



**ESTUDO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO
PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS VEADEIROS**

MARILÚ MILANEZ ALVES TATAGIBA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ESTUDO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO
PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS VEADEIROS

MARILÚ MILANEZ ALVES TATAGIBA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi (Departamento de Engenharia Florestal – UnB)
(Orientador)

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira (Departamento de Engenharia Florestal – UnB)
(Examinador interno)

Prof^ª. Dra. Helena França (Universidade Federal do ABC)
(Examinadora externa)

Brasília, 24 de agosto de 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ESTUDO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL
FOD INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE
NACIONAL DA CHAPADA DOS VEADEIROS

MARILÚ MILANEZ ALVES TATAGIBA

ORIENTADOR: ERALDO A. T. MATRICARDI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL. DM – 147/2010
BRASÍLIA/DF: AGOSTO – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

TATAGIBA, MARILÚ MILANEZ ALVES

Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. 2010.

xvi, 76p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia).

Departamento de Engenharia Florestal

1. Incêndios florestais

2. Geoprocessamento

3. Imagens Landsat

4. Unidade de Conservação

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TATAGIBA, M. M. A. (2010). Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM-147/2010, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 76p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Marilú Milanez Alves Tatagiba.

TÍTULO: Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

GRAU: Mestre

ANO: 2010

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

Marilú Milanez Alves Tatagiba
Campus Universitário Darcy Ribeiro.
70.910-900 Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por fazer tão nítida sua presença em todos os momentos e por me direcionar até aqui, colocando pessoas especiais e importantes para a execução deste trabalho no meu caminho.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Dr. Eraldo Matricardi, pela satisfação em transmitir seu conhecimento, por toda paciência, estímulo e dedicação, tendo realmente me orientado em cada etapa desta pesquisa.

Agradeço a toda equipe do Prevfogo, especialmente à amiga Erika Nascimento, que juntamente com a Simone Fonseca, contribui para a escolha do tema aqui abordado. À Giselle Paes, Ana Maria Cannut, José Carlos Morais e Alexandre Avelino. Aos funcionários do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, em especial ao Fernando Rebello e Daniel Rios, agradeço pela cessão de dados e por todo apoio nas saídas de campo.

Dirijo meu reconhecimento ao professor Reginaldo Pereira do departamento de Engenharia Florestal da UnB, por sua participação na banca examinadora e por suas importantes contribuições nesta etapa final. Agradeço à Dra. Helena França (autora dos trabalhos no Parque Nacional de Emas e da Serra do Cipó, que tanto me inspiraram e influenciaram), pelas consultorias virtuais, sua atenção e disponibilidade em contribuir pessoalmente na banca examinadora. Aos colegas que conheci ao longo do desenvolvimento deste estudo e tão gentilmente me ajudaram também por meio da consultoria virtual, como o Dr. Rodolfo Maduro e a Dra. Ane Alencar, que apesar do pouco que conversamos, contribuíram para o enriquecimento do trabalho. E aos colegas de mestrado: Rosetti, Laurent e Maísa; aos professores do departamento de Ecologia da UnB: Heloísa Miranda, Carlos Henke e Carlos Saito, pela disponibilidade e contribuições.

Agradeço especialmente Marcos Bauch e também ao Anselmo de Oliveira, pela ajuda com a utilização dos programas. Aos colegas e amigos do Serviço Florestal Brasileiro, em especial à Márcia Muchagata, Cláudia Ramos, Tasso Azevedo, Luiz Carlos Joels e José Natalino, que também me apoiaram nesta escolha.

Agradeço carinhosamente ao meu querido Tatagiba, pelo companheirismo diário, por nosso amor, amizade, cumplicidade e pela especial ajuda nesta etapa. Agradeço também à nossa pequena Luna crescente, que tanto brilha e ilumina meu caminho, por encantar os meus dias e me incentivar a prosseguir e melhorar.

Contei com apoio fundamental dos meus pais, grandes responsáveis por esta realização. Em especial agradeço à minha mãe, Maria Teresa, por todo amor, confiança e pela dedicação intensa sempre e principalmente nesta reta final; ao meu pai, Dr. Alves, que mesmo de longe, é sempre tão presente e ao meu querido irmão, Marcelo Bruno.

Também agradeço aos meus familiares e amigos que ajudaram na elaboração deste trabalho, muito especialmente à Dra. Iris Roitman, pelas ideias iniciais referentes a este estudo, pelas inúmeras revisões e discussões e por sua amizade, fundamental não apenas nesta etapa, mas em muitos outros momentos. Obrigada também aos meus amigos engenheiros florestais Leonardo Lima, Isabel Castro e em especial ao Dr. Francisco Cavalcanti, pela confiança em mim depositada logo no início deste estudo e pelos socorros com os gráficos e figuras; e às amigas Joana e Mayalu, pelo diferencial apoio nas situações de emergência.

Quero ainda agradecer à Vera e ao Júlio, que gentilmente cederam sua casa para uma das saídas de campo e tantas outras vezes que fui à Chapada dos Veadeiros. Por fim, mas igualmente em especial, eu agradeço à Téia, ao Maurinho, Rafinha, Juliano, Luciano, Seu Domingos (*in memorian*), Seu Antônio (*in memorian*) Pelé, D. Ana, Seu Claro, Verde, João Fernandes, Tila e todos os amigos que fiz no povoado de São Jorge.

À bela Luna e ao Tatagiba;
Aos meus pais e meu irmão;
Ao Luan, Ariel e à sementinha,
dedico.

*Atravessamos campos. Dias, tão claros, céu de toda altura.
A mais voavam eram os gaviões. Goiás estava pondo fogo
nos seus pastos. Arte que fumaçava, fumaceava, o tisne. O
sol rôxo requeimão. Tive uma saudade de outras audácias.*

João Guimarães Rosa
Grande Sertão Veredas

RESUMO

ESTUDO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS VEADEIROS

Autora: Marilú Milanez Alves Tatagiba

Orientador: Dr. Eraldo A. T. Matricardi

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, 2010.

A biodiversidade do Bioma Cerrado está seriamente ameaçada pelo intenso processo de ocupação antrópica sobre seu território, observado a partir da década de 1960. Nesse contexto, as Unidades de Conservação (UC's) assumem um papel fundamental na conservação deste bioma, formando ilhas de proteção territorial e dos seus recursos ambientais. Contudo, as UCs vêm sendo submetidas a frequentes eventos de degradação ambiental por incêndios florestais, cujos efeitos estão entre os mais danosos, pois prejudicam amostras representativas em ambientes nativos. No Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) – Goiás, a intensa ocorrência de incêndios florestais constitui um dos maiores problemas para sua conservação. O presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica espacial e temporal dos incêndios florestais ocorridos no PNCV e em dez quilômetros de seu entorno, num período de 11 anos (1999 a 2009) utilizando imagens Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM. Para cada um dos anos, foi realizado o processamento e interpretação visual de imagens, a vetorização das áreas queimadas e das áreas de uso agropecuário, bem como a validação dos processos executados. A partir dos mapas anuais, foi gerado um mapa de recorrência de áreas atingidas por incêndios florestais para todo o período.

Por meio do modelo Probit foi realizado o cruzamento das áreas queimadas com variáveis socioeconômicas, temporais e espaciais relacionadas à ocorrência dos incêndios. Os anos que mais apresentaram incidência de áreas queimadas foram 2007 seguido do ano 2000. A maior parte das áreas de vegetação natural queimada dentro do PNCV estava na sua borda e algumas vezes eram contíguas a áreas queimadas em propriedades agropecuárias, indicando uma possível correlação entre os incêndios dentro do PNCV e queimadas nas propriedades de uso agropecuário circunvizinhas. Na área do entorno, as áreas cobertas por vegetação nativa foram mais atingidas pelos incêndios do que as de uso agropecuário, em termos absolutos e relativos, sugerindo que o fogo utilizado na prática agropecuária tende a ser controlado apenas dentro dos limites das propriedades, atingindo assim irrestritamente as áreas adjacentes de vegetação nativa. De acordo com o modelo Probit, as variáveis que afetaram a ocorrência de incêndios na área (estatisticamente significativa a 95%) nesse período, foram: altitude, proximidade de áreas urbanas, a localização (interior ou entorno do parque), a localização no eixo longitudinal e os anos de 2000 e 2007. Finalmente, os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados para subsidiar o desenvolvimento de políticas e programas pelos órgãos ambientais competentes, a fim de evitar ou reduzir os danos causados pelo fogo no PNCV e seu entorno.

ABSTRACT

SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF FOREST FIRES IN THE CHAPADA DOS VEADEIROS NATIONAL PARK

Author: Marilú Milanez Alves Tatagiba

Supervisor: Dr. Eraldo A. T., Matricardi

Graduate Program in Forests Sciences

Brasília, 2010.

The Cerrado's biodiversity has been seriously threatened by the intense process of anthropogenic occupation over its territory since the 1960's. In this context, Federal Government's Protected Areas (PA's) play a major role in the conservation of this biome, creating refuge islands that help protecting their natural resources. However, PA's have been subjected to frequent degradation caused by forest fires. The effects of forest fires are among the most harmful ones, because they may damage substantial amounts of natural environments. In the Chapada dos Veadeiros National Park (CVNP) – Goiás, forest fires are one of the major conservation problems. This study intended to assess the spatial and temporal dynamics of forest fires within the CVNP limits and on a ten kilometers buffer zone over an 11-year time period (1999-2009) using Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM imagery. For each year, Landsat images were processed and visually interpreted to create land use and burned areas vectors. Subsequently, mapping remote sensing procedures were applied for accuracy assessment. A fire recurrence map for the study period was created based on annual burned area maps. The probabilistic PROBIT model was used to investigate the correlation between the observed burned areas and socioeconomic, temporal and spatial variables. The greatest fire incidence in terms of area was held in 2007 followed by 2000. Most of the burned areas within the CVNP were located next to its border, and sometimes adjacent to burned farmlands indicating a possible correlation between the fires inside the CVNP and the ones in surrounding farmlands. Within the buffer zone, natural vegetation areas were more affected by fire than those located in agricultural and livestock farmlands, both in absolute and relative terms. This suggests that the fire from slash and burn practices is more likely to be controlled only within farmland limits, and unrestrictedly spread onto adjacent areas of native vegetation. According to the Probit model, the variables that most affected fire occurrence in the study area (statistically significant at 95% of probability) were: altitude, proximity to urban areas, location (inside or around the park), location on the longitudinal axis, and the years 2000 and 2007. Finally, the results of this research may assist government agencies in the development of public policies and programs towards fire prevention and impact reduction in the CVNP.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. IMPORTÂNCIA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. QUESTÕES DE PESQUISA	3
1.4. HIPÓTESES	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. O FOGO NO CERRADO	5
2.2. HISTÓRICO DO FOGO NO PNCV E ENTORNO	7
2.3. FATORES QUE AFETAM OS INCÊNDIOS FLORESTAIS	10
2.4. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À TEMÁTICA DO FOGO 12	
2.4.1. Características espectrais das queimadas	14
2.4.2. Processamentos das imagens Landsat	16
2.4. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.2. BASE DE DADOS	23
3.3. PROPOSTA METODOLÓGICA	28
3.3.1. Processamentos e interpretação das imagens LANDSAT	29
3.3.2. Avaliação da acurácia do mapeamento	31
3.3.3. Processamentos e análises em Sistema de Informação Geográfica - SIG	32
3.3.4. Modelo probabilístico espacial de ocorrência de incêndios florestais no PNCV	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. DESEMPENHO DO MAPEAMENTO	37

4.2. OS INCÊNDIOS NA ÁREA DE ESTUDO (1999 a 2009)	38
4.2.1. Mapeamento anual dos incêndios florestais	49
4.2.2. Recorrência de incêndios florestais no parque e entorno (1999-2009) .	60
4.3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DOS INCÊNDIOS	62
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Principais características e aplicações das bandas do sensor TM do satélite LANDSAT-5.....	15
Tabela 3.1 – Dados referentes às imagens do satélite LANDSAT utilizadas.	24
Tabela 3.2. Dados vetoriais utilizados no trabalho e seus metadados.....	28
Tabela 4.1 – Resultado da Matriz de Confusão	38
Tabela 4.2. Área atingida por incêndios florestais no PNCV em hectares (VNQ_PNCV) e percentual do parque (%_PNCV).....	40
Tabela 4.3. Resultado das áreas (em hectares, em percentual e percentual relativo) referentes à vegetação natural e agropecuária atingidas por incêndios florestais no entorno do PNCV (1999-2009).....	43
Tabela 4.4. Área (hectare) referente à vegetação natural (VN), vegetação natural queimada (VNQ), agropecuária (AG) e agropecuária queimada (AGQ); total de área queimada e sem ser queimada (Total_Q e Total_SQ), vegetação natural total (VN_total) e agropecuária total (AG_total) na área de estudo (1999-2009).....	45
Tabela 4.5. Percentual da área total do estudo referente à vegetação natural (VN), vegetação natural queimada (VNQ), agropecuária (AG) e agropecuária queimada (AGQ), total de área queimada e sem ser queimada (total_Q e total_SQ), vegetação natural total (VN_total) e agropecuária total (AG_total) durante o período de 1999-2009.....	46
Tabela 4.6. Recorrência de queimadas no período de 1999 a 2009.	61
Tabela 4.7. Resultados da análise da regressão da ocorrência de incêndios	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Setorização do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) em unidades de manejo do fogo e regiões de recorrência de incêndios no período de 1992-2003. Fonte: ICMBio (2009).	9
Figura 3.1. Mapa político do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV).	19
Figura 3.2. Localização e acesso ao PNCV a partir do Distrito Federal.	20
Figura 3.3. Áreas de pastagens naturais nas fazendas do entorno do PNCV.	23
Figura 3.4. Localização do PNCV e sua distribuição pelos quadrantes da cena 221/70 do Satélite Landsat, composição colorida RGB 5/4/3.	26
Figura 3.5 – Limite do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (em linha amarela) sobreposto no mosaico imagens Ikonos.	27
Figura 3.6. Representação da grade gerada (A) para o mapeamento das áreas queimadas na tela do computador sobre a imagem Landsat do ano de 2004 utilizada (B).	30
Figura 3.7: Pontos sorteados sobre as imagens Ikonos (até 5 km do entorno do PNCV) e Landsat (a partir de 5 km do entorno)	31
Figura 3.8. Representação das variáveis utilizadas na análise probabilística espacial: uso agropecuário (A); direção das encostas (B); proximidade das áreas urbanas (C); proximidade das estradas (D); declividade (E); altitude (F); ano das áreas queimadas em análise (G) e localização: interior ou entorno do PNCV (H)	35
Figura 3.9. Pontos aleatórios selecionados na malha vetorizada de 4 km x 4 km sobre o mapa de proximidade das estradas da área de estudo	36
Figura 3.10. Simulação da entrada de camadas de informações (variáveis) no modelo probabilístico espacial Probit	37
Figura 4.1. Áreas atingidas por incêndios florestais na área de estudo em hectares e percentual do total	39
Figura 4.2. Áreas atingidas por incêndios florestais no interior PNCV em hectares e percentual da sua área total	40
Figura 4.3. Área queimada no interior do PNCV e no seu entorno	41
Figura 4.4. Percentual de área queimada no interior do parque (%_PNCV) e percentual da área queimada no seu entorno (%_Entorno do PNCV)	41
Figura 4.5. Percentual de área queimada no interior do parque (%_PNCV) e percentual da área total queimada (%_Q_total)	42
Figura 4.6. Agropecuária (em hectares e percentual da área do entorno) mapeada na área de estudo (1999-2009)	42
Figura 4.7 – Mapeamento da agropecuária durante os anos de 1999 a 2009	44
Figura 4.8. Área de vegetação natural e de agropecuária queimada na área de estudo nos anos de 1999 a 2009	47

Figura 4.9. Distribuição das áreas mapeadas nas categorias: vegetação natural; vegetação natural queimada; agropecuária e agropecuária queimada, no período de 1999 a 2009 na área de estudo	47
Figura 4.10. Percentual da área de vegetação natural e de agropecuária queimada na área de estudo nos anos de 1999 a 2009	48
Figura 4.11. Incêndios florestais sobre a vegetação natural e área de agropecuária no PNCV e seu entorno em 1999	49
Figura 4.12. Incêndios florestais sobre a vegetação natural e área de agropecuária no PNCV e seu entorno em 2000	50
Figura 4.13. Áreas atingidas pelo fogo em 1999 e em 2000	51
Figura 4.14. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2001	52
Figura 4.15. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2002	53
Figura 4.16. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2003	54
Figura 4.17. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2004	55
Figura 4.18. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2005	55
Figura 4.19. Áreas atingidas pelo fogo em 2004 e em 2005	56
Figura 4.20. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2006	57
Figura 4.21. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2007	58
Figura 4.22. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2008	59
Figura 4.23. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2009	60
Figura 4.24. Recorrência de queimadas na área de estudo no período de 1999 a 2009	60
Figura 4.25. Mapa de recorrência de queimadas no período de 1999 a 2009	61
Figura 4.26. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da altitude	64
Figura 4.27. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da distância das áreas urbanas	65
Figura 4.28. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação longitudinal	65
Figura 4.29. Probabilidade da ocorrência de incêndio dentro e fora do PNCV e para os anos de 2000 e 2007	67

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AG	Agropecuária
AGQ	Agropecuária queimada
AP	Antes do presente
APAMP	Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira
AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
Ca	cálcio
CSR	Centro de Sensoriamento Remoto
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
ENVI	<i>Environment for Visualizing Images</i>
ETM/Landsat	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
km	Quilômetro
m	metro
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ha	Hectare
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
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K	potássio
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
Mg	magnésio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Spatial Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PNCV	Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros
PNE	Parque Nacional de Emas
PNSC	Parque Nacional da Serra do Cipó
PREVFOGO	Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
ROI	Relatórios de Ocorrência de Incêndios
SAD 69	<i>South American Datum</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIMEGO	Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do estado de Goiás
SIPAM	Sistema de Proteção da Amazônia
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TCU	Tribunal de Contas da União
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	Programa das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VN	Vegetação natural
VNQ	Vegetação natural queimada
ZA	Zona de amortecimento

1. INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O bioma Cerrado é provavelmente a maior savana do mundo (HENRIQUES, 2005), com mais de dois milhões de quilômetros quadrados, localizado, basicamente, no Planalto Central do Brasil (IBGE, 2004). É o segundo maior bioma do país em área, ocupando cerca de 25% do território nacional (FRANÇA, 2000). Apesar de sua biodiversidade ser pouco conhecida, trata-se também da savana mais rica em flora do mundo (SANO; ALMEIDA, 1998), com mais de 12 mil espécies vegetais, muitas delas endêmicas da América do Sul e do Brasil (MENDONÇA *et al.*, 2008).

Não obstante, o Cerrado destaca-se com aceleradas taxas de destruição e desmatamento, que superam as do bioma amazônico (KLINK; MACHADO, 2005). Anualmente, o Cerrado é queimado em 20 a 30% de sua área durante a estação seca (PEREIRA JUNIOR, 2003). Sendo a última fronteira agrícola do planeta, o Cerrado vem sendo ocupado desordenadamente, principalmente, a partir de 1960. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), a taxa média de desmatamento do bioma está na ordem de 14 mil quilômetros quadrados por ano (km²), tendo sido desmatados cerca de 85 mil km² entre 2002 e 2008 (4,17%).

O manejo de pastagens e a abertura de frentes agrícolas têm sido frequentemente realizados com a utilização do fogo (FRANÇA, 2000), o que tem provocado mudanças na florística e na estrutura da vegetação (MEDEIROS; MIRANDA, 2005). O fogo está entre os elementos-chave de equilíbrio de populações nativas e contribui na dinâmica populacional de grande número de espécies vegetais, podendo ser determinante para a manutenção da biodiversidade local. Contudo, a frequência de queimadas está além do que os ambientes naturais suportam e isso caracteriza risco à conservação de áreas nativas (IBAMA, 2009).

Apesar das ações do governo, os incêndios são considerados a principal ameaça às Unidades de Conservação (UCs) no país e vêm causando danos direta e indiretamente sobre essas áreas (IBAMA, 2009). O PNCV é um exemplo de UC que sofre com incêndios florestais, sendo grandes áreas do seu interior e entorno atingidas pelo fogo anualmente (FIEDLER *et al.*, 2006).

Embora o PNCV apresente diferentes ameaças aos seus recursos naturais, como caça, lixões, desmatamentos e voçorocas próximas aos limites da Unidade, entre outros, a ocorrência frequente de grandes incêndios deve ser o principal distúrbio ameaçando a sua conservação (IBAMA, 2002). As práticas de queimadas são tradicionais na região e continuam a ser amplamente empregadas na preparação do solo e estímulo à rebrota do capim, implicando em riscos à perda de controle sobre o fogo e propagação em áreas de relevância ecológica.

A última década marca a intensificação da ocupação territorial na Chapada dos Veadeiros, caracterizada por mudanças como a introdução do asfaltamento da GO-239 e pelo aumento das culturas agrícolas e da pecuária extensiva. Uma das consequências diretas dessas mudanças é a intensificação do fluxo de carros e pessoas na região, o que por sua vez ocasiona incremento na ocorrência dos incêndios florestais (ICMBio, 2009).

Existem poucos estudos sobre o fogo no PNCV (FIEDLER *et al.*, 2006; ARAÚJO JÚNIOR; NASCIMENTO, 2003), sendo que nenhum deles refere-se aos últimos cinco anos. Além disso, não há informações históricas quantitativas com precisão referente à distribuição espacial destes eventos. Assim, torna-se importante conhecer melhor as áreas mais atingidas pelo fogo nos últimos anos, bem como estudar as variáveis temporais e espaciais que podem afetar a distribuição e frequência da ocorrência dos incêndios na área de estudo, a fim de contribuir para o planejamento estratégico da prevenção, monitoramento e combate ao fogo no PNCV.

O planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais em uma UC depende do levantamento das causas, da frequência e das consequências do fogo em uma determinada área entre outros conhecimentos. Assim, um dos principais

fundamentos para proteger as UCs é a pesquisa sobre os padrões históricos de incêndios florestais no seu interior e entorno (MATOS, 2004 *apud* FIEDLER *et al.*, 2006). Portanto, o melhor conhecimento do regime de incêndios ocorridos nessas áreas pode contribuir para a implantação de procedimentos eficientes na proteção e manejo do fogo para que esta prática não continue a ameaçar a biodiversidade e conservação do Cerrado (MORAIS, 2007).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é entender a dinâmica espacial e temporal dos incêndios florestais ocorridos no PNCV e em seu entorno, durante 11 anos (1999 a 2009).

Como objetivos específicos citam-se:

- a) Aplicar e validar técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento de incêndios florestais em vegetação de Cerrado; e
- b) Verificar o efeito de dez variáveis: uso da terra; proximidade de áreas urbanas e das estradas; declividade do terreno; altitude; azimute da orientação das encostas; interior/entorno do parque; eixos latitudinal e longitudinal; e o tempo, representado pelo ano, na probabilidade de ocorrência de incêndios florestais na área de estudo durante o período analisado.

1.3. QUESTÕES DE PESQUISA

Algumas questões relevantes devem ser adequadamente consideradas para proporcionar um melhor entendimento sobre os incêndios florestais ocorridos no PNCV, por exemplo:

1. Quais áreas do PNCV e seu entorno são mais suscetíveis ao fogo?
2. Que tipo de uso da terra tem sido mais atingido pelos incêndios nessa área?

3. É possível estimar com acurácia apropriada a área impactada pelos incêndios no PNCV e seu entorno utilizando dados de sensores remotos e técnicas de geoprocessamento?
4. Quais fatores podem ser considerados com significativa influência para ocorrência dos incêndios na área de estudo (1999-2009)?

1.4. HIPÓTESES

O FOGO TEM AUMENTADO NOS ÚLTIMOS 11 ANOS (1999-2009) NA ÁREA DE ESTUDO

Segundo Fiedler *et al.* (2006), a ocupação desordenada da área central do país para expandir a produção agrícola e pecuária, tem contribuído consideravelmente para a degradação do Cerrado e essa modificação na paisagem do Brasil Central tem, entre outros efeitos, causado um aumento na frequência de fogo na região.

HÁ UMA TENDÊNCIA DAS ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATURAL SEREM MAIS ATINGIDAS PELO FOGO EM RELAÇÃO À AGROPECUÁRIA JÁ ESTABELECIDADA

A prática de queimadas no Cerrado está associada principalmente à expansão das fronteiras agrícolas, à conversão de florestas e savanas em pastagens e à renovação de cultivos agrícolas (FRANÇA, 2000). O fogo tem sido a forma utilizada para a expansão agrícola, convertendo áreas naturais em pasto (ou cultura) com a queimada de áreas naturais, que passam a ser utilizadas para prática de agropecuária. Além disso, uma vez estabelecido o uso daquela área, o fogo passa a ser a ferramenta de manejo, contudo, a área apropriada passa a ser controlada e fiscalizada pelo proprietário contra quaisquer danos, inclusive, o fogo. Infelizmente esse cuidado frequentemente limita-se ao seu próprio interesse, ficando os eventuais danos ocorridos numa área pública, sob a responsabilidade apenas do órgão competente. Nesse sentido, a vegetação natural, especialmente em áreas públicas, como as UCs, tende a ser a mais atingida por incêndios florestais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O FOGO NO CERRADO

O fogo é um componente comum nos cerrados, assim como na maioria dos ecossistemas savânicos (LACEY *et al.*, 1982). O cerrado que hoje conhecemos é resultado, entre outros fatores, de um longo convívio com o fogo em diferentes regimes de queima (FRANÇA; RIBEIRO, 2008). MIRANDA *et al.* (2002) analisaram diversos estudos sobre a ocorrência do fogo no cerrado e relatam que há registros de ocorrência de fogo 32.000 anos antes do presente (AP) na região de Gromínia (GO). Os autores relatam que partículas de carvão vegetal e madeira queimada datados a partir de 11.000 anos AP podem, pelo menos em parte, terem sido ocasionadas pelos primeiros habitantes da região do Cerrado. Os povos indígenas do Cerrado utilizavam o fogo para caçar, estimular produção de frutos, controlar espécies indesejáveis, e em guerras tribais (COUTINHO, 1990).

