

UNIVERSIDADE DE LISBOA
Faculdade de Ciências
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia



Utilização de Ferramentas de Geoprocessamento para Análise dos Focos de Calor e Áreas Queimadas no período de 2011 a 2013 e Determinação de Locais Ideais para Instalação de Torres de Vigia no Parque Nacional Chapada Diamantina, Bahia, Brasil

Tiago Duarte Batista

Dissertação
Mestrado em Sistema de Informações Geográficas – Tecnologias e Aplicações

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA
Faculdade de Ciências
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia



Utilização de Ferramentas de Geoprocessamento para Análise dos Focos de Calor e Áreas Queimadas no período de 2011 a 2013 e Determinação de Locais Ideais para Instalação de Torres de Vigia no Parque Nacional Chapada Diamantina, Bahia, Brasil

Tiago Duarte Batista

Dissertação
Mestrado em Sistema de Informações Geográficas – Tecnologias e Aplicações

Orientadora: Prof.^a Doutora Ana Cristina Navarro Ferreira

2014

Resumo

Para se analisar a complexidade da dinâmica do fogo na Unidade de Conservação (UC) Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) é preciso dispor de um arsenal também complexo de informações, considerando principalmente as alternativas capazes de monitorar e combater os focos de incêndios. Com o desenvolvimento tecnológico é possível hoje obter novos e modernos meios de planejar e gerir as ações de monitoramento e combate aos incêndios e queimadas criminosas, a partir dos diversos dados que são disponibilizados gratuitamente e por fontes confiáveis. Os dados obtidos gratuitamente pelos vários sensores dos satélites, neste caso os focos de calor registrados pelos satélites do INPE e as imagens orbitais do ASTER-GDEM, *Landsat 5 TM*, *Landsat 8 OLIS/TIRS* e *IRS-P6 Resourcesat III* cobrindo a UC no período de 2011 até 2013, interligados com a capacidade de controlar grandes quantidades de dados espacialmente distribuídos através de um SIG e os trabalhos de campo, podem fornecer todas as informações necessárias para uma análise completa sobre eficazes meios de monitoramento e combate aos focos de incêndio registrados no parque e na sua Zona de Amortecimento (ZA). Neste sentido foi pensado em analisar estatisticamente a distribuição espacial e temporal dos focos de calor disponíveis para o PNCD e sua ZA, bem como identificar e quantificar as áreas queimadas através da classificação de imagens de satélites, fornecendo informações atualizadas sobre a UC, além de justificar a necessidade de um sistema de monitoramento mais eficaz. Assim sendo, uma alternativa economicamente viável, comumente utilizada e conhecida para estas questões, além de condizente com a realidade da região, foi proposta para ser implantada dentro dos limites do parque e utilizada como parte integrante do sistema de monitoramento e combate que já existe. A implantação das torres de vigias propostas neste estudo considerou locais com características particulares que garantissem maior estabilidade do terreno, minimizando os custos, uma cobertura de visão de ao menos 70% da área do parque e que monitorasse as áreas críticas definidas neste estudo. A análise de visibilidade de cada torre é feita para confirmar a cobertura mínima de visão do parque, além de permitir estabelecer a porcentagem final de cobertura e outras informações. Como produtos finais apresentam-se uma série de mapas, tabelas e gráficos que traduzem os resultados que garantiram a instalação das 26 torres de monitoramento no parque.

Palavras-chave: incêndios, dados de satélites, SIG, PNCD, monitoramento.

