



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Universidade de Brasília - UnB

Instituto de Humanas – IH

Departamento de Geografia – GEA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS EM ÁREAS
NATIVAS DE CERRADO: RPPN SERRA DO TOMBADOR,
CAVALCANTE, GO**

Gabriel Antunes Daldegan

Orientador: Prof. Dr. **Osmar Abílio de Carvalho Júnior**

Dissertação de Mestrado

Brasília-DF, Julho de 2012.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE QUEIMADAS EM ÁREAS
NATIVAS DE CERRADO: RPPN SERRA DO TOMBADOR,
CAVALCANTE, GO**

Gabriel Antunes Daldegan

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

Aprovado por:

Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Doutor (Universidade de Brasília-UnB)
(Orientador)

Heloísa Sinátora Miranda, Doutora (Universidade de Brasília-UnB)
(Examinador Interno)

Alfredo da Costa Pereira Júnior, Doutor (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-
INPE)
(Examinador Externo)

Brasília-DF, Julho de 2012.



Daldegan, Gabriel Antunes

Análise espaço-temporal de queimadas em áreas nativas de Cerrado: RPPN Serra do Tombador, GO.

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. Cerrado | 2. Sensoriamento Remoto |
| 3. Fogo | 4. Sistema de Informações Geográficas |
| 5. Unidades de Conservação | |

I. UnB-GEA

II. Mestrado

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gabriel Antunes Daldegan



AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria Aparecida e João, e aos meus irmãos, Raquel e Daniel, pela companhia, carinho, amizade e apoio de sempre.

Aos meus avós, vovó Neuza, vovô José e vovó Maria Luzia, por serem exemplos de vida e de perseverança.

À minha namorada, Fernanda, que é minha melhor amiga, amante, companheira ... Sem você essa caminhada teria sido sem graça e muito mais complicada!

Aos meus colegas de trabalho da *The Nature Conservancy*, Fernando, Adolfo, Lícia, Ayla, Grazi, Barnes, Carol, e em especial ao Leandro Baungartem, por me incentivar a cumprir essa etapa.

Aos professores Osmar Abílio e Roberto Gomes, por revisarem, criticarem, pressionarem e principalmente, acreditarem no meu esforço.

Aos meus amigos Guará, André, Felipe Batatinha, Brunão, Pontes, Thiago, Yuri, Kadu, Mandioca, Sergio, Pedro Bocão, Yarssan, Soninha, Gustavo, Gutemberg e muitos outros, que foram essenciais em minha formação pessoal, acadêmica e profissional. Quantas conversas, viagens, festas, histórias... No fim, isso que vai contar!!

Aos *bikers* Pedro D2, Paulo Crzy, Paulinho Cauby, Baru, Marcelo Gordin, pois os pedais foram momentos de terapia e de renovação das pilhas e da alma!

Aos meus amigos/estagiários/*slaves* (hehehe) Vitor Paiva e Jonathan Braga, que muito me ajudaram a realizar esse estudo. Sem vocês o trem teria ficado muito feio pro meu lado.

Muito obrigado!



SUMÁRIO

	Pág.
Lista de Tabelas.....	6
Lista de Figuras.....	7
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	8
Resumo.....	10
Abstract.....	11
1. Introdução.....	12
2. Área de estudo.....	14
3. Fundamentação Teórica.....	19
3.1 Bioma Cerrado e suas características na área estudada.....	19
3.2 Fogo no Cerrado.....	22
3.3 Sensoriamento Remoto aplicado para detecção de queimadas.....	24
4. Metodologia.....	27
4.1 Dados Utilizados.....	27
4.2 Pré-processamento.....	28
4.3 Classificação.....	31
4.4 Análise morfométrica das áreas queimadas.....	32
4.5 Cruzamento das informações.....	33
4.6 Organização dos dados.....	34
5. Resultados.....	35
5.1. Áreas queimadas no período entre 2001-2010.....	35
5.1.1 Área Total.....	35



5.1.2 Área da RNST.....	41
5.2. Recorrência de eventos de fogo.....	42
5.3. Análise dos eventos de fogo nas unidades de vegetação e uso da Terra	46
5.3.1 Área Total.....	46
5.3.2 Área da RNST.....	47
6. Considerações Finais.....	48
7. Referências Bibliográficas.....	51



LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Órbita, pontos e data das imagens TM-Landsat 5 para o período de 2001 a 2010.....	30
Tabela 2 – Quantidade de polígonos mapeados, área (ha) e percentual da área queimada, por ano, dentro da RNST e da área de amortecimento de 10km, entre 2001 e 2010....	3736
Tabela 3- Métricas dos polígonos mapeados em cada ano, de 2001 a 2010	40
Tabela 4 - Número de polígonos mapeados, total da área e percentual da Reserva Natural Serra do Tombador que foram queimados, por ano, entre 2001 e 2010.....	41
Tabela 5 - Recorrência de queimadas entre 2001 e 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.	4443
Tabela 6 - Percentual queimado de cada classe de uso e cobertura da Terra na área total, no período de 2001 a 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.....	4746
Tabela 7 - Estimativa de área (ha) de cada classe de uso e cobertura da Terra que queimaram dentro da área total ao longo do período de 2001 a 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.	4847
Tabela 8 - Estimativa de área (ha) de cada classe de uso e cobertura da Terra que queimaram dentro dos limites da RNST ao longo de todo o período estudado.....	4847



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Localização e limite da RNST e área de amortecimento de 10 km.....	14
Figura 2 - Localização da Reserva Natural Serra do Tombador e do Parque Nacional Chapada dos Veadeiros.....	15
Figura 3 - Fluxograma demonstrando os passos metodológicos utilizados.....	2827
Figura 4 – Mapa de uso e cobertura da Terra (TNC) dentro da RNST e de parte da da área de amortecimento, gerado tendo como base imagens SPOT 5 de 2007 (TNC, dados não divulgados).....	3433
Figura 5 - Gráfico comparando os valores de área queimada anualmente dentro da RNST e da área de amortecimento ao longo do período estudado (2001 a 2010).....	3736
Figura 6 – Total de queimadas que ocorreram na RNST e na área de amortecimento de 10 km entre 2001 e 2010.....	3837
Figura 7- Polígonos mapeados para os anos 2001, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007, dentro da RNST e da área de amortecimento.....	3938
Figura 8 - Polígonos mapeados para os anos 2008, 2009, 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento	4039
Figura 9 – Gráfico comparando os valores de área queimada anualmente dentro RNST ao longo do período estudado (2001 a 2010).....	4342
Figura 10 – Recorrência de queimadas ao longo do período de 2001 a 2010.	4544
Figura 11 - Recorrência de queimadas e Uso do Solo dentro da RNST e da Área de Amortecimento, demonstrando quais as classes de Uso mais sofreram com o fogo.....	45



LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- AGMA – Agência Goiana de Meio Ambiente
- ANA – Agência Nacional de Águas
- AVHRR – *Advanced Very Resolution Radiometer*
- CBERS – *China-Brazil Earth Resources Satellite*
- CCD – *High Resolution CCD Camera*
- DGVM – *Dynamic Global Vegetation Models*
- ESRI – *Environmental Systems Research Institute*
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- GPS – *Global Position System*
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
- NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*
- NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
- PARNACV – Parque Nacional Chapada dos Veadeiros
- PDI - Processamento Digital de Imagens
- REM - Radiação Eletromagnética
- RNST – Reserva Natural Serra do Tombador
- RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para América do Sul
- SPOT – *Satellite Pour l'Observation de la Terre*



SR – Sensoriamento Remoto

SNUC- Sistema Nacional de Unidades de Conservação

TM – *Thematic Mapper*

TNC – *The Nature Conservancy*

UC – Unidade de Conservação

UNESCO – Programa das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
(*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*)

UTM – *Universal Transversa de Mercator*



RESUMO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, atrás apenas da Amazônia e é considerada a savana que apresenta a maior biodiversidade. Com o avanço da fronteira agrícola nas últimas décadas, cerca de 49% do bioma já foi alterado, sendo convertido para atividades antrópicas. A região Nordeste do Estado de Goiás apresenta uma das maiores e mais preservadas regiões de Cerrado, e possui diversas Unidades de Conservação- UCs. Dentre elas está a Reserva Particular Patrimônio Natural (RPPN) Reserva Natural Serra do Tombador (RNST), que é a maior reserva privada localizada em Goiás (8.902 ha), e a quarta maior presente no Cerrado. As queimadas que frequentemente ocorrem no Brasil Central nas épocas de estiagem contribuem para o aumento das taxas de desmatamento e influenciam na distribuição e densidade das diferentes fisionomias presentes no Cerrado, favorecendo as espécies que são mais resistentes ao fogo. O uso de imagens obtidas por sensores orbitais é cada vez mais comum para estudos ambientais, incluindo identificação de cicatrizes deixadas pelos incêndios nas vegetações. Compreender o comportamento das queimadas por meio de estudos espaço-temporais, mapeando a quantidade e as extensões das cicatrizes deixadas pelo fogo, pode auxiliar os gestores das UCs a melhor planejarem o manejo das reservas e os planos de ações de combate a incêndios descontrolados. O presente estudo teve como objetivo mapear as queimadas que ocorreram na RNST e em suas imediações no período de 2001 a 2010, e assim identificar o seu comportamento. Foram utilizadas técnicas de classificação supervisionada, aplicando o algoritmo Mahalanobis em amostras coletadas em cada imagem. Ao longo do período estudado 69% da área estudada sofreu com a passagem do fogo. O ano que maior apresentou a maior quantidade de polígonos mapeados e maior área queimada foi 2004, seguidos por 2001, 2007 e 2010. Também foram identificadas áreas nas quais as queimadas são muito recorrentes, indicando locais que merecem especial atenção. As fisionomias que mais sofreram com as queimadas foram as Formações Savânicas, concentrando 89% do total de queimadas.

Palavras-chaves: **Sensoriamento Remoto, recorrência do fogo, Cerrado**



ABSTRACT

The Cerrado biome, the Brazilian savanna, second largest in Brazil after the Amazon, is considered to be the savanna with the highest biodiversity in the world. With the expansion of agriculture in the last decades, about 49% of the Cerrado has been transformed by human activity. The northeast region of Goiás state has one of the largest and best preserved regions in the Cerrado, and is home to several protected areas (PAs). Among them, the PRNP Serra Tombador Natural Preserve - RNST, which is the largest private preserve located in Goiás, and the fourth largest in the biome. The frequent fires that occur in Central Brazil in times of drought contribute to increasing rates of deforestation, and influence the distribution and density of the different Cerrado physiognomies, favoring the species that are most fire-resistant. The use of orbital sensor images is increasing in the area of environmental studies, including as a means to identifying fire-related scars in the vegetation. Understanding the behavior of the burning through multitemporal studies, and mapping the amount and extensions of the scars, can help managers better plan the preserves' PA management and the action plans to combat uncontrolled wildfires. The present study aimed to map the fires that occurred in RNST and its surroundings in the period between 2001 and 2010, thus identifying their behavior. The technique used in this study was supervised classification through the application of the Mahalanobis algorithm in samples collected from each image. During the years covered by the study 69% of the areas analyzed had experienced fires. The year with the highest amount of mapped polygons and the largest area burned was 2004, followed by 2001, 2007 and 2010. The study also identified areas where fires are frequently recurrent, indicating places that deserve special attention. The physiognomies that suffered most fires were the savannas formations, where 89% of all fires occurred.

Keywords: Remote Sensing, fire recurrence, Cerrado (Brazilian Savanna)



1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado destaca-se entre as demais savanas por sua alta biodiversidade (RIBEIRO e WALTER, 1998). É o segundo maior bioma brasileiro em extensão, com aproximadamente 2 milhões de km², ocorrendo em diferentes tipos de solos e formações geológicas (EITEN, 1972; RIBEIRO e WALTER, 1998, 2008).

Apesar de sua riqueza biológica e cultural, esse bioma tem sido drasticamente alterado pela ação humana e hoje é considerado um *hotspot* da biodiversidade. Ou seja, um dos ecossistemas de grande importância mundial e que sofre com aceleradas taxas de destruição, correndo alto risco de ser reduzido a pequenos fragmentos de remanescentes (MITTERMEIER *et al.*, 2000; SCARIOT *et al.*, 2005). Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente - MMA (2011), 48,22% da área originalmente ocupada pelo bioma já sofreu algum tipo de supressão, sendo convertido para atividades antrópicas. No período de 2002 a 2008 o Cerrado teve a maior taxa anual (0,7%) de desmatamento dentre os biomas existentes em território brasileiro (MMA, 2011).

Um dos fatores que contribui para a rápida conversão desse bioma para atividades humanas são as queimadas intencionais utilizadas de forma equivocada para abertura de novas áreas para o uso, que anualmente no período de estiagem, ocorrem em muitas e extensas áreas de vegetação natural, consumindo-as parcialmente. Essa é uma situação particularmente crítica no Planalto Central, devido às características climáticas dessa região, marcada por duas estações: uma chuvosa, entre os meses de Outubro e Maio, com altos índices pluviométricos; e outra estação seca, de Junho a Setembro, com níveis muito baixos ou a completa ausência de precipitação por alguns meses seguidos (SILVA *et al.*, 2008).

Na região nordeste do Estado de Goiás encontra-se uma das maiores extensões de Cerrado bem conservado, e que apresenta grande biodiversidade. Essa região possui riquezas naturais e belezas cênicas, e abriga uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – PARNACV (com aproximadamente 60.000 ha), assim como um conjunto de nove Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), já estabelecidas ou em processo de implantação, que



protegem uma parcela significativa da área (Agência Goiana do Meio Ambiente - AGMA, 2005). Dentre as RPPN presentes na região, a Reserva Natural Serra do Tombador (RNST) destaca-se por ser a maior reserva particular do estado de Goiás e a quarta maior presente no Cerrado (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011). Apenas 5,77% da superfície originalmente ocupada pelo Cerrado estão dentro de Unidades de Conservação (MMA, 2008), e dentre elas está o Parque Nacional (PARNA) Chapada dos Veadeiros e a RPPN Reserva Natural Serra do Tombador.