Incêndios têm ocorrido na região com histórica frequência e mesmo eventos severos de fogo, durante vários anos, não chegam a destruir a vegetação do cerrado (WALTER *et al.*, 2008). Entretanto, apesar de o fogo ser considerado um dos fatores determinantes da vegetação do Cerrado, a rápida ocupação da região alterou o regime natural das queimadas (época do ano e frequência) trazendo consequências para estrutura e composição florística. Linhas de pesquisa sobre a ecologia do fogo indicam que a frequência de queimadas¹ está além do que os ambientes naturais suportam e isso caracteriza risco à conservação de áreas nativas (IBAMA, 2009).

O fogo favorece as fisionomias mais abertas, como os campos, onde há espécies que florescem e frutificam em abundância após as queimadas, nos proporcionando belos espetáculos. Entretanto, o esplendor pós-fogo de algumas espécies ofusca a gradual perda de diversidade que ocorre quando as queimadas são muito frequentes (MIRANDA *et al.*, 2002). Os resultados de Henriques; Hay (2002)

¹ *queimada* é definida como prática agropastoril ou florestal, onde o fogo é utilizado de forma controlada, atuando como fator de produção e *incêndio florestal* como todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem, intencional ou negligentemente, ou por fonte natural, por exemplo, raio (Brasil, 1989).

mostraram que o cerrado, quando protegido do fogo, cresce em riqueza com um aumento líquido no número de indivíduos, número de ramos e área basal. Medeiros e Miranda (2005) demonstram impacto negativo na estrutura da comunidade de lenhosas de campo sujo em queimadas anuais (que simulam o atual regime de fogo com elevada frequência para o Cerrado), com taxas de mortalidade elevadas, o que também demonstram maior amplitude dos danos causados pelo fogo.

De acordo com Coutinho (1990), a queima de pastagens é tradicionalmente repetida a cada três anos, em média. No entanto, tem-se verificado a diminuição do intervalo entre queimadas para um ou dois anos, relacionado às pressões de ocupação e à substituição da economia de subsistência pela economia de mercado, com a implantação de grandes projetos agropecuários no Cerrado (FRANÇA, 2000).

Com relação às causas dos incêndios florestais, as estatísticas sobre as ocorrências de incêndios florestais no Brasil e outros países mostram que a maioria inicia-se a partir de fontes de fogo decorrentes das atividades humanas (BATISTA, 2000). Os cerrados são sistematicamente expostos a queimadas acidentais ou intencionais, relacionadas ao manejo de pastos, cultivo agrícola e à expansão das fronteiras de ocupação humana no bioma (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998; FRANÇA, 2000), já que são economicamente viáveis e já estão inseridas na cultura agrícola de diversas civilizações (RIBEIRO *et al.*, 2008). O fogo sem controle, utilizado para renovação de pastagens nas fazendas, tem atingido UCs nessa região do Cerrado (MEDEIROS, 2002). Segundo o IBAMA (2005), o emprego incorreto de fogo no manejo agrícola ou pecuário é a segunda principal causa de incêndios, responsável por 23% das ocorrências, atrás de ação criminosa (antrópica) sem definição específica de motivação (51%).

A elevada incidência de queimadas tem sido relacionada com efeitos prejudiciais ao ambiente, tais como: redução da biodiversidade; erosão do solo pela sua maior exposição à chuva (ALHO; MARTINS, 1995); poluição no âmbito local, como a causada pelo O₃, composto resultante de emissão de CO, hidrocarbonetos e NO_x; mudanças químicas na atmosfera global pela emissão de CO e CH₄; mudanças climáticas em escala regional e global decorrentes da emissão de CO₂ e CH₄

(principais gases responsáveis pelo efeito estufa), aerossóis e material particulado, que influenciam o balanço radiativo e hidrológico (CRUTZEN; ANDREAE, 1990; MUELLERDUMBOIS; GOLDAMMER, 1990 *apud* PEREIRA JR., 2003).

Os incêndios florestais têm sido uma das maiores preocupações dos setores de manejo e proteção florestal, devido à grande probabilidade de ocorrência em certas épocas do ano e aos prejuízos irreversíveis que ocasionam (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). A gestão de áreas naturais protegidas deve objetivar não apenas restringir a poluição, o desmatamento e demais formas de degradação por atividades humanas, mas também reduzir a ocorrência de incêndios e de queimadas nesses ambientes (IBAMA, 2009).

2.2. HISTÓRICO DO FOGO NO PNCV E ENTORNO

As informações referentes à localização e dimensão das áreas atingidas pelo fogo no PNCV têm sido questionadas. O Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), programa responsável pelo monitoramento e combate aos incêndios florestais no Brasil, sob a coordenação do IBAMA, prevê a emissão de ROI – Relatório de Ocorrência de Incêndios em UC. O ROI contém informações do agente causador, local e data de início e término do incêndio, quantificação da área queimada, entre outros. Entretanto, segundo relatório de auditoria do Tribunal de Contas da União (2000), a avaliação das áreas queimadas é feita com base em estimativas pessoais, sem base técnica adequada, o que vulnera a sua credibilidade; as fontes de informações do IBAMA sobre a ocorrência de incêndios florestais são incompletas e não há regularidade na remessa dos ROIs pelas UCs, ao PREVFOGO, além de muitos ROIs serem preenchidos de forma incompleta, ou nem remetidos.

Fiedler *et al.* (2006) destacam que algumas vezes os dados sobre o tamanho das áreas queimadas descritas nos ROIs são estimadas sem a utilização de GPS e/ou imagens de satélites, o que acarreta em informações imprecisas. Contudo, mesmo reconhecidamente incompleto, o ROI registra a queima total de algumas UCs, tendo

apontado que 66% do PNCV já foram atingidos por incêndios florestais (TCU, 2000), embora não esteja claro o ano dessa ocorrência.

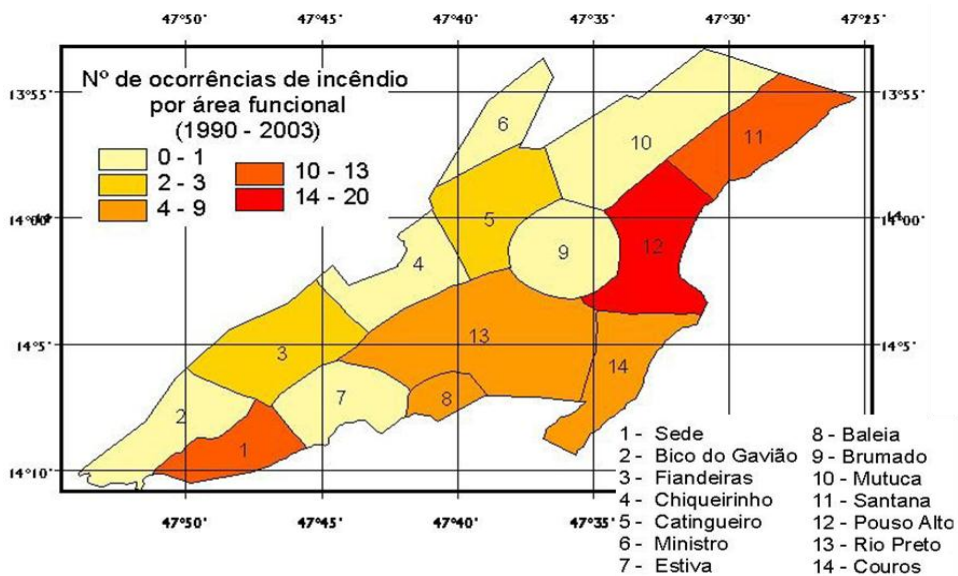
Estudo dos incêndios florestais na região do PNCV no período entre 1998 a 2001 (ARAÚJO JR.; NASCIMENTO, 2003), registrou as maiores concentrações de focos de calor na parte sul e sudoeste e também ao norte da unidade. A porção sul e sudoeste é uma área de intensa visitação pública, devido ao centro turístico de São Jorge e às trilhas de acesso ao PNCV, havendo também fazendas, que utilizam o fogo para limpeza e renovação de pastagens. Pelo norte, os autores apresentam a proximidade com fazendas, associada aos ventos dominantes de nordeste como as principais causas de entrada de fogo no PNCV.

Fiedler *et al.* (2006) analisaram a ocorrência de incêndios florestais no PNCV no período de 1992 a 2003, utilizando dados de focos de calor, ROIs e entrevistas. A relação entre o número de focos de calor e ROI não é direta. Os ROIs são feitos com base nos incêndios observados em campo, sendo uma área extensa atingida pelo fogo registrada em um único ROI. Esta mesma área pode ter vários focos de calor, dependendo do elemento de resolução do sensor (pixel), que podem variar de 1 km por 1 km até 5 km por 5 km. Também pode ocorrer uma subestimação de polígonos queimados, quando um pixel (numa imagem de baixa resolução) contém várias queimadas distintas, sendo indicado apenas um foco de calor.

O ano de maior ocorrência observado por Fiedler *et al.* (2006) foi 2002, com 11 casos registrados e 184 focos de calor identificados nas imagens do satélite NOAA-12, no interior da unidade no mesmo período. O ano de 2003 se sobressaiu por ter ocorrido um grande incêndio que atingiu aproximadamente 84% da área do parque, apesar do número reduzido de ROIs (cinco). No ano 2000 não há informações sobre a área queimada apesar haver um ROI. De acordo com os autores, o padrão de incêndios florestais na região é de elevada frequência e afeta áreas extensas.

A fim de facilitar a definição de estratégias de prevenção e combate no interior da unidade, desde 1998 está sendo adotada a setorização denominada unidade de manejo do fogo (IBAMA, 2009), conforme ilustra a Figura 2.1. Utilizando esse

zoneamento, Fiedler *et al.* (2006), relataram ter havido maior número de registros na região do Pouso Alto, seguido da região da Sede, Serra de Santana, Couros, Rio Preto e Baleia, em ordem decrescente. As regiões da Serra de Santana e Pouso Alto, associadas à rodovia GO-118 somam cerca de 67% dos ROIs e o setor Sede, aproximadamente 22%.



Fonte: ICMBIO 2009

Figura 2.1. Setorização do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) em unidades de manejo do fogo e regiões de recorrência de incêndios no período de 1992-2003. Fonte: ICMBio (2009).

A ocorrência dos incêndios florestais está diretamente relacionada às variáveis climáticas. Na região do PNCV, a estação seca, que se estende de maio a setembro, podendo em alguns anos se estender até outubro, é a ocasião em que o índice de umidade relativa do ar chega a alcançar níveis de deserto, com mínimas de 15% (ICMBio, 2009). É durante os meses de julho a setembro (sendo este último o mês mais crítico, seguido de agosto e julho, respectivamente), a época de maior ocorrência de incêndios florestais no PNCV (FIEDLER *et al.*, 2006). Os autores ainda apontam

para a predominância dos incêndios de causa antrópica sobre os incêndios de causa natural, em número de ROIs, além de atingirem áreas maiores.

2.3. FATORES QUE AFETAM OS INCÊNDIOS FLORESTAIS

A probabilidade de ocorrência do fogo é função da probabilidade de ocorrência de duas situações: haver uma fonte de fogo e haver condições favoráveis para sua propagação (SOARES, 1985). Segundo Batista (2000), no grupo denominado fontes de fogo estão incluídas as atividades que geram faísca ou a chama inicial para desencadear o processo de combustão. As condições favoráveis de propagação representam todos os fatores do ambiente que influenciam direta ou indiretamente o desenvolvimento do fogo em uma determinada região. Diversas características do ambiente têm forte influência sobre o início, a propagação e a intensidade dos incêndios florestais. Os fatores associados ao fenômeno de combustão variam em função do ambiente, influenciando de maneira distinta e resultando numa diversificação da ocorrência e propagação dos incêndios.

O uso da terra é fator preponderante na ocorrência do fogo. Moraes (2007) afirma não haver dúvida sobre a maior incidência de incêndios florestais ser ocasionada por descuido em proceder a queimada, seja para renovação de pastagem, eliminação de resto de cultura ou para o controle de pragas. Ribeiro *et al.*, (2008), consideram áreas referentes à agricultura de risco extremo e remanescente de floresta nativa, de risco ‘moderado’.

Outras variáveis espaciais têm sido utilizadas em estudos de risco de incêndios florestais, como as estradas, a declividade e exposição das encostas, nesta ordem (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). As estradas ou mesmo trilhas são os elos que permitem a exploração mais eficiente de uma região, logo, tendem a ser fator desencadeante de risco proeminente de incêndios florestais (RIBEIRO *et al.*, 2007). As estradas são vetores para fatores considerados de risco para ignição do fogo, como prática de cultos religiosos; cigarros; prática de pequenas fogueiras, entre outras ocorrências (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998).

O relevo exerce grande influência sobre o clima e, em menor escala, sobre a vegetação e conseqüentemente sobre o material combustível das diversas regiões terrestres, criando uma tendência do fogo de se propagar mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives. Isso porque nas áreas de aclive o material combustível, acima da frente do fogo, está mais próximo das chamas do que em terrenos planos (aquecimento do material combustível) (RIBEIRO *et al.*, 2008). Segundo os autores, um incêndio, quando se propaga em um aclive acentuado, se assemelha a um incêndio se propagando no plano, sob efeito de forte vento, sendo a declividade maior ou igual a 46% é considerada de risco extremo; de 36 a 45%, muito alto; 26 a 35, alto; 16 a 25, moderado e até 15%, baixo risco de propagação do fogo.

As condições de risco em função da orientação das encostas, para o hemisfério sul, apresentam risco extremo quando expostas na direção Norte e diminuem gradativamente ao se virarem para noroeste e oeste; nordeste; leste e finalmente, as direções que têm menos influência na propagação do fogo são sudeste, sul e sudoeste (RIBEIRO *et al.*, 2008). Os autores afirmam que a orientação das encostas influencia na umidade e tipo do material combustível devido às condições de iluminação pelo sol. Nas encostas norte e noroeste existem fluxos de ar quente devido à radiação solar ao meio-dia e durante o período da tarde. As correntes de ar movimentam-se para cima das encostas, aumentando a propagação do fogo. Estrutura e situação do solo também influenciam na ação do fogo, ou seja, solos arenosos e solos das encostas norte têm menor umidade e, portanto, fornecem menor umidade ao ambiente.

A variação da altitude também representa uma variável espacial que influencia o risco de incêndio devido a sua relação com a umidade relativa do ar (RIBEIRO *et al.*, 2008). Segundo os autores, o mapa de altitude representa indiretamente a umidade do material combustível e conseqüentemente a redução do risco de incêndio. Isso se deve ao fato de que, com o aumento da altitude, observa-se um decréscimo da temperatura e, conseqüentemente, um valor elevado de umidade relativa. Até 600 metros o risco de incêndio é extremo e acima de 1500, baixo.

2.4. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À TEMÁTICA DO FOGO

O Sensoriamento remoto pode ser entendido como a ciência em que os sensores captam informações resultantes da interação da radiação eletromagnética com os objetos da superfície terrestre. Essa energia pode ser refletida, transmitida, absorvida ou emitida pela superfície e, a partir destas interações, consegue-se extrair informações importantes sobre características físicas (dimensão, forma, temperatura, cor e outros) e químicas (composição) dos alvos em estudo. A energia captada pelos sensores pode ser oriunda de uma fonte externa ao alvo (o Sol), interna (energia térmica própria dos alvos), ou ainda proveniente do próprio sensor (pulsos de microondas) (IBGE, 2005).

Os sensores, por sua vez, são os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. A partir do sensoriamento remoto é possível mapear, monitorar e fiscalizar extensas áreas da superfície terrestre, com abordagem em diferentes escalas (MENESES; MADEIRA-NETTO, 2001).

O uso dos satélites voltado para o estudo dos recursos naturais da terra teve início na década de 70, quando o homem finalmente colocou em órbita a primeira máquina capaz de registrar informações sobre a superfície do planeta. Até essa época, os conhecimentos que se tinham da superfície terrestre eram de pequenas áreas fragmentadas que foram aerofotografadas para fins específicos, ou de equipamentos sensores levados a bordo de satélites tripulados (MOREIRA, 2003).

Logo no início da utilização dos satélites, evidenciou-se o uso de imagens orbitais no estudo das queimadas. Nos anos 80, a dimensão mundial de ocorrência de queimadas chamou a atenção da comunidade científica e da população em geral para as possíveis consequências do uso indiscriminado do fogo (FRANÇA, 2000). No Brasil, as iniciativas do Poder Público para organizar a atuação em incêndios florestais também datam do final dessa década (IBAMA, 2009).

Possivelmente, a primeira estimativa de área queimada para todo o Cerrado foi feita por Pereira e Setzer (1996); Pereira (1992), com base em regressões de dados de

focos de queimadas obtidos pelo satélite NOAA e com aqueles interpretados de imagens de satélite de alta resolução – TM/Landsat. Atualmente, há uma grande variedade de satélites na órbita da Terra, que carregam diversos tipos de sensores com diferentes resoluções espaciais e temporais, e de técnicas para detectar os impactos causados por incêndios em países tropicais (FRANÇA; FERREIRA, 2005). Os autores afirmam que a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto tem se mostrado fundamental, na medida em que os bancos de dados gerados através do uso de satélites correspondem a uma importante fonte de informações sobre os diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

O PREVFOGO conta com os dados enviados diariamente pelo INPE para o desenvolvimento de suas atividades. O INPE mantém há mais de 20 anos um sistema operacional de monitoramento do processo de queimadas para todo Brasil e parte da América do Sul. Ao longo destes anos foram desenvolvidas diferentes metodologias e sistemas de computadores que permitem identificar focos de calor em imagens de satélites de baixa resolução, tais como os satélites da série NOAA, GOES, TERRA, AQUA e METEOSAT (SANTOS, 2010).

Sensores orbitais de baixa resolução espacial, como o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) são adequados para o mapeamento de queimadas maiores que 10 km², mas são inadequados para as queimadas menores (FRANÇA, 2004). Sensores de maior resolução espacial (dezenas de metros), como o Landsat TM-5, são utilizados com frequência para estimar áreas queimadas em regiões relativamente pequenas e para estudos de casos (FRANÇA, 2000). Eva e Lambin (1998) apontaram a resolução de 20 a 80 metros como suficiente para determinar o padrão espacial das áreas queimadas. Já os sensores de alta resolução espacial, tais como aqueles transportados pelas plataformas Ikonos e Quick-Bird exigem uma quantidade muito grande de imagens a um custo mais elevado para recobrir áreas de grandes dimensões como os Parques Nacionais (FRANÇA; RIBEIRO, 2008).

O histórico das queimadas, que compreende dados de áreas queimadas e de localização de focos de incêndios, é um bom indicador de área de risco de incêndio

(FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). De acordo com Chuvieco *et al.*, (1997) *apud* Ferraz e Vettorazzi (1998), esses dados podem auxiliar na previsão de onde e quando haveria probabilidade de ação humana de usar o fogo. Quanto mais próximo no espaço e no tempo de queimadas ocorridas anteriormente, maior será a possibilidade de ocorrência de fogo, pois indicariam locais e períodos com as condições necessárias para ocorrência de fogo.

2.4.1. Características espectrais das queimadas

Há duas abordagens distintas no estudo de queimadas com dados orbitais. Numa detecta-se fogo ativo, e na outra, identificam-se as cicatrizes das queimadas (FRANÇA, 2000). De qualquer forma, as cicatrizes de queimadas não apresentam o que se costuma chamar de “assinatura espectral”, que permitiria identificá-las facilmente, de modo automatizado, nas imagens de sensoriamento remoto. Ao contrário, elas apresentam uma grande variabilidade de respostas espectrais, dependendo do tipo de vegetação atingida, da eficiência da queimada, do substrato, da estrutura e estágio fenológico da vegetação, entre outros fatores. Além disso, as respostas espectrais da queimada variam ao longo do tempo (FRANÇA; RIBEIRO, 2008).

O desaparecimento das marcas das queimadas, comprometendo sua identificação nas imagens TM (Thematic Mapper)² é particularmente sério no Cerrado. Em áreas agrícolas, com o uso de máquinas, essas mudanças podem ser ainda mais rápidas (FRANÇA, 2000). Segundo França e Ribeiro (2008), na região do Parque Nacional da Serra do Cipó (PNSC-MG), as cicatrizes das queimadas permanecem 100% identificáveis durante os dois meses que seguem a sua ocorrência, mas essa porcentagem cai para 50% e 25% na quinta e na sexta quinzena, respectivamente. Depois disso não é mais identificável.

² A partir de 1984 a NASA colocou em órbita o sensor TM a bordo do satélite Landsat-5. Este opera em sete bandas espectrais, sendo três na região do visível, três na região do infravermelho refletido e uma na região termal. A largura de faixa imageada é de 185 km. A resolução espacial do sensor que opera nas regiões do visível e infravermelho refletido é de 30 x 30 m e a do sensor da região do termal é de 120 x 120 m (Moreira, 2003).

Apesar disso, tanto o sensor TM, como o ETM/Landsat (Enhanced Thematic Mapper), têm mostrado grande aplicabilidade no mapeamento de queimadas. A série Landsat totaliza quase 36 anos de coleta ininterrupta de dados de toda a superfície terrestre. Exemplos de aplicação das imagens Landsat é o mapeamento histórico de queimadas ocorridas entre 1973 e 2003 no Parque Nacional das Emas (PNE-GO) (FRANÇA *et al.*, 2007) e o mapeamento no Parque Nacional da Serra do Cipó (PNSC) e na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira (APAMP), Minas Gerais (MG), entre 1984 e 2007 (FRANÇA; RIBEIRO, 2008).

A Tabela 2.1 ilustra os comprimentos de onda relativos a cada banda da imagem Landsat, bem como suas respectivas aplicações.

Tabela 2.1. Principais características e aplicações das bandas do sensor TM do satélite LANDSAT-5

Banda	Comprimento (μm)	Aplicações
1	0,45 a 0,52 (azul)	Grande penetração em corpos de água – estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila – carotenóides. Sensibilidade a plumas de fumaça – atenuação atmosférica.
2	0,53 a 0,61 (verde)	Apresenta sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando análise quantitativa e qualitativa nos recursos hídricos.
3	0,63 a 0,69 (vermelho)	Apresenta grande absorção na vegetação verde, permitindo contraste entre as áreas ocupadas x vegetação. Delimita a mancha urbana e áreas agrícolas.
4	0,78 a 0,90 (IV próximo)	Alta absorção dos corpos d'água e alta reflexão da vegetação verde. Sensibilidade à rugosidade do dossel e geomorfologia. Visualização de macrófitas aquáticas.
5	1,55 a 1,75 (IV médio)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas – observação do estresse vegetal. Sofre perturbações pelo excesso de chuva antes da obtenção da cena.
6	10,4 a 12,5 (Termal)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 a 2,35 (IV distante)	Apresenta sensibilidade à geomorfologia. Identificação de minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: Adaptado de Meneses e Madeira-Netto (2001).

2.4.2. Processamentos das imagens Landsat

Para Schowengerdt (2007), a aplicação de técnicas de pré-processamento refere-se ao tratamento inicial dos dados brutos, obtidos do sistema sensor, removendo características indesejáveis produzidas na imagem. Somente após essas correções, as imagens devem ser submetidas a processamentos digitais ou à análise visual.

A correção radiométrica tem por objetivo converter as imagens em valor digital para reflectância para corrigir degradações radiométricas que frequentemente ocorrem em função dos efeitos atmosféricos, de desajustes na calibração dos detetores e erros esporádicos na transmissão dos dados. Trata-se de uma das fases mais importantes do processamento digital, pois, caso estas imperfeições não sejam removidas, poderão ser enfatizadas, por exemplo, quando da aplicação da técnica de realce de imagens.

A composição colorida é realizada para melhorar a visualização dos diferentes objetos terrestres na imagem (MENESES; MADEIRA-NETTO, 2001). Com relação às imagens TM/Landsat, de acordo com Sano *et al.* (2008), a banda 3 (0,63 μm – 0,69 μm) favorece a diferenciação entre vegetação fotossinteticamente ativa e inativa; a banda 4 (0,75 μm – 0,96 μm) apresenta variância espectral intermediária e é útil em realce de relevo; e a banda 5 (1,55 μm – 1,75 μm) é de maior variância espectral e possibilita acentuação do contraste entre diferentes alvos. Segundo Macedo *et al.* (2009), a composição colorida das bandas 3, 4 e 5 nos canais B, G e R, respectivamente, é a que melhor permite identificação das áreas que sofreram queimadas. Os dois trabalhos citados, que se referem ao mapeamento de queimadas no PNE e PNSC e APAMP utilizando imagens Landsat, também utilizaram esta composição (FRANÇA *et al.*, 2007; FRANÇA; RIBEIRO, 2008).