Abstract

In order to analyse de fire dynamics complexity in the Chapada Diamantina National Park (NPDC) Conservation Unit (CU) it is necessary to have wide range of complex data at disposal, especially considering the multiple available alternatives of fire outbreaks monitoring and fighting methods. Technological advancements made possible the development of modern new ways to plan and manage monitoring and fighting activities against wildland arson. The association of local ground truth information and free available data provided by various satellite sensors, including thermal data recorded by INPE, elevation data from ASTER-GDEM and remote sensed imagery gathered by Landsat 5 TM, Landsat 8 OLIS / TIRS and IRS-P6 ResourceSat UC III satellites, between 2011 and 2013, linked with GIS ability to analyse large amounts of spatial data, provide all the necessary tools for the development of an effective monitoring and firefighting method within the CU and its Buffer Zone (BZ). In this sense, spatial and temporal distribution of heat sources available for the NPDC and its BZ was statistically analysed and used to identify and quantify burned areas through satellite images classification. This provided updated information for the CU in this regard, justifying the need of a more effective monitoring system. Thus an economically viable alternative, commonly known and used in those matters, as well as consistent with the reality of the region, was proposed to be applied within the park boundaries and to be used as part of the monitoring and combat system that already exists. The deployment of watchmen lookout towers that was proposed in this study considers sites with particular characteristics, ensuring greater ground stability, minimizing costs and guaranteeing at least 70% vision coverage of the park's area, including critical zones identified in this study. The visibility coverage analysis of each tower was made in order to confirm the park's minimum coverage view, as well as to establish the final coverage percentage and other information. Final products are presented as a series of maps, charts and graphs reflecting the results that ensured the installation of 26 monitoring towers in the park.

Keywords: fires, satellite data, GIS, PNCD, monitoring

Índice

Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Índice de Figuras	vii
Índice de Gráficos.....	viii
Índice de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e Objetivos.....	4
1.2. Estrutura da Tese.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURAS	8
2.1. Conceitualização: Fogo, Queimada, Incêndio Florestal, Foco de Calor	8
2.2. Queimadas no Brasil: O Estado da Bahia.....	9
2.2.1. Queimadas no Parque Nacional da Chapada Diamantina.....	10
2.3. Incentivos governamentais e Formas de combate.....	12
2.3.1. Torres de Vigia	16
2.4. Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto como ferramentas aplicadas em estudos sobre incêndios	19
2.4.1. Os satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI _TIRS.....	21
2.4.2. O satélite IRS-P6/ Resourcesat-1 LISS III.....	24
2.4.3. Classificação Digital de Imagens de satélites	24

2.5. Modelo Digital de Elevação Global: ASTER GDEM	29
2.6. Workflow: ModelBuilder	31
3. DADOS E METODOLOGIA.....	32
3.1. Área de Estudo.....	32
3.2. Descrição dos Dados	34
3.3. Metodologias	39
3.3.1. Imagens Multiespectrais: Áreas queimadas de 2011 até 2013.....	40
3.3.2. Mapa das Áreas Críticas Queimadas no PNCD	47
3.3.3. Dados Vetoriais e Complementares.....	48
3.3.4. ASTER-GDEM	52
3.3.5. Localização das Torres de Vigia	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Análise dos Focos de calor de 2011 até 2013.....	59
4.2. Mapas das Áreas Queimadas	73
4.3. Análise da Localização das Torres de Vigia: Visibilidade das torres	80
5. CONCLUSÃO	84
5.1. Principais Conclusões.....	84
5.2. Recomendações.....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
7. ANEXOS.....	100

Anexo 7.1 - Mapa de Localização da Área de Estudo	100
Anexo 7.2 - Mapa de Trilhas e Pontos Turísticos (retirado de CPRM, IBAMA, 2001)..	101
Anexo 7.3 - Fluxograma para Dados Vetoriais (Model Builder).....	102
Anexo 7.4 - Mapa dos Setores de Monitoramento do PNCD (MMA, IBAMA, 2005). ...	103
Anexo 7.5 - Mapa do Risco de Incêndio por Setor de Monitoramento (MMA, IBAMA, 2005).....	104
Anexo 7.6 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 30 de maio de 2011	105
Anexo 7.7 - Matrizes de Erros: Imagem L5 14 de setembro de 2011.....	106
Anexo 7.8 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 08 de dezembro de 2011.....	107
Anexo 7.9 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 30 de abril de 2012	108
Anexo 7.10 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 26 de dezembro de 2012.....	109
Anexo 7.11 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 19 de abril de 2013	110
Anexo 7.12 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 02 de agosto de 2013	111
Anexo 7.13 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 05 de outubro de 2013	112
Anexo 7.14 - Mapa de Distribuição das 26 Torres de Vigia	113
Anexo 7.15 - Mapa de Visibilidade das Torres em Relação às Áreas Críticas Queimadas	114
Anexo 7.16 - Tabela Final das Torres (Exportada da aplicação ArcGis).....	115