Tendo em vista a importância da região para o Bioma Cerrado, o presente trabalho possui como objetivo mapear as cicatrizes de queimadas que ocorreram na RNST e em suas imediações (área de amortecimento definida por uma faixa de 10 km no entorno) no período de 2001 a 2010. Por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), de Processamento Digital de Imagens (PDI) e Sistema de Informações Geográficas (SIG), pretende-se compreender os seguintes componentes do regime de fogo: a quantidade de queimadas; a extensão das queimadas; a recorrência de queimadas em cada uma das áreas; as formações vegetais que mais sofrem com o efeito do fogo. Com o levantamento dessas informações pretende-se auxiliar os gestores da RNST a aperfeiçoarem as práticas de combate e manejo do fogo na área da reserva e arredores e verificar se existe uma ou mais faces do polígono que delimita a RPPN que enfrenta frentes de fogo com maior frequência.

No presente estudo adota-se uma análise espaço-temporal utilizando imagens do sensor Thematic Mapper (TM) -Landsat 5, com resolução espacial de 30 m e adquiridas num período de dez anos (2001 a 2010). Para a identificação das formações vegetais, nas quais ocorreram as queimadas, é utilizado um mapeamento de uso e cobertura da Terra para uma região de aproximadamente 325.000 ha, que recobre a área da RNST e seu entorno. Esse mapeamento foi realizado pelo Programa de Conservação da Mata Atlântica e das Savanas Centrais da *The Nature Conservancy* (TNC, dados não divulgados), utilizando como referência um mosaico de imagens SPOT 5, com resolução espacial de 5m, do ano de 2007. Nele estão identificadas as formações vegetais (florestal, savânica e campestre) presentes na região, assim como as áreas de uso antrópico (agropecuária e outras atividades antrópicas).



2. ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo é realizada uma descrição da área de estudo adotada no presente estudo. As informações para caracterização são baseadas no Plano de Manejo da RNST, de 2011(FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011).

Á área de estudo do presente trabalho compreende a RNST, acrescida de uma área de amortecimento (faixa de 10 km no entorno da reserva) totalizando uma área de 90.029 ha. Essa área de amortecimento tem por objetivo definir a área de influência direta tanto da RNST no entorno quanto do entorno nessa reserva. Como a legislação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei Nº 9.985- BRASIL, 2000) não define a extensão da área de amortecimento para a categoria RPPN, a largura da faixa adotada neste trabalho (10 km) foi definida com base nas características físicas da área de estudo, como o relevo e as fisionomias vegetais. Na Figura 1 é apresentado um mapa da localização e limite da RNST e da área de amortecimento.

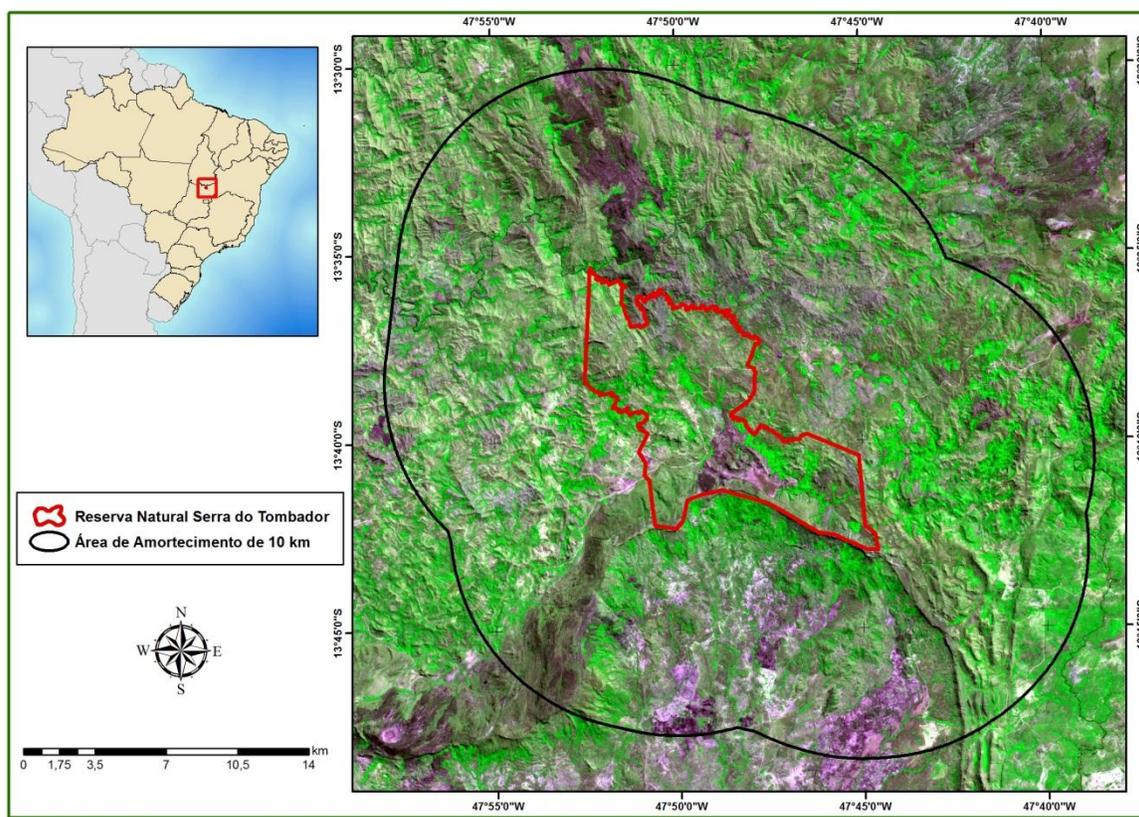


Figura 1 – Localização e delimitação da RNST e da área de amortecimento de 10 km.



A RNST foi adquirida em 2007 pela Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, com o apoio da *The Nature Conservancy* – TNC, e em 2009 foi reconhecida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio como Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN, categoria que integra o SNUC como Unidade de Conservação de Uso Sustentável (BRASIL, 2000). A RNST possui área de aproximadamente 8.900 ha sendo a maior reserva particular localizada no estado de Goiás e a quarta maior presente no bioma Cerrado. Localizada no município de Cavalcante, no nordeste do estado de Goiás, se encontra a 22 km do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PARNA Chapada dos Veadeiros), que foi reconhecido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) como Patrimônio Natural Mundial em 2001. Na Figura 2 é apresentado um mapa da localização da RNST e do PARNA Chapada dos Veadeiros.

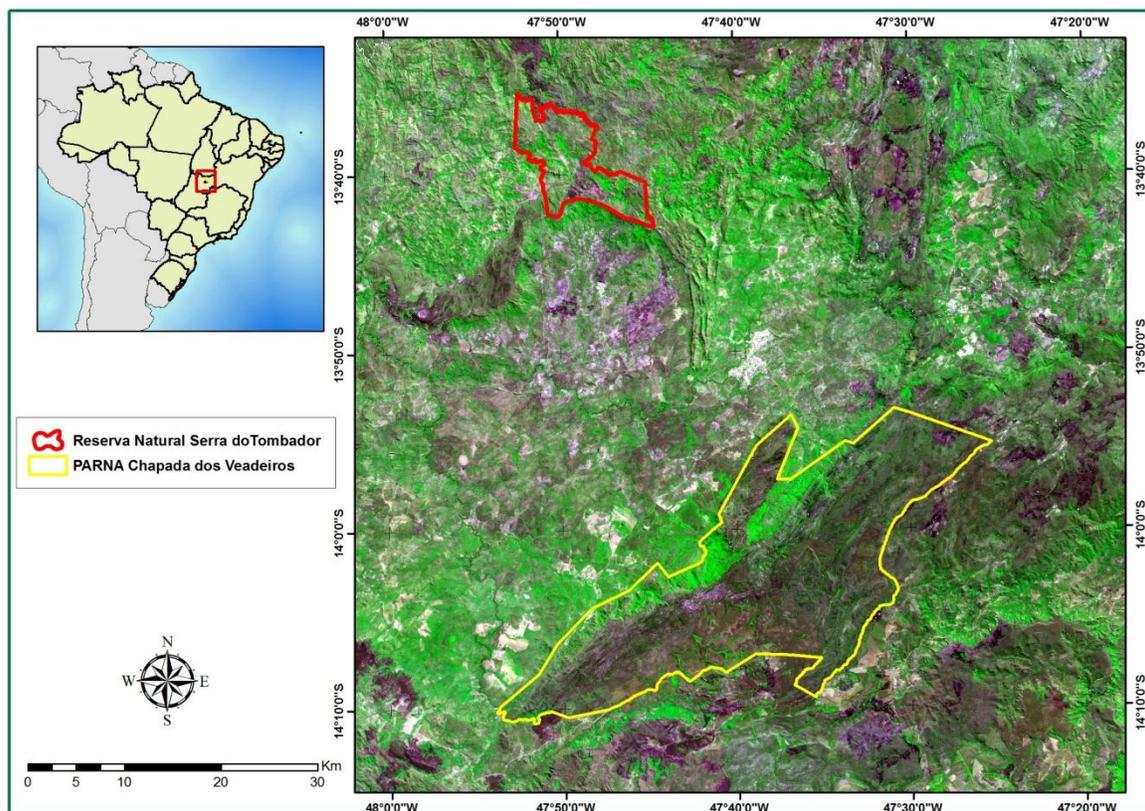


Figura 2 - Localização da Reserva Natural Serra do Tombador e do Parque Nacional Chapada dos Veadeiros.



O povoamento do município de Cavalcante, no qual se encontra a RNST, se iniciou com expedições bandeirantes a procura de novas minas de ouro que tem seus primeiros registros datando de 1736. A região já era ocupada por indígenas da nação Avá-Canoeiro, que por volta de 1500 dominavam o atual território do Estado de Goiás. Esses nativos foram praticamente dizimados durante o processo de invasão de suas terras, restando hoje apenas uma família composta por 6 indivíduos que vivem sob a tutela da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) desde 1981, em uma reserva de aproximadamente 38.000 ha. Oficialmente fundado com Arraial em 1740, Cavalcante passou por vários desmembramentos territoriais ao longo de sua história até ter sua delimitação atual. Dados do Censo Demográfico de 2010 do IBGE apontam 9.392 habitantes no município, com uma densidade de 1,35 habitantes por km². Segundo o Censo 2010, praticamente metade da população total reside na área rural do município: 4.742 pessoas residem na área urbana e 4.650 residem na área rural, demonstrando como o município ainda possui predominantemente características rurais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012).

As atividades econômicas predominantes são a exploração mineral de areia e manganês e a agropecuária, prevalecendo o cultivo de milho, mandioca, cana de açúcar, arroz e banana, culturas típicas de subsistência. Dados do Censo Agropecuário de 2006, realizado pelo IBGE apontam 2.374 estabelecimento rurais registrados, dos quais metade usam suas terras como pastagens naturais ou implantadas, predominando criações de bovinos e galináceos, e os produtos derivados dessas atividades são leite e ovos, não havendo registros de produção de carne para comércio. Próximo da área de amortecimento estabelecida se encontra a Comunidade de São Domingos, com cerca de 200 casas e 500 moradores, dos quais a maioria não conta com trabalho formal e cultivam pequenas áreas de agricultura de pecuária de subsistência. Porém, os moradores da Comunidade não se relacionam diretamente com a RNST, uma vez que se deslocam para a sede municipal de Cavalcante quando necessário, raramente seguindo o sentido da RNST, que se encontra no sentido do município de Minaçu. A utilização do fogo como prática para abertura de novas áreas para atividades econômicas e como manejo para a pastagem são bem frequentes na região.



O clima na região onde se encontra a RNST recebe a classe Aw (Cwa) segundo a classificação Köppen-Geiger, prevalecendo o clima quente semi-úmido típico do Planalto Central Brasileiro (RIBEIRO e WALTER, 2008). A temperatura varia muito devido ao relevo local, registrando temperaturas mais amenas nas porções mais elevadas, com média das temperaturas mínimas podendo atingir entre 8°C e 10°C e média das máximas superiores a 24°C. Nas porções mais baixas são registradas temperaturas mais elevadas, com média das mínimas variando entre 12°C e 14°C e médias das máximas entre 32°C e 36°C. Essa caracterização se deu por meio dos dados coletados pela estação meteorológica Alto Paraíso de Goiás - A024, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, estação esta mais próxima a RNST.

As chuvas possuem regime tropical, com as estações secas e úmidas bem definidas. A média histórica de precipitação, segundo dados da Agência Nacional de Águas – ANA, é de 1.491mm anuais, dos quais 80% estão concentradas entre Outubro e Março (AGMA, 2005). Esta informação é corroborada pelos dados fornecidos pelo INMET, que mostram que o regime chuvoso da região é o típico do bioma Cerrado, marcado por duas estações bem definidas: “verão” úmido, com precipitação variando entre 100 e 300 mm mensais; e “inverno” com valores não ultrapassando os 100 mm. Esse regime de precipitação bem definido acaba por influenciar diretamente na ocorrência queimadas intencionais no período de estiagem (MIRANDA *et al.*, 2002).

A RNST está localizada na porção norte do Complexo Montanhoso Veadeiros-Araí, que tem como uma de suas características as altitudes elevadas. Na região se encontra o ponto mais alto do Estado de Goiás, o Pico do Pouso Alto, com 1.691 m de altitude (AGMA, 2005). O relevo local é resultado da evolução morfológica de uma estrutura de formação orogênica, na qual a intercalação de estratos com resistências diferentes e as atividades morfogênicas que atuaram ao longo de períodos climáticos distintos inverteram o relevo, arrasando as anticlinais e alçando as sinclinais, compostas de rochas mais duras. Assim, a geomorfologia da região é caracterizada pelos afloramentos das rochas metassedimentares das sinclinais revestidas por camadas do Grupo Paranoá e pelos vales formados pelo arrasamento das anticlinais, onde predomina o Grupo Araí.