2.4. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG

A comunidade técnica que trabalha com banco de dados define SIG como um banco de dados não convencional que suporta o gerenciamento de dados espaciais (SILVA, 2003). O autor afirma que o que distingue um SIG de outros tipos de

sistemas de informação são aquelas funções que possibilitam a realização de análises espaciais (geográficas). Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais, buscando fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros. O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados.

O SIG possibilita a combinação de informação derivada de dados de observação da Terra, com sua distribuição espacial na área, para o monitoramento diário do risco de incêndio (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). Sua aplicação possibilita a criação de mapas de fragilidades ambientais, bem como de riscos de incêndios florestais (RIBEIRO *et al.*, 2008), uma vez que dispõe dos recursos necessários para geração dos mapas dos fatores analisados e realização de operações aritméticas entre eles e seus pesos atribuídos (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). A rapidez no processamento e o dinamismo no cruzamento de informações obtidas com o SIG tornam esta técnica indispensável em estudos deste tipo (CHUVIECO; CONGALTON, 1989).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o PNCV e 10 km do seu entorno, a fim de agregar informações acerca da vizinhança.

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) foi criado em 1961 pelo Decreto 49.875, em uma área considerada atualmente de importância biológica

‘extremamente alta’, sendo prioritária para conservação da biodiversidade (MMA, 2005; MANTOVANI; PEREIRA, 1999). Além disso, está inserida nos municípios com os maiores índices de vegetação nativa remanescente de Goiás (FERREIRA *et al.*, 2006). Juntamente com o Parque Nacional de Emas (PNE), o PNCV foi declarado Sítio do Patrimônio Natural Mundial pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO (2001).

O PNCV foi criado com uma área de mais de 600 mil hectares; hoje, abrange uma área de 65.514 hectares (ICMBio, 2009). Entretanto, nos cálculos efetuados neste estudo, o resultado para a área do parque é de aproximadamente 64.874 ha e seu entorno cerca de 173.608 hectares. Portanto, a área total estudada foi de aproximadamente 238.482 ha. Estes foram os valores utilizados como base para os demais cálculos realizados.

O parque está localizado a nordeste do Estado de Goiás, entre os paralelos 13°51’ e 14°10’ de latitude sul e os meridianos 47° 25’e 47° 42’ de longitude oeste. Situa-se a cerca de 250 quilômetros, ao norte de Brasília, e 470 quilômetros, ao nordeste de Goiânia. Seu limite está localizado a oeste da área urbana de Alto Paraíso de Goiás, sendo seu extremo leste distribuído ao longo da GO-118 (entre Alto Paraíso de Goiás e Teresina de Goiás) e o limite sul, encontra-se ao longo da estrada estadual que liga Alto Paraíso a Colinas do Sul, a GO-239. Seus limites norte e oeste pertencem ao território do município de Cavalcante, e passam próximo aos povoados cujo acesso se dá ao longo da estrada vicinal de ligação entre Cavalcante e Colinas do Sul (ICMBio, 2009). A área de estudo, portanto abrangem os municípios de Cavalcante, Alto Paraíso de Goiás e Colinas do Sul, conforme mapa político ilustrado na Figura 3.1.



Figura 3.1. Mapa político do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV).

O acesso ao Parque por via terrestre, partindo de Brasília, é feito pela BR-020, seguindo em direção a Planaltina até o cruzamento desta rodovia com a GO-118, no trevo do Pipiripau, próximo aos limites do Distrito Federal (DF). Seguindo por esta rodovia, rumo norte alcança-se a cidade de Alto Paraíso de Goiás. Desse ponto, segue-se no sentido da cidade de Colinas do Sul pela rodovia GO-239 por mais cerca de 35 km até o Povoado de São Jorge, onde localiza-se a portaria do PNCV. Todas as vias citadas são asfaltadas, com exceção dessa última, a GO-239, que se encontra em processo de pavimentação. Apesar disso, esta rodovia tem tráfego considerável. A Figura 3.2 ilustra o acesso ao Parque partindo do DF, além de localizá-lo nos municípios do Goiás.

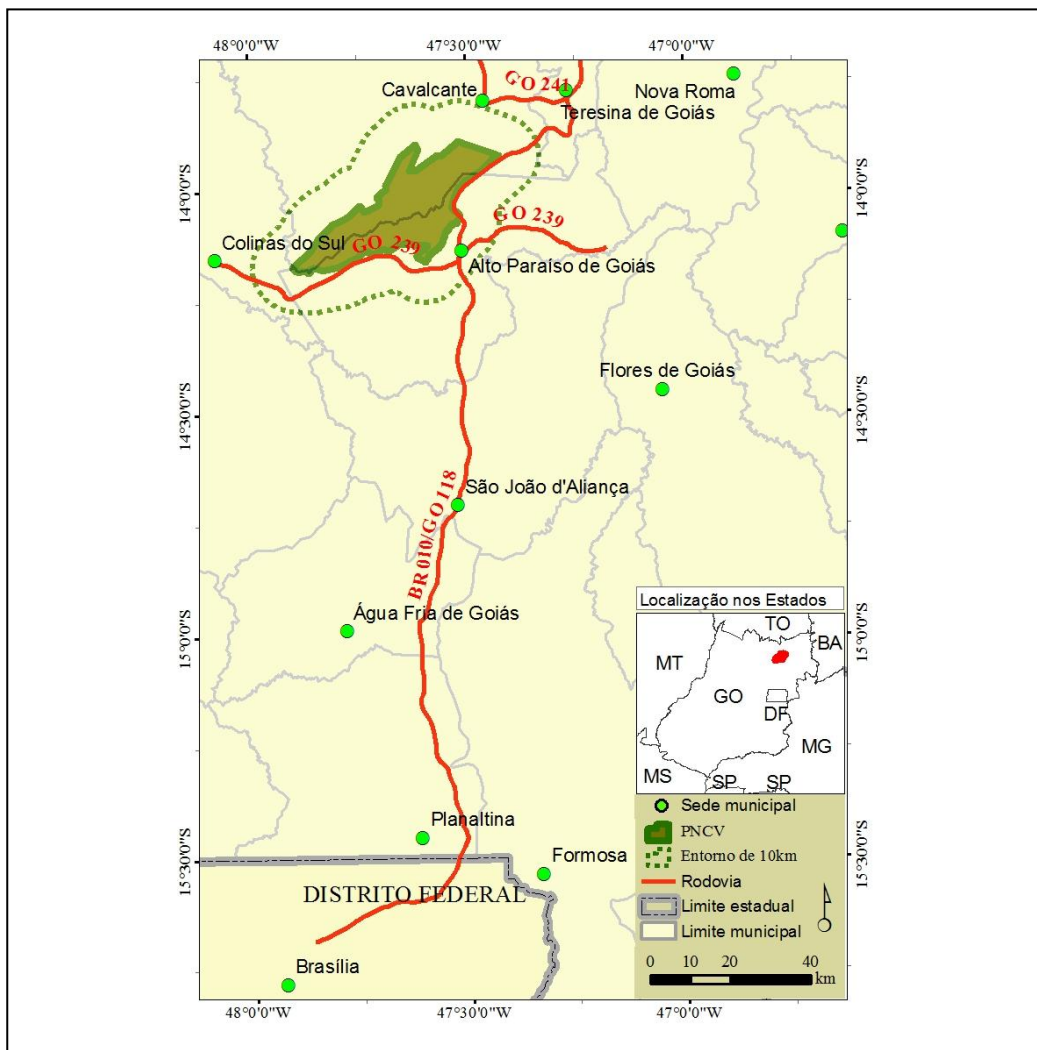


Figura 3.2. Localização e acesso ao PNCV a partir do Distrito Federal.

O PNCV corresponde a uma importante área de preservação ambiental que reúne em seus limites um grande elenco de sítios e monumentos naturais também com importância particular do ponto de vista geológico (estratigráfico/ambiental) e geomorfológico (DARDENNE; CAMPOS, 2002).

A parte situada no extremo norte é mais elevada, em seguida a parte central apresenta altimetria intermediária, e a parte mais baixa encontra-se ao sul. Na parte oeste há uma queda abrupta do relevo, que após o limite do PNCV se torna um relevo suave, muito explorado pela atividade de pecuária extensiva (ARAÚJO JR.; NASCIMENTO, 2003).

Segundo a classificação de Köeppen, a região encontra-se submetida a um regime climático tropical semi-úmido do tipo Aw, que é caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. De acordo com dados do Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do estado de Goiás – SIMEGO (ICMBio, 2009), a região caracteriza-se por apresentar uma razoável homogeneidade climática, com estações bem definidas e pequenas variações de ano para ano em todos os parâmetros climáticos.

O PNCV está inserido na Bacia Hidrográfica do rio Tocantins. Num contexto geral a Chapada dos Veadeiros é o divisor de águas das bacias dos rios Paranã e Maranhão, afluente mais alto do rio Tocantins, portanto, situa-se na bacia Amazônica (ICMBio, 2009).

A formação de bacias de recepção dos pequenos cursos d'água, com nascentes nas escarpas, foi favorecida pelo relevo. Esses vales, que apresentam fundo chato, formam depressões semicirculares cobertas de matas (capões) que contrastam com os campos dos arredores. É nessa paisagem de chapadas, vales, matas de galerias, campos e veredas que se encontram os cursos d'água que caracterizam o PNCV (ICMBio, 2009).

A fitofisionomia predominante da UC são os campos com suas diversas tipologias: campos limpos, comuns nas escarpas íngremes das chapadas e nas colinas de encostas; campos úmidos, em solos com lençol freático superficial ou bordeando as matas; campos de murunduns, onde aparecem elevações com espécies arbóreas estabelecidas em meio aos campos limpos; campos sujos, associados a solos mais profundos e onde se observa a presença de alguns indivíduos lenhosos; e campos rupestres, que aparecem em terrenos com afloramento rochoso, tipologia bastante comum nas encostas e nos altos dos morros do parque. O cerrado *sensu strictu* ocupa as mais variadas formas de relevo, manchas insulares em meio aos campos limpos ou encostas de morros, e terrenos ondulados com afloramentos rochosos. Existem algumas raras manchas de cerradão dentro da unidade, estando normalmente associadas ao cerrado *sensu strictu*, podendo, em raros casos, estar associadas a encostas de serras de maior umidade, compondo a fitofisionomia de menor expressão

da UC em termos de área ocupada, possivelmente em função de degradação causada pelo uso do fogo, corte seletivo e conversão de áreas naturais em pastagens (IBAMA, 2009).

De acordo com ICMBio (2009), a lista de flora na área do Parque conta com 1.636 espécies descritas. Destas, 1.178 são da categoria arbustivo/herbácea (que inclui arbustos, subarbustos, ervas e trepadeiras) e 458 são arbóreas. Para cada espécie de árvore da Chapada dos Veadeiros, existem 2,5 espécies de ervas e arbustos, o que é considerado baixo para o arbóreo ao se comparar com o bioma Cerrado, cuja proporção de hábito arbustivo-herbáceo é de 4,5:1 (MENDONÇA *et al.*, 1998).

Apesar dos estudos florísticos na região serem escassos já é possível estimar a presença de diversas espécies raras ou endêmicas. Foi constatada a presença de 118 espécies de mamíferos no PNCV e nas áreas do entorno. Desse total de espécies, 9 são endêmicas para o Cerrado. O número de 118 espécies da mastofauna é bastante representativo para o bioma Cerrado, representando cerca de 60% da mastofauna, evidenciando a importância dessa área para a comunidade de mamíferos desse bioma (IBAMA, 2009).

O entorno do PNCV é caracterizado por fazendas de criação extensiva de gado (FIEDLER *et al.*, 2006), em pastagens naturais (ICMBio, 2009), como ilustrado na Figura 3.3.











Figura 3.3. Áreas de pastagens naturais nas fazendas do entorno do PNCV.

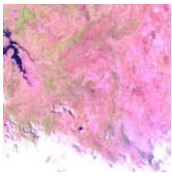


3.2. BASE DE DADOS

3.2.1. Dados de satélites

Foram utilizadas para o mapeamento das áreas afetadas pelos incêndios florestais dez imagens do sensor TM e uma do ETM+ do satélite LANDSAT-5 e LANDSAT-7, respectivamente. As imagens utilizadas envolveram as bandas 1-5 e 7, adquiridas anualmente nos anos de 1999 a 2009 (Tabela 4.1). Estes dados de sensoriamento remoto foram obtidos em projeção UTM, datum SAD 69 (INPE, 2009).

Tabela 3.1 – Dados referentes às imagens do satélite LANDSAT utilizadas.

IMAGEM	SATÉLITE /SENSOR	ÓRBITA/ PUNTO	DATA	NUVEM	ELEVAÇÃO	BANDAS
	Landsat-5 TM	221/70	2009 3 de agosto	ZERO	44.5047	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2008 4 de novembro	Q1 Q2 10 10 Q3 Q4 10 10	62.3996	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2007 1 de outubro	Q1 Q2 20 10 Q3 Q4 80 40	60.3378	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2006 26 de julho	ZERO	43.7845	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2005 9 de setembro	Q1 Q2 zero zero 0 zero Q3 Q4 zero 10	53,5101	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2004 22 de setembro	ZERO	56,2333	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2003 16 de junho	ZERO	39,2157	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-7 ETM	221/70	2002 11 de outubro	Q1 Q2 10 zero Q3 Q4 10 zero	61,1515	1, 2, 3, 4, 5 e 7

	Landsat-5 TM	221/70	2001 30 de setembro	Q1 10 Q3 60 Q2 zero Q4 40	59.7315	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	2000 13 de outubro	Q1 zero Q3 10 Q2 zero Q4 zero	59,4015	1, 2, 3, 4, 5 e 7
	Landsat-5 TM	221/70	1999 8 de agosto	ZERO	43.2823	1, 2, 3, 4, 5 e 7

Para a escolha das cenas foram considerados os meses de julho a setembro, apontados como críticos com relação à ocorrência dos incêndios florestais na área de estudo (FIEDLER *et al.*, 2006), optando-se por imagens posteriores a esses meses, no intuito de mapear a maior parte das áreas atingidas por incêndios florestais ocorridos em cada ano na área de estudo. Contudo, nem sempre foi possível obter imagens do fim de setembro ou início de outubro, nestes casos, trabalhou-se com o que estava disponível. Por exemplo, para o ano de 2003, apenas uma imagem está disponível (INPE, 2009), com data de passagem de 16 de junho. Isso causa uma lacuna no período analisado, já que estudos (FIEDLER *et al.*, 2006) e relatos da comunidade indicam que o ano de 2003 foi caracterizado por incêndios florestais de grandes proporções que atingiram bem mais da metade do PNCV, além de grande parte do seu entorno.

Na seleção das imagens também foi considerada a cobertura máxima de nuvem até 20% nos quadrantes um e dois, onde o PNCV está sobreposto. A Figura 3.4 mostra a localização do PNCV no contexto da cena 221/070 do satélite Landsat.

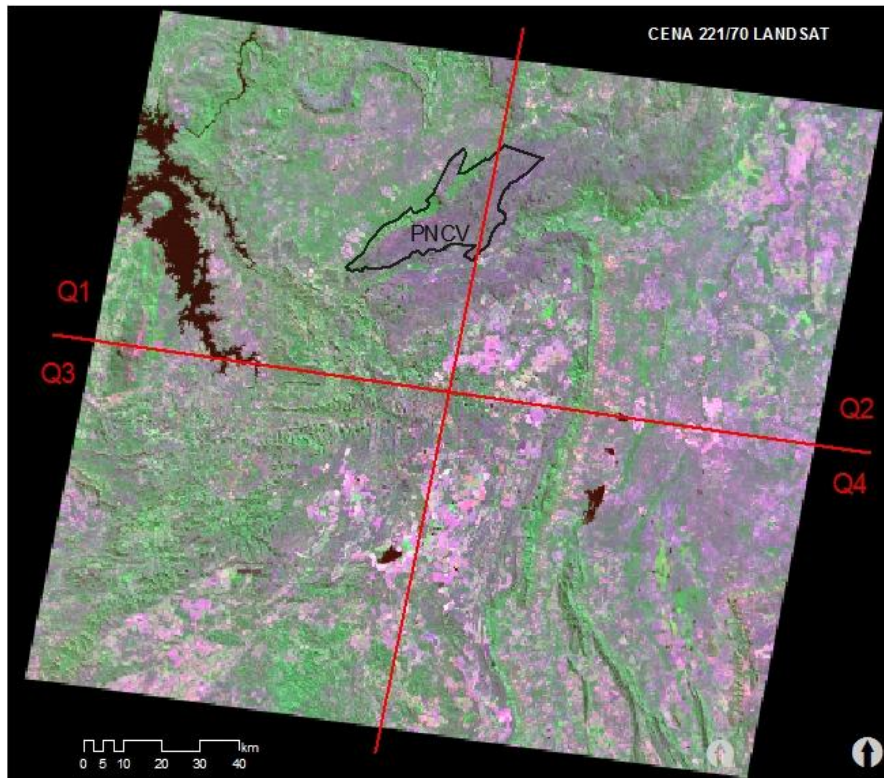


Figura 3.4. Localização do PNCV e sua distribuição pelos quadrantes da cena 221/70 do Satélite Landsat, composição colorida RGB 5/4/3.

Foi utilizado ainda um mosaico de imagens ortorretificadas do satélite Ikonos da área do PNCV, de 1 metro de resolução espacial, composto de 12 imagens Ikonos adquiridas nos meses de junho e julho de 2003 (Figura 3.5). O mosaico foi georreferenciado para o sistema de projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), datum WGS84 e zona 23S. Todos os processamentos efetuados para a geração desse mosaico foram conduzidos pela Geoambiente Sensoriamento Remoto™ (GEOAMBIENTE, 2005). As imagens Ikonos foram disponibilizadas pela direção do PNCV do ICMBio. As imagens Ikonos foram utilizadas para validação das classificações feitas com imagens Landsat, nas áreas onde não foi possível reconhecimento em campo.

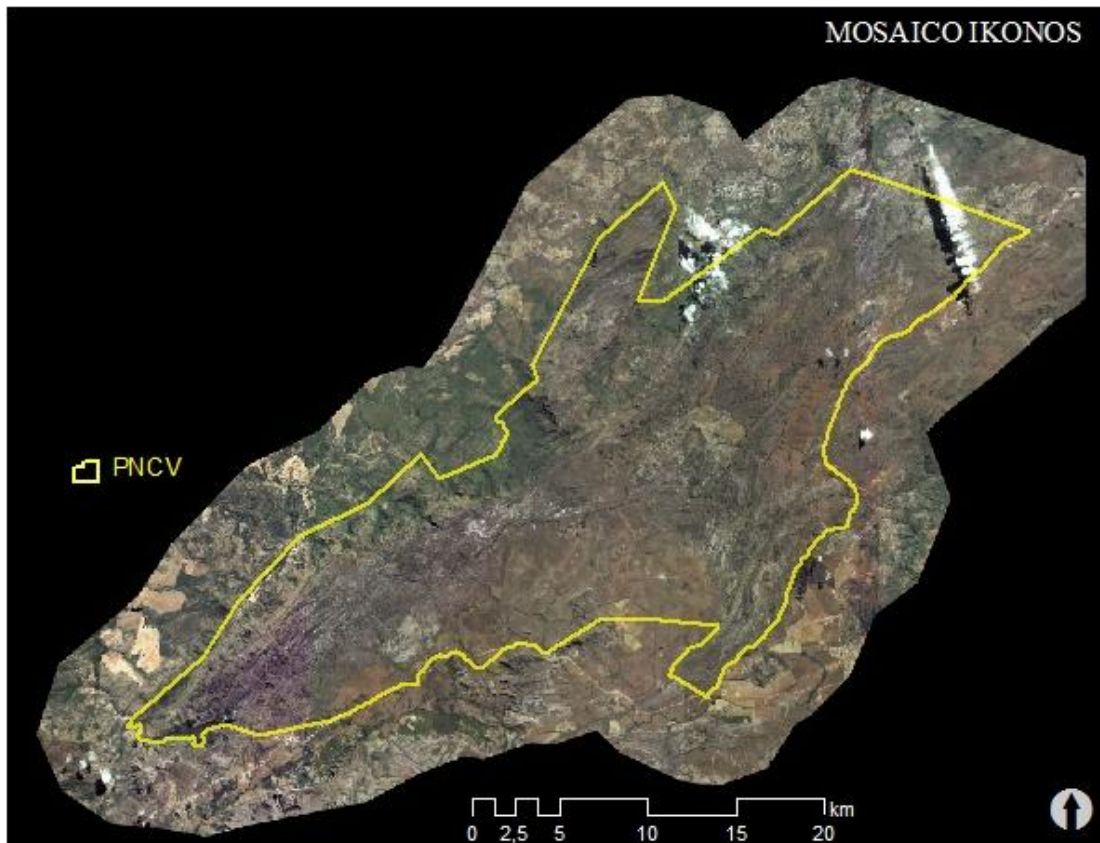


Figura 3.5 – Limite do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (em linha amarela) sobreposto no mosaico imagens Ikonos.

Para a análise da orientação das encostas, da altitude e declividade da área de estudo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (DEM), em resolução espacial de 30 metros, elaborado a partir de imagens adquiridas pelo satélite Aster, distribuídas pela Agência Americana de Administração Aeroespacial - NASA.

3.2.2. Dados vetoriais

Os arquivos vetoriais em formato *shapefile* utilizados e suas características são descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Dados vetoriais utilizados no trabalho e seus metadados

Dado	Escala	Data	Fonte
Limite do PNCV	1:250.000	2009	ICMBio (Plano de Manejo-PNCV)
Rede hidrográfica	1:250.000	2009	ICMBio (Plano de Manejo-PNCV)
Estradas	1:250.000	2009/2005	ICMBio (Plano de Manejo-PNCV) e IBGE
Localidades	1:250.000	2005	IBGE

3.2.3. Dados coletados em campo

Para coleta dos pontos amostrais e rotas no campo, foi utilizado o GPS Garmin, com referencial geodésico no datum SAD-69, no sistema de coordenadas geográfico (latitude/longitude). Os *softwares* ENVI 4.5® produzido pela empresa ITT *Visual Information Solutions* e ArcGIS 9.3® produzido pela empresa ESRI *Incorporation* foram utilizados para o processamento e visualização de imagens, cálculos, edição e álgebra de mapas.

3.3. PROPOSTA METODOLÓGICA

A abordagem metodológica do desenvolvimento deste trabalho envolveu as seguintes etapas:

- i) levantamento bibliográfico sobre o fogo no Cerrado e utilização de técnicas de geoprocessamento (sensoriamento remoto e SIG) para identificação e análise de incêndios;
- ii) levantamento de dados históricos de ocorrência de incêndios no PNCV para o período de análise;
- iii) seleção e obtenção das imagens de satélites e dados vetoriais para a realização do trabalho;

- iv) pré-processamento, processamento e interpretação das imagens da série temporal definida e vetorização das áreas queimadas e das áreas de uso agropecuário, em cada ano, na tela do computador;
- v) avaliação e validação dos processamentos executados;
- vi) elaboração de mapas anuais e de recorrência de áreas atingidas por incêndios florestais;
- vii) levantamento e produção das variáveis independentes utilizadas nas análises;
- viii) cruzamento das áreas queimadas com outros dados levantados/produzidos e
- ix) análise espacial e temporal da ocorrência dos incêndios florestais na área de estudo.

3.3.1. Processamentos e interpretação das imagens LANDSAT

Inicialmente, as imagens em Número Digital obtidas pelos satélites Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM+ foram convertidas para reflectância utilizando dados disponibilizados no arquivo metadados de cada imagem. As principais informações exigidas na etapa de conversão foram: data da passagem do satélite; ângulo de elevação solar; e dados do sensor na ocasião da aquisição das imagens. Esse procedimento foi aplicado nas seis bandas (1-5 e 7) simultaneamente, para as 11 cenas do satélite Landsat utilizadas neste estudo.

Posteriormente, as imagens foram corrigidas geometricamente, a fim de reduzir as distorções causadas pelos deslocamentos sofridos pelo sistema de eixos do sensor. Foram utilizadas as estradas vetorizadas no Plano de Manejo do PNCV e a cena S-23-10 do mosaico MRSID/NASA, para o ajuste geométrico. Posteriormente, as cenas foram recortadas respeitando o enquadramento do entorno de 10 km ao redor do limite do PNCV.

Associou-se às três cores primárias, vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) – RGB, as bandas 5, 4 e 3, respectivamente para a interpretação visual e

mapeamento das áreas queimadas na tela do computador, ano a ano, desde 1999 a 2009, na escala aproximada de 1:100.000. Idealmente, deveriam ter sido analisadas todas as imagens disponíveis da região nesse período, entretanto além da limitação com relação à disponibilidade e acessibilidade às imagens, não houve tempo suficiente para se trabalhar com todo o material disponível e acessível gratuitamente. A Figura 3.6 ilustra o mapeamento das cicatrizes das queimadas para o ano de 2004 na área de estudo, como exemplo ilustrativo da metodologia utilizada para a delimitação das áreas queimadas.

