tardio	122.095	17
Área com Vegetação	368.789	54
<b>Total</b>	<b>707.139</b>	<b>100</b>

Organização: J. F. COSTA, 2018

Figura 14- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 2001

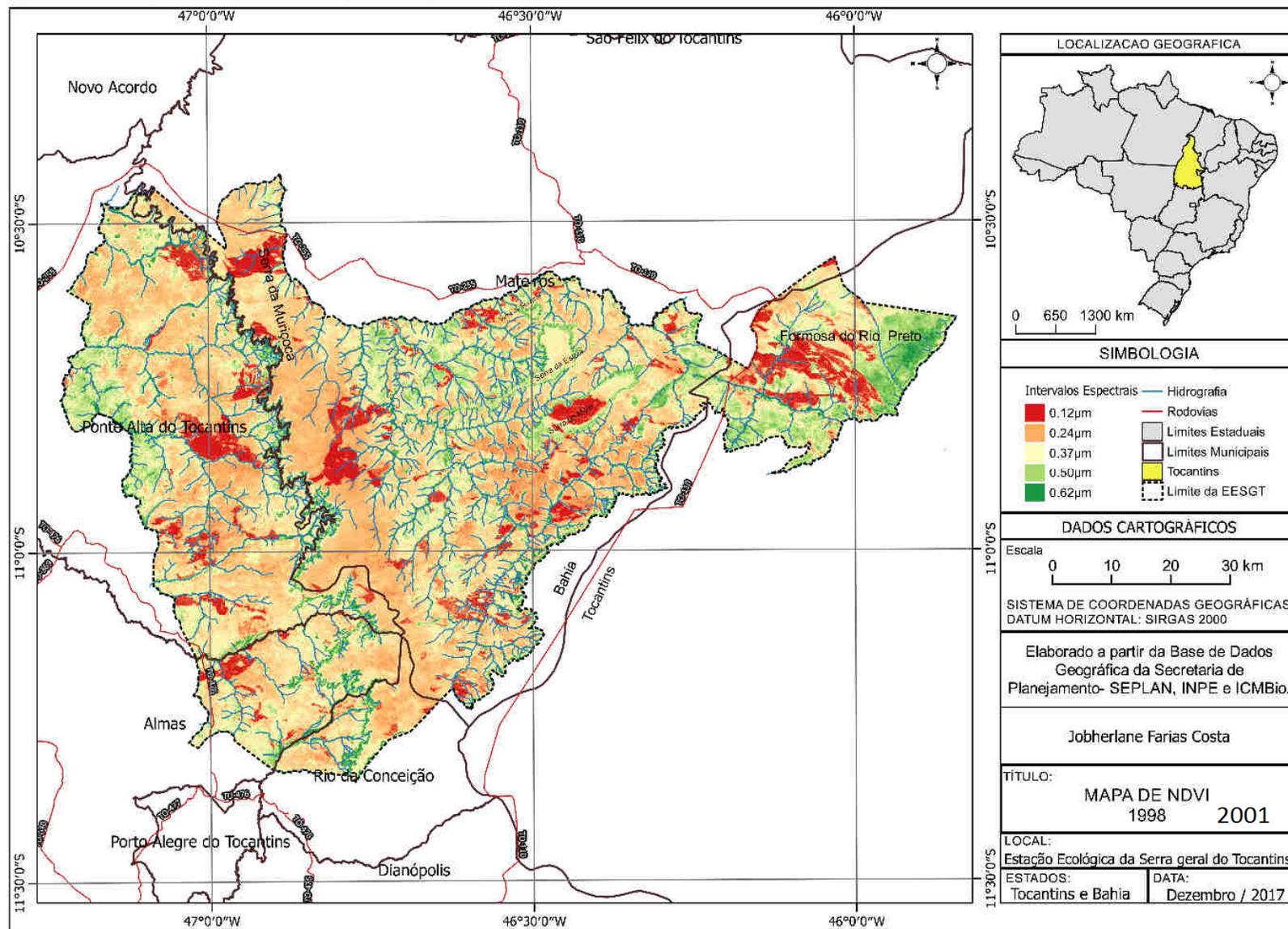
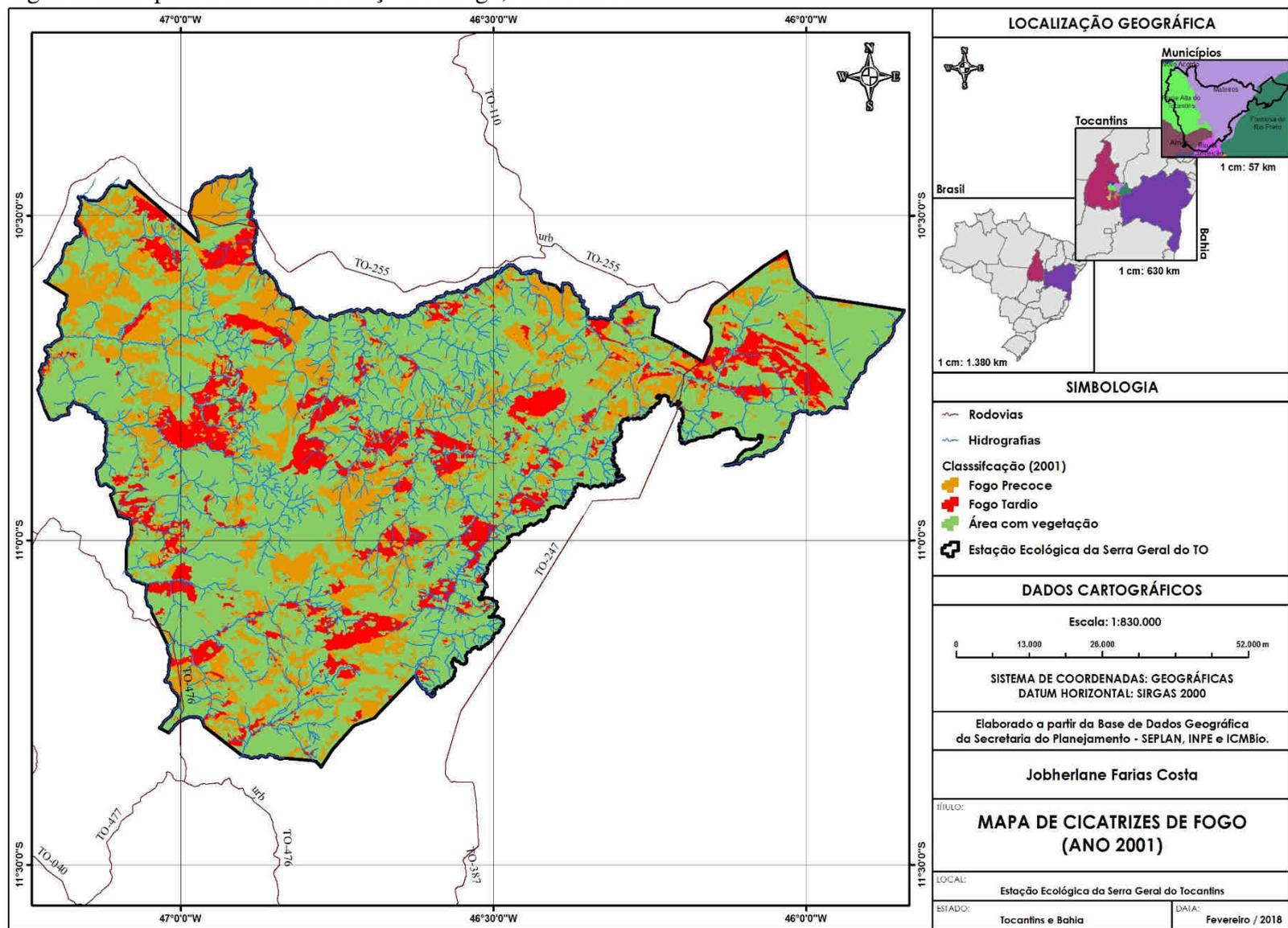


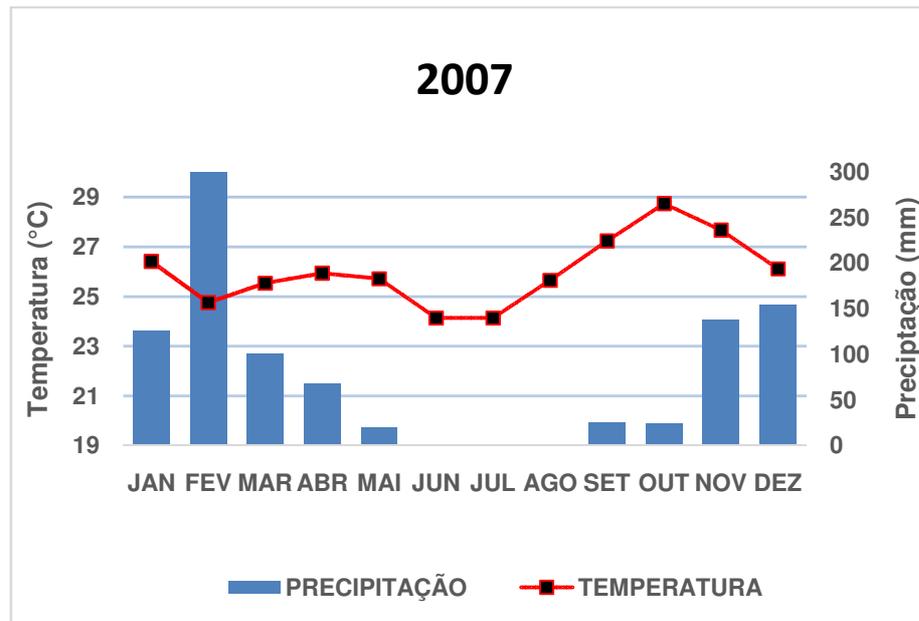
Figura 15- Mapa de Cicatrizes da Ação do Fogo, ano de 2001



### 4.3 Ação do Fogo em 2007

No ano de 2007, destacam-se as elevadas temperaturas entre os meses de setembro, outubro e novembro, acima de 27°C e as baixas precipitações com menos de 50mm, entre os meses de maio a outubro (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Climograma do ano de 2007