De substrato rochoso, complexo e bem variado, com registros geológicos dos mares que ali estiveram a milhões de anos, a região possui grande diversidade de recursos minerais como, por exemplo, o manganês que vem sendo explorado de maneira irregular e descontrolado. Os solos são predominantemente rasos, pouco evoluídos, com pequena expressão dos processos responsáveis pela sua formação, reflexo do processo natural de intensa denudação a que a região está submetida. É amplo o domínio de Areias Quartzosa/Neossolo Quartzênico, que se desenvolveram sobre os quartzitos atribuídos ao Grupo Geológico Araí (AGMA, 2005).

A região faz parte da bacia hidrográfica do rio Tocantins, e as nascentes dos tributários presentes na região estão acima dos 1.000 m de altitude. Os cursos d'água de pequeno e médio porte são predominantes e escoam sobre leitos pedregosos encaixados. Como os solos são rasos sobre terrenos metamórficos impermeáveis, os aquíferos são de pequeno porte, fazendo com que os cursos d'água tenham sua vazão diretamente dependente do regime de chuvas. Assim, nos períodos de estiagem, os cursos d'água menores tendem a secar. Já na estação chuvosa, quando ocorrem chuvas torrenciais, podem se formar enchentes que causam danos à vegetação das margens e riscos de acidentes.

Fortemente influenciada pela altimetria e pelas características edáficas e hidrológicas da região, a cobertura vegetal é constituída por um mosaico de paisagens naturais, na qual é possível identificar formações florestais, savânicas e campestres, além de ecótonos. As fisionomias mais expressivas na RNST são os Campos Rupestres associados a Cerrados Rupestres e Campo Sujo, que recobrem cerca de 71% da área total. Também há ocorrências de Parque de Cerrado e Cerrado Sentido Restrito, além da presença pontual de Veredas, Cerradão, Matas de Galeria e Florestas Estacionais, formando uma composição interessante de distintas associações e ambientes de grande relevância conservacionista.



3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo é apresentada uma abordagem conceitual de aspectos relacionados ao bioma Cerrado e suas características na região estudada, a problemática das queimadas que frequentemente consomem parte da biomassa das formações vegetais do bioma, e o uso de Sensoriamento Remoto (SR) e Processamento Digital de Imagens (PDI) para a identificação e mapeamento das cicatrizes deixadas pelo fogo na vegetação. A revisão realizada tem como objetivo compilar conceitos e definições que embasam teoricamente as discussões propostas.

3.1. Bioma Cerrado e suas características na região estudada

O Cerrado é a maior e mais rica savana do planeta em espécies e possivelmente a mais ameaçada do mundo (MEYRS *et al.*, 2000). É o segundo maior bioma brasileiro em área, recobrando aproximadamente 2 milhões de km², o que representa 22% da superfície do território Brasileiro (OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 1997), abrangendo desde áreas equatoriais até aproximadamente a latitude de 23° sul (MOTTA *et al.*, 2002).

Segundo Oliveira Filho *et al.* (2002), as origens do Cerrado podem remontar ao período Cretáceo, sofrendo um longo processo de evolução durante o terciário, e divergindo em milhares de espécies durante os períodos glaciais e interglaciais do Quaternário. Durante o processo de evolução deste bioma houve períodos de expansão e contração em respostas às flutuações climáticas: durante os períodos secos o Cerrado se expandiu, e durante os períodos úmidos as florestas avançaram, exceto em locais onde havia deficiência nutricional e/ou hídrica (AB`SABER, 1963; MOTTA *et al.*, 2002).

Predominam no bioma os solos muito antigos, profundos e bem drenados - Latossolos. Por estarem dispostos horizontalmente ou com pequenos graus de declividade, possibilitam a infiltração das águas das chuvas, que carregam os íons para as camadas mais profundas. Há ocorrência de solos mais novos (Neossolos Litólicos Distróficos) nas áreas com relevo mais acidentado, onde o material rochoso é facilmente intemperizado, originando solos de fertilidade elevada. Outros tipos de solo, que ocupam cerca de 15% do bioma, são os Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas),



relacionadas à sedimentos arenosos de cobertura e à alterações de rochas quartzíticas e areníticas, normalmente em relevo plano ou suave ondulado (REATTO *et al.*, 2008).

Eiten (1972) afirmou que o Cerrado apresenta gradiente de formas fisionômicas que variam de acordo com três aspectos do substrato: (1) a fertilidade e o correlacionado teor de alumínio disponível; (2) a profundidade; e (3) o grau e duração da saturação hídrica da camada superficial ou subsuperficial. Outros fatores que também exercem forte influência sob a cobertura vegetal são: o fogo, de ocorrência natural ou provocado pelo homem (BOND *et al.*, 2005; MEDEIROS e MIRANDA, 2005), o corte para uso pelo homem (OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 1997) e a herbivoria praticada pelos consumidores (HAIRSTON *et al.*, 1960; BOND e KEELY, 2005).

Ribeiro e Walter (1998, 2008) descrevem onze tipos de fitofisionomias que ocorrem no Cerrado, classificando-as em: formações florestais, que correspondem às áreas com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo ou descontínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão); formações savânicas, que se referem às fisionomias nas quais ocorrem vegetações com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo sem a formação de dossel contínuo (Cerrado sentido restrito, Parque Cerrado, Palmeiral e Vereda); e formações campestres, que designam áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, mas sem árvores (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo).

Segundo as Áreas Prioritárias para Conservação, do Ministério do Meio Ambiente, a região do presente estudo é reconhecida como um dos locais que apresenta estado de preservação “Muito Bom”, sendo considerada como área de “Extrema Importância e Urgência” para conservação do Cerrado (MMA, 2007). As fitofisionomias predominantes na RNST e na área de amortecimento, são os Campos Rupestres associados aos Cerrados Rupestres (fisionomia que ocorre dentro do Cerrado sentido restrito, subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva que ocorre em ambientes rochosos), Campos Sujos, Cerrado sentido restrito e Parque Cerrado (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011). Abaixo se encontra uma breve descrição dessas fisionomias, de acordo com Ribeiro e Walter (2008).



Os Campos/Cerrados Rupestres, que recobrem 40% da área da reserva (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011), são fisionomias predominantemente herbáceo-arbustiva, com eventual ocorrência de pequenas árvores pouco desenvolvidas de, no máximo, 2 metros de altura e geralmente associadas à Neossolos Litólicos e às fendas dos afloramentos rochosos.

O Campo Sujo, por vezes associados ao Campo Cerrado, é outra fisionomia dominante na RNST, recobrando aproximadamente 31% da área total da Reserva (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011). É uma fisionomia exclusivamente herbáceo-arbustiva, caracterizada pela alta densidade de gramíneas e pelo espaçamento entre os indivíduos lenhosos, que muitas vezes são exemplares menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito (RIBEIRO e WALTER, 2008).

O Cerrado sentido restrito ocupa cerca de 3% da superfície da RNST (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011), e é caracterizado pela ocorrência de árvores baixas e tortas, com ramificações irregulares e retorcidas (xeromorfismo), geralmente com evidências de queimadas. O sub-bosque é composto pelo estrato arbustivo, com presença de indivíduos espalhados, e pelo estrato herbáceo. Os troncos das espécies lenhosas possuem cascas de cortiça espessa, e as folhas geralmente são coriáceas e rígidas, características que sugerem adaptação às condições de escassez de água (RIBEIRO e WALTER, 2008).

O Parque Cerrado ocupa outros 3% da área da reserva (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011). e caracteriza-se por ser uma formação savânica que tem como característica a presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, conhecidos como "murunduns", apresentando depressões entre essas elevações. As árvores apresentam altura entre 3 a 6 metros e ocorrem em Gleissolos, que são mais bem drenados nos murunduns do que nas depressões adjacentes (RIBEIRO e WALTER, 2008).

As demais áreas da reserva são ocupadas por ocorrências pontuais de Veredas, Matas Estacionais, Afloramento Rochosos e por áreas já ocupadas, composta por formações secundárias de natureza antropogênica (Formações Antropogênicas)



decorrente das transformações dos fitofisionomias naturais (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2011).

3.2. Fogo no Cerrado

O fogo age nos ecossistemas terrestres há milhões de anos, influenciando diretamente na distribuição dos biomas e agindo em prol das espécies que melhor respondem aos seus efeitos (BOND e KEELY, 2005) De acordo com Bond e Keely (2005) o fogo é um significativo fator evolutivo, e umas das primeiras ferramentas que os seres humanos utilizaram para modificar o espaço geográfico. Segundo os autores, o fogo agiria de maneira análoga à herbivoria, pois também consome estruturas orgânicas complexas, convertendo-as em produtos minerais. Segundo os Modelos Dinâmicos da Vegetação Global (DGVM) processados por eles, o fogo exerce forte influência na vegetação dos ecossistemas em que sua ocorrência é frequente. Ainda de acordo com os autores, o Cerrado, assim como vastas áreas da savana africana, teriam potenciais climáticos para abrigar florestas, mas como são ecossistemas que sofrem frequentemente com distúrbios por causa das queimadas, o fogo seria o candidato principal a influenciá-los por meio de um controle por consumo. Sendo assim, não se pode querer compreender as mudanças na distribuição desses ecossistemas e conseqüentemente de suas espécies sem compreender o papel ecológico do fogo.

A ação do fogo sobre a vegetação é frequentemente associada aos fatores que influenciaram nas origens das formações savânicas e campestre do Cerrado (MIRANDA *et al.*, 2010). O fogo, juntamente com o regime sazonal das chuvas e os solos pobres em nutrientes, também é descrito por MIRANDA *et al.* (2007) como um dos fatores que determinaram as formações vegetais do Cerrado, existindo algumas evidências de incêndios nesta região que datam de 32 mil anos AP. (antes do presente) (SALGADO-LABOURIAU e FERRAZ-VINCENTINI, 1994). Desta forma, pode-se afirmar que os incêndios naturais são um evento comum ao bioma Cerrado (MIRANDA *et al.*, 2002), sendo que estes geralmente são iniciados por raios durante o período chuvoso ou na transição entre a estação úmida e seca (RAMOS NETO e PIVELLO, 2000). Porém, as tempestades de raios muitas vezes são seguidas de chuvas, o que faz com que o fogo seja



extinto logo no início, evitando sua propagação para áreas muito extensas (FRANÇA *et al.*, 2007).

As queimadas intencionais no Cerrado, contudo, ocorrem há mais de 10.000 anos, relacionadas com o início da ocupação humana na região. Estes, por sua vez, viviam em pequenos grupos e eram caçadores-coletores nômades que utilizavam abrigos naturais e que faziam uso do fogo em algumas de suas atividades (MIRANDA *et al.*, 2002). Por muitos anos as populações indígenas nativas da região também utilizam historicamente o fogo como uma técnica de caça e para manejar a vegetação (RIVERA-LOMBARDI, 2005).

Para a ocorrência do fogo são necessários três fatores condicionantes: disponibilidade de combustível, presença de oxigênio, e que a temperatura de ignição seja atingida. Por sua vez, esses condicionantes são determinados por outros três fatores: (1) fatores meteorológicos – vento, umidade, temperatura do ar e precipitação; (2) fatores topográficos– exposição, elevação e inclinação; e (3) combustível – tamanho e forma, quantidade e conteúdo de umidade, continuidade, compactação. Mas um evento de queima não pode ser tratado como um evento isolado, e sim entendido em termos do regime de queima. Este é caracterizado principalmente pela época e pela frequência de queimas (MIRANDA *et al.*, 2002), existindo outros fatores também importantes para sua caracterização, como: o tipo de fogo (de superfície, de copa ou subterrâneo), a velocidade de propagação e a intensidade da queima. Ressalta-se que no Cerrado predominam fogos de superfície, e quando atinge uma copa, ocorre de maneira individual, não se alastrando para outras copas. Porém estes últimos fatores não serão tratados no presente estudo, por não serem passíveis de mensuração devido às técnicas aplicadas.

Para Miranda *et al.* (2002), a compreensão do comportamento do fogo se dá principalmente pelo entendimento das características do combustível. A disponibilidade de combustível no Cerrado depende da fisionomia considerada, do arranjo das espécies, e da janela de tempo sem queima. Porém, nem toda a carga de combustível se encontra disponível para queima imediata, pois se restringe ao material com até 6 mm de diâmetro, ou seja, as folhas e galhos mais finos. Assim, as fisionomias de Cerrado mais suscetíveis



aos distúrbios pela passagem do fogo são as mais abertas (campestres e savânicas), as quais apresentam maior quantidade e concentração de espécies graminóides e pequenos arbustos. Já nas fisionomias mais fechadas, a formação de dossel acaba por influenciar no microclima, retardando a secagem do combustível no estrato rasteiro, apresentando assim, um maior teor de umidade no combustível.

A recorrência de queimadas em uma mesma área provoca mudanças na florística e na estrutura da vegetação, alterando a densidade de indivíduos lenhosos e arbustivos (MEDEIROS e MIRANDA, 2005). Porém, o oposto desta situação é visto nas áreas preservadas do fogo, em que esta ausência de queima acaba por favorecer uma vegetação do estrato arbóreo-arbustivo (SAN JOSÉ e FARIÑAS, 1991). Contudo, em ecossistemas com histórica relação com o fogo, a supressão de queimadas ocasiona a redução na quantidade de espécies vegetais (BOND e KEELY, 2005).

Levando em consideração as informações acima descritas, pode-se afirmar que as espécies nativas do Cerrado estão adaptados a um regime natural de queima estabelecido pela época e frequência que os incêndios ocorrem (MIRANDA *et al.*, 2010). A passagem do fogo estimula a floração de espécies herbáceas e subarbustivas. Porém, atualmente o fogo tem sido muito utilizado pelo homem como técnica de manejo de pastagens e de abertura de novas frentes de uso antrópico, ocorrendo mais frequentemente e alterando o regime natural das queimadas (COUTINHO, 1990). Essa alteração pode ocasionar em mudanças nas respostas dos organismos ao fogo (MIRANDA *et al.*, 2007), tendo efeitos sobre a manutenção da biodiversidade, na conservação dos solos, na ciclagem de nutrientes, e na distribuição das fitofisionomias (MIRANDA *et al.*, 2002).

3.3. Sensoriamento Remoto para detecção de queimadas

O Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética (REM) com os materiais terrestres (MENEZES e ALMEIDA, 2012). Considerando Sensoriamento Remoto como um



sistema de aquisição de dados, dois subsistemas podem ser descritos: 1) a aquisição das informações e 2) a análise dessas informações.