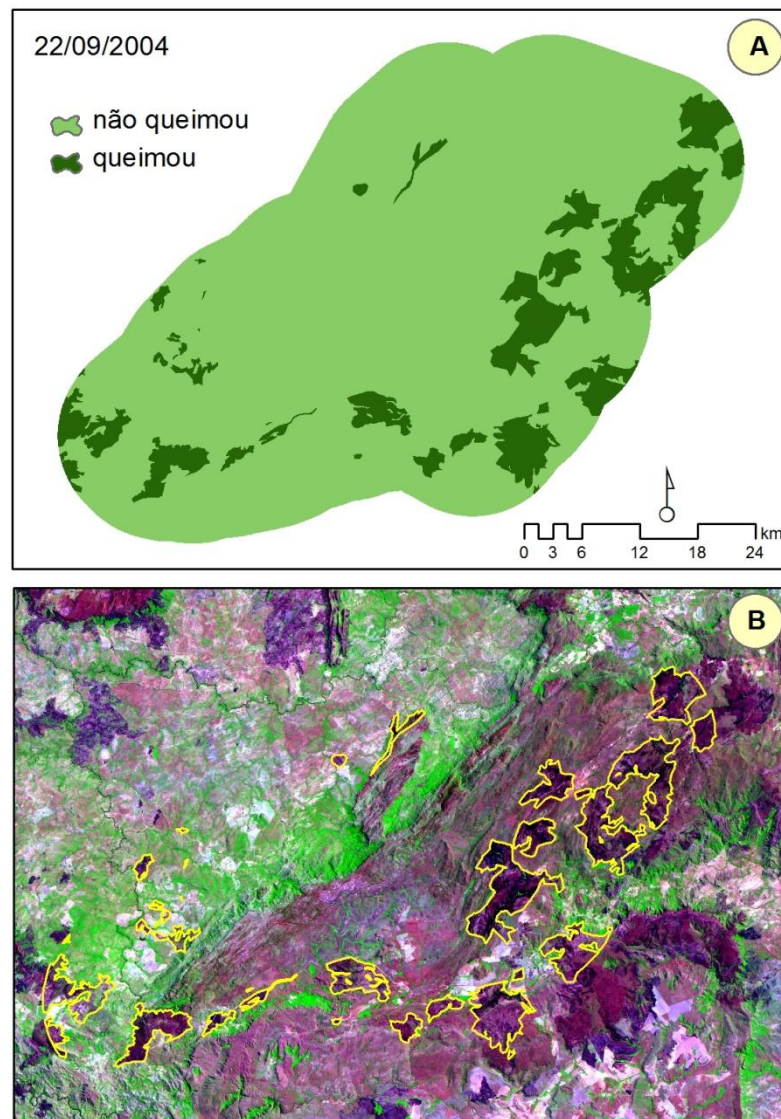


Figura 3.6. Representação da grade gerada (A) para o mapeamento das áreas queimadas na tela do computador sobre a imagem Landsat do ano de 2004 utilizada (B)

Da mesma forma, foram mapeadas as áreas de cultura e pastagens para cada ano do período de análise (1999 a 2009). Essas áreas representam uma variável independente utilizada na análise probabilística espacial, tendo sido classificadas como *agropecuária*. Procurou-se incluir as áreas de pastagens naturais nesta classe, entretanto, observa-se que a pastagem natural e extensiva, característica da região, dificulta sua identificação nas imagens de satélite. Desta forma, complementarmente, o mapeamento da *agropecuária* contou também com informações do gerente do fogo do PNCV.

3.3.2. Avaliação da acurácia do mapeamento

Para a avaliação da acurácia do mapeamento do uso do solo e das cicatrizes de incêndios florestais na área de estudo, foram sorteados aleatoriamente 55 pontos amostrais (Figura 3.7) utilizando a ferramenta ‘*Creat Rndom Points*’ do aplicativo ArcGis 9.3®. Dessa forma a chance de seleção é a mesma para toda a área (PÉLLICO-NETTO E BRENA, 1997; FELFILI E REZENDE, 2003).

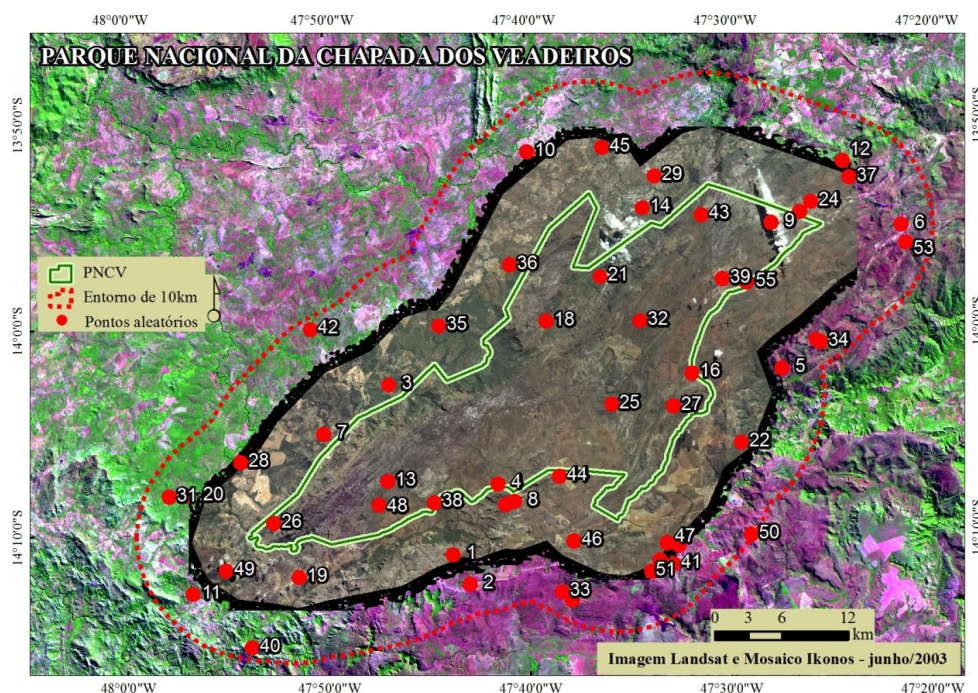


Figura 3.7: Pontos sorteados sobre as imagens Ikonos (até 5 km do entorno do PNCV) e Landsat (a partir de 5 km do entorno)

Foram atribuídos valores de 0 a 3 em cada um dos 55 pontos aleatórios da seguinte forma: 0 para os pontos sobre vegetação natural (VN); 1 para vegetação natural queimada (VNQ); 2 para agropecuária (AG) e 3 para agropecuária queimada (AGQ). Os valores foram anotados para o mapeamento e posteriormente à checagem foi anotado novo valor. Os resultados foram comparados, compondo uma Matriz de Confusão.

Para a checagem das agropecuárias mapeadas, alguns pontos foram validados em campo e outros foram checados na imagem Ikonos. Com relação à validação do mapeamento das cicatrizes dos incêndios florestais, foi refeita a abordagem na mesma imagem Landsat utilizada para o mapeamento, porém em escala aproximada de 1:20.000, a fim de observar se o contorno foi delimitado corretamente naquela escala (1:100.000, aproximadamente).

O trabalho de campo foi realizado durante o mês de abril de 2010 no PNCV, com o objetivo de checar os pontos amostrados. Foram concentrados esforços para aprimorar o delineamento da classe agropecuária mapeada, localizada na área do entorno do PNCV, além do reconhecimento de campo no interior do parque. Apesar de observados pequenos sinais de antropização no interior da unidade em algumas cenas Landsat, não se observou nenhuma prática agrícola ou pecuária em campo. Segundo relatos, esta área teve fins agropecuários até a década de 80 e encontra-se em processo de regeneração natural.

3.3.3. Processamentos e análises em Sistema de Informação Geográfica - SIG

Os dados vetoriais produzidos das áreas queimadas e agropecuárias foram rasterizados e incorporados ao SIG, juntamente com demais variáveis independentes utilizadas no estudo.

Foram realizadas operações com as grades, gerando-se novas grades ou outros produtos, como mapas das áreas de vegetação nativa e das áreas de uso agropecuário

atingidas pelo fogo, ano a ano; além do mapa da recorrência dos incêndios no período analisado.

3.3.4. Modelo probabilístico espacial de ocorrência de incêndios florestais no PNCV

Um modelo Probit foi usado nesta análise para identificar os fatores que influenciam a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais na área de estudo com base na sua distribuição espacial, nas características físicas e em fatores socioeconômicos. Optou-se pelo modelo Probit para evitar problemas de endogeneidade (devido à existência de algumas variáveis *dummy* no estudo), dadas as características dicotômicas das variáveis utilizadas. Este modelo descreve o comportamento da variável *dummy* em termos de uma regressão linear sobre variáveis explicativas não-aleatórias contidas em um vetor (BRAUMANN; CARNEIRO, 2002).

De acordo com Wooldridge (2000), o modelo Probit pode ser definido como:

$$y^* = \beta_0 + x\beta + \varepsilon, \quad y = I [y^* > 0], \quad (1)$$

onde y^* é uma variável latente não observada (neste estudo, um pixel representando ocorrência de incêndio florestal) que satisfaça a distribuição normal e de homoscedasticidade com uma média linear; x é um vetor de variáveis independentes; β é um vetor de coeficientes desconhecidos; e ξ é o termo de erro distribuído independentemente assumindo ser normal com média zero e variância constante (σ^2). A função indicadora requer que as observações sejam valor 1 se o evento (incêndio florestal) é verdadeiro e 0 se for falso. Desta maneira,

$$y = 1 \text{ se } y^* > 0, \text{ e}$$
$$y = 0 \text{ se } y^* \leq 0.$$

Com base nestes princípios, a probabilidade da ocorrência de incêndios na área de estudo pode ser definida de acordo com a equação seguinte:

$$P(y = 1 | x) = P(y^* > 0 | x) = P(\varepsilon > -x\beta | x) = \Phi(x\beta) \quad (2)$$

onde, Φ é a distribuição cumulativa normal padrão (dcn); x é o vetor de variáveis independentes, e β é o vetor de coeficientes desconhecidos.

Procurou-se incluir as variáveis descritas na literatura que afetam significativamente a ocorrência e propagabilidade do fogo, entretanto, nem todas estavam disponíveis ou não foi possível acessá-las nos formatos e escalas adequadas para o ajuste do modelo. Assim, foi testado o seguinte vetor de variáveis independentes (x) para o modelo Probit descrito na equação acima:

- Declividade do terreno em graus;
- Altitude em metros;
- Proximidade (distância euclidiana) das áreas urbanas em metros;
- Azimute da orientação das encostas em graus;
- Proximidade (distância euclidiana) das estradas em metros;
- Uso agropecuário: 1 se agropecuária, 0 se vegetação natural;
- Parque Nacional: 1 se dentro do parque, 0 se fora do parque;
- Longitude (km, referente às coordenadas UTM);
- Latitude (km, referente às coordenadas UTM); e
- Ano da análise da ocorrência do fogo (1 se referente ao ano de interesse, 0 se de outros anos). Esta variável repetiu-se para cada ano de análise (1999 a 2009).

A Figura 3.8 ilustra cada uma das variáveis utilizadas no modelo Probit, com exceção apenas dos eixos latitudinal e longitudinal.

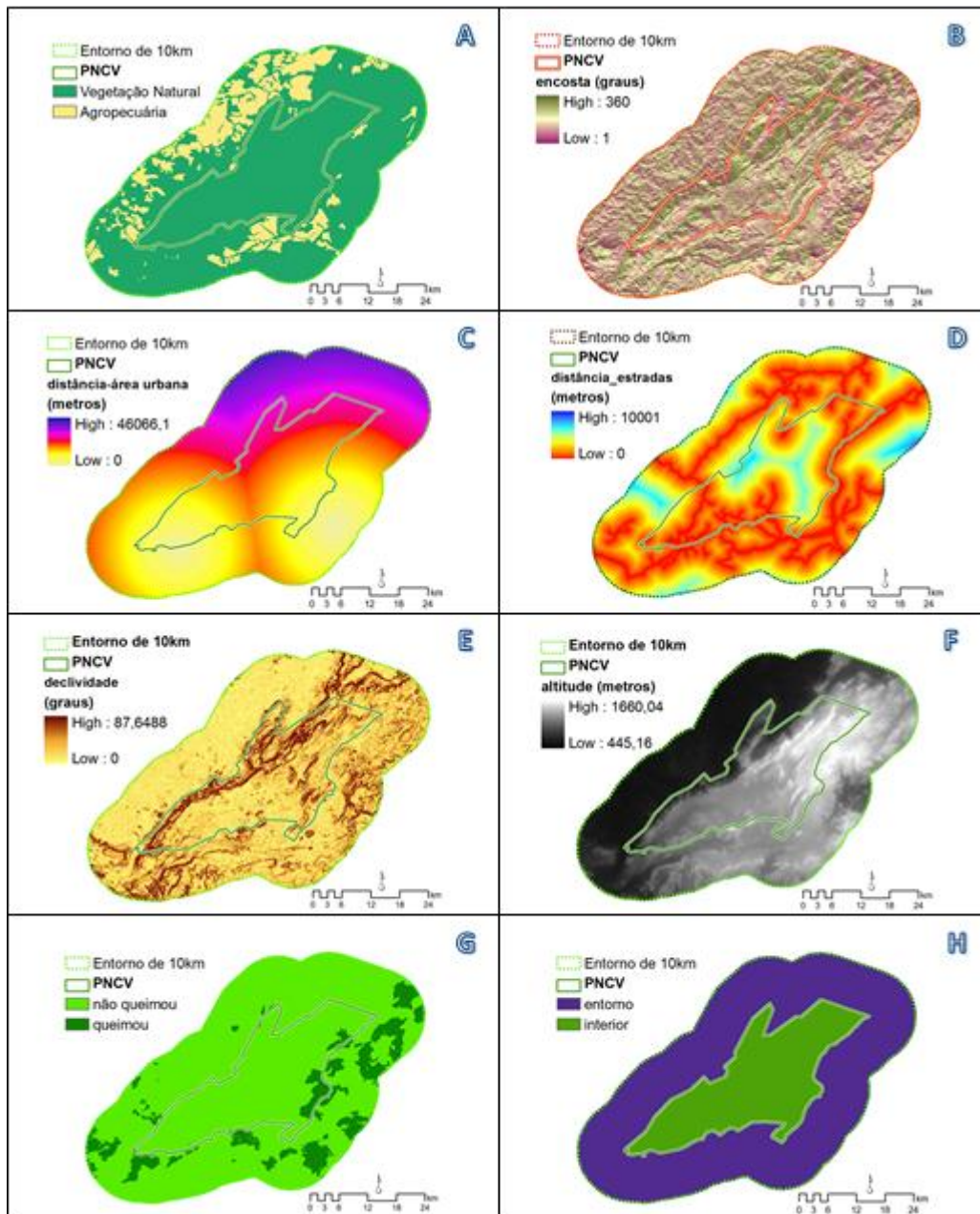


Figura 3.8. Representação das variáveis utilizadas na análise probabilística espacial: uso agropecuário (A); direção das encostas (B); proximidade das áreas urbanas (C); proximidade das estradas (D); declividade (E); altitude (F); ano das áreas queimadas em análise (G) e localização: interior ou entorno do PNCV (H)

Para o modelo probabilístico espacial de ocorrência de incêndios florestais uma amostragem estratificada-aleatória foi aplicada para coletar os dados de cada ponto amostral. Primeiro, um vetor de 4 km x 4 km foi criado e alocado sobre a área de

estudo. Subsequentemente, um ponto foi aleatorizado dentro de cada célula de 16 km² (Figura 3.9).

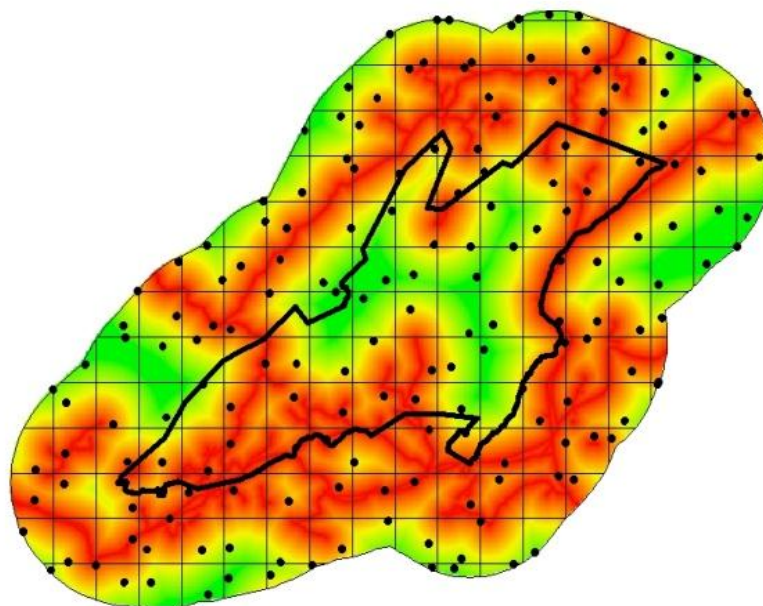


Figura 3.9. Pontos aleatórios selecionados na malha vetorizada de 4 km x 4 km sobre o mapa de proximidade das estradas da área de estudo

O pixel foi utilizado como a unidade de observação e um único valor da base de dados foi coletado para cada ponto na grade amostral para representar a ocorrência de incêndios florestais (1 se queimado, 0 se não queimado). Da mesma forma, um valor de pixel foi coletado para cada variável independente e ponto amostral. Este procedimento foi adotado para reduzir os efeitos de autocorrelação espacial na base de dados (ANSELIN 2002; ARIMA *et al.*, 2007). A distribuição aleatória dos pontos dentro da grade amostragem regular contribui para reduzir os efeitos da coincidência entre os padrões espaciais da paisagem e dos pontos amostrais (Burrough, 1998). A amostragem estratifica-aleatória pode contribuir para minimizar prováveis tendências estatísticas de um modelo e o termo do erro em modelos Probit ocorridos devido à autocorrelação espacial na população amostrada (CHOMITZ; GRAY, 1996; ARIMA *et al.*, 2007).

Os pontos amostrados (178) foram alocados sobre cada uma das variáveis (plataformas de informações) e seus valores foram cruzados no modelo probit. A Figura 3.10 ilustra a entrada dos dados (variáveis) no modelo probabilístico espacial.

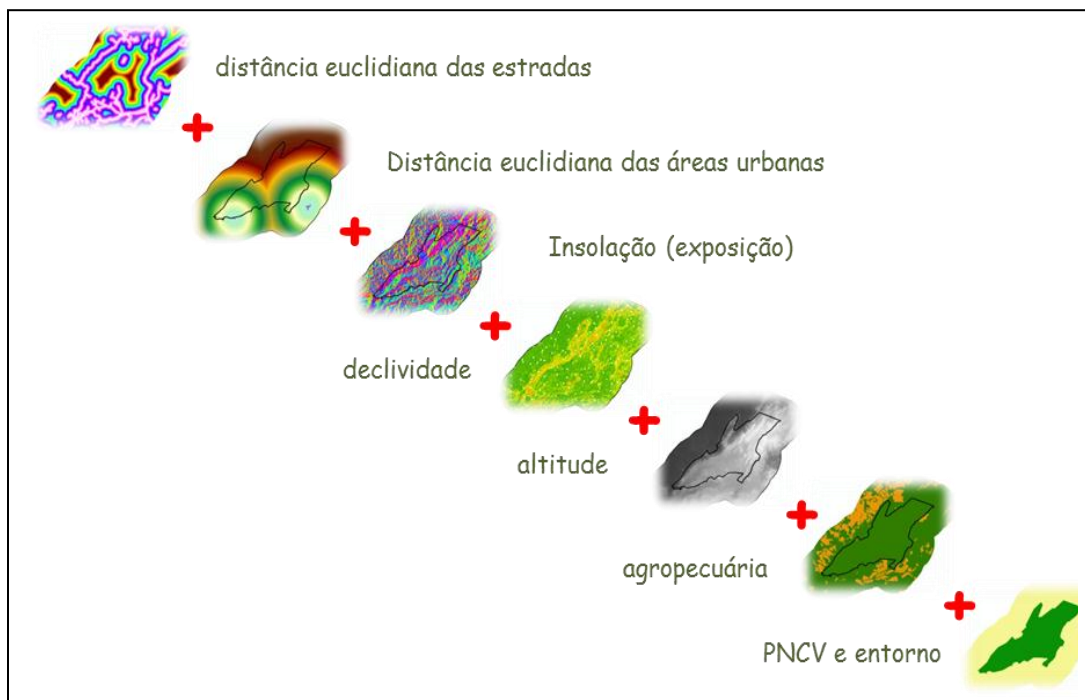


Figura 3.10. Simulação da entrada de camadas de informações (variáveis) no modelo probabilístico espacial Probit

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DESEMPENHO DO MAPEAMENTO

O mapeamento do uso do terra e das áreas queimadas foi implementado a partir de interpretação visual de imagens Landsat incluíram as classes de vegetação natural (VN), vegetação natural queimada (VNQ), agricultura (AG) e agricultura queimada (AGQ). A acurácia total e de cada classe do mapeamento foi calculada a partir da observação dos erros e acertos de 55 pontos distribuídos aleatoriamente na área de estudo. O desempenho geral do mapeamento, de acordo com a Matriz de Confusão, foi de aproximadamente 83,64% (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Resultado da Matriz de Confusão

		mapa					
		VN	AG	VNQ	AGQ	total	
checagem	VN	30	3	2	0	35	0,86
	AG	4	6	0	0	10	0,60
	VNQ	0	0	8	0	8	1,00
	AGQ	0	0	0	2	2	1,00
	total	34	9	10	2	55	
		0,88	0,67	0,80	1,00		83,64

Observa-se que o mapeamento das áreas ocupadas por atividades agropecuárias obteve o maior erro, onde 40% foram subestimados com relação à vegetação natural. Tal resultado está relacionado com a dificuldade de distinguir as áreas de pastagens naturais, comumente observadas no entorno do parque. Por outro lado, 100% das áreas queimadas foram corretamente detectadas, apesar de 20% de vegetação natural ter sido classificada erroneamente como área queimada.

4.2. OS INCÊNDIOS NA ÁREA DE ESTUDO (1999 a 2009)

São apresentados os resultados referentes à área total de estudo, que compreende o PNCV e seu entorno. Em algumas análises, entretanto, são descritos resultados referentes apenas ao PNCV. Em outras análises, apenas as áreas do entorno foram abordadas, como por exemplo, quando as análises envolveram estatística das áreas de uso agropecuário, já que esta prática só ocorre fora do PNCV atualmente.

Os anos de 2000 e 2007 foram os mais atingidos pelos incêndios florestais, com um total de 98.028 ha e 121.045 ha, respectivamente. Estas áreas queimadas em 2000 e 2007 correspondem a 41% e 51% da área total do estudo, respectivamente. Nos anos de 1999, 2001, 2004 e 2005 (cerca de 35% dos anos estudados), as áreas

queimadas somam um total de pouco mais de 10% da área total, aproximadamente 30.000 ha. As áreas queimadas nos demais anos (2002, 2003, 2006, 2008 e 2009 - 45% dos anos estudados) apresentaram menos de 10% da área total queimada (Figura 4.1). Outra vez destaca-se que o ano de 2003 ficou subestimado em seu mapeamento das áreas queimadas. Deve-se considerar uma lacuna de dados para este ano, pois há informações sobre a ocorrência de incêndios de grandes proporções neste ano na área de estudo.

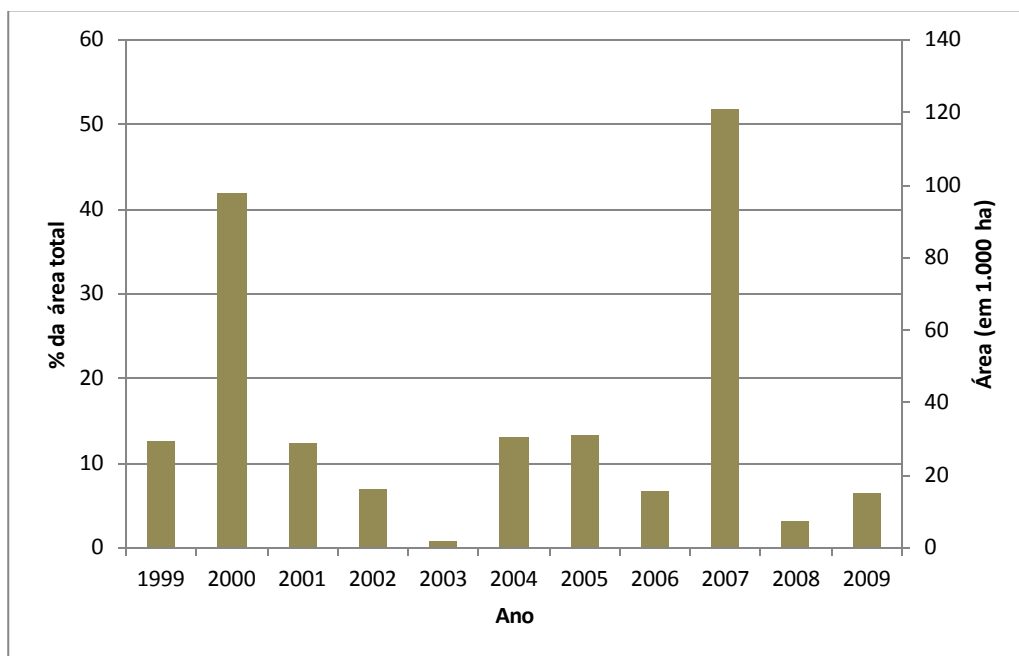


Figura 4.1. Áreas atingidas por incêndios florestais na área de estudo em hectares e percentual do total

Os resultados indicam que o interior do parque também foi mais atingido por incêndios nos anos de 2007 seguido do ano 2000, totalizando 50.651 ha (78%) e 40.084 ha (62%) de áreas queimadas, respectivamente (Tabela 4.2 e Figura 4.2).