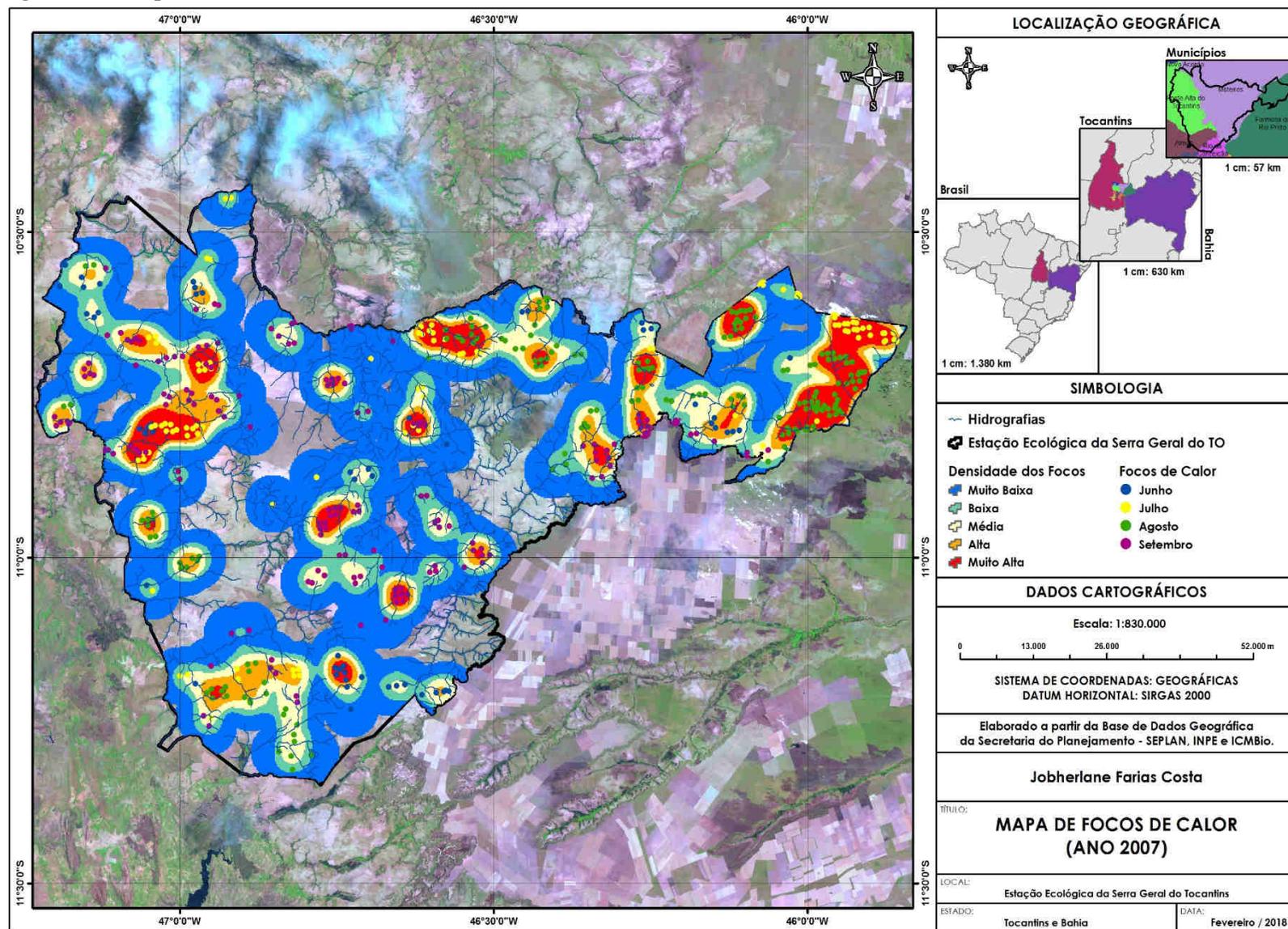


Organização: J. F. COSTA, 2018

Diante do quadro de elevadas temperaturas e baixas precipitações no ano de 2007, registrou-se um número considerável de focos de calor chegando ao número de 469 focos.

O alto grau de incidência dos focos de calor apresentou-se distribuídas por toda área de pesquisa. Observou-se a densidade muito alta nas porções centro, nordeste e noroeste da área de estudo, onde os registros ocorreram nos meses de julho, agosto e setembro (Figura 16)

Figura 16 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 2007



Com o NDVI aplicado no ano de 2007, o intervalo espectral apresentou-se entre 0.09 a 0.15, representando um baixo vigor vegetativo e conseqüentemente uma intensa ação do fogo, já para as áreas com vigor vegetativo mais elevado, o intervalo ficou entre 0.15 a 0.33 (Figura 17 e Tabela 13).

De modo geral, observou-se uma mudança no valor da reflectância que decresceu em relação ao ano anterior. Isto, possivelmente está relacionado ao tipo de cobertura vegetal e a intensidade do fogo.

Tabela 13 - Intervalos Espectrais do NDVI - 2007

<b>ANO(2007)</b>	<b>INTERVALO ESPECTRAL (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Área com Ação do Fogo	0.09 a 0.15
Área com Vegetação	0.15 a 0.33

Organização: J. F. COSTA, 2018

Porém, nota-se a padronização dos valores circunvizinhos à área de queima, dando maior destaque para as cicatrizes de fogo.

Quanto a intensa ação do fogo observado através das cicatrizes, em 2007 houve o predomínio do fogo tardio, que atingiu cerca 350.653ha (50%) da área, observadas nos setores centro norte e nordeste.

As cicatrizes de fogo precoce atingiram cerca de 130.032ha (18%) da área, ou seja, o somatório de ambas as cicatrizes abrange cerca de 68% da área de estudo (Figura 18 e Tabela 14).

Tabela 14- Ocorrência de fogo em 2007

<b>Ano (2007)</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>(%)</b>
Fogo Precoce	130.032	18
Fogo Tardio	350.653	50
Área com Vegetação	226.454	32
Total	707.139	100

Organização: J. F. COSTA, 2018

Desta maneira, 2007 pode ser considerado um ano crítico em termos de ação do fogo, pois a incidência de queima foi alta e se distribuiu pelos diversos setores da UC em questão. No mesmo sentido, pode-se destacar a porção nordeste da área, onde se encontra a divisa dos Estados da Bahia e Tocantins, local onde ocorre o fenômeno conhecido como “Águas emendadas” formando a lagoa do Veredão, local que se destaca como um divisor de águas de duas importantes bacias hidrográficas nacionais a do São Francisco e do Tocantins-Araguaia (CRISTO, 2013).

Figura 17- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 2007

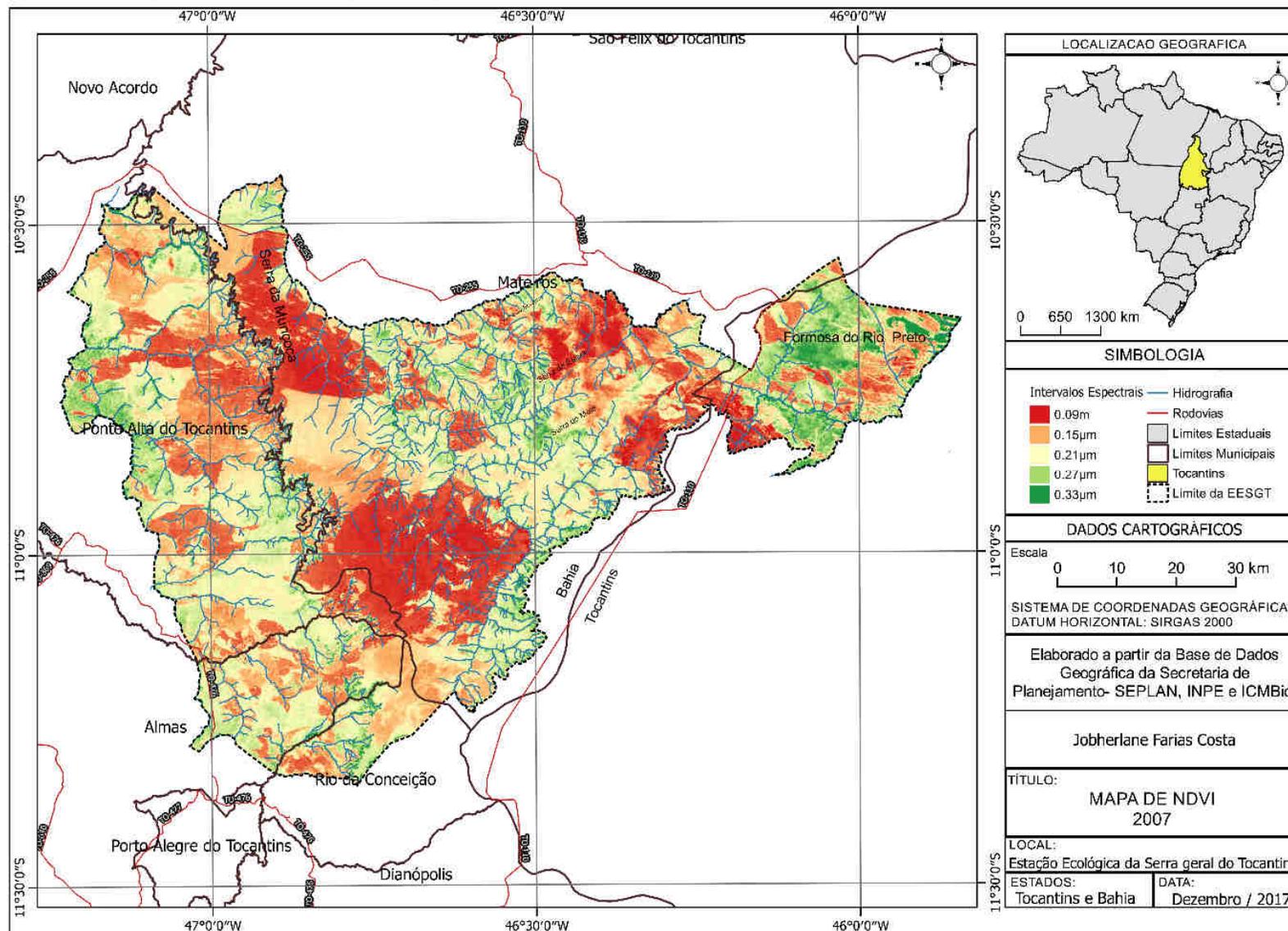
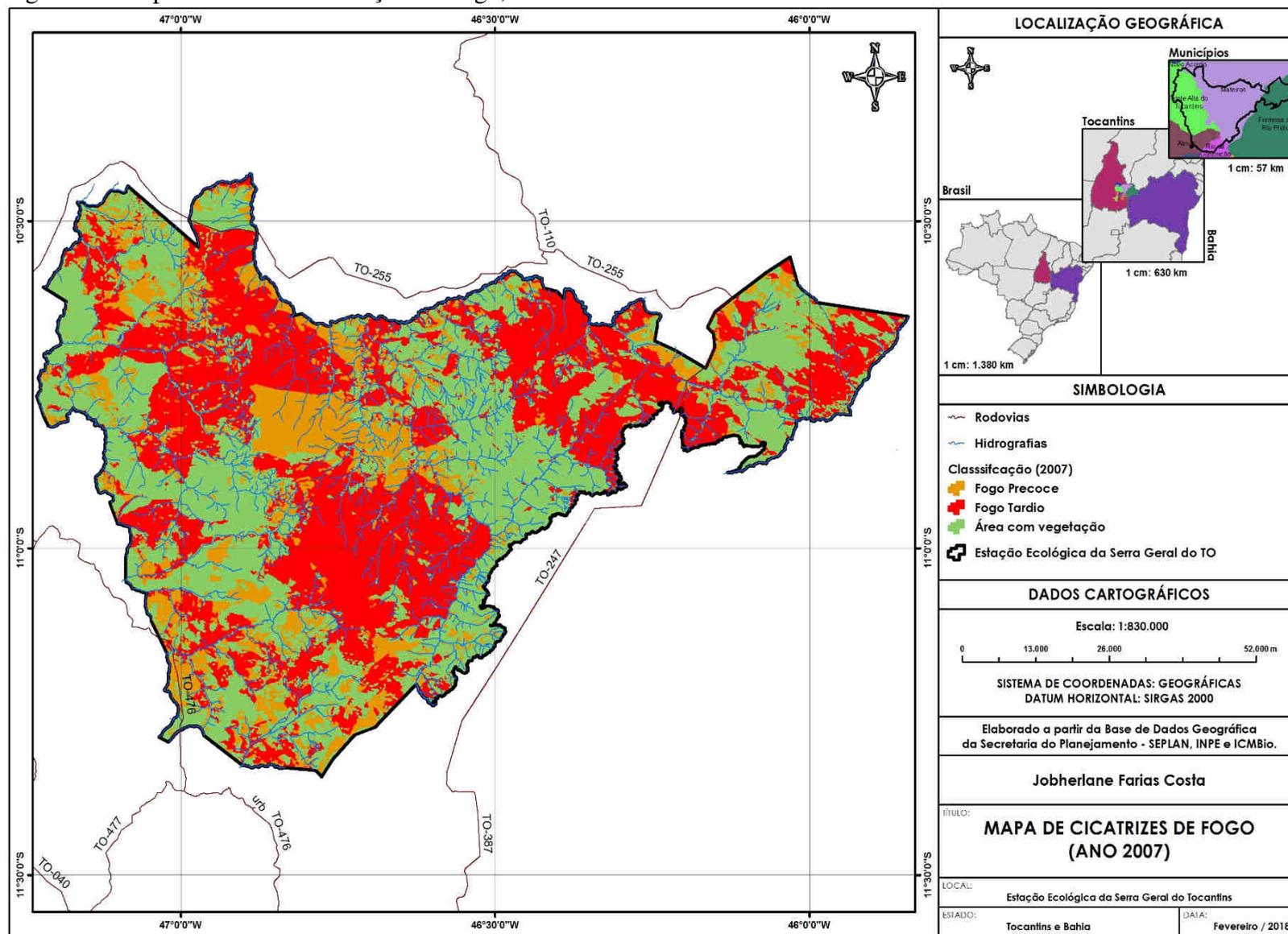