Uma técnica para extrair informações adquiridas pelos sistemas orbitais é o Processamento Digital de Imagens (PDI) de sensoriamento remoto, que é um importante instrumento nos estudos de vegetação, pois permite o mapeamento, monitoramento e fiscalização de grandes áreas da superfície terrestre, considerando diferentes escalas temporais e espaciais (PONZONI, 2001). Por sua vez, as análises espaço-temporais utilizam uma série histórica que permitem descrever a evolução das paisagens ao longo do tempo.

Os incêndios são passíveis de serem observadas por meio de imagens de satélite porque reduzem a cobertura vegetal e depositam cinzas no solo, deixando cicatrizes de queimadas (FRANÇA *et al.*, 2007). A identificação das queimadas por sensoriamento remoto pode ser feita sob duas abordagens: (a) detecção do fogo ativo, por meio das bandas termais; ou (b) identificação das cicatrizes deixadas pelo fogo, que permanecem por alguns dias e podem ser notadas por suas características espectrais (FRANÇA *et al.*, 2007). Segundo França *et al.* (2007) as cicatrizes deixadas pela passagem do fogo podem ser identificadas de quatro maneiras diferentes: (a) identificação logo após a ocorrência do fogo, que deixa uma camada de carvão e cinzas depositada no solo; (b) identificação do solo exposto sem a presença de cinzas e carvão; (c) identificação da presença mais expressiva da rebrota da vegetação, que começa a apresentar uma cobertura verde e viçosa, não contendo folhas secas; e (d) identificação da cicatriz deixada por uma queimada é por meio da temperatura da superfície do solo, pois como esse está exposto diretamente à radiação solar devido a ausência da cobertura vegetal, apresenta maior temperatura, podendo ser identificada pelas bandas termais dos sensores (FRANÇA *et al.*, 2007).

Ponzoni *et al.* (1986) utilizou imagens TM-Landsat 5 e três algoritmos de classificação (implementados na plataforma IMAGE-100, desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE: Single Cell, MAXVER e K-Médias) para identificar e estimar a área queimada no Parque Nacional de Brasília no ano de 1985.



Mas, após os testes com os algoritmos citados, o autor optou por mapear as cicatrizes por meio de interpretação visual das imagens. Foram avaliadas as bandas 3, 4, 5 e 7, desse sensor, dado que as demais apresentaram elementos que poderiam interferir na classificação, para verificar as bandas que melhor se aplicaram à finalidade desejada. A banda TM-4 (0,76-0,90 μm) permitiu a melhor identificação e mensuração da área queimada, baseando-se nos padrões de tonalidade e de contraste apresentados. No interior da área atingida pelo fogo a banda TM-5 (1,55-1,75 μm) mostrou maior homogeneidade que a banda TM-4. Dessa forma, os autores escolheram as bandas 4 e 5 para estimar a área queimada, devido a maior separabilidade visual entre as áreas queimadas e os demais alvos presentes nas cenas estudadas.

Outros estudos também mapearam as cicatrizes de queimadas em Cerrado por meio de interpretação visual de imagens obtidas pelos sensor TM/Landsat 5. França *et al.*(2007) realizaram um estudo sobre queimadas no Parque Nacional das Emas e encontraram resultados expressivos, dentre os quais, que as maiores queimadas ocorreram em intervalos de três anos entre elas. França e Ribeiro (2008) também utilizaram imagens do sensor TM/Landsat5, assim como imagens dos sensores ETM+/Landsat7 e CCD/CBERS, para identificarem cicatrizes de queimadas que ocorreram no Parque Nacional Serra do Cipó entre 1984 e 2007. Hudak e Brockett (2004) utilizaram com sucesso imagens dos sensores MSS/Landsat1, TM/Landsat 5 e TM+/Landsat7 para mapear cicatrizes de queimadas que ocorreram nas proximidades da Reserva Madikwe Game, localizada na África do Sul, bem junto a fronteira com Botswana. Porém, estes autores realizaram o estudo por meio de técnicas de processamento digital de imagens (PDI), aplicando a metodologia de Transformação de Principais Componentes e posterior classificação supervisionada, utilizando o classificador Paralelepípedo.

Os índices de vegetação, como o NDVI (do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*) podem ser aplicados para a detecção de áreas de queimadas. No entanto, França *et al.* (2007) ressalta que essa técnica é questionável quando aplicada em regiões de savana, uma vez que a maioria das queimadas ocorre na vegetação senescente,



que tipicamente apresenta baixo NDVI. Por esse motivo, essa técnica não foi considerada no presente estudo.



4. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os passos metodológicos utilizados no presente estudo, demonstrando o processo aplicado para se levantar os dados necessários, assim como os cruzamentos e análises realizados. Os passos metodológicos estão esquematizados no fluxograma – (Figura 3).

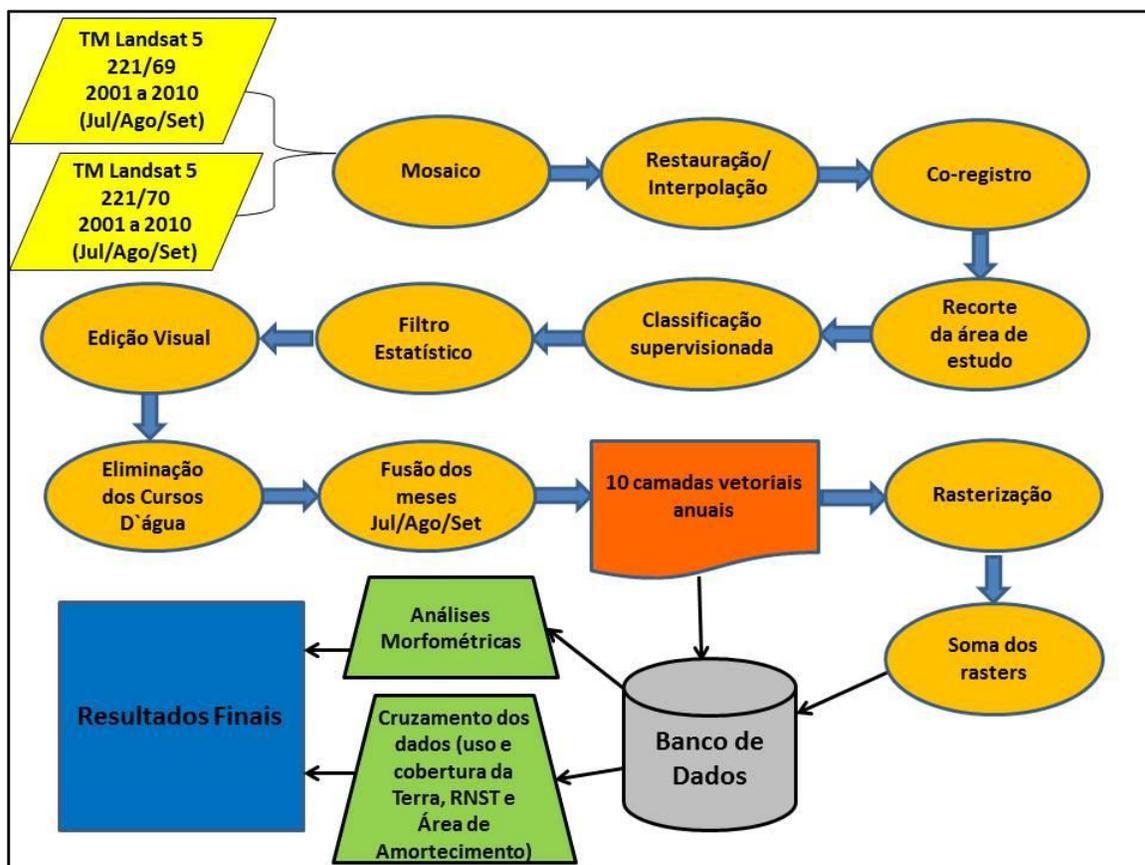


Figura 3 - Fluxograma demonstrando os passos metodológicos utilizados.

4.1. Dados utilizados

Para a realização do presente trabalho foram adquiridas, junto ao Catálogo de Imagens do INPE, 54 cenas do sensor TM Landsat de mesma órbita (221) e dois pontos (69 e 70), todos os pares de imagens correspondendo à mesma passagem do sensor. As cenas selecionadas correspondem ao período de 2001 a 2010 e foram imageadas na estação mais seca do ano (meses de Julho, Agosto e Setembro) (Tabela 1), período no



qual os eventos de queima intencionais mais ocorrem (PONZONI,1986; RIVERA-LOMBARDI, 2007; FRANÇA *et al.*, 2005). Não foram encontradas no acervo imagens correspondentes aos meses definidos para o ano de 2002, ao mês de Agosto dos anos de 2001 e 2003, sendo assim estas datas não foram contempladas no presente estudo. Ressalta-se que o mês de Setembro foi a data limite da janela temporal estabelecida para a aquisição das imagens ao longo dos anos estudados.

Para a identificação das formações vegetacionais que mais sofrem com a passagem do fogo, foi utilizado uma camada vetorial de uso e cobertura da Terra, resultante da interpretação visual de imagens SPOT 5, de 5 m de pixel, de 2007. Essa camada é produto do projeto Corredor Ecológico Tombador-Veadeiros que está sendo implementado na região de estudo pela *The Nature Conservancy* – TNC (TNC, dados não divulgados).

4.2. Pré-processamento

Primeiramente foram feitos, por meio do *software ERDAS Imagine 2011*, os mosaicos de cada par de cenas 221/68 e 221/69, de forma a recobrir toda área de estudo. Posteriormente as imagens passaram pelo processo de restauração e interpolação, processadas no *software Restau* (BOGGIONE, 2003) para eliminar as distorções inseridas pelos sensores no processo de imageamento e para reamostrar os pixels, que passaram para tamanho igual a 15 metros, o que melhorou os detalhes e a identificação das bordas permitindo o melhor mapeamento das queimadas (FONSECA, 1988; BOGGIONE, 2011).

Todas as imagens foram co-registradas, utilizando-se o *software ERDAS Imagine 2011*, visando estabelecer a exatidão das coordenadas das imagens em relação a um determinado referencial. O co-registro de todas as imagens foi feito pelo emprego do modelo polinomial de terceira ordem, cujos coeficientes são estimados a partir de pontos de controle identificáveis nas imagens e com localização precisamente conhecida. Um primeiro mosaico TM-Landsat 5 (Julho de 2001) foi registrado tendo como referência um mosaico de imagens SPOT 5 (pixel de 5 metros), que havia sido corrigida utilizando a



malha fundiária da região levantada pelo INCRA com aparelhos de GPS geodésicos. Esta base teve sua precisão comprovada por pontos coletados em campo, com o GPS L1/L2 Topcom Hiper +, em Outubro de 2009. As demais imagens foram co-registradas imagem-imagem, tendo como critério a exatidão igual ou menor a 0,4 pixel (erro RMS menor que zero) entre elas, para evitar inferências equivocadas de informações da mesma área (TOWNSHEND *et al.*, 1992; DAI & KHORRAM, 1998). Após o co-registro dos mosaicos foram realizados os recortes de cada um utilizando o limite da área de amortecimento de 10 km.



Tabela 1 – Órbita, pontos e data das imagens TM-Landsat 5 para o período de 2001 a 2010 .

Órbita	Pontos	Dia	Mês	Ano
221	69 e 70	8	Julho	2001
221	69 e 70	30	Setembro	
221	69 e 70	2	Julho	2003
221	69 e 70	20	Setembro	
221	69 e 70	4	Julho	2004
221	69 e 70	21	Agosto	
221	69 e 70	6	Setembro	
221	69 e 70	23	Julho	2005
221	69 e 70	24	Agosto	
221	69 e 70	5	Setembro	
221	69 e 70	26	Julho	2006
221	69 e 70	27	Agosto	
221	69 e 70	12	Setembro	
221	69 e 70	13	Julho	2007
221	69 e 70	14	Agosto	
221	69 e 70	15	Setembro	
221	69 e 70	31	Julho	2008
221	69 e 70	16	Agosto	
221	69 e 70	1	Setembro	
221	69 e 70	2	Julho	2009
221	69 e 70	19	Agosto	
221	69 e 70	14	Setembro	
221	69 e 70	5	Julho	2010
221	69 e 70	22	Agosto	
221	69 e 70	23	Setembro	



4.3. Classificação

Os 27 mosaicos *TM-Landsat5* registrados foram submetidos à classificação supervisionada pelo algoritmo Mahalanobis, utilizando o programa *ERDAS Imagine 2011*. Em cada imagem foram coletadas pelo menos 100 amostras dos diferentes alvos observados na área de interesse: Vegetação Fotossinteticamente Ativa, Água, Solo Exposto, Afloramento Rochoso, Sombra e Vegetação Queimada. Em algumas imagens foram encontradas confusões entre queimadas e áreas sombreadas, o que foi resolvido com a coleta de mais amostras espectrais dos dois alvos.

A classe Vegetação Queimada foi separada e tratada individualmente a partir da aplicação do Filtro Estatístico de Mediana, com uma máscara de 7x7 pixels. Este procedimento agrupou e homogeneizou os pixels classificados como Vegetação Queimada, eliminando pequenos ruídos que estavam presentes. Estes polígonos foram exportados para o formato vetorial (*Feature Class*, em estrutura *File Geodatabase - ESRI*).

Todas as 27 camadas vetoriais resultantes das classificações individuais das imagens foram revisadas visualmente e editadas, processo este que eliminou pequenas inconsistências que não tinham sido eliminadas pelo Filtro Estatístico. Cada camada resultante da classificação supervisionada foi comparada visualmente com seu mosaico correspondente, e assim foi possível eliminar as confusões ou omissões ainda presentes. Desta forma, polígonos que não representavam vegetação queimada foram apagados, redelimitados ou recortados, trazendo maior precisão e acurácia para a identificação das queimadas. Também foram eliminados os polígonos identificados como queimadas e que estavam sobrepostos a classe "Corpo D'água" identificada na camada de uso e cobertura da Terra (TNC, dados não divulgados), devido à diferença de escalas entre os dados produzidos pelos diferentes mapeamentos.