Tabela 4.2. Área atingida por incêndios florestais no PNCV em hectares (VNQ_PNCV) e percentual do parque (%_PNCV)

ANO	VNQ_PNCV	%_PNCV
1999	1.563	2
2000	40.084	62
2001	2.507	4
2002	4.244	7
2003	0	0
2004	4.130	6
2005	4.226	7
2006	9.968	15
2007	50.651	78
2008	18	0
2009	3.532	5

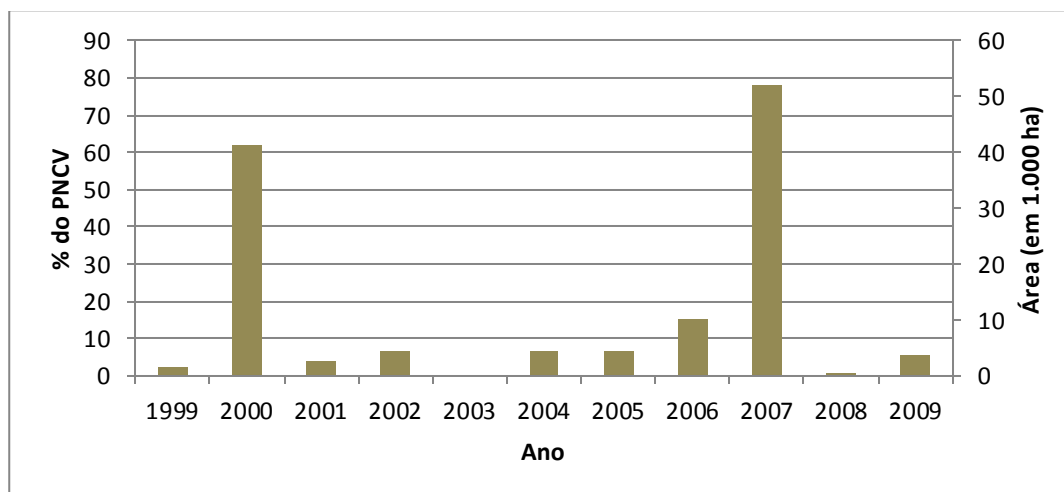


Figura 4.2. Áreas atingidas por incêndios florestais no interior PNCV em hectares e percentual da sua área total

Ao se comparar as áreas queimadas no interior do parque com as áreas atingidas pelo fogo no entorno, observa-se em todos os anos que o entorno apresenta maiores áreas queimadas em termos absolutos (Figura 4.3). Contudo, nos anos de 2000 e 2007, anos de incêndios de grande proporção, o interior da UC teve um

percentual maior de áreas queimadas comparado à área percentual atingida pelos no seu entorno (Figura 4.4).

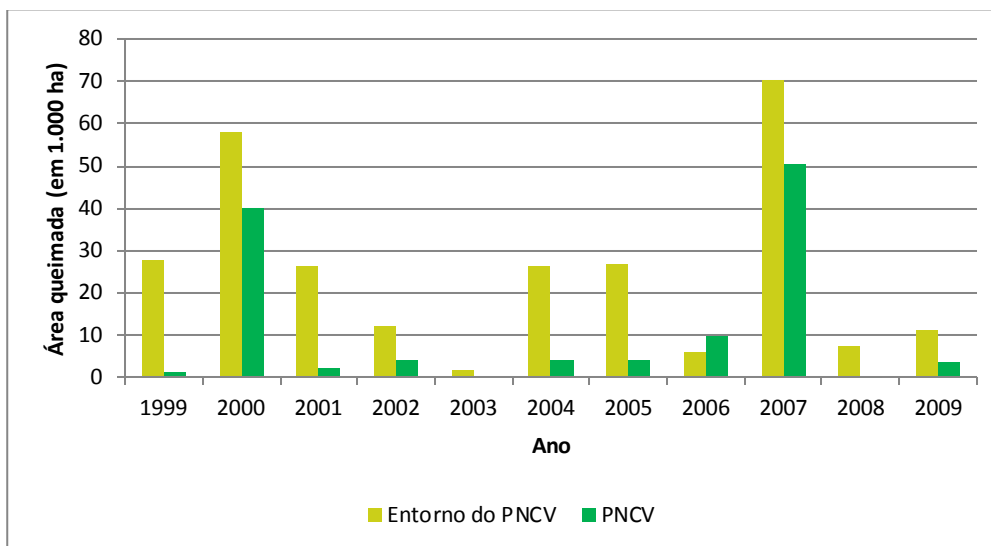


Figura 4.3. Área queimada no interior do PNCV e no seu entorno

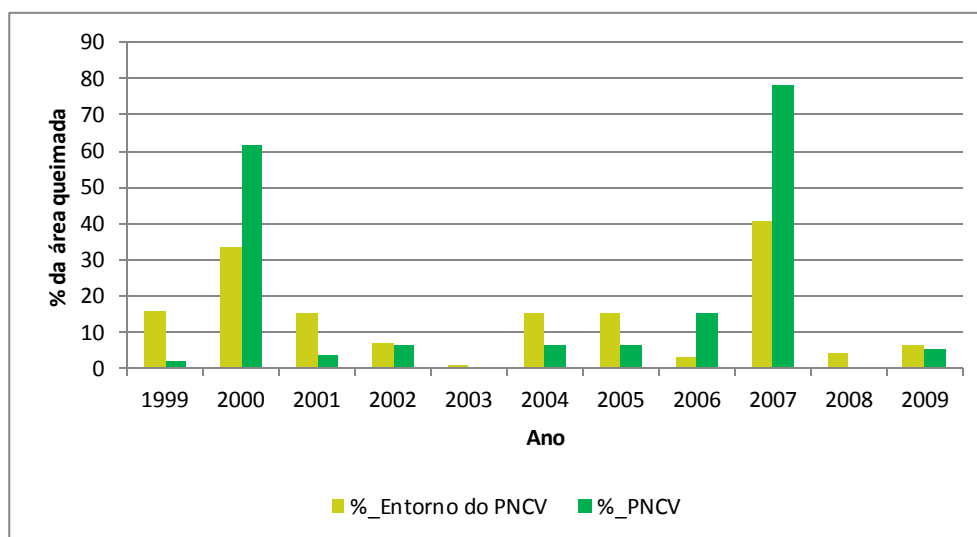


Figura 4.4. Percentual de área queimada no interior do parque (%_PNCV) e percentual da área queimada no seu entorno (%_Entorno do PNCV)

Ainda nesses anos, o percentual de áreas queimadas no interior do parque foi maior até quando comparado ao percentual da área queimada incêndios na área total do estudo (Figura 4.5).

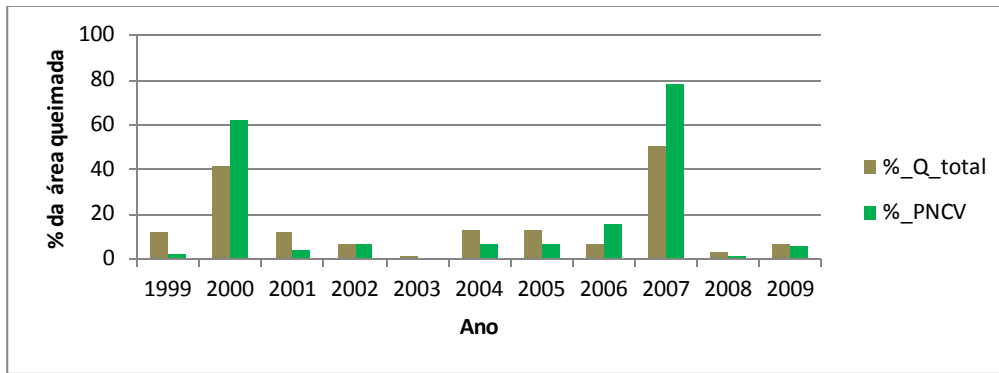


Figura 4.5. Percentual de área queimada no interior do parque (%_PNCV) e percentual da área total queimada (%_Q_total)

Além de 2000 e 2007, em 2006 o percentual queimado também foi maior dentro do parque do que no seu entorno. Nos demais anos, o percentual de áreas atingidas pelo fogo é maior no entorno.

Houve pouca variação com relação às áreas mapeadas de agropecuária durante o período analisado, sendo a média calculada de aproximadamente 41.949 ha. No ano de 1999, foram mapeados aproximadamente 39.700 ha de agropecuária, com modesto aumento de até cerca de 2% nos próximos três anos, chegando a atingir 41.117 ha em 2003. Em 2004 atinge o pico, sendo aproximadamente 44.310 ha mapeados. A partir daí, observou-se uma tendência à estabilização, apresentando no último ano de análise um total de aproximadamente 43.639 ha (Figura 4.6 e Tabela 4.3) de área de uso agropecuário mapeada.

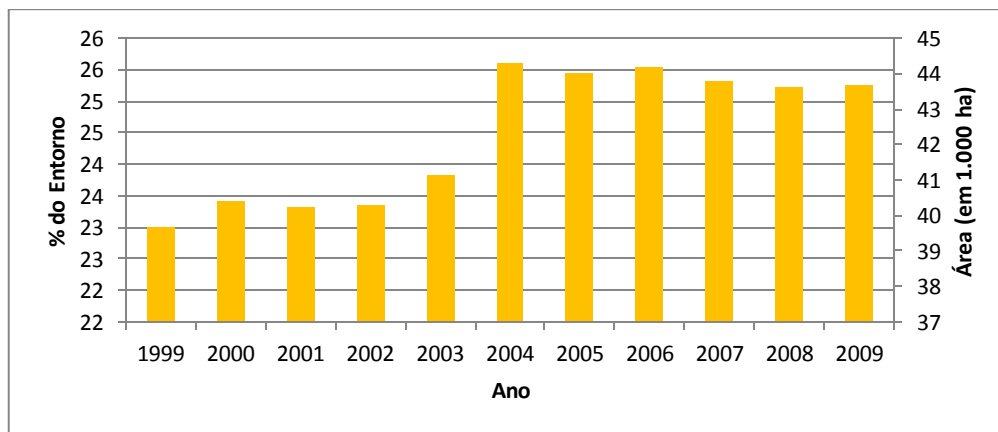


Figura 4.6. Agropecuária (em hectares e percentual da área do entorno) mapeada na área de estudo (1999-2009)

As pequenas oscilações observadas podem estar relacionadas à acurácia do mapeamento (aproximadamente 84%) ou possíveis alternância do uso da terra, com abandono temporário e regeneração natural.

Tabela 4.3. Resultado das áreas (em hectares, em percentual e percentual relativo) referentes à vegetação natural e agropecuária atingidas por incêndios florestais no entorno do PNCV (1999-2009)

			vegetação natural		agropecuária	
			não queimou	queimou	não queimou	queimou
1999	ÁREA	hectares	111.258	22.651	34.621	5.079
		% do total	64	13	20	3
		% relativa	83	17	87	13
2000	ÁREA	hectares	88.688	44.490	26.985	13.445
		% total	51	26	16	8
		% relativa	67	33	67	33
2001	ÁREA	hectares	110.699	22.662	36.317	3.930
		% total	64	13	21	2
		% relativa	83	17	90	10
2002	ÁREA	hectares	125.490	7.834	36.074	4.209
		% total	72	5	21	2,4
		% relativa	94	6	90	10
2003	ÁREA	hectares	132.188	304	39.460	1.657
		% total	76	0	23	1
		% relativa	100	0	96	4
2004	ÁREA	hectares	105.343	23.956	41.806	2.503
		% total	61	14	24	1
		% relativa	81	19	94	6
2005	ÁREA	hectares	103.626	25.973	43.003	1.006
		% total	60	15	25	1
		% relativa	80	20	98	2
2006	ÁREA	hectares	124.393	4.999	43.340	877
		% total	72	3	25	1
		% relativa	96	4	98	2
2007	ÁREA	hectares	73.973	55.848	29.295	14.493
		% total	43	32	17	8
		% relativa	57	43	67	33
2008	ÁREA	hectares	124.064	5.905	42.029	1.611
		% total	71	3	24	1
		% relativa	95	5	96	4
2009	ÁREA	hectares	119.068	10.835	43.159	546
		% total	69	6	25	0
		% relativa	92	8	99	1

O período de maior incremento das áreas mapeadas como agropecuária neste estudo (2003-2004) coincide com um dos períodos de maior incremento da taxa de desmatamento na Amazônia brasileira observados pelo INPE (2009).

A Figura 4.7 mostra a variação do mapeamento das atividades agropecuárias durante o período de análise.

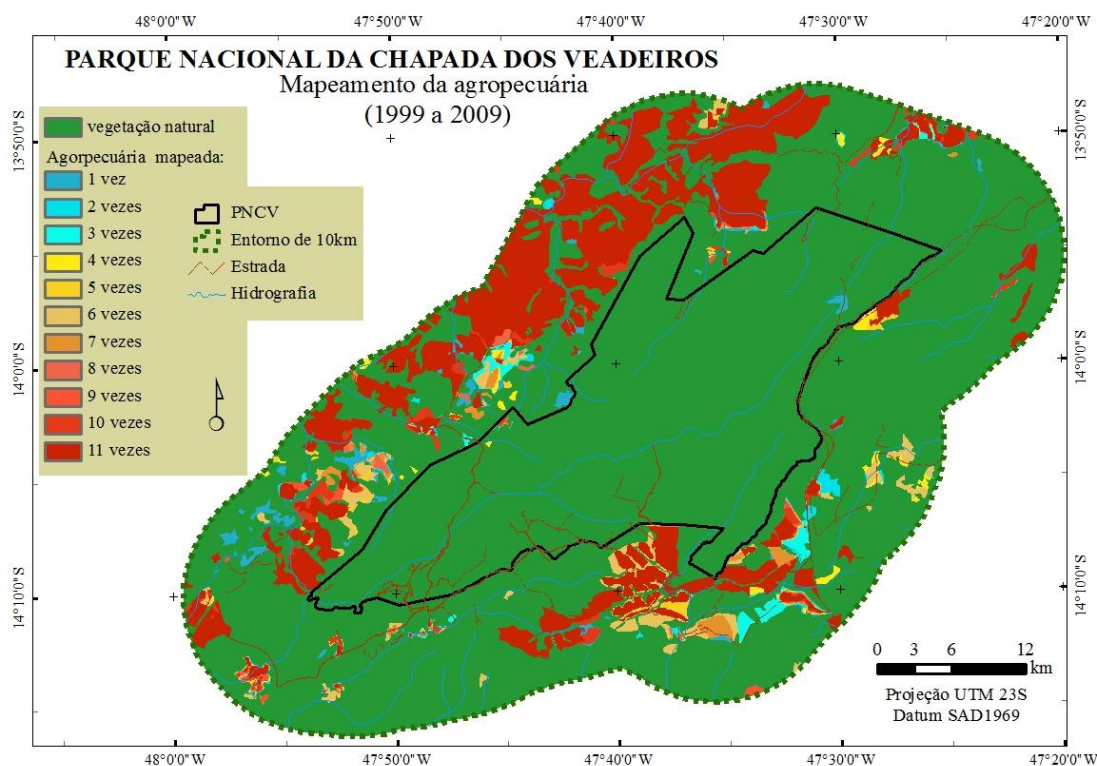


Figura 4.7 – Mapeamento da agropecuária durante os anos de 1999 a 2009

Em geral, a área de vegetação natural calculada neste trabalho representa cerca de 75% da área do entorno do parque. A maioria da agropecuária mapeada repete-se nos 11 anos de estudo, entretanto, alguns polígonos, principalmente a sudeste da unidade, foram mapeados entre uma e sete vezes, indicando que novas frentes de agropecuária foram implantadas nestas áreas. Dados de censos mais recentes do IBGE

apud ICMBio (2009), apontam para uma redução de área plantada no período de 1990-2004 em todos os municípios da região, exceto de São João d’Aliança, que é considerado um município à parte, onde a cultura de grãos, é a mais extensiva dentre os demais municípios – 12.379 ha de área destinada a culturas.

A Tabela 4.4 descreve as áreas em hectares referentes à vegetação natural e agropecuária atingidas por incêndios florestais na área de estudo, enquanto a Tabela 4.5 descreve os percentuais de vegetação natural e de área de uso agropecuário atingidas pelo fogo durante o período de análise.

Tabela 4.4. Área (hectare) referente à vegetação natural (VN), vegetação natural queimada (VNQ), agropecuária (AG) e agropecuária queimada (AGQ); total de área queimada e sem ser queimada (Total_Q e Total_SQ), vegetação natural total (VN_total) e agropecuária total (AG_total) na área de estudo (1999-2009)

ANO	VN	VNQ	AG	AGQ	total_Q	total_SQ	VN_total	AG_total
1999	174.552	24.214	34.637	5.079	29.292	209.189	198.766	39.715
2000	113.384	84.574	27.070	13.454	98.028	140.454	197.959	40.523
2001	172.973	25.169	36.408	3.932	29.101	209.381	198.142	40.340
2002	185.894	12.078	36.300	4.209	16.287	222.194	197.972	40.510
2003	196.990	304	39.531	1.657	1.961	236.521	197.294	41.188
2004	166.031	28.086	41.859	2.506	30.592	207.890	194.117	44.365
2005	164.217	30.200	43.059	1.006	31.206	207.276	194.417	44.065
2006	179.244	14.967	43.392	878	15.845	222.637	194.211	44.270
2007	88.139	106.499	29.298	14.546	121.045	117.437	194.638	43.844
2008	188.864	5.923	42.084	1.611	7.533	230.948	194.787	43.695
2009	180.354	14.367	43.214	547	14.914	223.568	194.721	43.761

Tabela 4.5. Percentual da área total do estudo referente à vegetação natural (VN), vegetação natural queimada (VNQ), agropecuária (AG) e agropecuária queimada (AGQ), total de área queimada e sem ser queimada (total_Q e total_SQ), vegetação natural total (VN_total) e agropecuária total (AG_total) durante o período de 1999-2009

ANO	VN	VNQ	AG	AGQ	total_Q	total_SQ	VN_total	Ag_total
1999	73	10	15	2	12	88	83	17
2000	48	35	11	6	41	59	83	17
2001	73	11	15	2	12	88	83	17
2002	78	5	15	2	7	93	83	17
2003	83	0	17	1	1	99	83	17
2004	70	12	18	1	13	87	81	19
2005	69	13	18	0	13	87	82	18
2006	75	6	18	0	7	93	81	19
2007	37	45	12	6	51	49	82	18
2008	79	2	18	1	3	97	82	18
2009	76	6	18	0	6	94	82	18

Em todos os anos as áreas naturais foram as mais atingidas por incêndios florestais do que as áreas de agropecuária. A Figura 4.8 ilustra a área em hectares (valores absolutos) de vegetação natural e de agropecuária queimada em cada ano na área total do estudo, sendo fácil observar que a área de vegetação natural queimada é substancialmente maior do que a de uso agropecuário queimada. Os maiores incêndios sobre as áreas de uso agropecuário referem-se aos anos de maior abrangência dos incêndios na área do estudo, em 2000 e 2007, que atingiram 14.546 ha e 13.454 ha, respectivamente. Nos demais anos, a área atingida pelos incêndios foi menor do que a metade do mapeamento desses dois anos, chegando a 5.079 ha em 1999, 4.209 ha em 2002 e 3.932 ha em 2001. Em 2005, cerca de 1.000 ha queimados foram mapeados em áreas de agropecuária e pouco menos de 1000 ha de agropecuária foram queimados em 2006. Em 2009 foram mapeadas queimadas em cerca de 500 ha de agropecuária e 2003 não foi considerado.

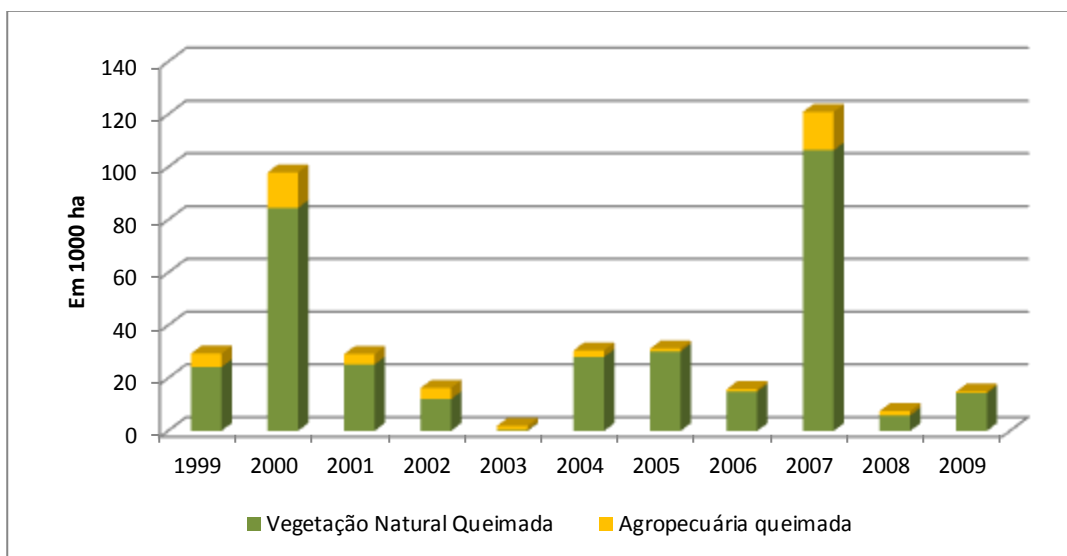


Figura 4.8. Área de vegetação natural e de agropecuária queimada na área de estudo nos anos de 1999 a 2009

A Figura 4.9 ilustra a distribuição da área de vegetação natural, vegetação natural queimada, agropecuária e agropecuária atingida pelos incêndios mapeados (1999-2009). Neste cálculo foi considerada a área total do estudo.

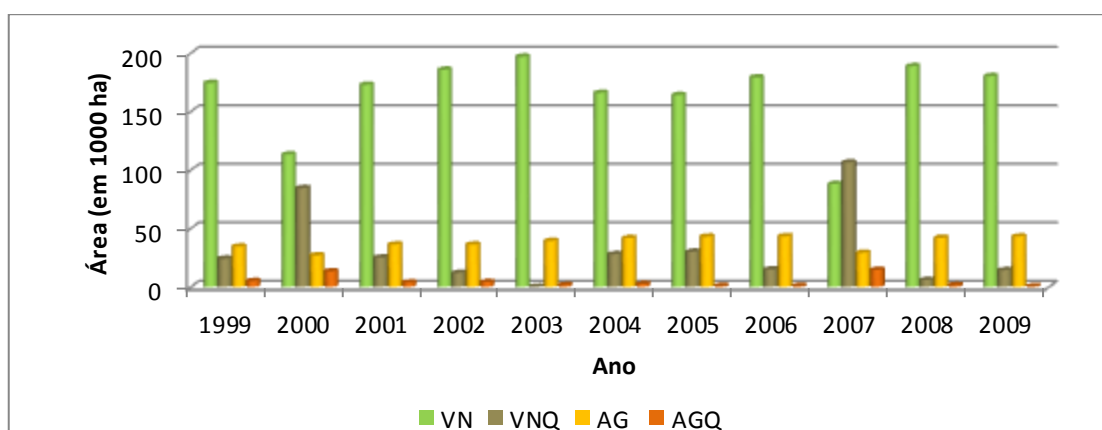


Figura 4.9. Distribuição das áreas mapeadas nas categorias: vegetação natural; vegetação natural queimada; agropecuária e agropecuária queimada, no período de 1999 a 2009 na área de estudo

Mesmo considerando as áreas de vegetação natural e agropecuária em termos relativos, também observa-se na maioria dos anos um percentual maior de vegetação natural queimada do que de uso agropecuário atingido pelo fogo (Figura 4.10). Salienta-se que, nesse cálculo, novamente foi considerada apenas a área do entorno do parque, já que no seu interior não foram observadas atividades de agropecuária.