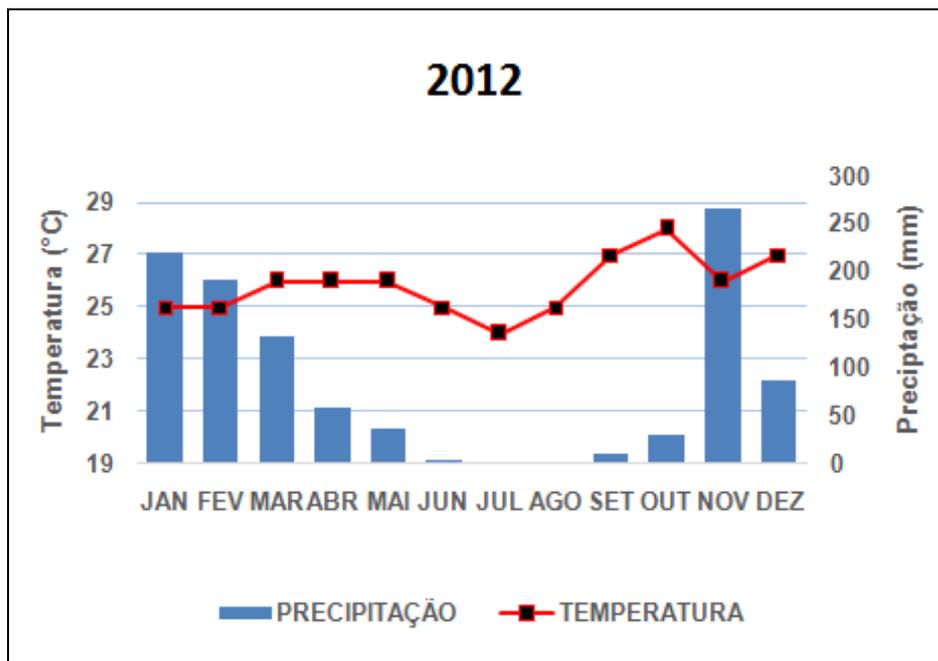
Figura 18- Mapa de Cicatrizes da Ação do Fogo, ano de 2007



#### 4.4 Ação do Fogo em 2012

No ano de 2012, destacam-se as elevadas temperaturas entre os meses de setembro e outubro, acima de 27°C e as baixas precipitações com menos de 50mm, entre os meses de maio a outubro (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Climograma do ano de 2012



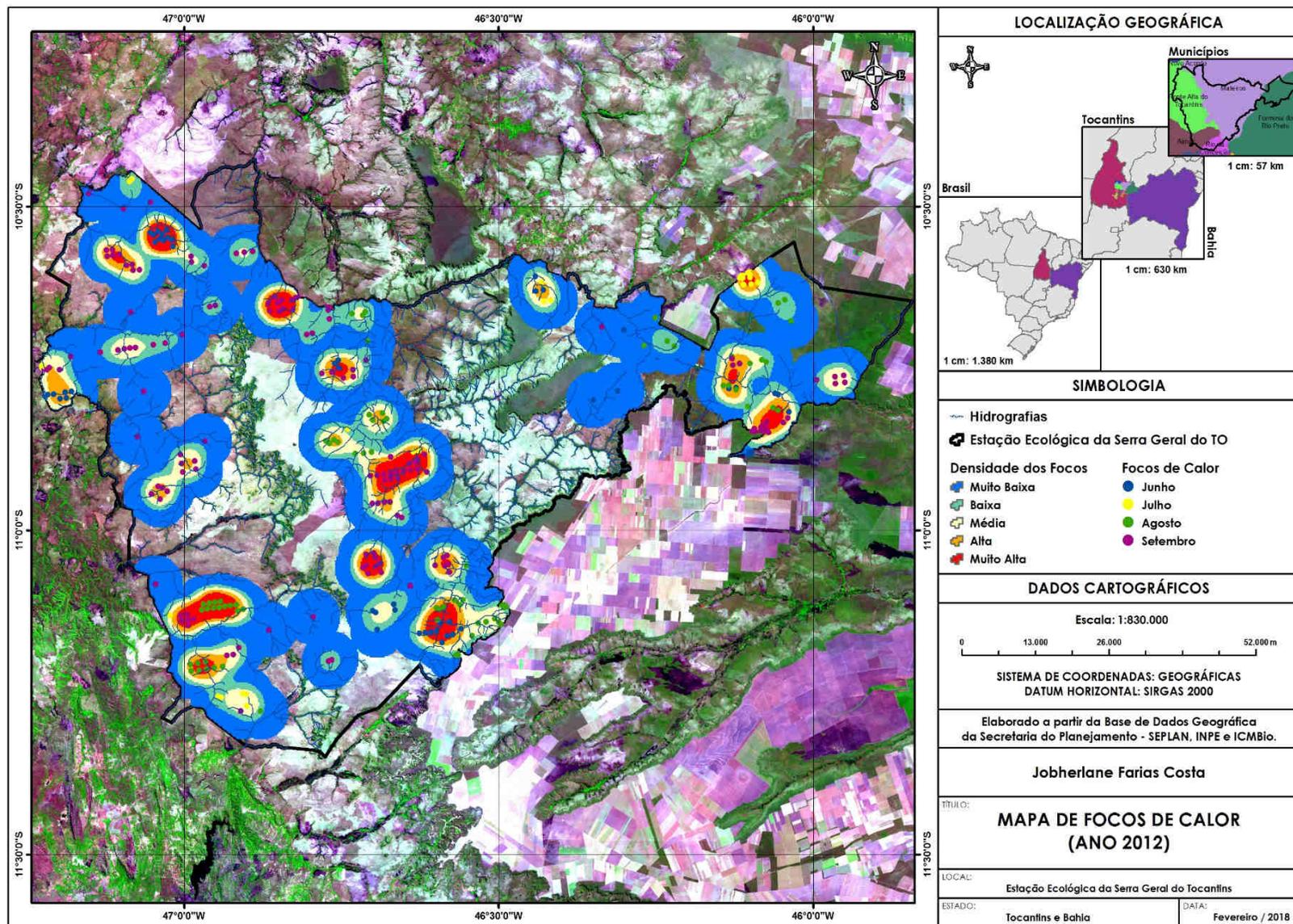
Organização: J. F. COSTA, 2018

No ano de 2012, registrou-se um número considerável dos focos de calor, 275 no total, sendo que o mês de outubro foi o mês com maior número de registros, 137 focos (Figura 19).

Em função quantitativo dos focos de calor para 2012, observou-se que a densidade muito alta ocorre nos setores centro, sudeste e sudoeste. Apesar de setembro ser o mês com maior registro, as aglomerações atribuídas a classe muito alta abrange a todos os meses do período seco considerado na pesquisa.

Diante da dificuldade da obtenção dos parâmetros de correção atmosférica, neste ano não realizou-se a aplicação do NDVI, ficando a análise baseada na mensuração das áreas atingidas pelo fogo através da cicatrizes de fogo.

Figura 19 - Mapa de Densidade de Focos de Calor do ano de 2012



Com base no mapeamento realizado, as cicatrizes de fogo apresentaram cerca de 168.105 hectares (24%) de fogo Tardio distribuídas pela faixa lesta da unidade e nos setores centro, sudeste e noroeste. Já as cicatrizes de fogo precoce, essas atingiram cerca de 212.741 hectares (30%) distribuídas por toda área em menor proporção, com destaque para os setores centro e noroeste (Figura 20 e Tabela 15).

Ainda, vale destacar, com base em relatório do ICMBio, já estava sendo aplicado os primeiros testes nas zonas para o Manejo Integrado do Fogo (MIF) na área já demarcada como Unidade de Conservação da Natureza.

Sendo assim, o MIF realiza a queima antes do período seco, o que o torna mais apropriada e propícia para o controle desses eventos mediante a severidade e o descontrole devido a intensidade dos fatores climáticos.

Tabela 15- Ocorrência de fogo no ano em 2012

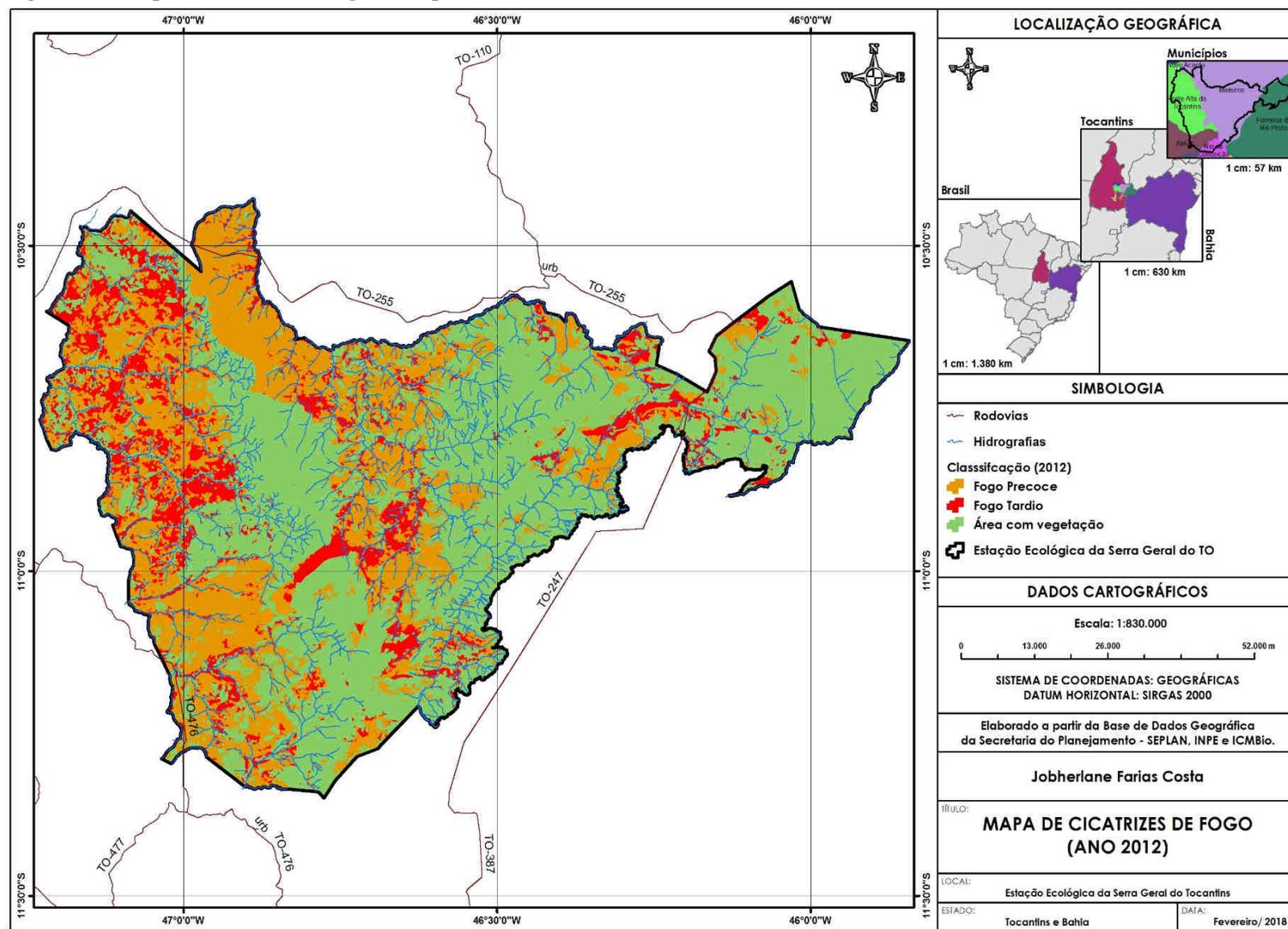
Ano (2012)	Área (ha)	(%)
Fogo Precoce	212.741	30
Fogo Tardio	168.105	24
Área com Vegetação	326.293	46
<b>Total</b>	707.139	100

Organização: J. F. COSTA, 2018

Com base no histórico da gestão do fogo, o ano de 2012 passou pelo processo de pactuação de regras para o uso do fogo para manutenção de práticas tradicionais a exemplo da roça, gado, extrativismo (BARRADAS, 2017).