Após o processo final de revisão e edição das 27 camadas, as informações mensais (Julho, Agosto e Setembro) foram agrupadas por ano (processamento *Merge* do *ArcGIS*, restando assim 09 planos de informação relativos a vegetação alterada pelo fogo



para cada ano entre 2001 a 2010, lembrando que o ano de 2002 não foi estudado por ausência de imagens TM Landsat 5.

Para identificar a recorrência de queimadas numa mesma área, os 10 vetores foram rasterizados e realizou-se a soma de todas elas, gerando uma camada na qual são apresentadas classes de 1 a 9, que correspondem à recorrência com que o local sofreu com a passagem do fogo.

4.4 Análise morfométrica das áreas queimadas

Por meio da utilização do software *Patch Analyst* foi realizado uma análise morfométrica dos polígonos mapeados como cicatrizes de queimadas, trazendo informações sobre bordas totais, densidades de bordas, média de borda dos polígonos, mediana e tamanho médio dos mesmos, desvio padrão de seus tamanhos, assim como número de polígonos e suas áreas totais. Essas informações permitem uma comparação mais detalhada do comportamento das queimadas ao longo do período estudado.

- **Tamanho Médio dos Polígonos (TMP):**
- **Número de Polígonos (NumP):** Número total de polígonos mapeados;
- **Mediana do Tamanho dos Polígonos(MedTP):** Mediana dos tamanhos dos polígonos, valor que divide o universo de dados estudados no meio, deixando 50% dos valores acima da Mediana e 50% abaixo da mediana;
- **Desvio Padrão do Tamanho dos Polígonos(DPT):** Desvio Padrão do tamanho dos polígonos;
- **Área Total dos Polígonos (AT):** Soma da área total dos polígonos;



4.5. Cruzamento das informações.

As 10 camadas vetoriais foram cruzadas com os seguintes dados: o limite externo da área de amortecimento, o limite da RNST e a camada de uso e cobertura da Terra do Projeto Corredor Ecológico Tombador-Veadeiros (confeccionado pela parceria entre a *The Nature Conservancy* e a Fundação O Boticário de Conservação da Natureza). O tema de Uso e Cobertura da Terra foi gerado tendo como referência imagens do sensor SPOT 5 de 2007, com 5 metros de resolução espacial. As seguintes classes foram identificadas: Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Uso Antrópico e Corpo d'água. Este mapa recobre uma área de 325.252 hectares, incluindo a área total da RNST, porém não recobre totalmente a área de amortecimento de 10 km ao redor da reserva (90.029 hectares), e sim, 88 % da área de amortecimento (78.918 hectares) - Figura 4.

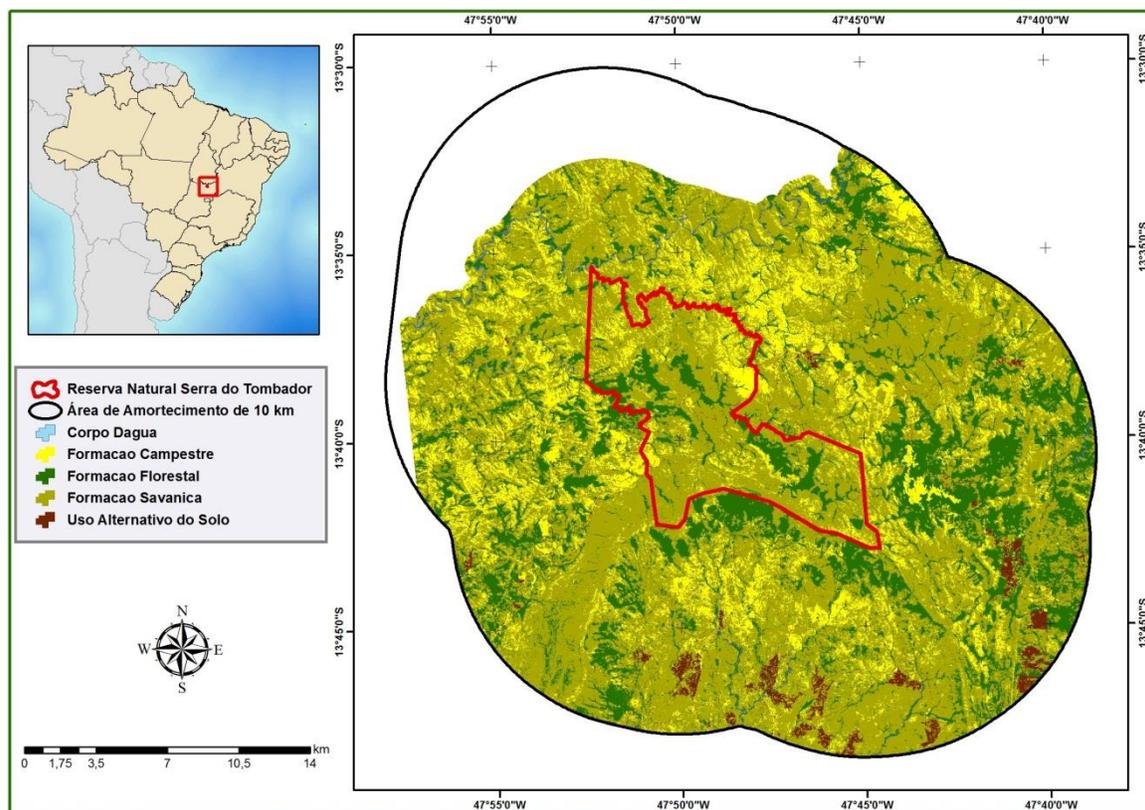


Figura 4 – Mapa de uso e cobertura da Terra (TNC) dentro da RNST e de parte da da área de amortecimento, gerado tendo como base imagens SPOT 5 de 2007 (TNC, dados não divulgados).



4.6 Organização dos dados.

Os dados resultantes das classificações, assim como os limites da RNST e da área de amortecimento e o mapeamento de uso e cobertura da Terra e todos os resultados de cruzamentos de dados foram organizados numa base de dados (armazenada na estrutura *Geodatabase* do *ArcGIS*), no Sistema Universal Transversal de Mercator – UTM – Fuso 23, Datum SIRGAS2000.



5. RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado detalhadamente os resultados dos mapeamentos das queimadas anuais e totais e os respectivos cruzamentos com os limites da RNST e da área de amortecimento e com a camada de uso e cobertura da Terra, assim como as análises.

5.1. Áreas queimadas no período entre 2001-2010.

As estimativas de áreas são baseadas nos polígonos resultantes das classificações dos mosaicos. Não foram considerados o ano de 2002 e os meses de Agosto de 2003 e 2004. Destaca-se que as áreas estão subestimadas, devido a algumas cenas de Setembro serem do início do mês, assim não foram consideradas queimadas que ocorreram no fim da estação seca.

5.1.1. Área total

No período de 2001 a 2010 um total de 62.015 hectares foi alterado pelo fogo dentro da área de amortecimento e dos limites da RNST (área total), o que corresponde a 68,88 % de sua área. Ao mesmo tempo, uma área igual a 28.014 ha não apresentou nenhuma cicatriz de queimada ou fogo ativo nos mosaicos estudados (Figura 5).

O ano de 2004 foi o que apresentou o maior número de polígonos mapeados (831) com uma área queimada de 30.623 hectares, ou seja, 34,1 % da área mapeada. Já o ano de 2008 (55 polígonos, 1.665 ha) tiveram as menores estimativas de áreas queimadas correspondendo a aproximadamente 1,9 % da área da área de amortecimento (Tabela 2 e Figura 5). Observou-se que as áreas estimadas variaram muito ao longo dos anos estudados, apresentando comportamento cíclico, no qual as áreas mais extensas foram intercaladas por áreas de menor expressão, dando indícios do processo de recuperação da vegetação de Cerrado e do acúmulo de combustível, principalmente por parte do estrato gamíneo e arbustivo (Figura 5). As maiores queimadas ocorreram a cada 3 anos: 2001 (19.568 ha), 2004 (30.623 ha), 2007 (24.754 ha) e 2010 (23.192 ha) (Tabela 2 e Figura 5), concordando com resultados obtidos por França *et al.* (2007) e Pereira e Gama (2010).



Tabela 2 – Quantidade de polígonos mapeados, área (ha) e percentual da área queimada, por ano, dentro da RNST e da área de amortecimento de 10km, entre 2001 e 2010.

Ano	Meses Mapeados	Quantidade de Polígonos	Área (ha)	%
2001	Jul / Set	363	19.568	21,74
2003	Jul / Set	196	8.577	9,53
2004	Jul / Ago / Set	831	30.623	34,01
2005	Jul / Ago / Set	216	7.608	8,45
2006	Jul / Ago / Set	154	13.395	14,88
2007	Jul / Ago / Set	82	24.754	27,50
2008	Jul / Ago / Set	55	1.665	1,85
2009	Jul / Ago / Set	150	7.392	8,21
2010	Jul / Ago / Set	175	23.192	25,76

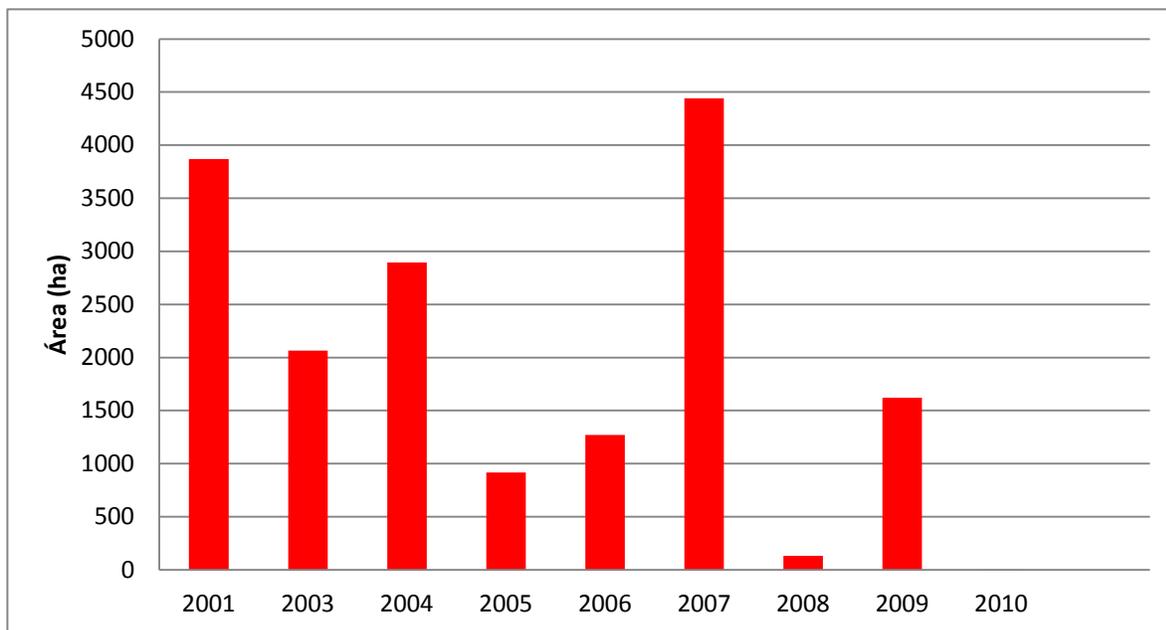


Figura 5 - Gráfico comparando os valores de área queimada anualmente dentro da RNST e da área de amortecimento ao longo do período estudado (2001 a 2010).

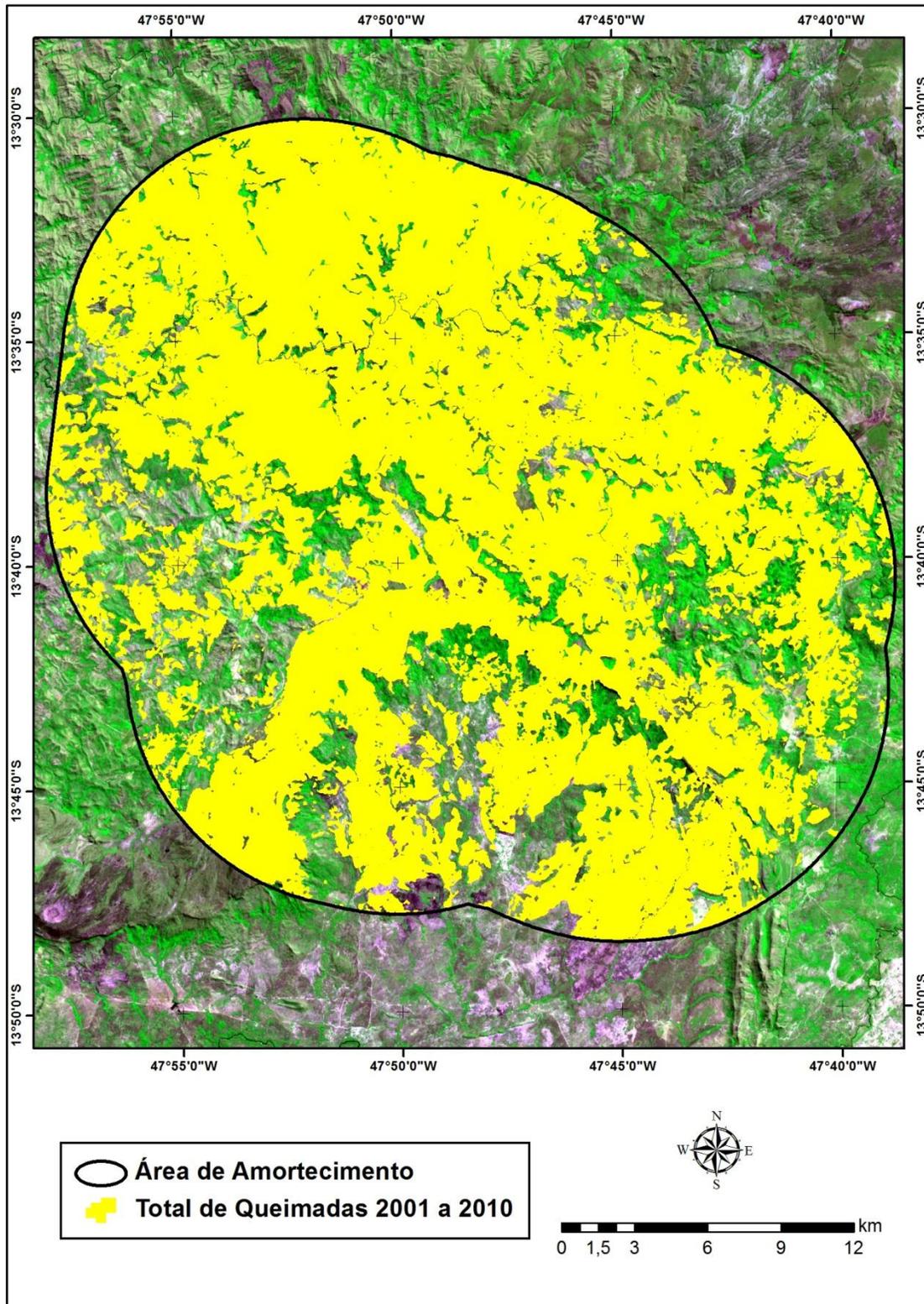


Figura 6 – Total de queimadas que ocorreram na RNST e na área de amortecimento de 10 km entre 2001 e 2010.