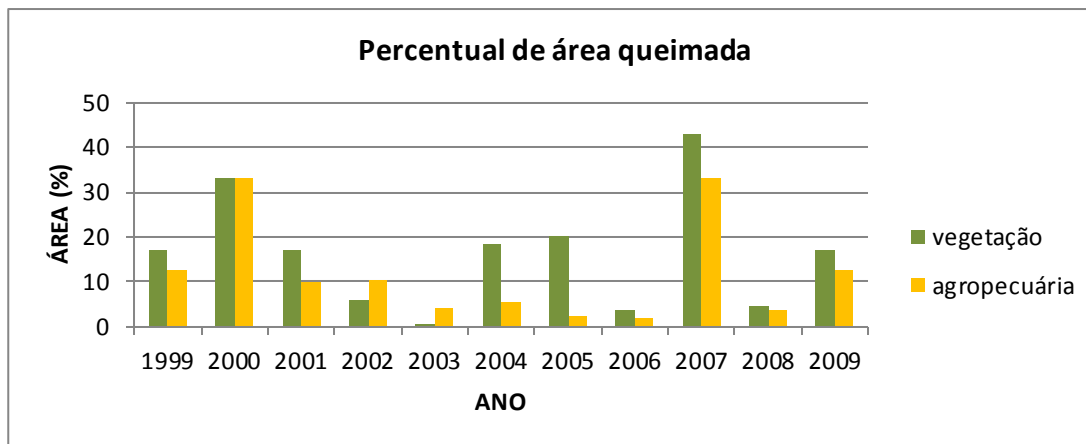


Figura 4.10. Percentual da área de vegetação natural e de agropecuária queimada na área de estudo nos anos de 1999 a 2009

Além de se considerar o fogo na vegetação natural ser mais incidente pela abertura de novas frentes para práticas agropecuárias nessa área, outro fator que pode explicar a maior ocorrência de incêndio em áreas de vegetação natural, é que nas áreas de pastagens, mesmo que o fogo seja colocado, este tem a tendência de ser controlado pelo proprietário da fazenda. O que não ocorre quando o fogo atravessa a propriedade e atinge, por exemplo, uma área pública. Embora existam leis que regulamentem a prática de queimada e seja crime ambiental colocar fogo sem licença prévia do órgão competente, essas leis não são aplicadas exatamente como deveriam, por diversas razões. Hoje o PNCV conta com apenas dois funcionários efetivos. A escassez de recurso pessoal e também financeiros, dificultam a execução do trabalho das autoridades e acaba por contribuir para a determinação desse alto padrão de incêndios sobre vegetação nativa, principalmente em áreas (que deveriam ser) protegidas.

4.2.1. Mapeamento anual dos incêndios florestais

No ano de 1999 foram atingidos cerca de 22.651 ha de vegetação natural na área do entorno e mais 1.563 ha no interior do PNCV, somando um total de aproximadamente 24.214 ha. As regiões mais atingidas foram a sudeste e a leste do PNCV e seu entorno, onde foram observados os maiores polígonos. Na parte norte do parque também foram registrados alguns polígonos queimados, porém com dimensões menores. É importante notar que a imagem utilizada para o mapeamento dos incêndios nesse ano foi de 8 de agosto, o que sugere o mapeamento subestimado das áreas queimadas neste ano. Pode-se observar ainda, que a maior parte dos polígonos de incêndios no interior do parque é vista na sua borda, o que indica que nessas áreas, provavelmente o fogo originou fora e atingiu o interior da unidade. Algumas áreas queimadas de vegetação natural foram contíguas a áreas de agropecuária queimada (Figura 4.11), podendo sugerir que o fogo tenha iniciado na área de uso e atingido as áreas de Cerrado.

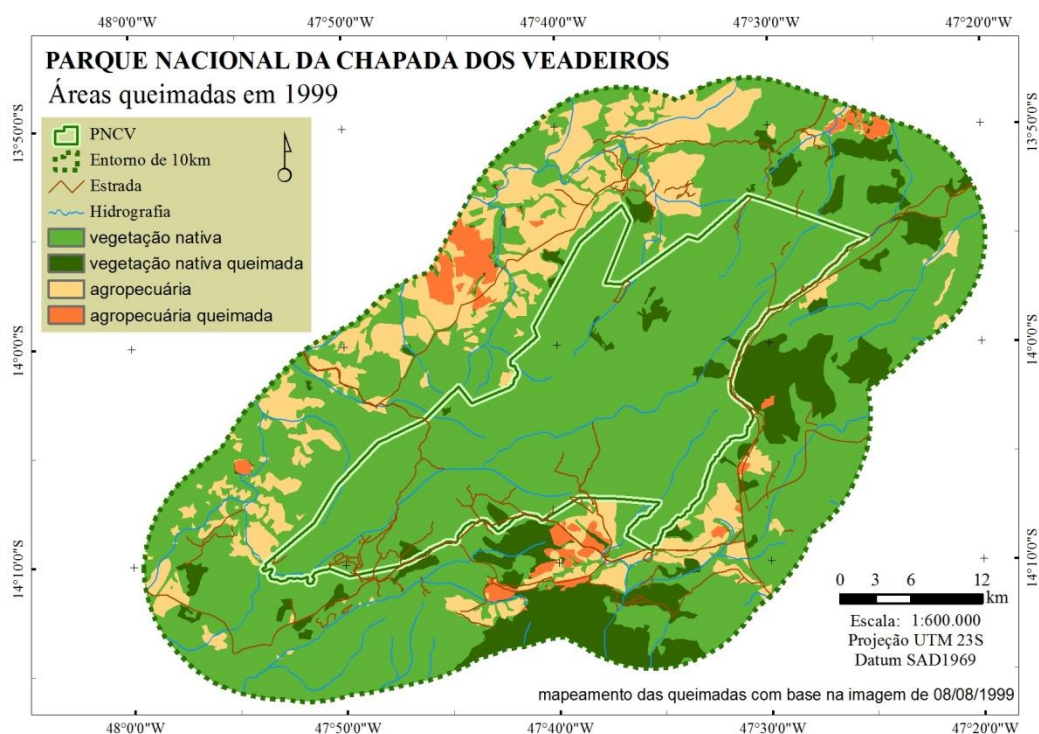


Figura 4.11. Incêndios florestais sobre a vegetação natural e área de agropecuária no PNCV e seu entorno em 1999

No ano 2000 observou-se a segunda maior área atingida por incêndios florestais, um total aproximado de 84.574 ha da vegetação nativa e aproximadamente 13.454 ha da agropecuária. Cerca de 41 % da área total de estudo e aproximadamente 62% da área do parque foi atingida por incêndios neste ano. A Figura 4.12 ilustra a espacialização dos incêndios na área de estudo nesse ano. Não foram observadas cicatrizes de queimadas na parte oeste do parque, contudo, foi observada novamente, áreas de vegetação natural queimada adjacentes a áreas de agropecuária queimada.

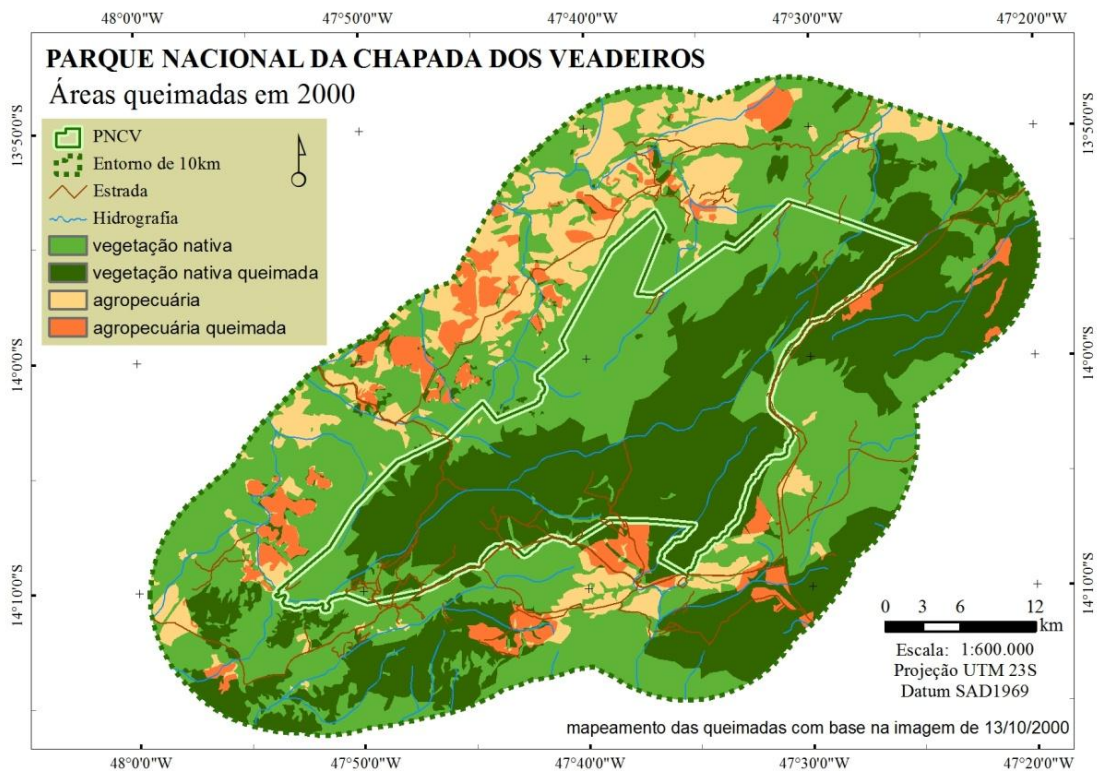


Figura 4.12. Incêndios florestais sobre a vegetação natural e área de agropecuária no PNCV e seu entorno em 2000

Sobrepondo-se as áreas mapeadas com os incêndios em 1999 e em 2000, observou-se um tipo de ‘contorno’ entre algumas áreas queimadas, de modo que algumas áreas contíguas às queimadas em 1999 queimaram em 2000, não havendo recorrência de incêndio na maior parte das áreas queimadas em 1999 (Figura 4.13).

Os formatos adjacentes e complementares entre os anos de 1999 e 2000 indicam que, possivelmente, no ano subsequente a uma queimada ainda não houve tempo suficiente para a recomposição do material combustível em volume adequado à propagação do fogo no mesmo local.

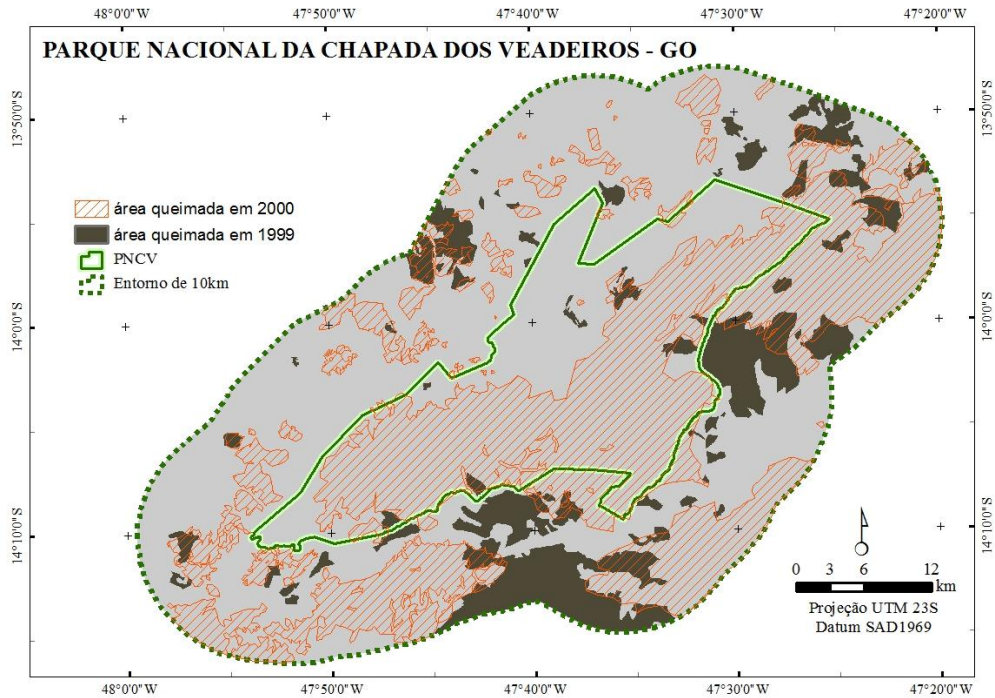


Figura 4.13. Áreas atingidas pelo fogo em 1999 e em 2000

No trabalho de França *et al.* (2007), foi observado um padrão de intervalo entre grandes e incontroláveis incêndios que começou a ocorrer periodicamente em intervalos de três anos no PNE. Esse intervalo é suficiente para o acúmulo de material combustível disponível segundo os autores. Pivello e Coutinho (1992) estimaram que o tempo para reposição de fósforo (P) e enxofre (S) perdidos durante uma queimada é de menos de um ano; na faixa de um a 3,4 anos para o cálcio (Ca); 1,6 a 4,1 anos para o potássio (K); e de um a 5,3 anos para o magnésio (Mg). Eles concluíram que um intervalo de 3 anos entre as queimadas seria inicialmente considerado adequado para estimular a reciclagem dos nutrientes retidos nas partes mortas das plantas e evitar um empobrecimento crítico no estoque de nutrientes do ecossistema. O tempo de intervalo

entre queimadas sugerido pelos autores foi confirmado por Kauffman *et al.* (1994) *apud* Miranda *et al.* (2002).

Em 2001 os incêndios atingiram cerca de 12% da área total e cerca de 4% da área do PNCV. Novamente, observou-se que a área atingida no parque localiza-se na borda (a noroeste). Esta área, região nordeste da área de estudo, ao longo da rodovia GO-118, foi a mais atingida pelos incêndios nesse ano. Observaram-se também alguns polígonos distribuídos pelo entorno do parque. Contudo, o fogo que atingiu o interior da unidade é observado, novamente, na borda (à leste) do parque (Figura 4.14).

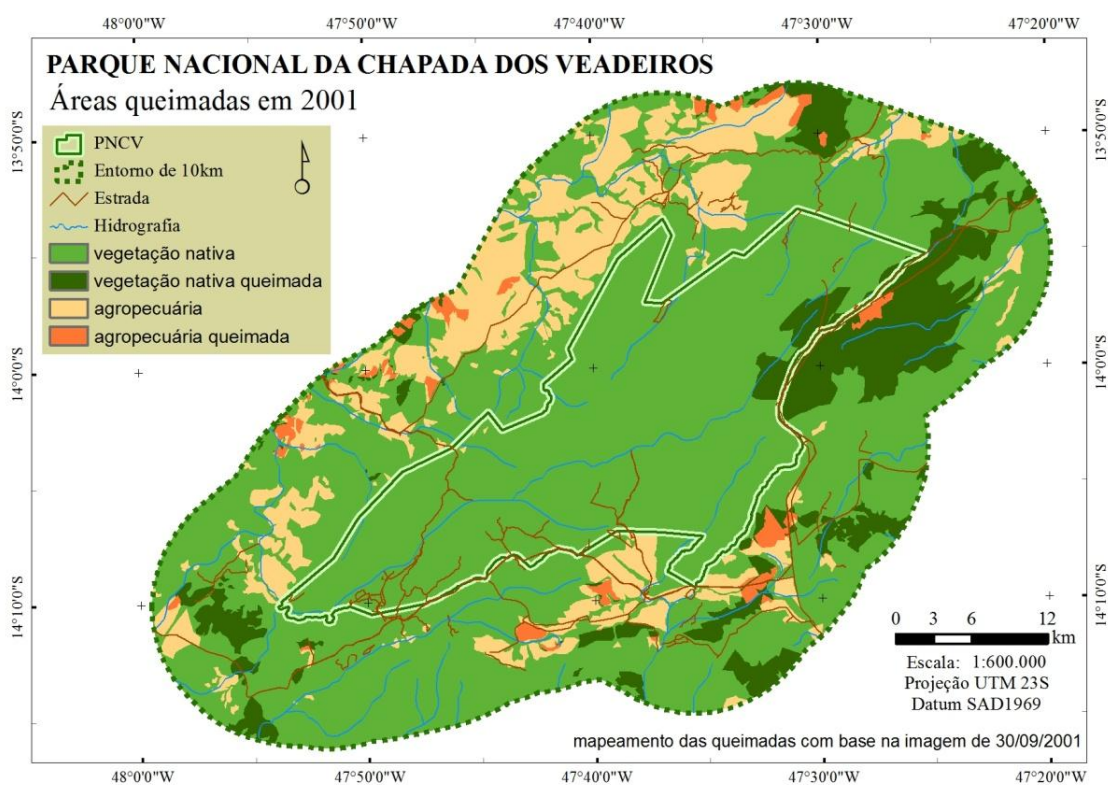


Figura 4.14. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2001

Em 2002 o percentual queimado do parque aumentou para 7%. Obteve-se este mesmo percentual queimado em relação à área total de estudo queimada. Novamente, observam-se as áreas da borda do parque sendo atingidas pelos incêndios no interior

da unidade (Figura 4.15). Os resultados de áreas queimadas em 2001 e 2002 foram relativamente baixos comparando-se aos outros anos analisados, apesar da data das imagens: 30 de setembro de 2001 e 11 de outubro de 2002.



Figura 4.15. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2002

Novamente, é importante observar que o ano de 2003 deve ser considerado como um caso especial, haja vista a data da imagem disponível para o trabalho ser de 16 de junho de 2003. Sabe-se que neste ano houve um incêndio de grandes proporções na região, portanto deve-se considerar uma lacuna de dados para este ano, já que praticamente não foi possível observar cicatrizes de queimadas na área de estudo com a cena disponível (Figura 4.16). Foi possível mapear apenas aproximadamente 304 ha e 1.657 ha de vegetação natural e agropecuária foram queimadas no entorno do PNCV, respectivamente.

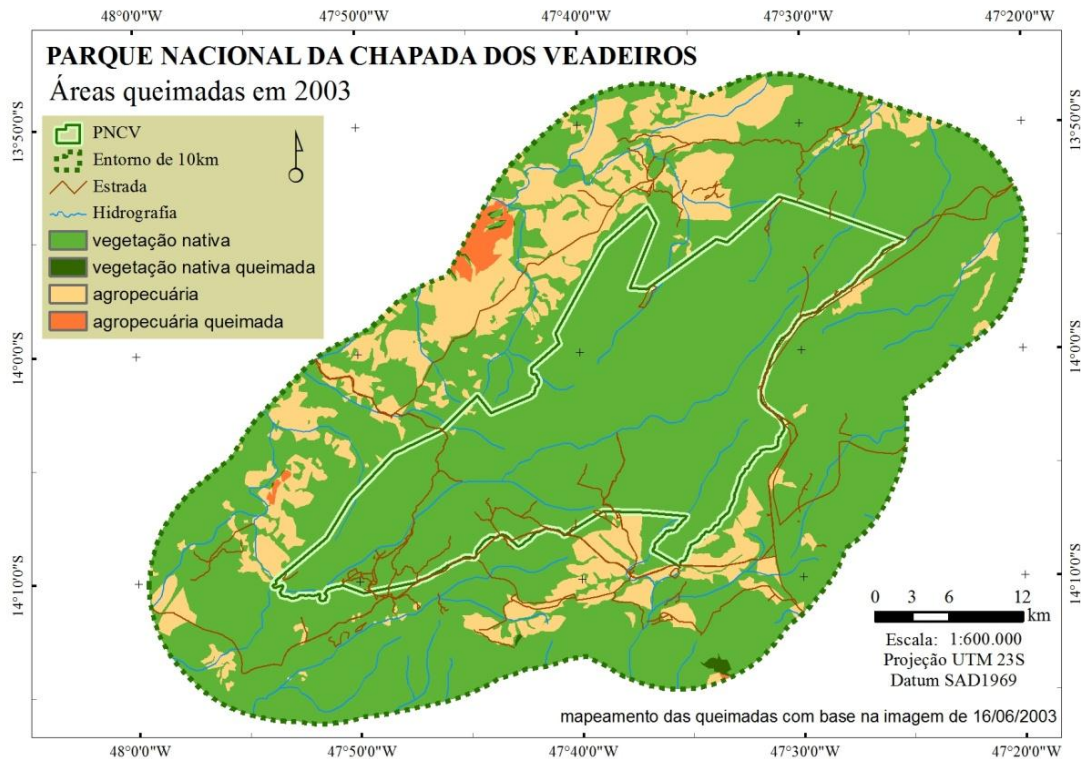


Figura 4.16. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2003

Em 2004 13% da área total foi atingida por incêndios florestais e 7% do parque foi atingido. Novamente pôde-se observar o padrão de fogo nas bordas do PNCV (Figura 4.17). Também foi possível observar que algumas áreas de vegetação natural atingidas pelo fogo foram contíguas a áreas de agropecuária queimada. A agropecuária queimada foi de aproximadamente 2.503 ha nesse ano.

Em 2005, cerca de 31.206 ha queimou. Desse total, cerca de 4.226 ha foram observados distribuídos pela borda do parque, no seu interior (Figura 4.18). A área de agropecuária queimada foi de aproximadamente 1.006 ha nesse ano.

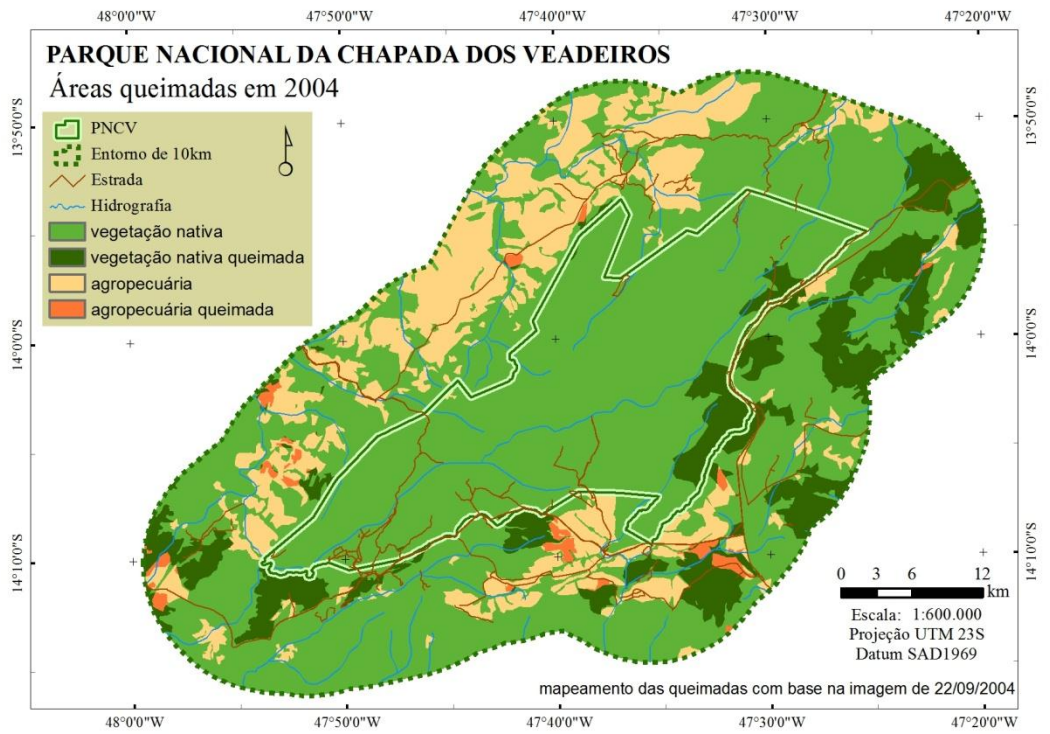


Figura 4.17. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2004

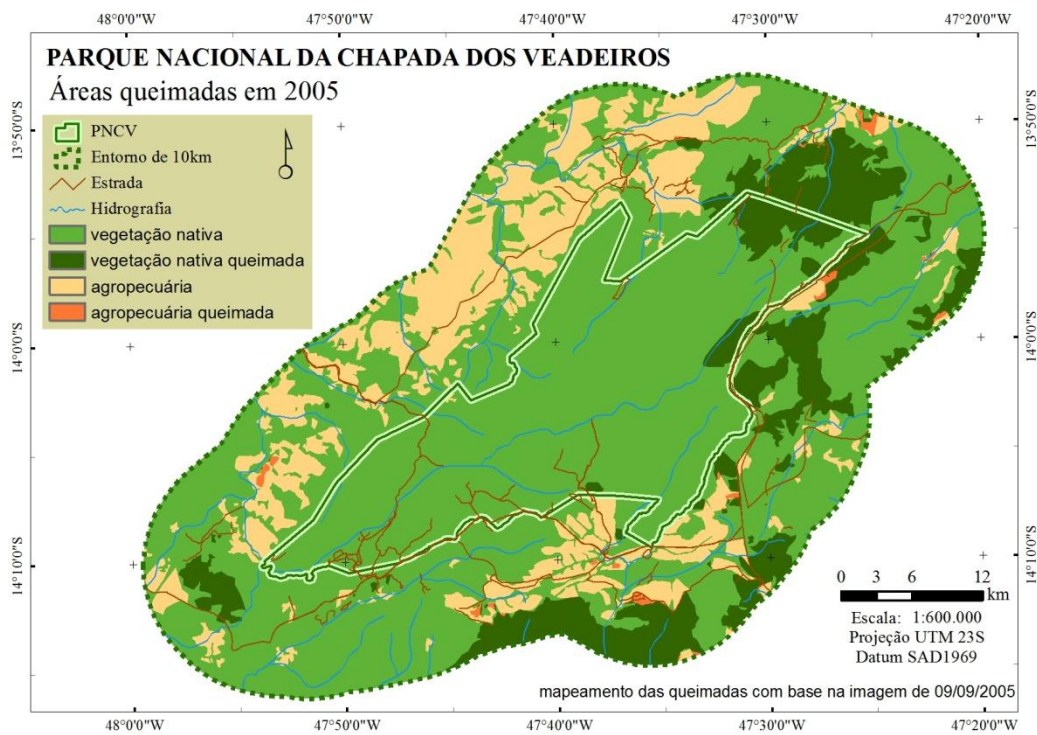


Figura 4.18. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2005

Da mesma forma como em 1999 e 2000, em 2004 e 2005 observou-se novamente a ocorrência de queimadas em áreas adjacentes uma da outra, como pode ser visto na Figura (4.19). Nesses dois anos, a ocorrência dos incêndios atingiu aproximadamente 13% da área total e cerca de 6,5 % da área do Parque, 28.086 ha em 2004 e 30.200 ha em 2005. Ambas as imagens foram adquiridas no mês de setembro. Novamente observa-se nesses dois anos que as áreas atingidas no interior do parque localizam-se na sua borda (ao norte e noroeste).