Algumas ações a partir desse ano foram desenvolvidas pela gestão da unidade no qual podem ser descritas: Assinaturas TC Ascolombolas; Legislação de práticas de uso do fogo; Início do planejamento estratégico para alocação de aceiros. Também, a UC admite o uso do fogo para confecção de aceiros negros com contenção de largura para fins de prevenção de incêndios florestais. Ainda nesse mesmo ano iniciou-se a execução do projeto cerrado-Jalapão (BORGES e BARRADAS, 2016).

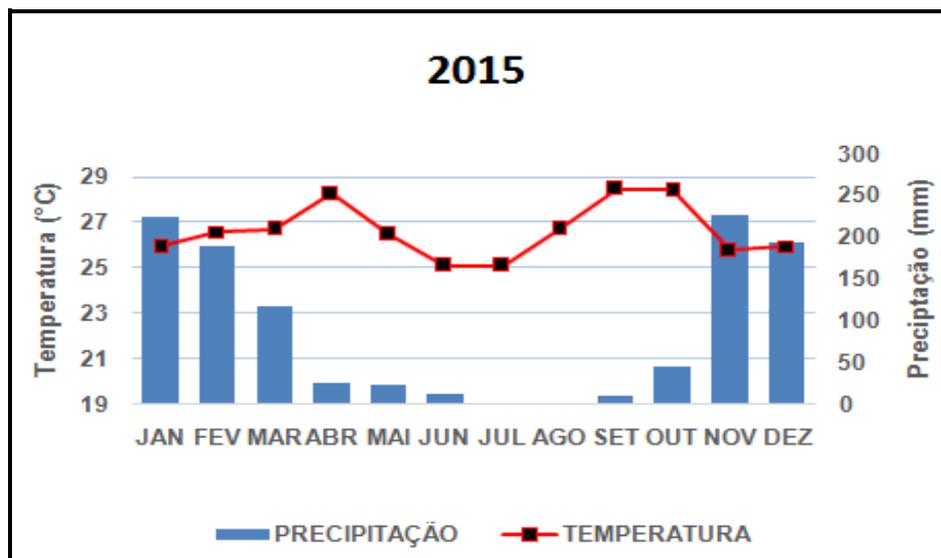
Figura 20- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 2012



#### 4.5 Ação do Fogo em 2015

No ano de 2015, destacam-se as elevadas temperaturas entre os meses de abril, agosto, setembro e outubro, acima de 27°C e as baixas precipitações com menos de 50mm, entre os meses de abril, agosto, setembro e outubro (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Climograma do ano de 2015.



Organização: J. F. COSTA, 2018

O ano de 2015, pode ser considerado como o segundo mais crítico em relação ao número de focos de calor, sendo que os focos se distribuíram pela área de pesquisa com destaque das porções central, sudeste e nordeste, além disso, a faixa leste evidenciou um adensamento muito alta desses focos. O mês de setembro, assim como os demais, apresentaram o maior número de registros com 169 de focos de calor (Figura 21).



Ainda em 2015, a variabilidade da reposta espectral de áreas com ação do fogo em vista aos demais, alcançaram valores numéricos entre 0.17 a 0.30. Já, as que se destacaram, pelo alto vigor vegetativo, foram verificadas no extremo leste, assumiram valores numéricos entre 0.30 a 0.67 (Figura 22 e Tabela 16).

Observou-se também a presença do fogo sobre as Zonas intangíveis a exemplo, a Serra da Estiva e Serra do Meio, localizadas no nordeste da unidade. Estes atingiram valores espectrais de 0.17, indicando com citado anteriormente a intensa ação do fogo. Além disso, observou-se nos diferentes níveis de vigor vegetativo, a predominância na maior parte da UC foi o intervalo espectral de 0.30

Tabela 16- Intervalos Espectrais do NDVI - 2015

<b>ANO(2015)</b>	<b>INTERVALO ESPECTRAL (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Área com Ação do Fogo	0.17 a 0.30
Área com Vegetação	0.30 a 0.67

Organização: J. F. COSTA, 2018

De acordo com o mapa de 2015, observa-se que as cicatrizes de fogo se encontram distribuídas principalmente pelos setores centro, noroeste e nordeste onde se concentram as cicatrizes de fogo tardio e 97.933ha (14%).

Do mesmo modo nas porções sul, sudeste, sudoeste e nordeste se concentram as cicatrizes de fogo precoce com área equivalente a 194, 407ha (27%) (Figura 23eTabela 17).

Tabela 17 - Ocorrência de Fogo em 2015

<b>Ano (2015)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>(%)</b>
Fogo Precoce	194.407	27
Fogo Tardio	97.933	14
Área com Vegetação	414.799	59
<b>Total</b>	<b>707.139</b>	<b>100</b>

Organização: J. F. COSTA, 2018

Observou-se que nesse ano as cicatrizes de fogo foram marcantes principalmente ao sul da unidade, onde localizam-se os municípios de Rio da Conceição e Almas. A quantificação das cicatrizes de fogo Tardio, não foi significativa comparada aos outros anos, pois a queima realizada no período seco representa um enorme risco à Unidade, já que nesta época a cobertura vegetal esta altamente inflamável tornado o fogo descontrolado.

Verificou-se na porção nordeste a presença de focos de calor, porém não se observou na mesma proporção na imagem a presença de cicatrizes de fogo, o que indica a regeneração da vegetação ou a reincidência da ação do fogo ou a sobreposição da área de acordo com posição das cenas mosaicadas.

Figura 22- Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em 2015

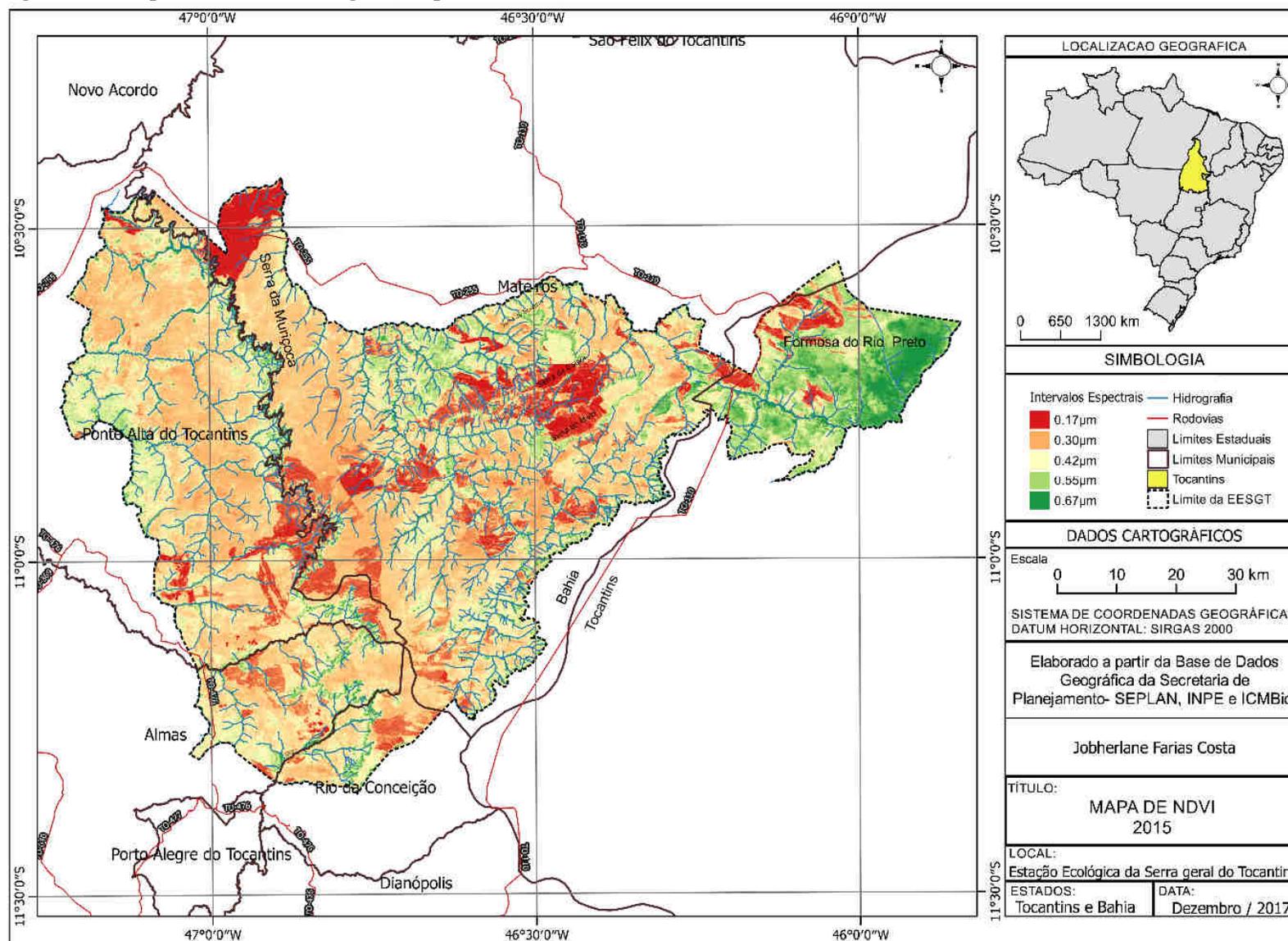
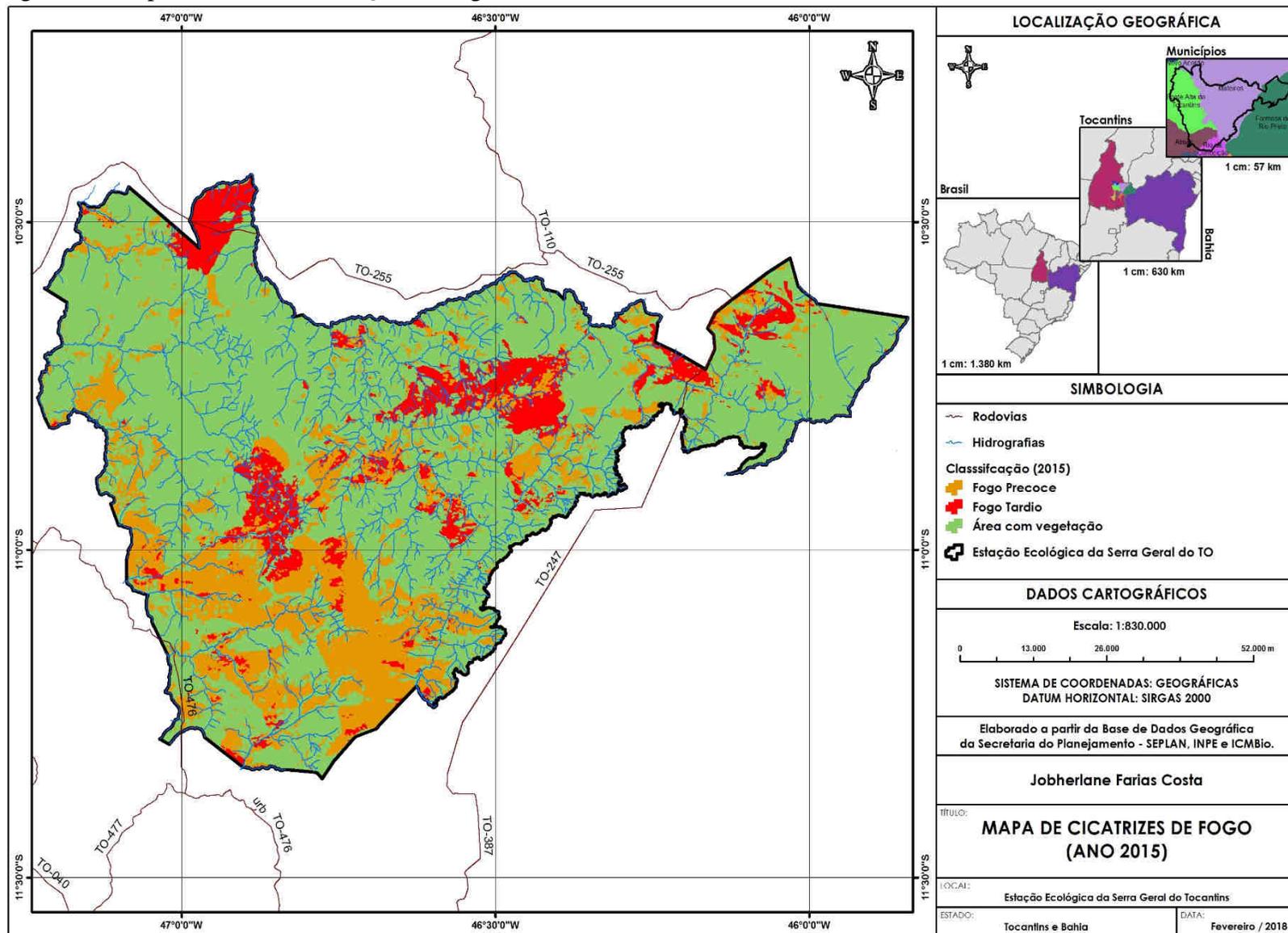