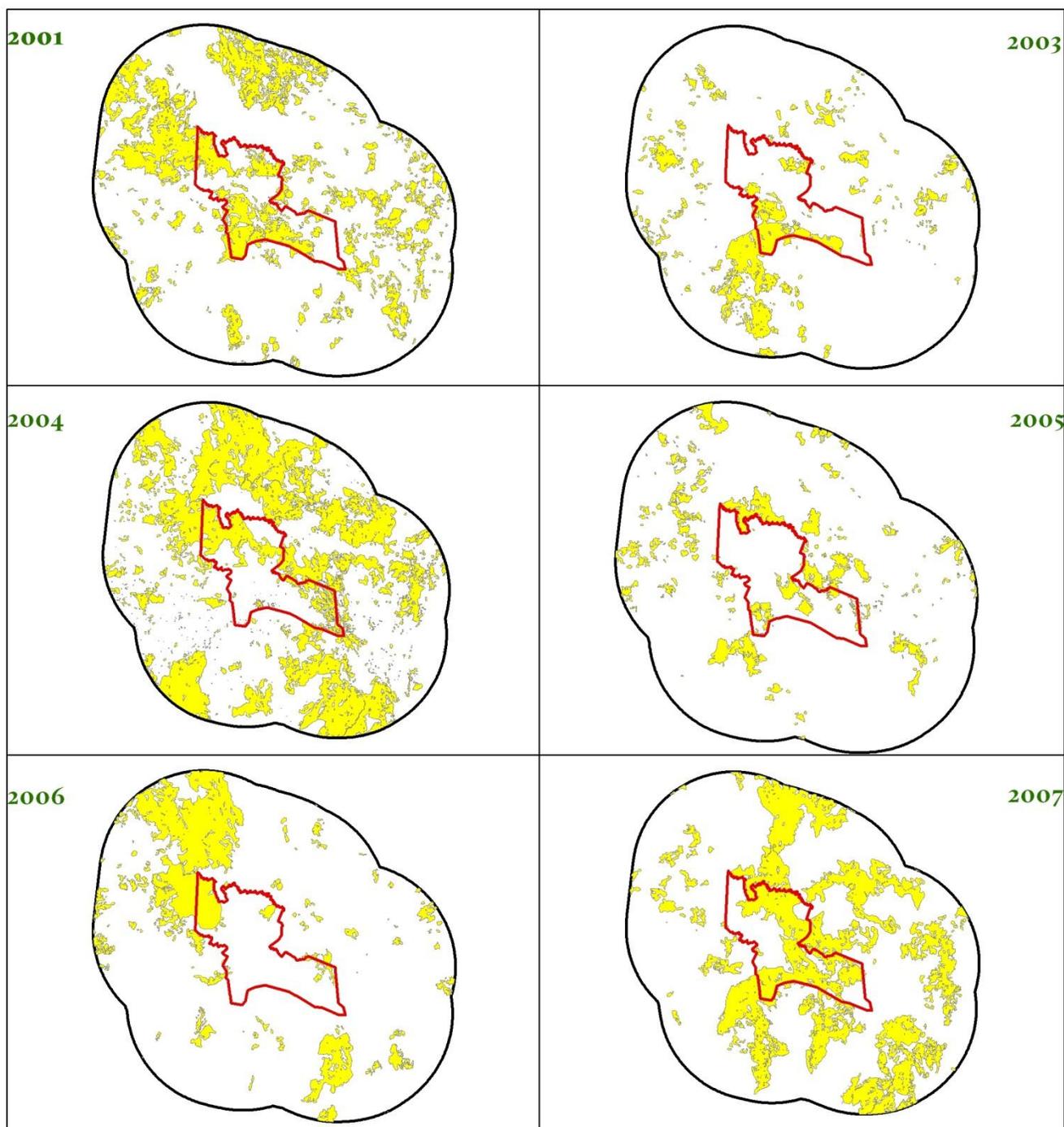


Figura 7- Polígonos mapeados para os anos 2001, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007, dentro da RNST e da área de amortecimento.

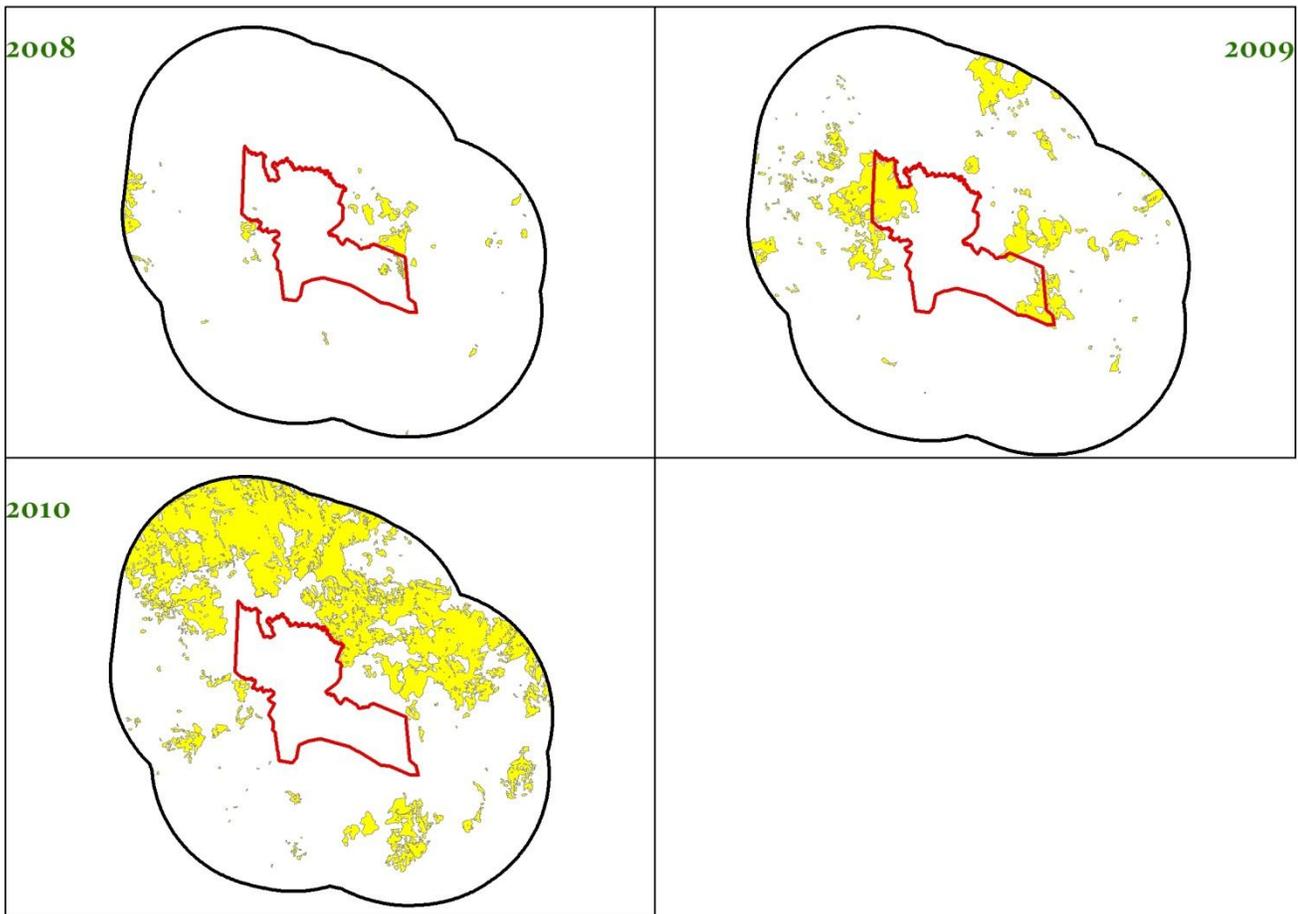


Figura 8 - Polígonos mapeados para os anos 2008, 2009, 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.

Na Tabela 3 são apresentadas as métricas, geradas pelo aplicativo *Patch Analyst*, para cada ano levantado nesse estudo. Nela se observam as seguintes estatísticas, geradas tendo como base os polígonos mapeados em cada ano:



Tabela 3- Métricas dos polígonos mapeados em cada ano.

Ano	TMP	NumP	MedTP	DPT	AT
2001	53,91	363,00	5,28	290,45	19.568,17
2003	43,76	196,00	6,44	230,40	8.577,35
2004	36,85	831,00	0,53	513,39	30.623,21
2005	35,23	216,00	4,68	109,80	7.608,83
2006	86,98	154,00	7,88	681,16	13.395,07
2007	301,88	82,00	14,96	1609,66	24.754,10
2008	30,27	55,00	4,91	77,95	1.665,10
2009	49,29	150,00	4,41	207,74	7.392,93
2010	132,53	175,00	3,24	1411,25	23.192,02

A Tabela 3 nos mostra dados que permitem a comparação entre os polígonos mapeados nos anos de 2001 a 2010. A média dos tamanhos dos polígonos mapeados em todos os anos é igual a 79 ha. As métricas do ano de 2007 evidenciaram extensos eventos de queimadas: (a) Tamanho Médio dos polígonos (301 hectares); (b) segundo maior valor de Área Total; e (c) baixo número de polígonos com apenas 82. O ano de 2007 possui também o valor mais expressivo de Desvio Padrão do Tamanho do Polígono, demonstrando que para esse ano foram mapeados polígonos pequenos e outros muito grandes, mais uma vez reafirmando a extensão dos eventos de fogos nele ocorridos. Observando os valores de Medianas dos anos que apresentaram as maiores áreas alteradas pelo fogo, pode-se afirmar que apesar da soma das queimadas que ocorreram em um ano serem muito extensas, as queimadas individuais apresentam áreas pequenas (em 2004 50% das queimadas foram menores que 0.5 hectares; 2007 apresentou 50% das queimadas abaixo de 15 há; em 2010, 50% das queimadas foram menores que 3,2 hectares). Fica claro que as queimadas, de uma maneira geral, não se alastram por áreas muito extensas, mas devido ao grande número de eventos de fogo durante o período de estiagem acabam por alterar uma área bem extensa da região estudada.



5.1.2. Área da RNST

Considerando apenas a RNST, o fogo alterou ao longo de todo o período estudado 7.231ha dos 8.730ha, ou seja, mais de 82% da área total da reserva foi afetada por incêndios. Somente para o ano de 2007 estimou-se que um total de 4.442, mais da metade da área da reserva, sofreu com a passagem do fogo. Os anos de 2001 (3.869 ha) e 2004 (2.894 ha) também evidenciam extensas áreas queimadas. Comparando as áreas queimadas na área de amortecimento e nos limites da RNST, a maior diferença ocorreu no ano de 2010, que sofreu com muitos e extensos incêndios na área de influencia, mas quase não figura nos limites da reserva. Também se observou a frequência de a cada 3 anos ocorrerem grandes incêndios, como ocorreu na área de amortecimento mas, no entanto, houveram alterações na ordem dos anos: 2007, 2001, 2004.

Tabela 4 - Número de polígonos mapeados, total da área e percentual da Reserva Natural Serra do Tombador que foram queimados, por ano, entre 2001 e 2010.

Ano	Meses Mapeados	Quantidade de Polígonos	Área (ha)	%
2001	Jul / Set	36	3.868	44,31
2003	Jul / Set	16	2.063	23,64
2004	Jul / Ago / Set	79	2.893	33,15
2005	Jul / Ago / Set	25	915	10,49
2006	Jul / Ago / Set	11	1.270	14,56
2007	Jul / Ago / Set	8	4.442	50,88
2008	Jul / Ago / Set	5	130	1,49
2009	Jul / Ago / Set	11	1.620	18,56
2010	Jul / Ago / Set	1	0	0,00

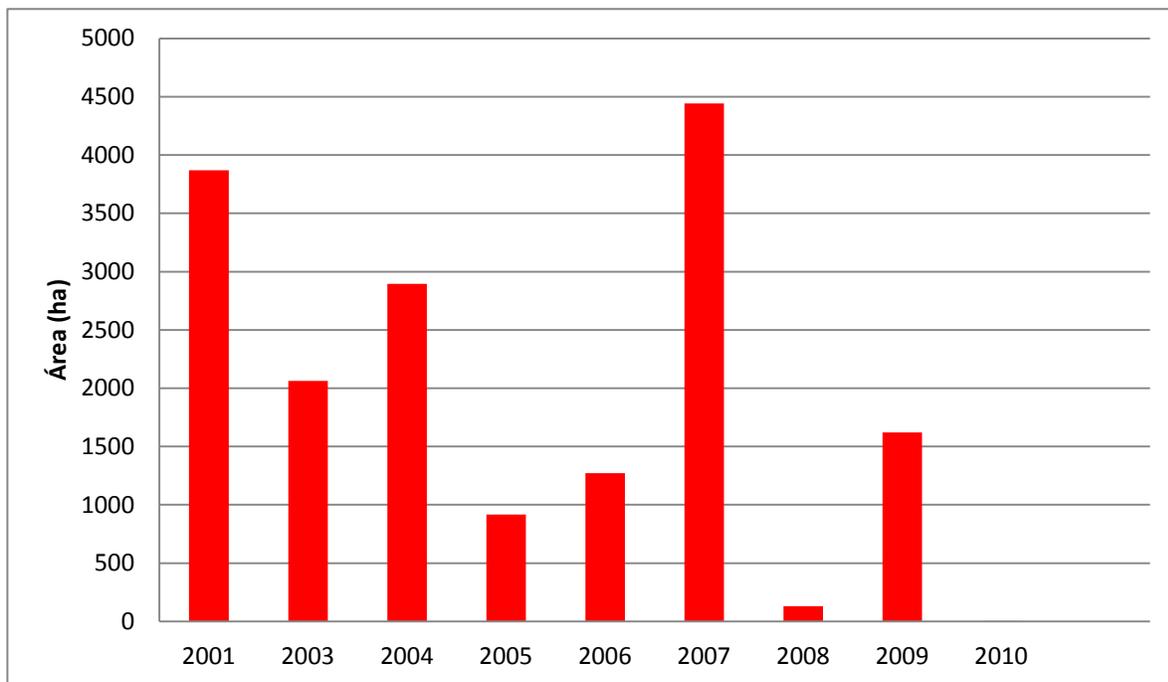


Figura 9 – Gráfico comparando os valores de área queimada anualmente dentro RNST ao longo do período estudado (2001 a 2010).