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Exemplos de máscaras (retirado de Meneses <i>et al.</i> , 2012).....	29
Figura 3.1 - Mapa sobre recorrência de incêndios no PNCD entre 1985 – 2010 (retirado de Gonçalves <i>et al.</i> , 2011).....	38
Figura 3.2 - Fluxo Metodológico para imagens Multiespectrais	40
Figura 3.3 - Ilustração do Módulo Landsat Calibration	42
Figura 3.4 - Fluxo metodológico para processar as áreas críticas queimadas no PNCD ...	47
Figura 3.5 - Fragmento do Fluxo metodológico com os buffers e municípios definidos ..	49
Figura 3.6 - Fluxo metodológico aplicado aos pontos de focos de calor	50
Figura 3.7 - Fluxo metodológico aplicado às imagens ASTER.....	53
Figura 3.8 - Fluxograma para determinar a implantação das torres de vigia.....	56
Figura 4.1 - Mapa de Densidade de Focos de Calor em 2011	63
Figura 4.2 - Mapa de Densidade de Focos de Calor em 2012	66
Figura 4.3 - Mapa de Densidade de Focos de Calor em 2013	69
Figura 4.4 - Mapa de Densidade de Focos de Calor de 2011 até 2013	72
Figura 4.5 - Mapa das Áreas Críticas mais queimadas no PNCD	73
Figura 4.6 - Áreas queimadas em cada ano e para o período completo, no PNCD e na região em estudo.....	75

Índice de Gráficos

Gráfico 4.1 - Comparação entre focos ocorridos na Bahia e na UC	59
Gráfico 4.2 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC em 2011	61
Gráfico 4.3 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC em 2011	61
Gráfico 4.4 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC em 2011	62
Gráfico 4.5 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC em 2012	64
Gráfico 4.6 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC em 2012	65
Gráfico 4.7 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC em 2012	65
Gráfico 4.8 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC em 2013	67
Gráfico 4.9 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC em 2013	68
Gráfico 4.10 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC em 2013	68
Gráfico 4.11 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC de 2011 até 2013	70
Gráfico 4.12 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC de 2011 até 2013	70
Gráfico 4.13 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC de 2011 até 2013 ...	71

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Resposta espectral e Resolução Espacial de cada banda do Landsat 5 TM (adaptado de DGI-INPE, s.d.).....	22
Tabela 2.2 - Comprimento de Onda e Resolução Espacial de cada banda do Landsat 8 OLI-TIRS (adaptado de USGS, s.d.).....	23
Tabela 2.3 - Resolução Espectral e Espacial de cada banda do IRS-P6 LISS III (adaptado de INPE, s.d.)	24
Tabela 2.4 - Classificação para cada intervalo de valor do índice Kappa (retirado de Landis e Koch, 1977).....	28
Tabela 3.1 - Relação das Imagens utilizadas no estudo.....	35
Tabela 4.1 - Comparativo entre áreas queimadas e as áreas de estudo e do PNCD.....	76
Tabela 4.2 - Percentual Comparativo entre o Queimado no PNCD e na ZA	76
Tabela 4.3 - Área e percentual queimado na ZA.....	77
Tabela 4.4 - Resultados da Classificação para cada imagem.....	79
Tabela 4.5 - Porcentagem de área visível e número de torres para cada setor de monitoramento	80
Tabela 4.6 - Área Total Visível por Setor Classificado quanto ao Risco de Incêndio	81
Tabela 4.7 - Distância entre as Torres de Vigia	82

Lista de Abreviaturas e Siglas

AIBA - Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia

ANN - Artificial Neural Network

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

BA – Bahia

BR – Brasil

CIPPA - Companhia de Polícia Ambiental e do Cerrado

COMPARNA-CD - Conselho Consultivo do Parque Nacional da Chapada Diamantina

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre

E – Leste

ESRI - Environmental Systems Research Institute

GDEM - Global Digital Elevation Model

GeoTiff - Geographic Tagged Image File Format

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite

GPS - Sistema de Posicionamento Global

ha – Hectares

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

IGEO - Instituto de Geociências

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IRS - Resourcesat-1 LISS III