Figura 23- Mapa de Cicatrizes da Ação do Fogo– 2015



## 5 ANÁLISE DA AÇÃO DO FOGO

Com base nos dados levantados sobre os parâmetros de análise da ação do fogo na EESGT no período de 1998 a 2015 (Aspectos Climáticos Regionais, Mapeamento de Focos de Calor, Índice de Vegetação por diferença Normalizada e Mapeamento de Cicatrizes de fogo) pode-se destacar os seguintes resultados.

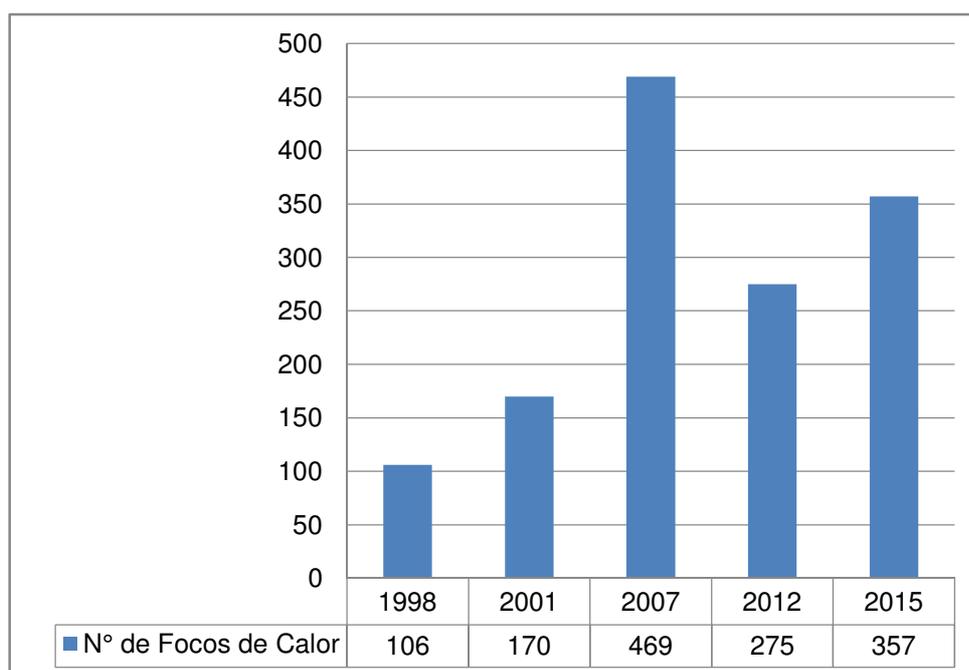
Quanto aos aspectos climáticos regionais relacionados a ação do fogo, percebe-se a existência de um período anual significativo, cerca de seis meses em todos os anos analisados (Gráficos 2 a 6), onde coincidem as altas temperaturas e os baixos índices pluviométricos.

Destaca-se também a sazonalidade na região, onde ocorrem dois períodos com comportamentos climáticos distintos, sendo um de maior concentração pluviométrica (entre os meses de outubro a abril), em que o índice pluviométrico chega a cerca de 250mm, com duração de seis meses em média. E outro, onde ocorre uma considerável queda dos valores de precipitação, entre os meses de maio a setembro, podendo chegar a 0mm.

As observações sobre os aspectos climáticos, demonstram ser um condicionante fundamental para a ocorrência de eventos relacionados ao fogo na área de pesquisa.

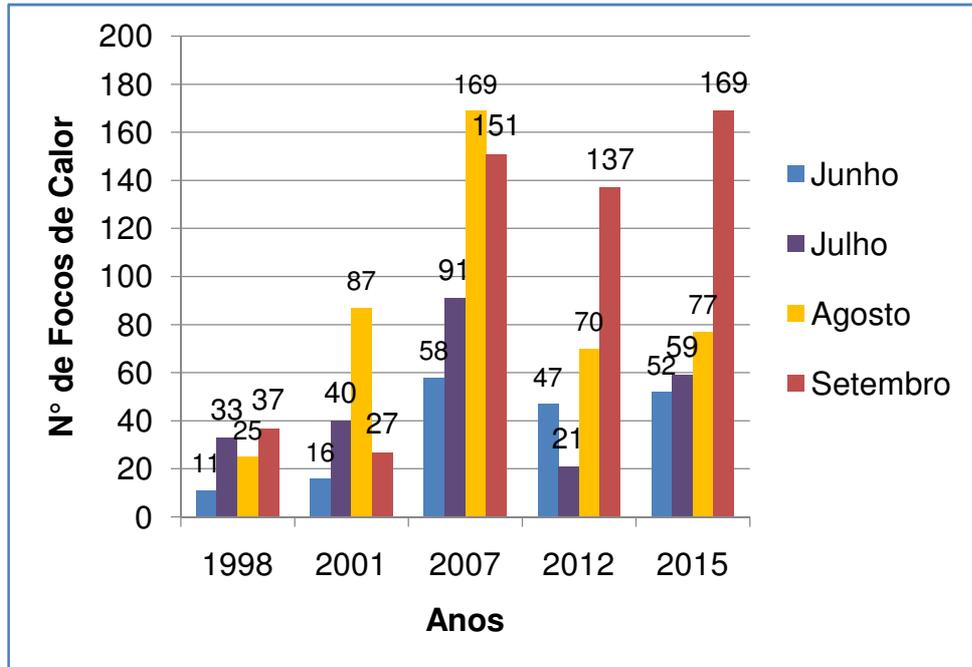
Os Focos de Calor demonstram que no período em questão, de 1998 a 2015, houve uma quantidade significativa de focos, totalizando 1.377, somente nos anos de análise, 1998, 2001, 2007, 2012 e 2015 (Gráfico 7). Estes se distribuíram em praticamente todos os setores da área de pesquisa.

Gráfico 7 - Distribuição dos Focos de calor na área EESGT entre 1998 a 2015



Ainda sobre os focos de calor, percebe-se que entre os anos em questão, destaca-se o ano de 2007 como de maior incidência com 469 focos e o mês de setembro de todos os anos analisados, como de maior número de registros chegando a 521 (Gráfico 8).

Gráfico 8- Distribuição mensal dos Focos de calor na área da EESGT



Organização: J. F. COSTA, 2018

Sobre a espacialização dos focos de calor na área de pesquisa, podem ser destacados os municípios onde ocorrem as maiores incidências de fogo no período de análise em questão, ou seja, o município de Mateiros com 568 registros, representando cerca de 41% do total dos focos, seguido de Formosa do Rio Preto com 377 registros e Ponte Alta do Tocantins com 324 registros (Tabela 18).

Corroborando com a observação dos aspectos climáticos serem os principais condicionantes a ação do fogo na área de pesquisa, os Focos de Calor e os maiores registros, também ocorrem nos períodos anuais e mensais com as maiores temperaturas e as menores quantidades de precipitações.

Tabela 18 - Total de Focos de Calor por Município

MUNICÍPIOS	Nº DE FOCOS DE CALOR	PERCENTAGEM (%)
Almas	90	6,5
Formosa do Rio Preto	377	27,4
Mateiros	568	41,2
Ponte Alta do Tocantins	324	23,5
Rio da Conceição	18	1,3
TOTAL	1.377	100

Organização: J. F. COSTA, 2018

Com o NDVI, pode-se observar que os valores espectrais considerados como os locais de maior incidência da ação do fogo entre os anos de 1998 e 2015 na área de pesquisa, ficaram entre 0.09 a 0.30(Tabela 19). Destaca-se, o ano de 2007 como aquele que apresentou o menor valor espectral (0.09) que sugere a maior severidade do fogo.

Tabela 19 - Intervalo Espectral da dinâmica do Fogo

ANO	NDVI - INTERVALO ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )
1998	0.11 a 0.22
2001	0.12 a 0.24
2007	0.09 a 0.15
2012	-
2015	0.17 a 0.30

Organização: J. F. COSTA, 2018

A confirmação dos resultados obtidos com o NDVI sobre as áreas com ação do fogo, pôde ser observada quando faz-se a integração ou sobreposição dos locais com as maiores incidências de focos de calor com os intervalos espectrais identificados.

As cicatrizes de fogo permitem uma ideia mais incisiva da intensidade da ação do fogo na área de pesquisa através da sua espacialização com a qual percebe-se a abrangência dos eventos de fogo e suas dimensões.

Entre os anos analisados, não houve uma significativa discrepância entre as dimensões de áreas com cicatrizes de fogo, porém o ano de 2007 foi o que apresentou o maior valor com abrangência de cerca de 68% da área de pesquisa e o ano de 2015, o que apresentou o menor valor com cerca de 41% da área de pesquisa (Tabela 20).

Tabela 20- Síntese da dinâmica do fogo entre 1998 - 2015.

ANOS	CICATRIZES DE FOGO (TARDIO E PRECOCE)km <sup>2</sup>	CICATRIZES DE FOGO (TARDIO E PRECOCE) %	Nº DE FOCOS DE CALOR
1998	354.64	50	106
2001	328.526	46	170
2007	480.685	68	469
2012	380.846	54	275
2015	292.34	41	357

Organização: J. F. COSTA, 2018

Cabe destacar que as cicatrizes de fogo detalhadas nas fases (Tabelas 10, 12, 14, 15 e 17): Precoce (queima antes do período seco) e Tardio (queima durante o período seco), mostraram que nos anos de 1998 e 2001, a extensão das áreas com fogo Precoce eram maiores do que as de fogo Tardio; em 2007, a extensão de áreas de fogo Tardio eram bem maiores do que a dimensão das áreas de fogo Precoce, chegando a 32% a mais; já nos anos de 2012 e 2015, a extensão das áreas de fogo Precoce eram maiores do que as dimensões de áreas de fogo Tardio.