5.2. Recorrência de eventos de fogo

Dos 62.248 hectares alterados pelo fogo na área total entre 2001 e 2010, 42.403 hectares (68 %) queimaram mais de uma vez. Estimou-se 20.728 hectares sofreram com queimadas 2 vezes no período, o que corresponde a 33,26% do total, valor próximo a área queimada apenas 1 vez, 19.904 (31,93%). Estas duas classes somam uma área igual a 40.633 (65,22 %). Em contrapartida, 21.675,34 hectares (34,78 %) queimaram ao menos 3 vezes no período de 10 anos, proporção de uma queimada a cada 3.66 anos. Uma pequena área de 5 hectares próxima ao limite Nordeste da RNST apresentou 10 ocorrências de fogo, ou seja, foram identificadas cicatrizes de queimadas em todos os anos levantados. Outra pequena área de 4 ha foi identificada com frequência de 9 ocorrências de fogo no período estudado - Tabela 5.



Tabela 5 - Recorrência de queimadas entre 2001 e 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.

Recorrência	Hectares	%
Queimou 1 vez	19.904	31,93
Queimou 2 vezes	20.728	33,26
Queimou 3 vezes	12.800	20,54
Queimou 4 vezes	6.597	10,58
Queimou 5 vezes	1.529	2,45
Queimou 6 vezes	471	0,76
Queimou 7 vezes	208	0,33
Queimou 8 vezes	57	0,09
Queimou 9 vezes	4	0,01

A Figura 9 apresenta o mapa da recorrência de queimadas. Observa-se que existem 5 *Trends* identificados (demarcados em Azul) que correspondem às regiões que apresentaram alta recorrência de queimadas. O *Trend 1* corresponde a área de 5 ha que apresentou cicatrizes de passagem de fogo em todos os anos estudados (queimou nos 9 anos), localizado na porção central da área de amortecimento e muito próximo ao limite Nordeste da RNST. O *Trend 2* corresponde às extensas áreas de alta recorrência, localizadas a Noroeste e Oeste dos limites da RNST, sendo o maior aglomerado de áreas com muita frequência de fogo. O *Trend 3* representa um conjunto de polígonos identificados com alta recorrência localizados na porção Leste da RNST, próximo ao local que apresentou 10 recorrências. Essas regiões são as áreas mais críticas, bem próximas aos limites da reserva. Além desses três *Trends*, foram identificados outros dois (*Trend 4* e *Trend 5*) mais na borda da área de amortecimento, nas porções Leste e Sudeste da mesma, indicando áreas com recorrência acima de 5 queimadas.

Dentro dos limites da RNST se observam duas regiões com recorrência acima de 5 queimadas em 10 anos estudados: uma na porção Noroeste, perto do *Trend 2* descrito acima, e outro na porção Sudeste, próximo ao *Trend 3*. Comparando a camada de recorrência com o mosaico de imagens SPOT 5 foi possível notar que as áreas não queimadas dentro da RNST correspondiam, em sua grande maioria, aos vales geralmente ocupados por de Matas de Galeria – Figura 11.

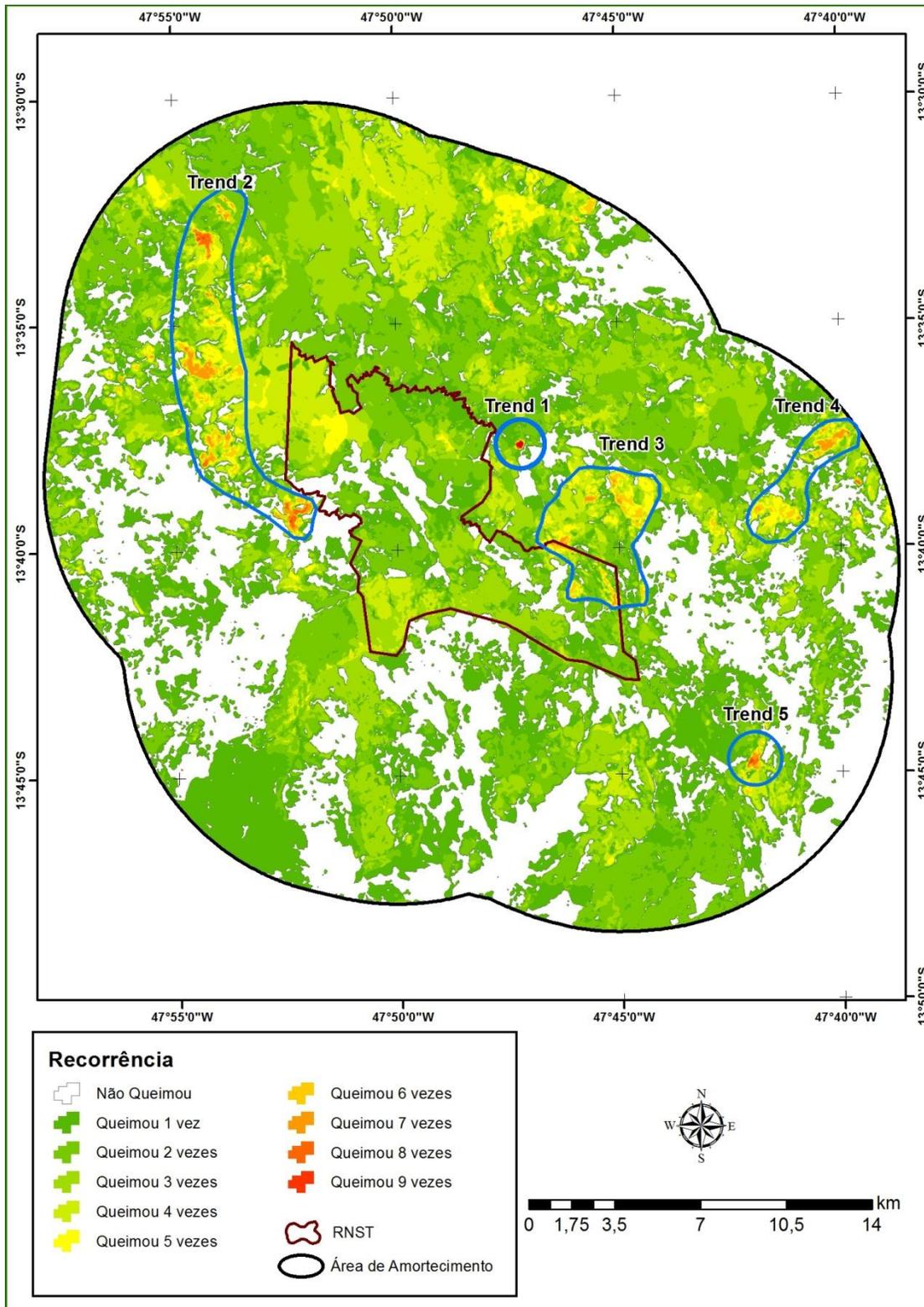


Figura 10 – Recorrência de queimadas ao longo do período de 2001 a 2010.

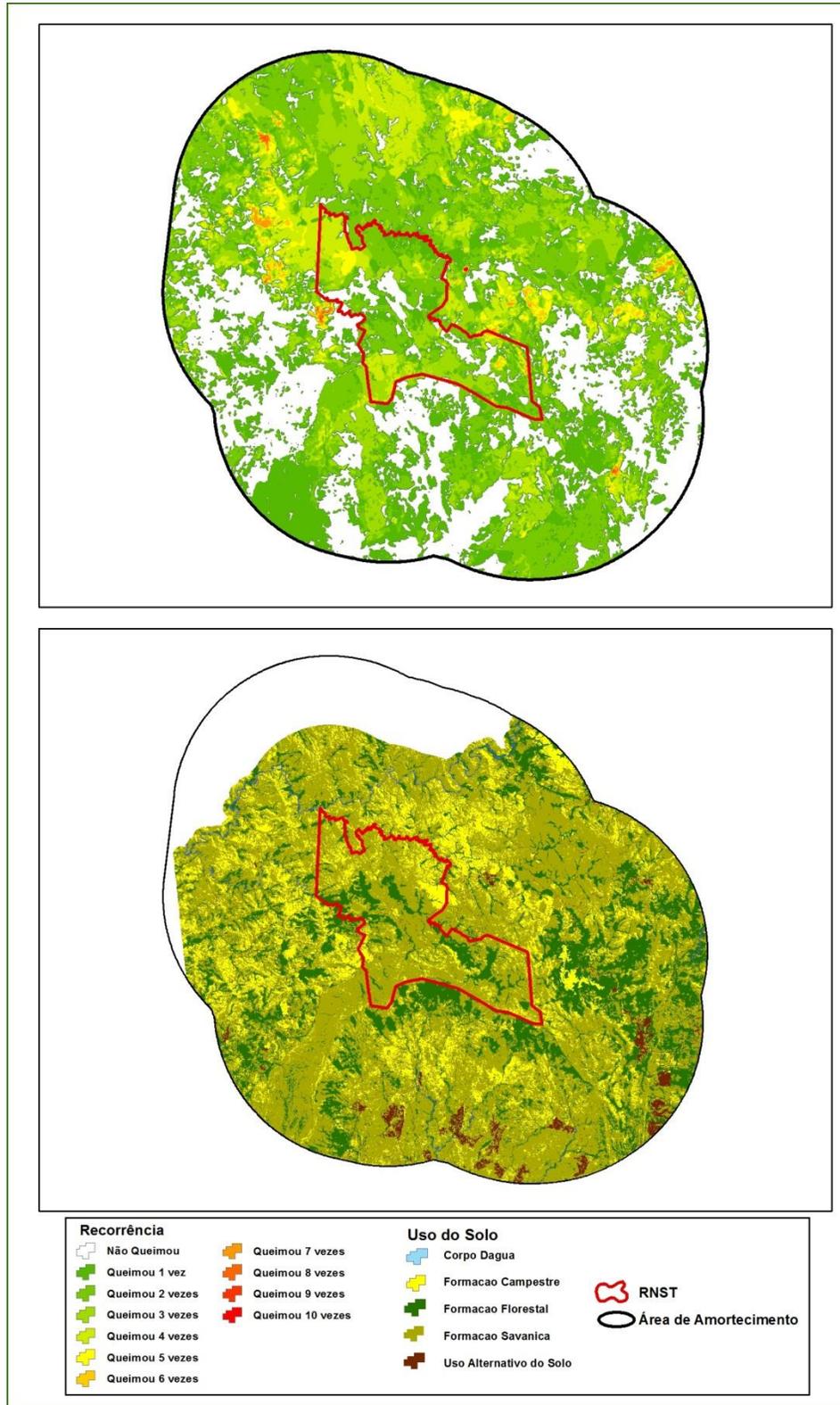


Figura 11 – Recorrência de queimadas e Uso do Solo dentro da RNST e da Área de Amortecimento, demonstrando quais as classes de Uso mais sofreram com o fogo.



5.3. Análise dos eventos de fogo nas unidades de vegetação e uso da terra

5.3.1. Área total

Como descrito anteriormente, a camada de uso e cobertura da Terra não recobre toda a extensão da área de amortecimento. Dessa forma, os totais de áreas queimadas foram alterados para compatibilizar as informações. (Tabela 6).

Tabela 6 - Percentual queimado de cada classe de uso e cobertura da Terra na área total, no período de 2001 a 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.

Classe de Uso e Cobertura	Total Ocupado	Área Queimada (ha)	%
Formação Florestal	16.074	4.981	30,99
Formação Campestre	12.406	9.435	76,06
Formação Savânica	48.731	37.232	76,40
Uso Antrópico	1.528	701	45,88

Em números absolutos, a maior área queimada ocorreu na classe "Formação Savânica", com 48.731ha afetados, uma área 3,03 vezes maior que a da segunda classe mais afetada, "Formação Florestal". Mas comparando a área queimada com o total ocupado pelas classes, destacaram-se as classes "Formação Campestre" e "Formação Savânica", ambas com aproximadamente 76% queimados ao longo dos anos estudados.

Do total de queimadas estimadas no período levantado, as Formações Campestres apresentaram uma área total de 9.435 ha alterados pela passagem do fogo, correspondendo a 18,02 % do total. As Formações Savânicas apresentaram a maior estimativa de área queimada, somando 37.232 ha, ou 71,12 % do total. Dentre elas se encontra o local identificado com 10 recorrências em 10 anos levantados. Essas duas classes juntas representam 89,15 % das queimadas que ocorreram na área ao longo dos anos estudados. As formações Florestais tiveram 4.981 ha alterados pelo fogo, o que corresponde a 9,52 % do total de queimadas mapeadas, e o Uso Antrópico totalizou a



menor área queimada estimada, igual a 701ha, correspondendo a 1,34 % do total (Tabela 7).