K - Índice Kappa

Km – Quilômetro

L5 - Landsat 5 TM

L8 - Landsat 8 OLI/TIRS

m – metro

MaxVer - Máxima Verossimilhança

MDE - Modelo Digital de Elevação
MDT - Modelo Digital do Terreno
METI - Ministry of Economy, Trade and Industry
MMA - Ministério de Meio Ambiente
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
N – Norte
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI - Observational Land Imager
ONG's - Organizações Não Governamentais
PDI - Processamento Digital de Imagens
PNCD - Parque Nacional da Chapada Diamantina
PPCA - Projeto Piloto de Chuvas Artificiais
PREVFOGO - Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
Previncêndio - Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais
PROARCO - Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e aos Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento
RB - Reserva da Biosfera
RMS - Root Mean Square
ROI - Registros de Ocorrência de Incêndios
S – Sul
SAD69 - South American DATUM 1969
SCG - Sistema de Coordenadas Geográficas
SEMA - Secretaria do Meio Ambiente
SIG - Sistema de Informação Geográfica
Sisfogo - Sistema Nacional de Informação sobre o Fogo
SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNUC - Sistema Nacional de Unidade de Conservação
Spot - Satellite Pour l'Observation de la Terre
SQL - Structure Query Language
SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission
SVM - Support Vector Machine
TIRS - Thermal Infrared Sensor

UC - Unidade de Conservação

UFBA - Universidade Federal da Bahia

UFPR - Universidade Federal do Paraná

UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

UNB - Universidade de Brasília

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Ciência, a Educação e a Cultura

USGS - United States Geological Survey

USP - Universidade de São Paulo

UTM - Universal Transverse Mercator

WGS84 - World Geographic System 1984

ZA - Zona de Amortecimento

ZC - Zona de Corte

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são considerados em diversos casos como sendo um distúrbio natural em muitos ecossistemas, no entanto a ação antrópica pode ampliar a recorrência e a extensão deste fenômeno, dificultando as ações de combate. Os incêndios em vegetações são considerados como sendo uma das principais ameaças às Unidades de Conservação (UC) devido às mudanças físicas, biológicas e químicas produzidas no ambiente, implicando em graves consequências ao solo, a fauna, flora e o ar atmosférico (Miranda *et al.*, 1996, citados em Silva, 2013) ¹.

No Brasil a dinâmica do fogo em áreas rupestres ainda é considerada pouco conhecida, embora já existam alguns estudos para a região da Serra do Cipó em Minas Gerais, e para a Chapada Diamantina na Bahia (Neves e Conceição 2010, citados em Gonçalves *et al.*, 2011). Anualmente no Brasil são registradas inúmeras ocorrências de incêndios, as quais foram e são responsáveis pela realização de programas de governo voltados exclusivamente para o combate e prevenção, dentre eles, o Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais (Previncêndio), o Sistema Nacional de Informação sobre o Fogo (Sisfogo), o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e as diversas ações de conscientização ambiental, como o lançamento de cartilhas de como prevenir incêndios florestais; (ação do governo de Minas Gerais), ou palestras conscientizadoras realizadas por bombeiros e/ ou brigadistas em povoados e comunidades do Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) (Parque Nacional da Chapada Diamantina, s.d.). No Estado da Bahia a região da Chapada Diamantina é uma das que mais sofrem com as queimadas, isto obriga o parque a gastar muito dos seus recursos financeiros em ações de combate e controle dos incêndios (Silva, 2013).

O PNCD é uma UC de proteção integral e por isso apenas admite-se o uso indireto de seus recursos naturais, salvo aquelas permissas por lei (Art. 7º. § 1º, da Lei do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza)). Apesar de ser considerada uma UC, o Parque, assim como outras UC's da Chapada, não está de fato protegido (Franca-Rocha *et al.*, 2005; Giulietti *et al.*, 1997; Harley, 1995, citados em Neves e Conceição, 2010). É sabido que a dinâmica do fogo contribui para o florescimento de

¹ Todas as referências feitas neste trabalho seguem as normas da *Harvard University*, dispostas em <<https://student.unsw.edu.au/support-referencing-assignments>>.

espécies que compõem o bioma do Cerrado (um dos biomas encontrados na região da Chapada), a rápida recuperação pós-fogo via rebrota tem sido amplamente reportada na literatura (Sato 2003 e 1996; Rocha e Silva, 1999; Cardinot, 1998; Coutinho, 1990; Ramos, 1990; Souza e Soares, 1983, citados em Scariot *et al.*, 2005), porém apesar de se conhecerem os benefícios do fogo em ecossistemas, Neves e Conceição (2010) afirmam que existe uma carência de informações sobre os seus efeitos nas comunidades vegetais da Chapada Diamantina.