De modo geral, as cicatrizes mostram que no ano de 1998, a ação do fogo correspondeu a cerca de 50% da área, no ano de 2001 cerca de 46%, no ano de 2007 cerca de 68%, no ano de 2012 cerca de 54% e, em 2015 cerca de 41% permitindo verificar uma redução da ação do fogo área da EESGT nos últimos anos.

Também é possível observar que anterior a criação da unidade, até o ano de 2001, os valores correspondentes a ação do fogo (50 e 46%), não reduziram com a criação da unidade,

pois no ano de 2007 aumentaram (68%). Porém, nos últimos anos é possível observar uma redução ação de fogo, 2012 e 2015 (54 e 41%), respectivamente.

Ainda, como forma de análise da ação do fogo na área de pesquisa, pode-se observar a recorrência de fogo entre os anos de 1998 a 2015, a qual permite a identificação de locais com diferentes incidências desses eventos. Recorrência esta que foi maior de três anos, atingindo uma área de cerca de 208.666has, correspondendo a 29,54%; dois anos atingindo cerca de 179.378has, correspondendo a 25,81%; quatro anos atingiu cerca de 140.401has, correspondendo a 19,85 %; um ano atingiu cerca de 102.642has, correspondendo a 14,52 %; cinco anos atingiu cerca de 37.604has, correspondendo 5,39% e sem recorrência correspondendo a 34,87 ha, correspondendo a 4,89% (Tabela 21).

Cabe destacar, que neste caso, os valores de áreas maiores não são mais relevantes e sim as maiores recorrências, pois representam os locais onde houveram queimas anualmente de maneira “contínua”, ou seja, em todos os anos de análise, agravando a situação e degradação e conservação destes locais (Figura 29).

Assim, destacam-se os locais com cinco anos de recorrência, que encontram-se distribuídos em pequenas parcelas em praticamente em todos os setores da área de pesquisa, porém são locais que necessitam de maior atenção em relação à gestão do fogo. Por outro lado, é possível visualizar diversos locais com baixa recorrências da ação do fogo e até locais sem recorrência que representam áreas com maior conservação ambiental, principalmente alocados junto as principais cabeiras de drenagens e bordas dos relevos residuais das Serras da Estiva e do Meio, bem com das Serras da Muriçoca e Geral.

Tabela 21 - Recorrência da dinâmica do fogo entre os anos de 1998 a 2015 na EESGT

<b>RECORRÊNCIA</b>	<b>HECTARES</b>	<b>%</b>
1 ano (1998)	102.642	14,52
2 anos (1998 - 2007)	179.378	25,81
3 anos (1998 – 2007- 2012)	208.666	29,54
4 anos (1998-2001- 2007 – 2012)	140.401	19,85
5 anos (1998 -2001- 2007 - 2012- 2015)	37.604	5,39
Sem Recorrência	34. 448	4,89

Ainda, através da análise do índice de Recorrência de Fogo foi possível ver a preocupante situação da EESGT em relação a ação do fogo, pois contabilizando-se as áreas atingidas pelo fogo, em pelo menos dois anos, somam cerca de 566.049 has o que equivale a 80,4% da área total.

Diante deste cenário, averiguar qualitativamente os resultados e identificar as áreas com maior frequência de fogo e em quais anos ocorreram, torna-se fundamental para o planejamento de ações preventivas e mitigadoras que contribuem para conservação ambiental e manejo do fogo de maneira eficaz na EESGT.

Apesar dos anos analisados não serem subsequentes, a alta recorrência da ação do fogo requer dos órgãos governamentais e da sociedade civil muita atenção, pois quando o fogo passa frequentemente na mesma área, fragiliza o ambiente, deixando o solo exposto, sujeito a erosão, além de ser uma ameaça para as plantas em estágio inicial de vida, com isso as árvores vão sendo exterminadas e não conseguem se reproduzir (ICMBio, 2014).

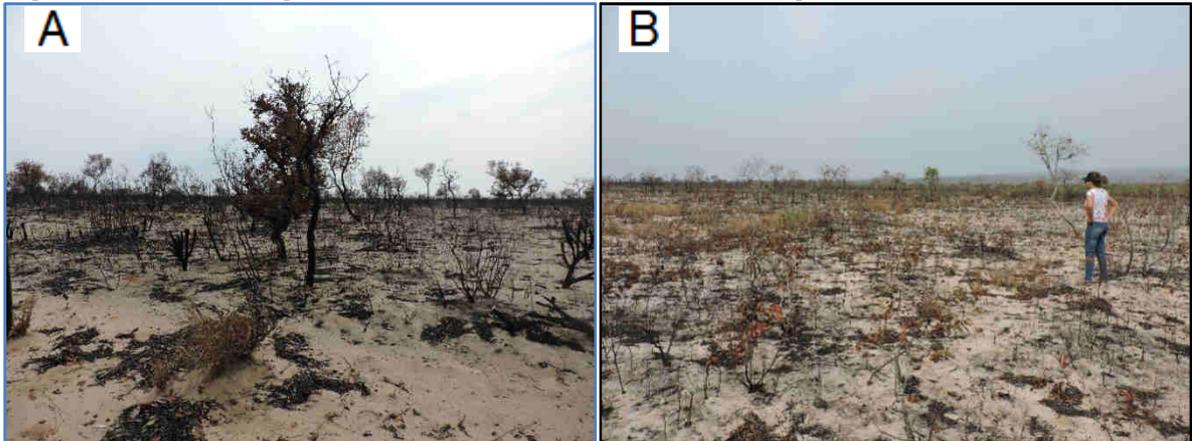
Observou-se ainda os efeitos do fogo sobre a cobertura vegetal onde a intensa ação do fogo incidiu em quase toda a área em menor proporção ao longo dos cinco anos de análise com destaque sobre as áreas com matas ciliares ou galerias e de veredas (Figura 30).

Observou-se ainda, que quanto maior o número de recorrências no período considerado, menor a correspondente área afetada. Isto implica que, a vegetação do bioma Cerrado, uma vez afetada pela ocorrência do fogo, não necessariamente se torna mais suscetível a novas ocorrências.

Portanto, estudos ligados a recorrências de cicatrizes de fogo não deixam de estar diretamente associadas a condições ambientais específicas da área onde ocorrem, tornando complexa a análise dos resultados e sua generalização.

Neste sentido, os efeitos degradativos da ação do fogo na área de pesquisa podem ser visualizados nas Figuras de 24 a 28.

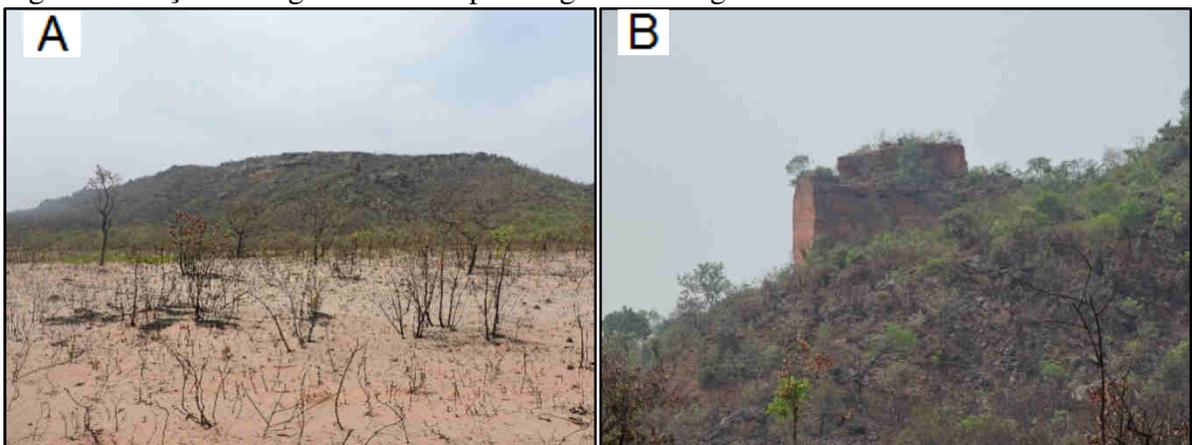
Figura 24-Ação do fogo na descaracterização da cobertura vegetal



Fonte: Cristo, outubro de 2017

Ação do fogo na descaracterização da cobertura vegetal traz como consequência a exposição do solo facilitando o transporte de sedimentos e os processos erosivos.

Figura 25 -Ação do fogo sobre os aspectos geomorfológicos

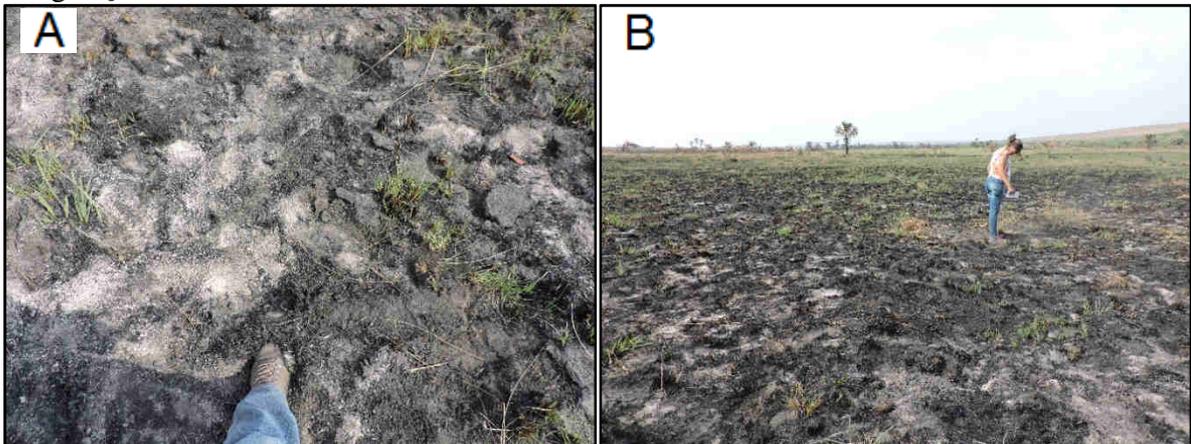


Fonte: Cristo, outubro de 2017

A ação do fogo sobre os aspectos geomorfológicos ocasiona a perda da cobertura vegetal e a exposição das rochas areníticas bem como processos a aceleração dos processos erosivos.

Observou-se a supressão da vegetação após a passagem do fogo nas formas de relevos residuais, nos pontos que apresentam bordas escarpadas e declividades acentuados a ação do fogo retira a vegetação natural o que favorece processos erosivos.

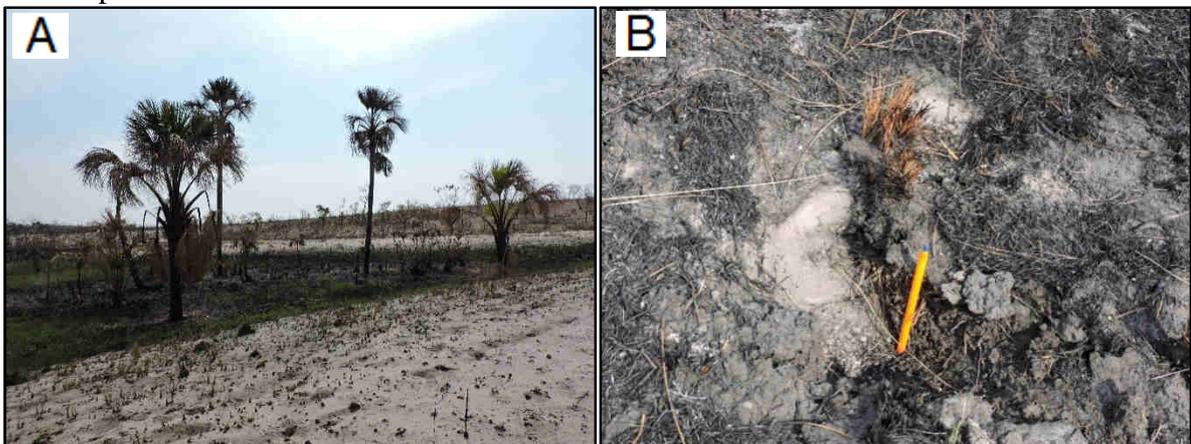
Figura 26 -Ação do fogo sobre área de vereda com a descaracterização do solo e da vegetação local



Fonte: Cristo, outubro de 2017

Os diferentes tipos de solos existente na área, porém com predomínio do solo do tipo Quartizarênico, observou-se a presença de animais na área através de marcas do pisoteio deixados sobre o solo, além de alteração na cor em função das cinzas deixadas após a passagem do fogo.