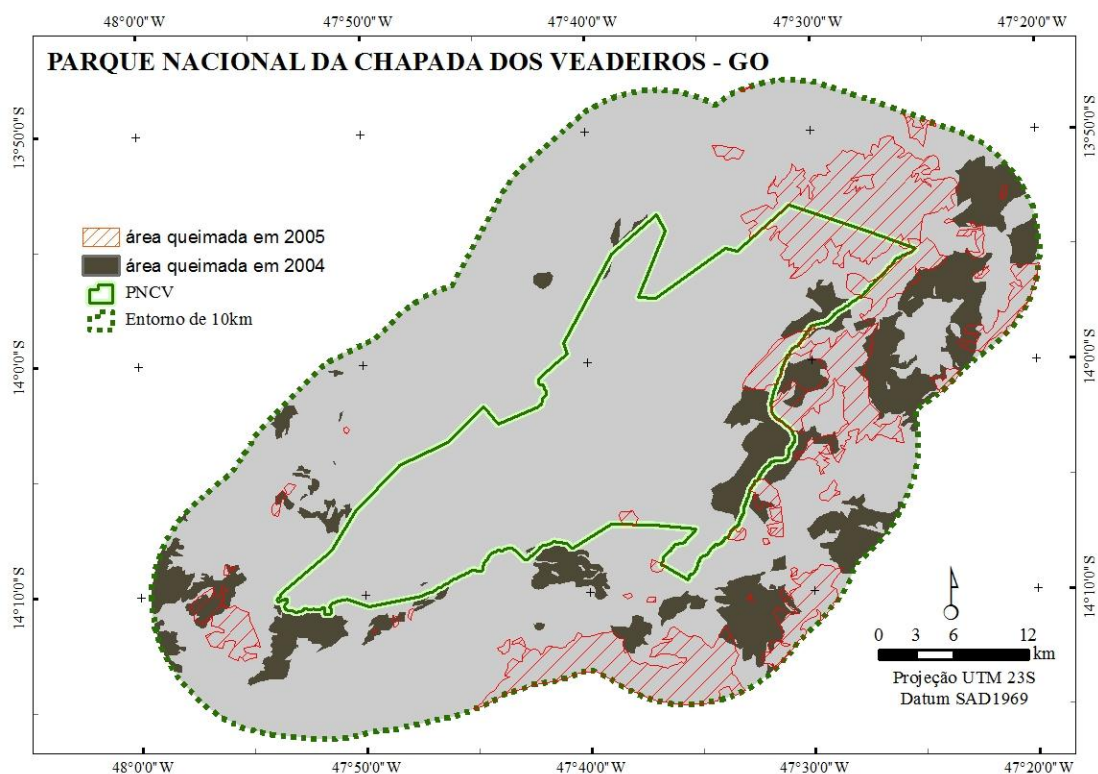


Figura 4.19. Áreas atingidas pelo fogo em 2004 e em 2005

Em 2006 foi mapeada uma área de 15.845 ha atingida pelo fogo, sendo 9.968 no interior do PNCV. Nesse ano, o padrão de incêndio dentro do parque na sua borda é repetido mais uma vez (Figura 4.20).

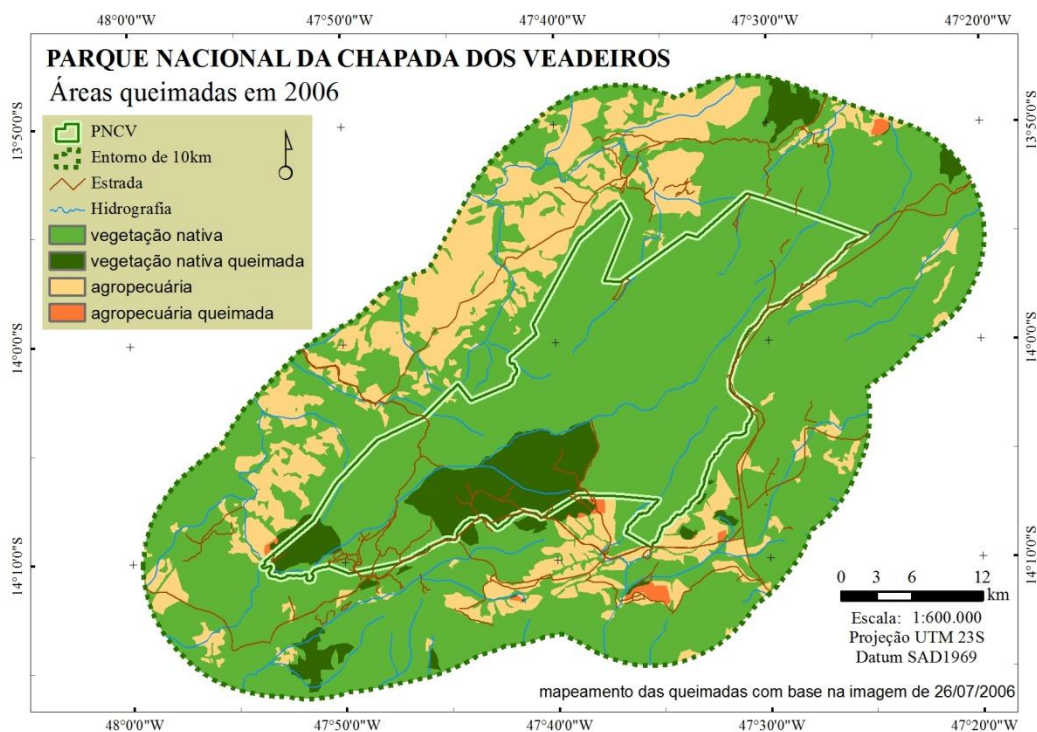


Figura 4.20. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2006

O ano de 2007 foi o ano com maior número de registros de área atingida por incêndios, tendo sido queimado cerca de 50 % da área de estudo e aproximadamente 78% do PNCV. A Figura 4.21 ilustra a distribuição espacial do fogo nesse ano. Foi o único ano do período estudado que o fogo atingiu a maioria das áreas de vegetação natural de toda a área de estudo. Interessante observar que nesse mesmo ano foi registrado um vasto incêndio florestal que atingiu mais de 10% da APA Morro da Pedreira (MG), tendo sido o maior percentual atingido durante o período analisado (1984-2007) no estudo de França e Ribeiro (2008).

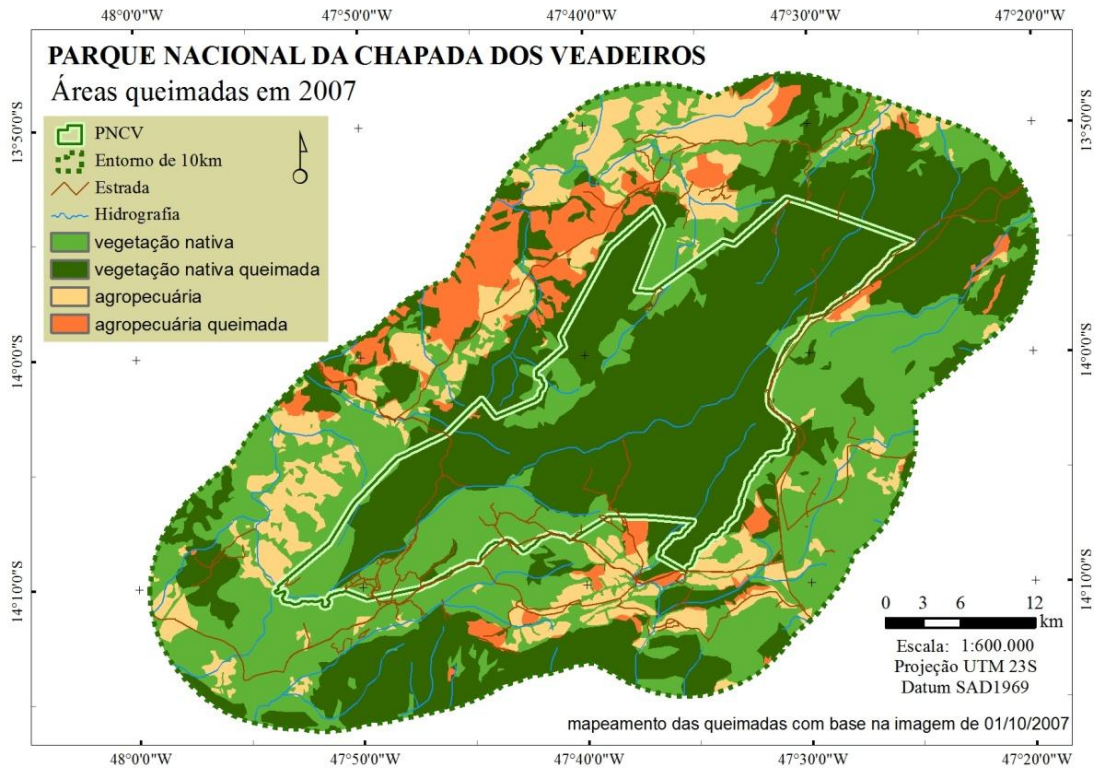


Figura 4.21. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2007

O ano de 2008 foi o ano com menos áreas atingidas por incêndios, 7.533 ha (o ano de 2003 não deve ser considerado). O interior do PNCV praticamente não foi atingido (Figura 4.22).

O total da área queimada corresponde a 3% da área de estudo. O percentual mais baixo com relação às áreas queimadas nos demais anos de estudo pode ter relação com o vasto incêndio do ano anterior.

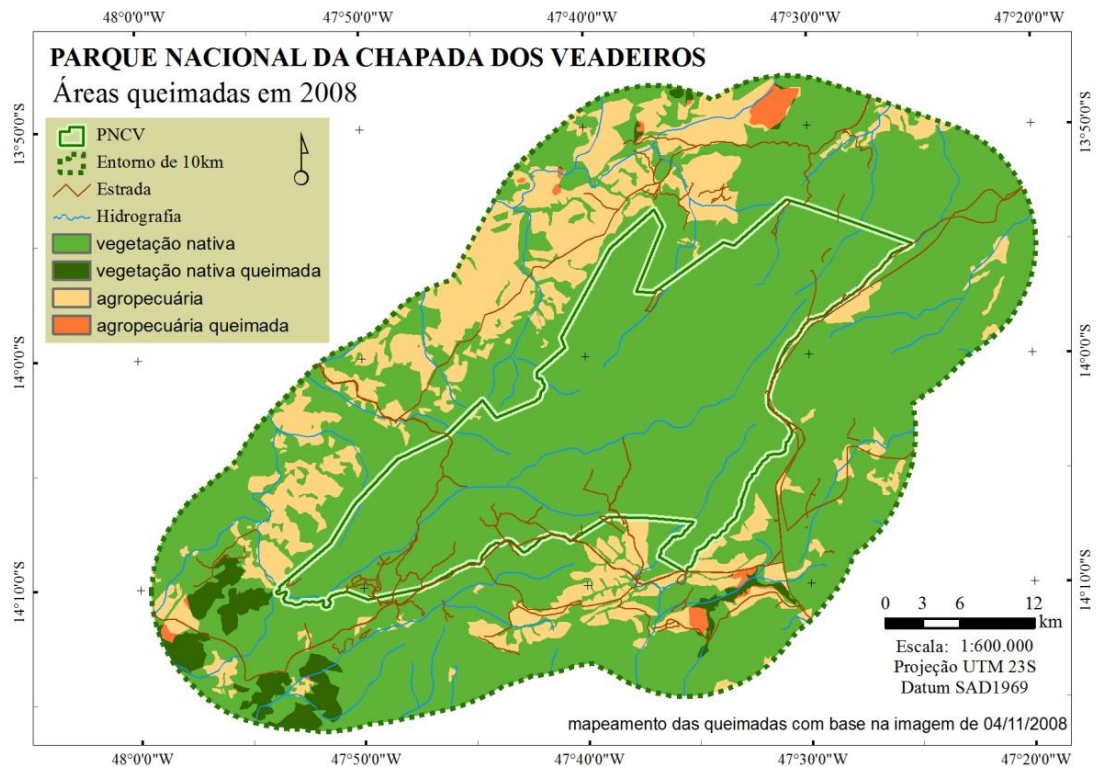


Figura 4.22. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2008

Em 2009, outra vez o fogo no interior do parque restringiu-se às suas bordas, área ao noroeste e centro-sul (Figura 4.23). A maior cicatriz de queimada desse ano (aproximadamente 5.000 ha) foi observada na divisa do parque a nordeste, o que pode indicar que o fogo pode ter originado fora da unidade. Nesse ano, o total de área queimada mapeada no interior do parque foi de cerca de 3.532 ha e um adicional de aproximadamente 10.835 ha de vegetação natural e 547 ha de agropecuária atingidos no entorno.

Das áreas queimadas na área de estudo, apenas em 2003 a agropecuária teve maior resultado sobre a vegetação natural. Entretanto, novamente vale ressaltar que o ano de 2003 não apresenta o mapeamento correspondente aos incêndios florestais ocorridos de fato.

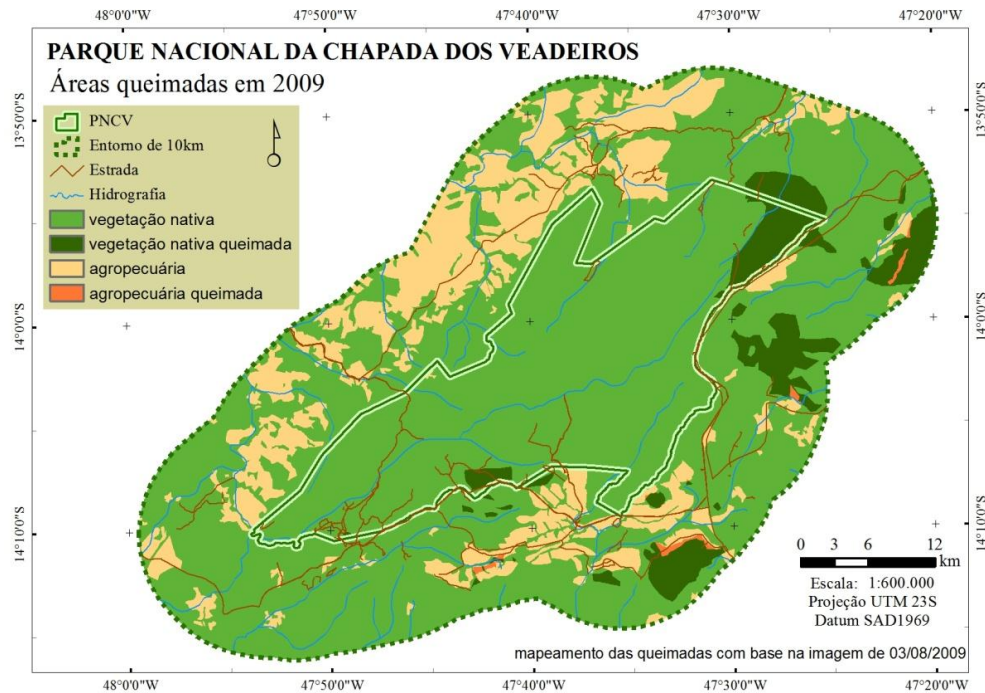


Figura 4.23. Incêndios sobre a vegetação nativa e agropecuária no PNCV e seu entorno em 2009

4.2.2. Recorrência de incêndios florestais no parque e entorno (1999-2009)

As Figuras 4.24 e 4.25, resultantes da sobreposição dos mapas anuais, mostram a recorrência mínima de áreas queimadas na área de estudo nos anos de 1999 a 2009.

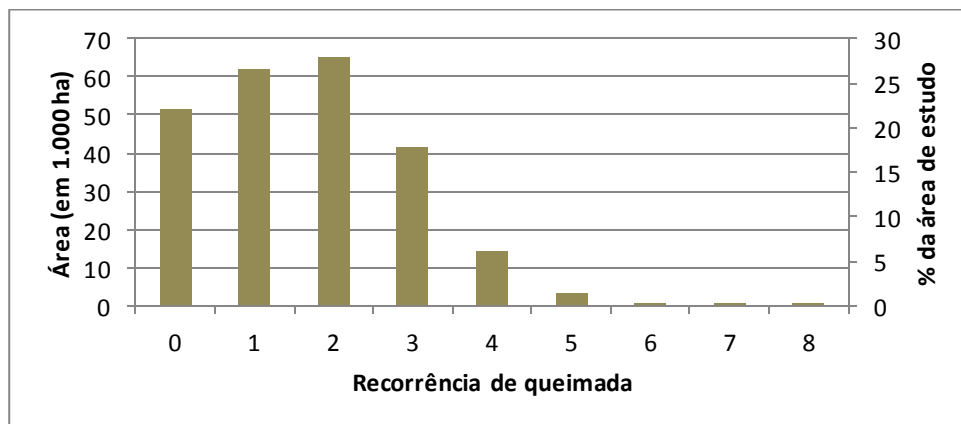


Figura 4.24. Recorrência de queimadas na área de estudo no período de 1999 a 2009

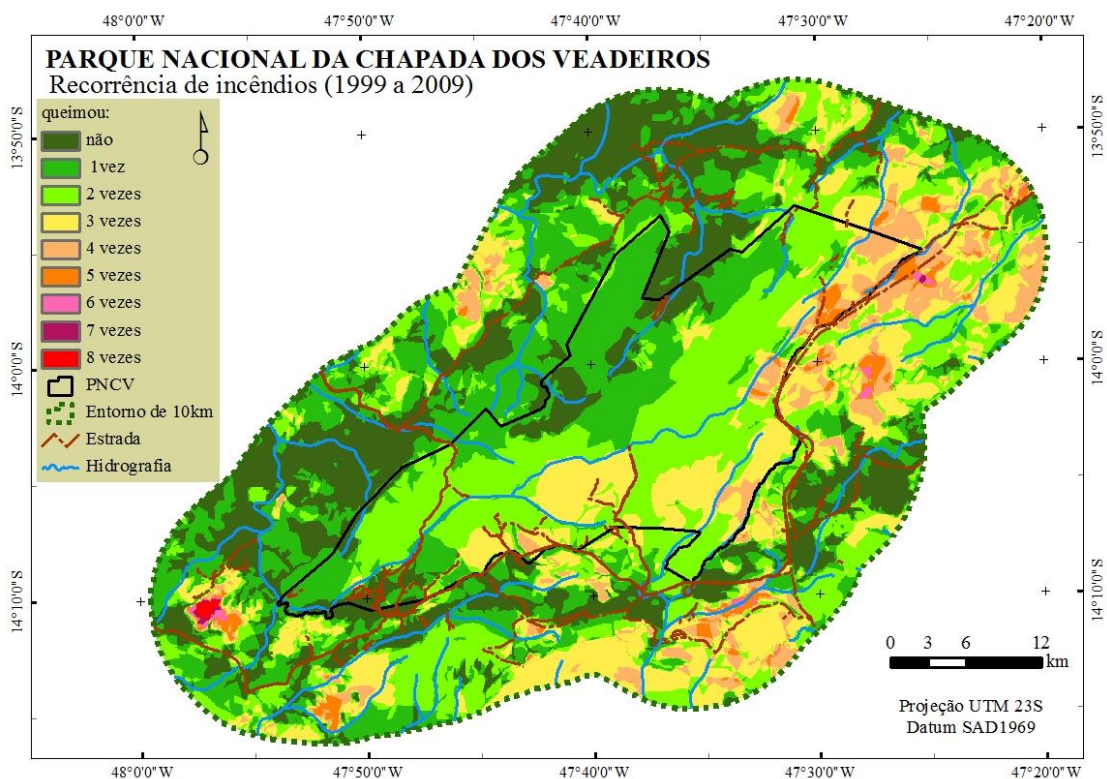


Figura 4.25. Mapa de recorrência de queimadas no período de 1999 a 2009

A Tabela 4.6 detalha a área da recorrência dos incêndios. Aproximadamente 21% da área não queimou nenhuma vez nos anos mapeados. Aproximadamente 25% da área de estudo foi atingida pelo fogo pelo menos três vezes, cerca de 52% queimou pelo menos 2 vezes, cerca de 78% queimou pelo menos uma vez.

Tabela 4.6. Recorrência de queimadas no período de 1999 a 2009.

	Número de queimadas	Área (ha)	% da área de estudo
	Não queimou	51655	21,66
Queimou no mínimo	1 vez	61830	25,93
	2 vezes	64991	27,25
	3 vezes	41416	17,37
	4 vezes	14445	6,06
	5 vezes	3375	1,42
	6 vezes	469	0,20
	7 vezes	126	0,05
	8 vezes	173	0,07

Novamente lembra-se que este resultado de recorrência de incêndios refere-se à recorrência mínima, já que não houve imagens suficientes para mapear todas as ocorrências dos incêndios. Entretanto, o mapa de recorrência aponta para algumas áreas identificadas nos estudos citados.

Nas regiões denominadas Pouso Alto e Santana foi registrada alta incidência de áreas atingidas. Foi atribuída alta ocorrência de incêndios nesta área do parque à Rodovia GO-118 e aos ventos fortes na região. Principalmente com relação à zona ‘Sede’ o presente estudo não apresentou semelhança com outros resultados apresentados sobre o fogo na região.

4.3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DOS INCÊNDIOS

Com base nos resultados do mapeamento dos incêndios florestais ocorridos no período de 1999 a 2009, a probabilidade incondicional de ocorrência de incêndios na área de estudo foi estimada em 14,8% para uma área total de aproximadamente 238.482 ha da área do PNCV e seu entorno.

Os resultados estatísticos de vários fatores que afetam a ocorrência de incêndios florestais na área de estudo foram estimados com o modelo Probit e são apresentados abaixo. A Tabela 4.7 refere-se aos resultados da análise de regressão da ocorrência de incêndios no período de 1999 a 2009 na área de estudo.

Tabela 4.7. Resultados da análise da regressão da ocorrência de incêndios

Variáveis e Constante	Coefficiente	Erro Padrão	z	P>z	[95% Intervalo Confiança]	
Declividade (graus)	0,0072	0,0057	1,26	0,208	-0,004	0,018
Altitude (m)	0,0015	0,0003	6,00	0,000	0,001	0,002
Orientação das encostas	-0,0004	0,0005	-0,98	0,328	-0,001	0,000
Agropecuária (sim/nao)	-0,0865	0,1315	-0,66	0,511	-0,344	0,171
Ano (Omitido 1999):						
Ano 2000	1,0174	0,1641	6,20	0,000	0,696	1,339
Ano 2001	0,0507	0,1819	0,28	0,780	-0,306	0,407
Ano 2002	-0,0569	0,1855	-0,31	0,759	-0,421	0,307
Ano 2003	-1,4073	0,3977	-3,54	0,000	-2,187	-0,628
Ano 2004	0,1528	0,1785	0,86	0,392	-0,197	0,503
Ano 2005	0,2446	0,1760	1,39	0,165	-0,100	0,590
Ano 2006	-0,1760	0,1922	-0,92	0,360	-0,553	0,201
Ano 2007	1,2242	0,1627	7,52	0,000	0,905	1,543
Ano 2008	-0,8230	0,2541	-3,24	0,001	-1,321	-0,325
Ano 2009	-0,6450	0,2307	-2,80	0,005	-1,097	-0,193
Localização:						
Parque (dentro/ fora)	-0,2595	0,1187	-2,19	0,029	-0,492	-0,027
Longitude (utm-km)	-0,0124	0,0052	-2,40	0,016	-0,022	-0,002
Latitude (utm-km)	-0,0114	0,0071	-1,61	0,108	-0,025	0,003
Proximidade de cidades (km)	0,0300	0,0094	3,20	0,001	0,012	0,048
Proximidade de estrada (km)	0,0202	0,0232	0,87	0,385	-0,025	0,066
Constante	96,0816	5,9418	1,62	0,106	-0,204	2,125
Probabilidade log: -63,182416; Pseudo R2 = 0,2290; n = 1958						
Probabilidade incondicional de ocorrência de incêndio na área de estudo = 14,8%						

Com base nestes resultados, foi possível estimar que o efeito da declividade do terreno (graus) na ocorrência de incêndios florestais não foi estatisticamente significativa na área de estudo. Porém, isto não implica que a declividade não tenha tido nenhum efeito nas características do incêndio (por exemplo, a intensidade do fogo). Por outro lado, o modelo predisse que o efeito do aumento da altitude na área está positivamente relacionado com a ocorrência de incêndios florestais. Os resultados mostraram que a variável altitude é significativa a 99% de probabilidade, com a

probabilidade média de ocorrer incêndios 17,5% maior quando a altitude aumenta de 400 para 1300 metros (Figura 4.26).