As informações sobre os incêndios no PNCD estão alicerçadas em dados pouco precisos, pois a única ferramenta disponível são os Registros de Ocorrência de Incêndios (ROI), os quais começaram a ser suspostamente sistematizados em 2001 e que são preenchidos na maioria das vezes por brigadistas voluntários com pouca capacitação (Ministério do Meio Ambiente – MMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2005). Apesar da relativa atual sistematização dos registros, Berlinck *et al.* (2010) indicam que a ocorrência de focos de incêndio no Parque é devido à ação humana, sendo as de origem natural, provocada por raios, muito raros nesta UC (Berlinck *et al.* 2010; citados por Mesquita *et al.* 2011). De maneira geral a ineficácia na regularização fundiária, o poder coercitivo limitando o uso de suas terras e a própria forma de criação da UC sem maiores esclarecimentos para a população, é entendido por Mesquita *et al.* (2011) como motivações para as ações de atear fogo em áreas da UC.

Uma vez que não há estruturas artificiais para observação no Parque, como torres ou mirantes construídos, o monitoramento em campo dos focos de incêndio é feito basicamente através de mirantes naturais (MMA, IBAMA 2005); prática que segundo o Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada Diamantina foi iniciada em 2007 (MMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO, IBAMA, 2007). Essa afirmação de apenas utilizar mirantes naturais limita o alcance e estratégias de observação e monitoramento das áreas mais recorrentes de focos de incêndios e/ ou consideradas mais críticas. Aliado a tudo isso se unem a limitada disponibilidade de informações técnicas e específicas para a região, dificuldade de contratação de profissionais capacitados, entre outros fatores sociais e políticos.

Muitas são as técnicas empregadas para combater incêndios, algumas de cunho mais modernas e conseqüentemente mais dispendiosas, outras também modernas, só que mais acessíveis e de acordo com a realidade econômica e social de cada região brasileira.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento apresentam técnicas para estudos ambientais que possibilitam analisar e monitorar fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente, bem como ações antrópicas em diferentes épocas, uma vez que as imagens obtidas por sensores remotos recobrem sucessivas vezes a superfície terrestre. As imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas mostrando os ambientes e suas transformações, sendo possível através de interpretações e processamento dessas imagens, a geração de mapas temáticos de diferentes datas (Florenzano, 2011). As ferramentas de geoprocessamento, as quais envolvem os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem combinar grande volume de dados e fornecer informações rápidas e precisas para os órgãos ligados ao controle, combate e prevenção (Setzer *et al.* 2004, citado em Rodrigues *et al.*, 2011), sobretudo em UC, demonstrando sua importância no planejamento de ações diretas e condizentes com a dinâmica regional, seja na elaboração de sistemas mais sofisticados ou na aplicação de métodos mais convencionais, como a instalação de torres de vigia para o monitoramento da área da UC e/ ou regiões específicas.

De acordo com Laris (2005), são inúmeros os centros e programas de pesquisas internacionais que têm priorizado o desenvolvimento de sistemas para mapear e monitorar áreas queimadas, especialmente na África, onde o impacto dos fogos atinge níveis globais (Laris 2005; citado em Koutsias *et al.* 2013). Ainda segundo o mesmo autor, existem esforços para desenvolver metodologias pan-europeias de mapeamento de cicatrizes de queimadas, utilizando para isso dados de sensoriamento remoto óptico de média resolução (Sedano *et al.*, 2013, citado em Koutsias *et al.* 2013). Para Petropoulos *et al.* (2010) as imagens de satélites da série Landsat têm sido das mais exploradas no monitoramento da dinâmica que ocorre na vegetação, pois o mesmo indica vários estudos com diversas abordagens sobre o uso do Landsat no mapeamento de uma área queimada em várias regiões geográficas. A resolução espacial do sensor da série Landsat permite a detecção de pequenos e grandes incêndios numa mesma cena, ou seja, é possível observar diversas áreas queimadas numa única imagem, sempre disponíveis gratuitamente. Não obstante e também disponível gratuitamente, o satélite indiano IRS-P6/ Resourcesat-1 LISS III, mais precisamente a série de satélites IRS, também oferecem dados para estudos sobre a vegetação.