Figura 27 - Ação do fogo em área de vereda com a descaracterização da cobertura vegetal e o colapso do solo



Fonte: Cristo, outubro de 2017

A ação do fogo em áreas de veredas causam grandes ameaças resultando na sua destruição, conversão ou degradação de grande parte da sua extensão original.

Figura 28 - Ação do fogo sobre Mata Ciliar com a descaracterização da cobertura vegetal



Fonte: Cristo, outubro de 2017

A ação do fogo sobre a mata ciliar ou em veredas pode perdurar por vários dias ou semanas e serem bem complexos em seu combate. As chamas podem atingir níveis bem altos e consumirem as copas mais altas das árvores alastrando-se por outros setores.

Em sua atuação subterrânea, o fogo, supostamente controlado pode ressurgir alguns dias após sua aparente extinção e continuar seu papel destruidor.

Figura 29- Mapa de Recorrência de Fogo entre 1998 a 2015

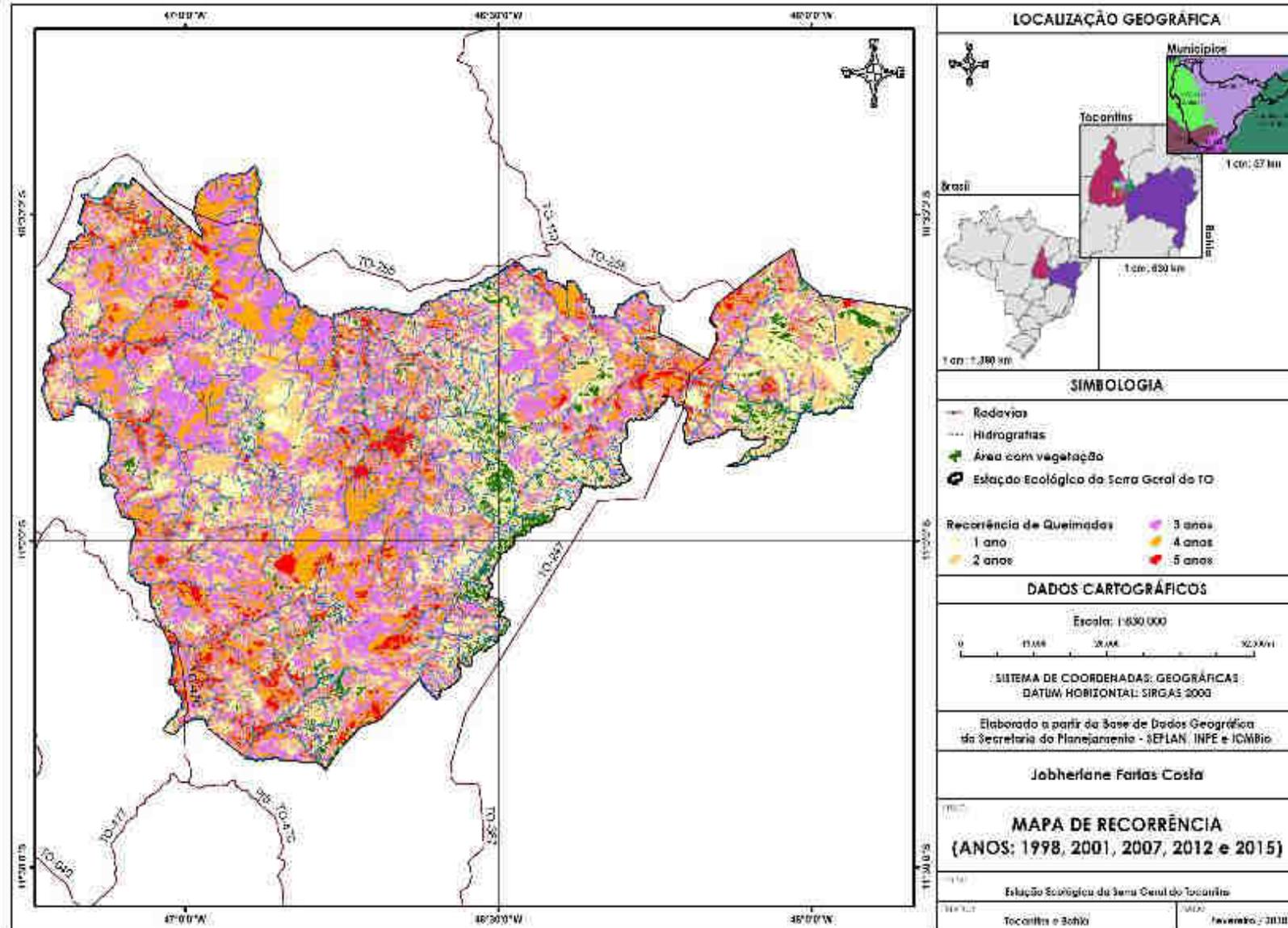
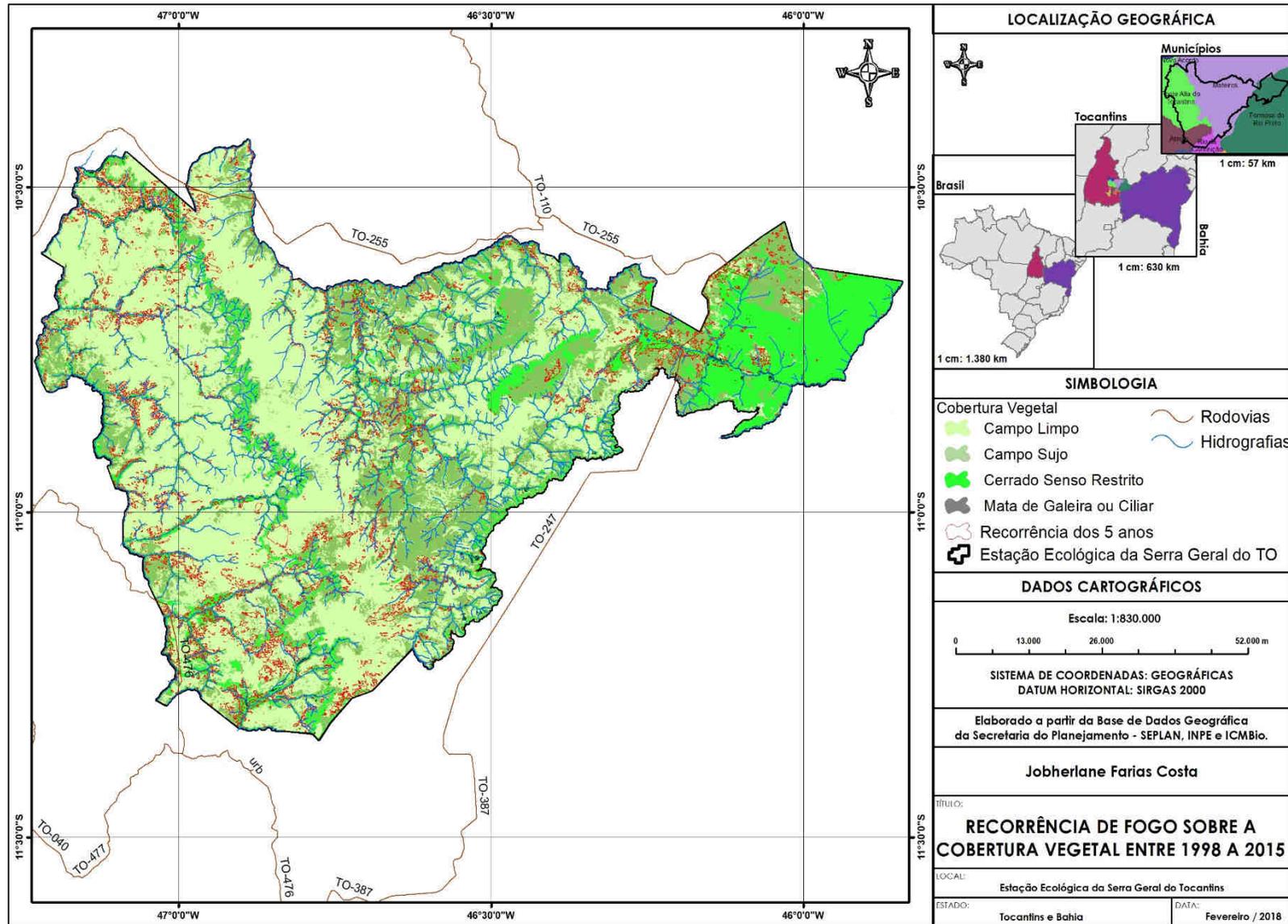


Figura 30 - Mapa de Recorrência de Fogo sobre a Cobertura Vegetal entre 1998 a 2015



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da ação do fogo em UCs é complexo por envolver questões internas de gestão e externas relacionadas as pressões de uso antrópico com seus interesses econômicos. Isto pode ser potencializado em unidades que se encontram no bioma Cerrado, no qual o uso de fogo é polêmico e comum. Além disso, pode-se destacar as fragilidades naturais da região do Jalapão, onde se encontra a área de pesquisa, como dos aspectos geológicos, geomorfológicos, solos, entre outros, que precisam ser conservados para a manutenção da fauna e flora local.

Nesse sentido, os resultados da pesquisa demonstram uma intensa ação do fogo na área da EESGT desde 1998, onde cerca de 50% já sentia seus efeitos, antes mesmo da sua criação. Fato este que se confirma no decorrer dos anos, em que desde 2001 atinge cerca de 46%, em 2007 cerca de 68%, em 2012 cerca de 54% e em 2015 cerca de 41%.

Com as extensas áreas atingidas pelo fogo e o comportamento temporal dos focos de calor, verificou-se que os meses com maior incidência de fogo estão fortemente associados à baixas pluviosidades, no qual se destacaram os meses de junho a setembro.

Observou-se ainda, uma correlação inversamente proporcional entre as variáveis: precipitação e focos de calor, ou seja, quanto maior a quantidade de chuvas, menor a quantidade de focos de calor.

Também a ação do fogo pode ser atribuída ao acúmulo da biomassa por diversos anos, a qual pode servir de combustível e fonte ignição do fogo em períodos secos, desta forma percebe-se como condicionante, o somatório da concentração de cobertura vegetal atrelado às condições meteorológicas.

Ainda, a espacialização das respostas espectrais tendo por base o NDVI e as cicatrizes de fogo, mostraram ser técnicas úteis em estabelecer um padrão (dinâmica) do comportamento do fogo. Contudo, deve-se considerar a interferência da resposta sazonal da vegetação e a capacidade de rebrota no cerrado, após a passagem do fogo que ocorre de maneira rápida e pode confundir na identificação das cicatrizes.

No que diz respeito aos parâmetros de análise da ação do fogo em geral, estes constituem-se numa importante fonte de identificação, mensuração e análise de áreas atingidas pelo fogo, servindo de alternativa de “mapeamento automático” frente à digitalização de forma manual. Contudo, é necessário serem acompanhados por trabalhos de campo.