Apesar de ter sido observada relação significativa entre a altitude e a ocorrência do fogo, essa relação é inversamente proporcional à esperada, pois, segundo o modelo, as áreas mais altas têm maior probabilidade de ocorrência de fogo, contrariando a literatura citada sobre o assunto.

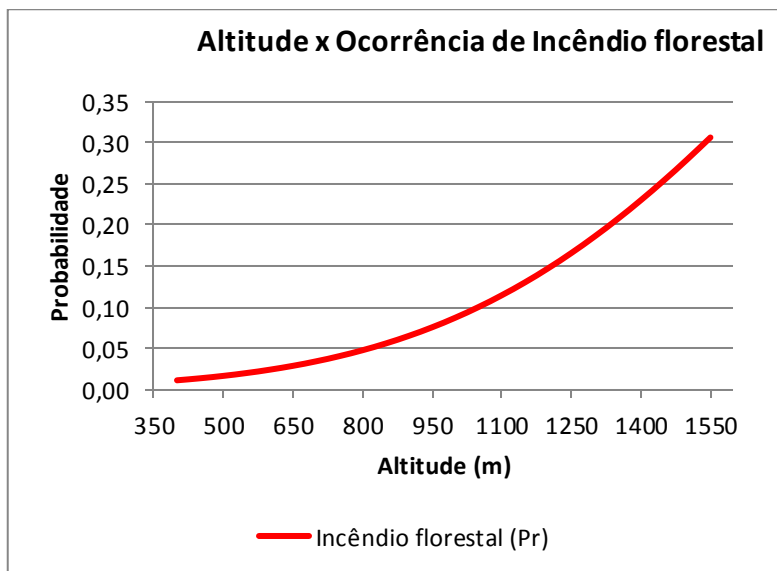


Figura 4.26. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da altitude

A probabilidade de incêndios ocorrerem distante da cidade é maior que nas proximidades. A probabilidade aumenta 20% quando se afasta 40 quilômetros da cidade, a 99% de probabilidade (Figura 4.27).

Outra vez o resultado do modelo contraria o esperado, já que é prevista maior ocorrência de incêndios quanto mais perto da fonte antrópica. Uma área urbana é considerada uma fonte de ignição pela literatura.

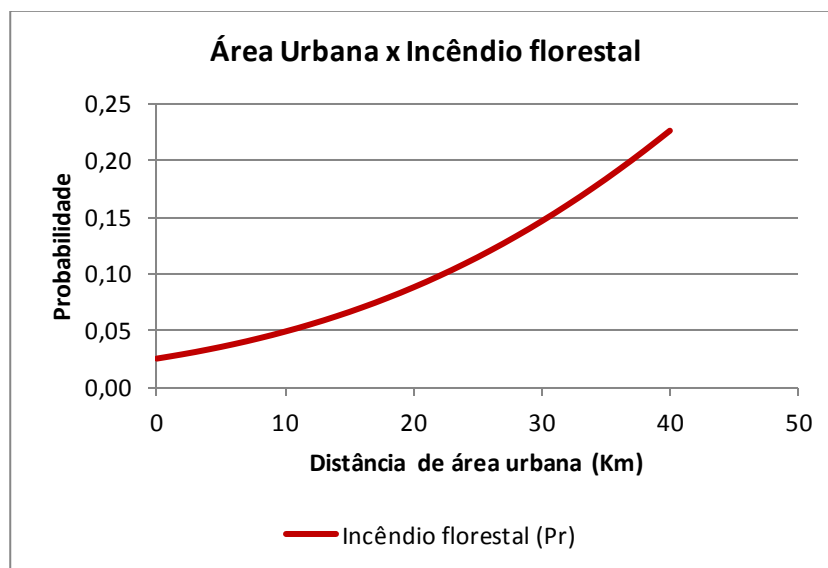


Figura 4.27. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da distância das áreas urbanas

A probabilidade de incêndios aumenta no sentido leste para oeste do PNCV. A probabilidade aumenta 5,3% a cada 20 quilômetros no sentido leste-oeste, a 95% de probabilidade (Figura 4.28).

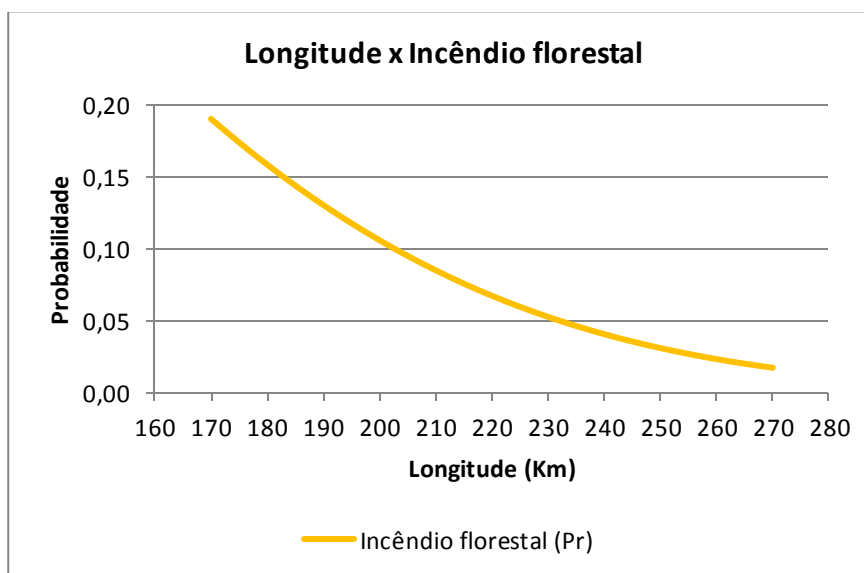


Figura 4.28. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação longitudinal

A probabilidade de ocorrer incêndios florestais em 2000 e 2007 foram significativamente maiores comparadas com o ano de 1999, a 99% de probabilidade. Já para os anos de 2008 e 2009 a probabilidade de ocorrer incêndio foi significativamente inferior a 1999, a 99% de probabilidade (2003 nem pode ser considerado). Os demais anos a diferença não foi estatisticamente significativa comparados com o ano de 1999.

Com base nestes resultados do modelo Probit, observou-se que a maioria dos anos estudados, há uma probabilidade ligeiramente maior de ocorrência de incêndios dentro do Parque do que em seu entorno estudado. Contudo, quando somados os valores das áreas queimadas em cada ano, aproximadamente 274.812 ha foram queimados no entorno e 120.923 ha no interior do parque. Provavelmente este resultado probabilístico se deve ao fato de que a área proporcional queimada no interior do PNCV ser ligeiramente maior (1,86) do que fora do PNCV (1,58).

Algumas variáveis como distância de estradas e de áreas urbanas, que comumente são consideradas fatores de origem de incêndios florestais, não apresentaram resultados estatisticamente significantes no modelo Probit para este estudo de caso. Especificamente, proximidade às estradas poderiam ser significantes se estas fossem separadas por intensidade de tráfego ao invés de se considerar todas juntas, como foi adotado na metodologia.

A ocorrência de incêndios em áreas mapeadas como vegetação nativa e áreas de agropecuária também não foram estatisticamente significativas para esta análise. Neste caso, o modelo probabilístico indica que os incêndios podem ocorrer em qualquer tipo de uso da terra de forma semelhante. Uma análise complementar poderá ser feita em futuros estudos, incluindo uma análise de distância euclidiana das queimadas de agropecuária, buscando entender potenciais fontes de ignição dos incêndios florestais.

A Figura 4.29 mostra as variáveis temporais e espacial que tiveram efeitos estatisticamente significativos na ocorrência de incêndios na área de estudo. Os anos

de 2000 e 2007 apresentaram maior probabilidade de ocorrência de incêndios comparados com o ano de 1999. Embora o ano de 2007 tenha apresentado um total de área atingida por fogo maior que 2000, apresentou probabilidade um pouco inferior. Tal fato pode estar relacionado à distribuição espacial mais homogênea dos incêndios em 2000 comparados com 2007, que teve incêndios registrados em polígonos maiores e contínuos (agrupados). Já a probabilidade de ocorrência de incêndios dentro do parque é ligeiramente superior aos incêndios fora do parque.

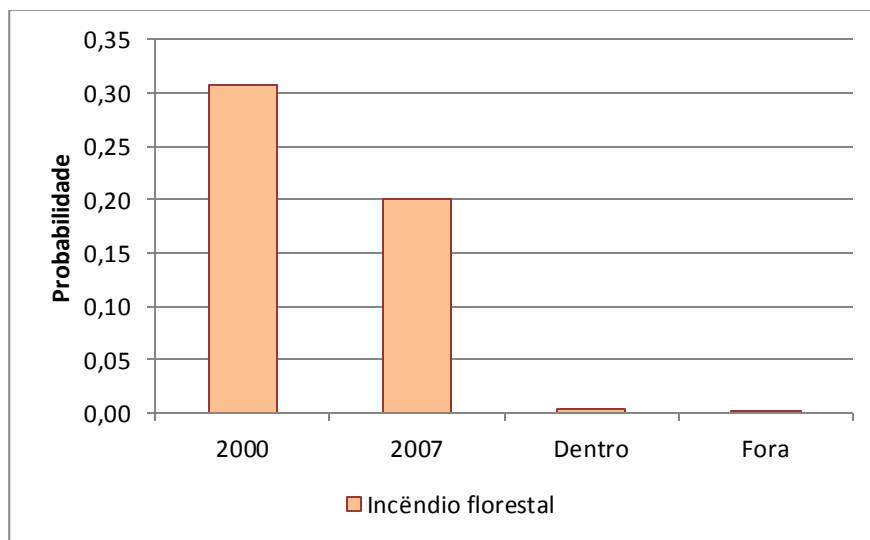


Figura 4.29. Probabilidade da ocorrência de incêndio dentro e fora do PNCV e para os anos de 2000 e 2007

Com relação às demais variáveis consideradas no estudo que não foram significativas na probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, pode-se fazer uma consideração sobre as estradas e áreas urbanas, especialmente. Sobre as estradas, provavelmente estas não foram significativas, pois foram consideradas todas as vias (asfaltadas e de piçarra) no cálculo de probabilidade. É possível notar que as áreas mais recorrentes de incêndios estão próximas da rodovia GO-118 (asfaltada) e da GO-239. Esta última, apesar de ainda se encontrar em processo de pavimentação, apresenta tráfego consideravelmente maior do que as demais (com exceção apenas da GO-118). Portanto, recomenda-se, que em novas abordagens sobre este tema, sejam

consideradas apenas essas duas rodovias no teste para verificação da probabilidade de ocorrência de incêndios florestais na área de estudo.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sensoriamento remoto é uma ferramenta eficiente para o estudo da dinâmica temporal do fogo em UCs. Apesar das limitações com relação à disponibilidade de dados, foi possível mapear áreas atingidas por incêndios florestais na região em cada ano do estudo, bem como mapear a recorrência dos incêndios durante os 11 anos trabalhados e efetuar análises com os resultados obtidos com a confiabilidade de aproximadamente 84%. Contudo, para um refinamento do mapeamento, em estudos posteriores, recomenda-se ampliar o número de imagens de satélites na análise.

Ao longo do período estudado foi observado um aumento de aproximadamente 10% na área de agropecuária no entorno do parque, entretanto não foi observado um aumento substancial na ocorrência do fogo. Isso pode ser devido ao período relativamente curto de análise, pois o fogo tem aumentado de frequência nos últimos milhares de anos (FRANÇA *et al.*, 2007).

Os resultados ainda indicaram uma maior incidência de fogo nas áreas de vegetação natural em relação à agropecuária já estabelecida. Isto se deve possivelmente ao fato de que o fogo utilizado na prática agropecuária tende a ser controlado pelo proprietário da fazenda e/ou seus trabalhadores somente dentro do limite de sua propriedade. O mapeamento das áreas queimadas dentro do parque sugere uma tendência ao fluxo do fogo de fora para dentro, uma vez que na maioria das vezes as bordas da UC foram atingidas. Em alguns anos foi possível observar áreas queimadas no interior do parque estavam contíguas a áreas de vegetação nativa queimadas fora do parque, estas por sua vez eram adjacentes a áreas queimadas em propriedades agropecuárias, o que indica uma possível correlação entre os incêndios dentro do PNVC e queimadas nas propriedades de uso agropecuário circunvizinhas.

O modelo probabilístico aplicado não apontou os fatores: estradas, áreas urbanas e, principalmente, as agropecuárias, como significativos na probabilidade de ocorrência de incêndios. Por outro lado, o modelo indica a altitude como fator significativo, certamente devido à alta recorrência de queimadas na região do Pouso Alto, a mais elevada do Planalto Central. Numa análise probabilística, é muito importante que os *inputs* sejam adequadamente selecionados e compilados para garantir a eficiência do modelo aplicado. Nesse sentido, alguns procedimentos poderão ser testados em novos estudos, como por exemplo, a utilização do mapa de distância euclidiana das áreas de uso agropecuário ao invés apenas do mapeamento dessas áreas. Ainda, a variável *estradas* poderia limitar-se às vias mais trafegadas da área de estudo, a GO-118 e GO-239.

Do ponto de vista da gestão do fogo na região, o mapa de recorrência mínima de incêndios florestais gerado para a área de estudo representa uma ferramenta útil para o planejamento e atuação dos órgãos competentes, indicando as áreas prioritárias para o desenvolvimento de ações preventivas e de fiscalização. Entre as áreas evidenciadas pelo mapa de recorrência de queimadas está o Pouso Alto, apontado pelo MMA (2005) como uma das áreas mais importantes para a conservação da biodiversidade no Cerrado. Possivelmente, a atual frequência de fogo está comprometendo a riqueza de espécies e características abióticas na área. Este assunto é de grande importância, devendo ser desenvolvidos futuros estudos nessa abordagem.

Embora existam leis para coibir incêndios em áreas de vegetação nativa, uma vez que o fogo atravessa a propriedade agropecuária e atinge, por exemplo, uma área pública, seu controle e eventuais danos ocorridos ficam sob a responsabilidade apenas do órgão competente. Ressalta-se assim, a necessidade de maiores esforços de fiscalização juntamente com a educação ambiental para com os proprietários rurais do entorno do PNVC para a prevenção de incêndios nessa UC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. (1995). De grão em grão, o Cerrado perde espaço - Cerrado: impactos do processo de ocupação. Brasília: WWF-Brasil: PRÓ-CER. 66p.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. J. L. D de.; NASCIMENTO, E. R. P. do. (2003). Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na simulação de campos de visada de pontos propostos para observação de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 415-421.
- ANSELIN, L. (2002). Under the hood: Issues in the specification and interpretation of spatial regression models. *Agricultural Economics* 27(3): 247-267.
- ARIMA, E.; SIMMONS, C.; WALKER, R.; COCHRANE, M. (2007). Fire in the Brazilian Amazon: A spatially explicit model for policy impact analysis. *Journal of Regional Science*. 47(3):541-567.
- BATISTA, A. C. (2000). Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta* 30 (1/2): 45-54.
- BRASIL (1989). Decreto 2.661, de 8 de julho de 1989.
- BRAUMANN, R.; CARNEIRO, F. G. (2002). Os agentes econômicos em processo de integração regional – Inferências para avaliar os efeitos da ALCA. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 33p.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press.
- COUTINHO, L. M. (1990). Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Fire in the tropical biota. Ed J. G. Goldammer. New York: Springer-Verlag. Cap. 6, p. 82-105
- CHOMITZ, K. GRAY, D. (1996). Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize. *The World Bank Economic Review* 10(3):487-512.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of environment*, v. 29, p. 147-159.
- DARDENNE, M. A.; CAMPOS, J. E. G. (2002). Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, GO - Sítio de grande beleza cênica do centro-oeste brasileiro. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A. ; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. L. C. (Edits.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília:

- DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v.01. p.323-333.
- EVA, H.; LAMBIN, E. F. (1998). Remote sensing of biomass burning in tropical regions: sampling issues and multisensory approach. *Remote Sensing of Environment*, v.64, n.3, p. 292-315.
- FELFILI, M. J.; REZENDE, R. P. (2003). Conceitos e métodos em fitossociologia. *Comunicações Técnicas Florestais*, v.5, n. 1. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 68p.
- FERRAZ, S. F. de B.; VETTORAZZI, C. A. (1998). Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). IPEF – ESALQ. Universidade de São Paulo. *Scientia Forestalis*, n. 53, p. 39-48.
- FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. (2006). Cobertura vegetal remanescente em Goiás: distribuição, viabilidade econômica e monitoramento. *In: Ferreira Junior., L. G. (org.). Conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental em Goiás: prioridades, estratégias e perspectivas. Goiânia - GO. p.148 – 164.*
- FIEDLER, N. C.; MERLO, D. A.; MEDEIROS, M. B. de. (2006). Ocorrência de Incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. *Ciência Florestal*, 16, 2. Universidade de Santa Maria. Santa Maria, Brasil. p153-161.
- FELFILI, M. J.; REZENDE, R. P. (2003). Conceitos e métodos em fitossociologia. *Comunicações Técnicas Florestais*, v. 5, n. 1. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 68p.
- FRANÇA, D. de A.; FERREIRA, N. J. (2005). Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE. p. 3017-3023.*
- FRANÇA, H. (2000). *Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA*. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
- FRANÇA, H. (2004). Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA. *In: Ferreira, N. J. (Org.). Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 57-78.*
- FRANÇA, H.; RAMOS-NETO, M. B.; SETZER, A. (2007). O fogo no Parque Nacional das Emas. *MMA, Série Biodiversidade, v.27. 140p.*
- FRANÇA, H.; RIBEIRO, K. T. (2008). Mapeamento de queimadas no Parque Nacional da Serra do Cipó e na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira,

- MG: 1984-2007. Ministério do Meio Ambiente. 75 p. (relatório técnico não publicado).
- GEOAMBIENTE. (2005). Projeto JICA (Corredor ecológico do Cerrado Paranaíba-Pirineus). Metodologia empregada no processamento das imagens QuickBird, Ikonos e Aster. São José dos Campos, 2005, 16 p. (relatório técnico não publicado).
- GSFC. (2009). Goddard Space Flight Center. Landsat Program. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em novembro de 2009.
- HENRIQUES, R. P. B.; HAY, J. D. (2002), Patterns and dynamics of plant populations. *In*: Oliveira, P. S. and Marquis, R. J. (Eds.). The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press. p. 140-158
- HENRIQUES, R.P.B. 2005. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. *In* Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. (A. Scariot, J.C. Souza-Silva & J.M. Felfili, orgs.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p.73-92
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2002). Plano de manejo de fogo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. *Prevfogo*. Brasília, DF. 32p.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2009). Relatório de ocorrência de incêndios em Unidades de Conservação Federais 2005-2008. *Prevfogo*. Brasília, DF. 31p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004). Mapa de Biomas do Brasil. Malha Municipal Digital. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em fevereiro de 2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2005). Manual técnico de pedologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed. - Rio de Janeiro – RJ. 300p
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2009). Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Brasília, DF. 226p.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2009). Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites. Sistema PRODES, DETER, DEGRAD e Queimadas 2007-2008. São José dos Campos/SP. dez/2008. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em dezembro de 2009.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. (2005). Conservation of brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707–713.

- LACEY, C., WALKER, J.; NOBLE, I. R. (1982). Fire in australian tropical savannas. In *Ecology of tropical savannas* (B.J.Huntley & B.H. Walker, eds.). Springer-Verlag, Berlin, p.246-272.
- LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. (2006). Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). *Acta botânica brasileira*. n.20. v.4. p. 927 – 936.
- MACEDO, H. de A.; SILVA, A.; NEVES, S. M. A. da S.; NEVES, R. J. (2009). Avaliação das queimadas no Pantanal do Paraguai na região de Corumbá e Ladário, MS no período de maio de 2009. *Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá. Embrapa Informática Agropecuária/INPE*, p. 452-459.
- MANTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. (1999). Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade do Cerrado e Pantanal. Brasília: INPE/ Ministério do Meio Ambiente/Funatura/ Conservation International/ Fundação Biodiversitas/ Universidade de Brasília. 32 p.
- MEDEIROS, M. B. (2002). Manejo de fogo em unidades de conservação do cerrado. *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer, Brasília*, v. 10, n. 1, p. 76-89.
- MEDEIROS, M. B. de.; MIRANDA, H. S. (2005). Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta botânica brasileira*. n.19. vol.3. p. 493 – 500.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. (1998). Flora vascular do cerrado. In: M.S.; S.P. Almeida (Eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa-CPAC. Planaltina, DF. p. 287- 556.
- MENDONÇA, R. C. de.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C. da.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. de S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. (2008). Flora vascular do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. de.; Ribeiro, J. F. (eds.) *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. v.2. p. 421 – 442.
- MENESES, P. R.; MADEIRA-NETTO, J. S. (2001). Sensoriamento remoto. Reflectância dos alvos naturais. Universidade de Brasília. Brasília – DF. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. 262p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. (2005). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. S, A.; S-S, J. C.; F, J. M. (Orgs). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 439 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. (2009). *Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no Bioma Cerrado, 2002 a 2008: dados revisados*.

- Centro de Informação, Documentação Ambiental e Editoração Luís Eduardo Magalhães – CID Ambiental. Brasília, DF. 69 p.
- MIRANDA, H. S., BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. (2002). The Fire Factor. In Oliveira, P. S. e Marquis, R. J., eds., *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*, Nova York. Columbia University Press. p. 51-68.
- MORAIS, J. C. M. de. (2007). Incêndios florestais e queimadas. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais – PREVFOGO. 16p.
- MOREIRA, M. A. (2003). Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2a ed. UFV. Viçosa - MG. 307p.
- MOREIRA, M. A. (2005). Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3a ed. UFV. Viçosa - MG. 320p.
- NASA (2009). Imagens ASTER. Disponível em: <<http://free-gis-data.blogspot.com/2009/04/aster-global-digital-elevation-model.html>>. Acesso em novembro de 2009.
- NASA (2010). National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<http://LANDSAT.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em janeiro de 2010.
- NOGUEIRA, G. S.; RIBEIRO, G. A. RIBEIRO, C. A. A. S. ; SILVA, E. P. (2002). Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. Revista *Árvore*, maio-junho, Sociedade de Investigações Florestais. v. 26, n. 003. p. 363-369. Sensoriamento remoto
- NOVO, E. M. de M. (1992). Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 2ª edição, 308p.
- PÉLLICO-NETTO, S.; BRENA, D. A. (1997). Inventário florestal, vol 1. Curitiba, PR. 316p.
- PEREIRA, A. C. (1992). Monitoramento de queimadas na região dos cerrados utilizando dados AVHRR/NOAA corrigidos por dados TM/Landsat. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 187 p.
- PEREIRA JÚNIOR, A. da C. (2002). Métodos de geoprocessamento na avaliação da suscetibilidade do cerrado ao fogo. Tese de Doutorado em Ciências da Área de Concentração em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. 97p.

- PEREIRA JR., A. C.; SETZER, A.W. (1996). Comparison of fire detection in savannas using AVHRR's channel 3 and TM images. *Int.J.Remote Sensing*, 17(10). p.1925-1937.
- PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. (1992). Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, 8 (4):487-497.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P (eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. p. 89 – 168.
- RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L. de P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. (2008). Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 38, n. 3. p.561-572.
- SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (1998). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. p.89-166.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. (2008). Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. vol. 43, n. 1, p. 153-156.
- SANTOS, J. R. dos.; MALDONALDO, F. D.; GRAÇA, P. M. L. A. (2005). Integração de imagens landsat ETM e Cebers para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. *Revista Brasileira de Cartografia*. n. 57, v.1. p.15-21.
- SANTOS, R. P. (2004). Geoprocessamento para mapeamento do uso e ocupação e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão dos Porcos – Tocantins. Monografia (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins – TO.
- SANTOS, R. P. (2010). Os principais fatores do desmatamento na Amazônia (2002-2007) – uma análise econométrica e espacial. Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília. 129 p.
- SCHOWENGERDT, R. A. (2007). *Models and Methods for Image Processing*. 4ª edição, San Diego: Academic Press.
- SILVA, A. L. M. da. (2003). A utilização do geoprocessamento e do sensoriamento Remoto na Secretaria da Fazenda do Estado de Goiás. *Secretaria de Estado da Fazenda de Goiás Superintendência de Gestão da Ação Fiscal Coordenação de Informações Rurais*.

- SNUC. (2000). Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em dezembro de 2009.
- SOARES, R.V. (1985). Incêndios florestais – Controle e uso do fogo. Curitiba, FUPEF, 213p.
- SOUZA, S. F. de.; ARAÚJO, M. do S. B. de.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças do uso da terra no Município de Serra Talhada – PE utilizando análise por componentes principais (ACP). Revista de Geografia. Recife: UFPE-DCG/NAPA, v. 24, n.3. p85-100.
- UNESCO (2001). Cerrado Protected Areas: Chapada dos Veadeiros and Emas National Parks. WHC Nomination Documentation, n. 1035. 664p.
- WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F.(2008).O conceito de savana e de seu componente Cerrado. *In*: Sano, S. M.; Almeida, S. P. e Ribeiro, J. F. (Eds.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados. p. 19-45.
- WOOLDRIDGE, J. M. (2000). Introductory econometrics: a modern approach. South-Western College Publishing.