Tabela 7 - Estimativa de área (ha) de cada classe de uso e cobertura da Terra que queimaram dentro da área total ao longo do período de 2001 a 2010, dentro da RNST e da área de amortecimento.

Classe de Uso e Cobertura	Área (ha)	%
Formação Campestre	9.435	18,02
Formação Florestal	4.981	9,52
Formação Savânica	37.232	71,12
Uso Antrópico	701	1,34
Total Queimado	52.350	100,00

5.3.2. Área da RNST

Dentro dos limites da RNST as estimativas e percentuais das áreas queimadas em cada classe do uso e cobertura da Terra em relação a área total da reserva são muito próximos aos valores apresentados para a área de amortecimento. As formações vegetais Savânicas e Campestres apresentaram as maiores estimativas de área queimadas: 5.398 ha (74,66%) e 1.244 (17,21%), respectivamente. Os valores estimados para essas duas classe somados representam 91,86% do total de queimadas mapeadas dentro da RNST. As Formações Florestais tiveram 573 ha (7,93%) alterados pelo fogo, e o Uso Antrópico, 15ha (0,21%) - Tabela 8.

Tabela 8 - Estimativa de área (ha) de cada classe de uso e cobertura da Terra que queimaram dentro dos limites da RNST ao longo de todo o período estudado.

Classe de Uso e Cobertura	Área (ha)	%
Formação Campestre	1.244	17,21
Formação Florestal	573	7,93
Formação Savânica	5.398	74,66
Uso Antrópico	15	0,21
Total Queimado	7.231	100,00



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada se mostrou eficaz para identificar e mapear as cicatrizes deixadas pela passagem do fogo na vegetação. O emprego do algoritmo Mahalanobis se mostrou eficaz para distinguir a vegetação queimada dos demais alvos presentes nos mosaicos TM Landsat 5. O uso de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) se mostrou mais adequado para a identificação de queimadas menores, e a Interpretação Visual se mostra mais adequadas para a identificação e mapeamento de queimadas que alteram área mais extensas. A revisão visual dos mapeamentos gerados por PDI foram uma etapa fundamental da metodologia, pois permitiu que a classificação automática fosse avaliada de acordo com a experiência e conhecimento da região por parte do revisor, eliminando ou redelimitando polígonos que apresentaram confusão/omissão.

Acreditamos que todos os incêndios levantados nesse estudo sejam intencionais, devido à janela temporal delimitada para o período de estiagem (Julho, Agosto e Setembro), época na qual não ocorrem tempestades de raios. Dessa maneira, as áreas queimadas estão diretamente relacionadas com manejo do fogo que os habitantes da região utilizam em suas atividades. Por ser uma área de predominância da atividade de pastagem extensiva, acreditamos que o fogo deve ser utilizado para estimular a rebrota da vegetação, e assim, aumentar disponibilidade de alimentos para os animais. Em alguns locais não foram identificadas cicatrizes de queimadas devido às barreiras naturais, tais como vales ocupados por formações florestais, não tão suscetíveis a queimadas intensas. Mas em muitos outros locais com características similares aos locais que queimaram, não foram mapeados nenhuma cicatriz de queimada. Isso pode ser explicado porque esses locais foram protegidas das queimadas por intermédio dos habitantes, que não usam o fogo ou que o combatem para proteger suas terras.

Nos resultados dos mapeamentos encontrou-se mesma recorrência compatível com a observada por França e Setzer (1997) no Parque Nacional das Emas, com grandes eventos de queimadas ocorrendo a cada três anos. As formações vegetais que mais sofreram com a ocorrência do fogo foram as formações savânicas e campestres, as quais concentraram cerca de 80% do total de queimas que ocorreram na área estudada, entre



2001 e 2010. O local com a maior recorrência de queimadas (queimou dez vezes) ao longo dos anos estudados está classificado com Formação Savânica. Torna-se necessário realizar um levantamento mais detalhado desse local, para se compreender melhor os motivos dessa maior recorrência de queimadas. Não foi possível uma checagem de campo antes da finalização do presente texto, mas acredita-se que seja um local de cobertura vegetal natural, mas que é utilizado para pastagens. Esses locais com maiores recorrências de fogo indicam áreas de risco para as formações vegetais ali presentes, que podem ter suas características alteradas no número de espécies e na fisionomia (Miranda *et al.*, 2002).

As regiões delimitadas como *Trends* de queimadas indicam locais nos quais o uso do fogo é muito recorrente, despertando maior atenção. Sugerimos que se faça um levantamento dos imóveis rurais ali estabelecidos e de suas atividades, para melhor compreender o porquê que essas regiões queimam recorrentemente. A identificação dessas regiões podem também auxiliar os tomadores de decisões locais a melhor planejar suas ações de combate ao fogo, estabelecendo mecanismos de acompanhamento das áreas críticas e a planejarem uma campanha de conscientização dos habitantes, pois acreditamos que apenas com a participação ativa dos moradores será possível diminuir a frequência de queimadas.

Dentro da RNST é preciso ter maior atenção para as porções Noroeste e Sudeste, regiões que foram identificadas com as maiores recorrências de incêndios. Esses locais são áreas que devem ser priorizadas nas atividades de combate e manejo do fogo. Mesmo que dentro dos limites da RNST o fogo seja manejado, o fogo pode entrar na Reserva vindo de queimadas que ocorrem em suas proximidades. Recomenda-se um projeto integrado da RNST junto à comunidade que vive na área de amortecimento aqui estabelecida, de forma a conscientizar a população do uso mais adequado do fogo. É preciso priorizar as áreas ocupadas por Savanas e Campos, fisionomias que concentraram 92 % das queimadas dentro da reserva, por serem fisionomias compostas em grande parte por espécies gramíneas e arbustivas, que são os combustíveis que mais consumidos pelo fogo no Cerrado.



Finalmente, ressalta-se que o fogo age no Cerrado a milhões de anos, sendo um dos fatores que moldou esse bioma. Dessa forma, não se pode eliminar por completo o fogo da região estudada, o que pode acabar por acumular muita biomassa, que servirá de combustível disponível para um evento de fogo de grandes proporções. Dessa forma, é preciso um manejo do fogo natural que possivelmente ocorram nos períodos chuvosos, permitindo que ele tenha seu papel ecológico no bioma assegurado, e que haja um esforço para que a população local se conscientize sobre os riscos que o uso recorrente do fogo traz para o ecossistema.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB`SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS (AGMA). **Plano de manejo da área de proteção ambiental APA Pouso Alto-GO**, 2005.
- BATISTA, A. C. **Modelos de estimativa de comportamento do fogo**. Anais do 1º Seminário Sul-americano sobre Controle de Incêndios Florestais. Belo Horizonte, p. 231-251, 1998.
- BOGGIONE, G. A. **Restauração de imagens do satélite Landsat-7**. 2003. 160 p. (INPE-10462-TDI/929). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.
- BOND, W. J.; WOODWARD, F. I.; MIDGLEY, G. F. **The global distribution of ecosystems in a world without fire**. *In: New Phytologist* Volume 165, Issue 2, pages 525–538, February, 2005.
- BOND, W. J.; KEELEY, J. E. **Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems**. *Trends in Ecology and Evolution*, 20 (7), pp 387-394, 2005
- BRASIL, Lei Nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação-SNUC**
- CARVALHO, A. P. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; GUIMARÃES, R. f.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Classificação de padrões de vegetação na região de transição entre o cerrado e a floresta amazônica**. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 11. Belo Horizonte. Anais. São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p.2679-2687. CDROM, On-Line. ISBN85-17-00017-X, 2003.
- CARVALHO, L. A. S.; BOGGIONE, G. A.; FONSECA, L. M. G.; NOVO, E. M. L. M. **Simulação e Restauração de Imagens HRC CBERS 2B**. *In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2652
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. **Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do Rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens Modis**. *Revista Brasileira de Geofísica*. Sociedade Brasileira de Geofísica, 2006.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. **Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire**. *Journal of Tropical Ecology*, 14: 263-283, 1998.
- COUTINHO, L. M. **As queimadas e seu papel ecológico**. *Brasil Florestal*, 44: (7-32), IBDF, 1980.



- _____. **Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado.** In J. G. Goldammer, ed., *Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges*, pp.82–105. Berlin: Springer Verlag, 1990
- DAI, X.; KHORRAM, S. **The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection.** *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.* 1998, 36, 1566-1577.
- EITEN, G. **The cerrado vegetation of Brazil.** *Botanical Review*, v.38, n. 2, p.201-341,1973.
- FRANÇA, H.; SETZER, A. **Regime de queimadas no Parque Nacional das Emas: 1973-1995.** Relatório de Pesquisa FAPESP. São José dos Campos: INPE, 1997.
- FRANÇA, H. **Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA.** In: Nelson Jesus Ferreira. (Org.). *Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N.* 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v., p. 57-78, 2004
- FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. **O fogo no Parque Nacional das Emas.** MMA, Série Biodiversidade V. 27, 2007.
- FRANÇA, H.; RIBEIRO, K. T. **Mapeamento de queimadas no Parque Nacional da Serra do Cipó e na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, MG: 1984-2007, 2008.**
- FONSECA, L. M. G. **Restauração e interpolação de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR.** São José dos Campos. 148 p.(INPE-6628-TAE/30). Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 1988.
- FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO. **Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador.** Supervisão: Gustavo Adolfo Gatti. 2011.
- GOUVÊA, E. J. C.; FONSECA, L. M. G.; SANTOS, R. D. C. **Ajuste dos parâmetros do algoritmo de restauração de imagens da câmera CBERS-2 CCD por meio de técnicas de Mineração de Dados.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 21 a 26 de abril, 2007, Florianópolis. Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, 2007.
- HAIRSTON, N. G.; SMITH, F. E.; SLOBODKIN, L. B. **Community structure, population control and competition.** *The American Naturalist*, Vol. 94, No 879, p. 421-425,1960.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento de queimadas e incêndios por satélites em tempo quase-real.** Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas/faq.php>. Acesso em 08 de Novembro de 2011.
- MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. **Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo-sujo submetido a três queimadas prescritas anuais.** *Acta Botanica Brasílica*, v.19, p.493-500, 2005.



- MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. **The fire factor**. *In*: The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna/ Paulo S. Oliveira and Robert J. Marquis. New York: Columbia University Press, 2002
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Investimentos Mínimos para a Conservação - IMC**. *In*: Coleção Áreas Prioritárias do Brasil: Pilares para o Plano de Sustentabilidade Financeira do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2008
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS (MMA-SBF). **Áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização** – Portaria MMA nº 9, de 23 de Janeiro de 2007. Brasília: MMA-SBF, 2007.
- MOTTA, P. E. F.; CURTI, N.; FRANZMEIER, D. P. **Relation of Soils and Geomorphic Surfaces in the Brazilian Cerrado**. *In*: The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna/ Paulo S. Oliveira and Robert J. Marquis. New York: Columbia University Press, 2002.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações, 2a edição**. Editora Edgar Blucher Ltda, São Paulo - SP, 1992
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Monitoramento de desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do Bioma Cerrado 2008-2009, 2011.**
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. **Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome**. *In*: The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna/ Paulo S. Oliveira and Robert J. Marquis. New York: Columbia University Press, 2002.
- PEREIRA, A.; FRANÇA, H. **Identificação de queimadas naturais ocorridas no período chuvoso de 2003-2004 no Parque Nacional das Emas, Brasil, por meio de imagens dos sensores do satélite CBERS-2**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3245-3252, 2005.
- PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. **Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna)**. *Journal of Tropical Ecology*, Vol. 8, No. 4, p. 487-497. 1992.
- PONZONI, F. J.; LEE, D. C. L.; HERNANDEZ FILHO, P. **Avaliação de área queimada e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo no Parque**



- Nacional de Brasília através de dados do TM/Landsat.** São José dos Campos: INPE, 1986.
- PONZONI, F.J. **Comportamento espectral da vegetação.** In: Meneses, P.R.; Madeira Netto, J.S. (eds.). *Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.* Brasília: Universidade de Brasília, 2001. Cap. 5, p. 157-199.
- RAMOS NETO, M. B. **O Parque Nacional das Emas (GO) e o fogo: implicações para a conservação biológica.** Tese de Doutorado – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2000.
- REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S.T. MARTINS, E. S. **Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos.** In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flor,* Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Pp 107 - 150, 2008.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** In: Sano, S. M. & Almeida, S. P (ed.). *Cerrado: Ambiente e Flora.* Planaltina: Embrapa - CPAC, 1998.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do bioma Cerrado.** In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flor,* Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Pp 151 - 212, 2008.
- RIVERA-LOMBARDI, R. J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do Cerrado Brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat.** 171 f. Dissertação (Mestrado Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 2005.
- SALGADO-LABOURIOU, M. L.; FERRAZ-VINCENTINI, K. R. **Fire in the Cerrado 32.000 years ago.** *Current Research in the Pleistocene,* v.11, p. 85-87, 1994
- SALGADO-LABOURIAU, M. L.; CASSETI, V.; FERRAZ-VINCENTINI, K. R.; MARTIN, L.; SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. **Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil.** *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology,* 128, 215-226, 1997.
- SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1998.
- SHAFRI, H. Z. M.; SUHAILI, A.; MANSOR, S. **The performance of maximum likelihood, spectral angle mapper, neural network and decision tree classifiers in hyperspectral image analysis.** *Journal of Computer Science* 3 (6): 419-423, 2007.
- TNC-The Nature Conservancy – Projeto Corredor Ecológico RPPN Serra Natural do Tombador – Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. Brasília, DF. Não Divulgado.



SAN JOSÉ, J. J.; FARIÑAS, M. R. **Temporal changes in the structure of a Trachypogon savanna protected for 25 years.** Acta Ecologica, 1991, 12(2), p. 237-247. 1991.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. **Caracterização Cimática do Bioma Cerrado.** In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). Cerrado: ecologia e flor, Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Pp 151 - 212, 2008.

SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C.O.; GURNEY, C.; McMANUS, J. **The impact of misregistration on change detection.** IEEE Transaction on Geoscience. Remote Sensing. 1992, 30, 1054-1060.