Diante do caráter exploratório desse tipo de análise, há necessidade de estabelecer mecanismo de comparação com maior número de dados e que levem em consideração um

período de estudo mais amplo o que possibilita testar e aferir esta metodologia em escalas temporais diferentes.

A aplicação de técnicas de SR demonstrou ser eficaz no que diz respeito à precisão, confiabilidade na geração de mapas temáticos, mostrando-se relevante por proporcionar visualmente a dinâmica espaço temporal através da distribuição e frequência do fogo na área.

Ainda, somadas a isso, o uso dessas ferramentas tem seu custo relativamente baixo, quando comparado a métodos convencionais (levantamento e monitoramento de campo).

Contudo, para melhor compreensão da dinâmica/regime e o comportamento da ação do fogo é importante avançar em estudos que nos permitam obter um entendimento melhor do tema, bem como o histórico de uso na região considerando as mudanças de padrões de gestão do fogo.

Em síntese, se faz necessária a tomada de medidas que busquem melhorar a gestão do fogo na área, de maneira que sejam minimizados os seus efeitos negativos de degradação ambiental e assim, a EESGT poderá dar continuidade no desenvolvimento de seu papel de conservação da fauna, flora e do Cerrado como um todo.

Assim sendo, em função dos aspectos apresentados, devem ser priorizadas ações que visem a proteção e preservação do ecossistemas da área de pesquisa, bem como melhor gestão da EESGT, evitando qualquer prática ou atividades no local que promovam sua degradação. Neste sentido deveriam ser observadas algumas recomendações:

- Realizar ações de preservação e recuperação das áreas atingidas durante todos os anos de pesquisa, com destaque para as atingidas sobre as diversas formas de relevos residuais sedimentares com formas tabulares, bordas escarpadas e declividades acentuadas pois estas favorecem a ocorrências de processos erosivos;
- Ampliar o uso do SR em ações de prevenção e combate a incêndio florestais, a exemplo do MIF;
- Ampliação de ações de fiscalização com intuito de evitar o uso do fogo “de maneira indiscriminado”;
- Priorizar ações preventivas nos locais de maior recorrência do fogo.

## REFERÊNCIAS

- BASTARRIKA, A. ALVARADO, M., ARTANO, K., MARTINEZ, M. P., MESANZA, A., TORRE, L. & CHUVIECO. BAMS: A Tool for Supervised Burned Area Mapping Using **Remote Sensing**, n. 6, 9 December 2014. 12360-12380.
- BEATO, C. **Compreendendo e avaliando: projetos de segurança pública**. Editora UFMG, 2008.
- BORGES. M.A; BARRADAS, C. Gestão do Fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Seminário Regional sobre Manejo Integrado do Fogo Projeto Cerrado-Jalapão**. Gurupi, 2016. Disponível em <[http://www.cemaf.org/smif/images/apresentacoes/04\\_Borges\\_e\\_Barradas.pdf](http://www.cemaf.org/smif/images/apresentacoes/04_Borges_e_Barradas.pdf)> Acesso em 28 dez. 2017.
- BARRADAS A. C. S . A Gestão do Fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Trabalho de conclusão** (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro / Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, 2017, 123 f.
- BERRA E. F.; FONTANA. C. Y; KUPLICH. M.T. Comparação cruzada dos sensores LISS-III/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5. Foz do Iguaçu, PR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013. **Anais**. Foz do Iguaçu-PR, INPE.
- 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.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp 568p. 1996.
- COHEN, J. A Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, [S.l.], v. 20, p. 37-46, 1960.
- CONGALTON, R. G., and GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.
- COUTINHO, L. M. **Aspectos do cerrado-fogo**. 2000. Usp. Disponível em: <[http://eco.ib.usp.br/cerrado/aspectos\\_fogo.htm](http://eco.ib.usp.br/cerrado/aspectos_fogo.htm)>. Acesso em: 10 de jun. 2016
- COUTINHO, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje** vol., n° 68: 22-30, Rio de Janeiro, 1990.
- CRISTO, S. S. V. Abordagem geográfica e análise do patrimônio geomorfológico em unidades de conservação da natureza: aplicação na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e área de entorno-Estados do Tocantins e Bahia. 2013. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- DA SILVA, W. C. S. Aplicação da Técnica de Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Para o Mapeamento de diferentes tipos de água no rio Solimões e no Lago de Coari utilizando imagens Landsat-5 TM. 2008. **Tese** de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE JESUS, S. C. SETZER, A. W.; MORELLI, F. Validação de Focos de Queimadas no Cerrado em imagens TM/Landsat-5. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, 2011.

DESHLER, W. An examination of the extent of fire in the grassland and savanna of Africa and the southern side of the Sahara. In: **International Symposium on Remote Sensing of Environment**, 9., Ann Arbor, MI, 15-19 abr., 1974. Proceedings. Ann Arbor, MI: ERIM, 1974, v. 1, p. 23-30.

DIAS, G. F. **Mudança Climática Global e Educação Ambiental**, 2007.

FEARNSIDE, P. M. RIGHI, C. A., DE ALENCASTRO GRAÇA, P. M. L., KEIZER, E. W., CERRI, C. C., NOGUEIRA, E. M., e BARBOSA, R. I. Biomass and greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1968 - 1978, 2009.

FERREIRA, W. P. M. As queimadas e as mudanças climáticas. **Revista ECO 21**, n. 120. PUC: Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=1455>> . Acesso em: 09 jul de 2016.

GOWARD, S. N., MARKHAM, B., Normalized Difference Vegetation Index Measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer". **Remote Sensing of Environment**, 1991, 35, 257-277.

IBAMA. **Programa de Manejo do Fogo**. 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

ICMBio. **Plano de Manejo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2014. Brasília, 529 p.

\_\_\_\_\_. **Biodiversidade**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). 2012b. Disponível em: <[www.icmbio.gov.br](http://www.icmbio.gov.br)>. Acesso em: 10 de out. 2016.

IBGE. 2009. Base cartográfica – Limite estadual e municipal. Disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais.html>>. Acesso em: 12 de out. 2017

JUSTICE, C. O.; MORISETTE, J. T.; ROY, D. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, p. 244-262, 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da segunda edição: Epiphânio, J.C.N. et al. Editora Parêntese, 598p. 2011.

LANDIS, JR.; KOCH, GG. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. v.33, p.159-74, 1977.

LEITE, E. F. Caracterização, diagnóstico e zoneamento ambiental: o exemplo da bacia hidrográfica do Rio Formiga – TO. Uberlândia – MG: **Tese de doutorado**, Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia, 2011. 228p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 908 p.

\_\_\_\_\_. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 1ª ed. Campo Grande: UNIDERP, v. 881, 2007.

LOMBARDI, R. J. R. Estudo da recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado Brasileiro, utilizando imagens TM/ Landsat. **Dissertação**(Mestrado – INPE), São José dos Campos, 2005; 172p.

MARVALHAS, J; Efeitos dos diferentes regimes do fogo na comunidade de Formiga do Cerrado. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia; 2013; 58p.

MENESES. P. R; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. In: MENESES. P. R. **Princípios de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB/CNPQ, 2012.p.1-33.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Perfil dos Incêndios Florestais Acompanhados pelo Ibama – 2009**. Brasília: Ibama/Prevfogo, 2010. 29 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Informações Geográficas e Banco de Dados de Focos de Calor nas Áreas Protegidas**. 2014. Disponível em:<[http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.php? LANGUAGE=PT](http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.php?LANGUAGE=PT)>. Acesso em: 10 de jun.2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites**. Sistema PRODES, DETER, DEGRAD e Queimadas 2007-2008. SP: São José dos Campos, dez/2008. Disponível em:<[http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio\\_Prodes2008](http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008)>.Acesso em: 10.mai.2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – **Programa Queimadas: Perguntas frequentes** [online]. São Jose dos Campos: INPE, 2011. Disponível em:<<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 20 de out. 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª Edição. ed. Viçosa: UFV, v. 1, 2005.

NATURATINS. Instituto da Natureza do Tocantins. **Plano de Manejo – PEJ - Parque Estadual do Jalapão**. Palmas –TO, 2003.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1992. 308 p.

\_\_\_\_\_. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3ª Ed. Ltda, 3ª Edição, São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

NUNES, R. S. FMA+:Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná – Brasil. **Tese** (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2005.

PEREGRINI, A. **Plano De Manejo Integrado Do Fogo Para Evitar Incêndios No Jalapão**. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/noticias/2014/4/1/especialista-elabora-plano-de-manejo-integrado-do-fogo-para-evitar-incendios-no-jalapao/#sthash.louskm2d.dpuf>> . Acesso em: 06 Jul.2016.

PEREIRA JUNIOR, A da C. Métodos de geoprocessamento na avaliação da susceptibilidade do cerrado ao fogo, São Carlos: UFSCar, 2003. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2002.

PESSOA, O. A. de A. Evolução Temporal do Comportamento Espectral de área Queimada em Formação Campestre do Cerrado. **Dissertação** (mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014,104 f.

PINTO, P. H. P.et al. Abordagem Preliminar Sobre a Gênese e a Dinâmica Climática em Porto Nacional – TO. in: **Ix Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, Fortaleza – CE, 2010.

PINTO, P. H. P; SOUZA, L. B. Os Aspectos Climáticos de Porto Nacional (TO) com base nas Normais Climatológicas de 1931-1960 e 1961-1990. In: XI SEMANA ACADÊMICA DE GEOGRAFIA DO CAMPUS DE PORTO NACIONAL, **Anais** da XI Semana Acadêmica de Geografia do Campus de Porto Nacional, Porto Nacional-TO, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2012. 128 p.

PRUDENTE, T. D. Geotecnologia Aplicada ao Mapeamento de Risco de Incêndios Florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Área de entorna. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia- MG, 2010 114 f.

QUINTANO, C., FÉRNANDEZ-M, A., SHIMABUKURO, Y. E., & PEREIRA, G . Aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral para o Mapeamento de Queimadas no Parque Nacional das Emas. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, V. 15. p.7910-7917, 2011.

RIBEIRO, J. F., WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M. & ALMEIDA, S. P. de. (Ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: Embrapa-PAC, 1998. p. 87-166.

RIBEIRO. A. F. M. Abrangência e Recorrência de Incêndios e a Resiliência da Vegetação na Serra dos Pireneus – Goiás. 2016. 85 f., il. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Florestal)—Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do autor, 2000.220p.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. Ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248p.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial**. Palmas – TO: Secretaria do Planejamento – SEPLAN, Superintendência de Planejamento e Gestão Central de Políticas Públicas, Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico – DZE, 5 ed. 2008. 62 pag.

SEPLAN. 2012. Mapas e Atlas - Bases Vetoriais. Governo do Estado do Tocantins. Secretaria Estadual de Planejamento e Meio Ambiente (SEPLAN). Palmas.

SILVERMAN, B .W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis** . Nova York: Chapman and Hall, 1986.

SCHROEDER, W. et al. The New VIIRS 375m active fire detection data product: algorithm description and initial assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 143, p. 85-96, Mar. 2014

SETZER, A. W.; PEREIRA, M. C. Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their topospheric emissions. **AMBIO**, Stockohlm, v. 20, n. 1, p. 19-22, 1991.

TABONY, R.C. The estimation of missing climatological data. **Journal of Climatology**, v. 3, n. 3, p. 297-314, 1983.

TRIGG, S.; FLASSE, S. Anevaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 22, n. 13, p. 2641-2647, 2001.

VAN DER WERF, G R. RANDERSON, J. T., GIGLIO, L., COLLATZ, G. J., KASIBHATLA, P. S., & ARELLANO JR, A. F. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, n. 11, p. 3423-3441, 2006.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. **Tese**. (Doutorado), Universidade de Brasília, 2006.