O sistema de Torres pensado neste estudo foi para ser parte integrante de um sistema mais amplo e complexo de monitoramento de focos de incêndio, bem como

preservação da UC. É um sistema que deve atuar em conformidade com a dinâmica da região, inserindo a população nativa local para atuar nas atividades de monitoramento dos focos de incêndio e de gestão da UC. As torres atuam como elemento primordial na identificação dos focos, uma vez que sua localização considera as condições topográficas e a proximidade de áreas críticas mais queimadas na região. São postos posicionados para identificarem o foco de incêndio no seu estágio inicial, sendo capazes de comunicar as brigadas atuantes para efetuarem o combate antes de o fogo atingir maiores proporções. As torres permitem que rotas terrestres sejam pensadas considerando a cobertura de visão de cada torre, desta forma seus caminhos podem ser redirecionados para específicas áreas, ou novos caminhos podem ser traçados.

1.1. Enquadramento e Objetivos

Existem muitas ações de combate e prevenção aos incêndios que ocorrem em vegetações, sejam elas terrestres, aéreas, espaciais, ou pela combinação entre elas. A determinação da ação que mais se aplica a uma região perpassa exclusivamente pelos prévios estudos técnicos e pelos incentivos governamentais/ particulares para que tal ação seja exercida na sua íntegra. Os avanços tecnológicos envolvendo a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto, aliadas ao grande volume de dados espaciais manipulados por um SIG, permitem hoje obter respostas mais rápidas e precisas sem que haja para isso um aumento exponencial no orçamento de um Estado ou município, uma vez que muitos dados imprescindíveis para tal realização estão disponíveis gratuitamente. Os inúmeros investimentos do governo e até de organismos internacionais em tecnologias e ações de combate e prevenção aos incêndios, bem como de conservação de UC, motivam a realização de estudos voltados para tais questões.

Neste contexto e na tentativa de otimizar as ações de combate e supressão direta dos incêndios no PNCD e com isso obter mais êxitos até mesmo na notificação dos autores incendiários, subsidiando informações mais precisas para os ROI dessa UC, este estudo tem como objetivos principais estabelecer análises sobre os focos de calor e as áreas queimadas no PNCD e sua Zona de Amortecimento (ZA) no período de 2011 até 2013, bem como fornecer alternativa para identificação de áreas queimadas através da implantação de torres de vigia, as quais devem ser capazes de monitorar as áreas críticas e/

ou cobrir pelo menos 70% da área do parque, utilizando para isso, as ferramentas dispostas nas aplicações de geoprocessamento.

Os objetivos específicos deste estudo são:

1. Analisar espacialmente e estatisticamente as amostras pontuais de ocorrência dos focos de calor no PNCD e/ ou na ZA disponibilizados pelo INPE no período de 2011 a 2013.
2. Identificar áreas queimadas no PNCD e/ ou na ZA no período de 2011 a 2013 utilizando técnicas de sensoriamento remoto e SIG.
3. Obter as áreas críticas queimadas no parque a partir da georreferenciação e vetorização do mapa do histórico de queimadas no PNCD, do período de 1985 até 2010.
4. Mapear lugares ideais para instalações de torres de vigia para monitoramento direto das queimadas no PNCD, através de técnicas de geoprocessamento.
5. Obter uma cobertura significativa das áreas críticas queimadas e o mínimo de 70% da área do parque visível.

1.2. Estrutura da Tese

O capítulo que segue, por ser o mais longo, foi preferencialmente dividido em tópicos específicos. Inicia-se por fazer uma breve conceitualização sobre os diferentes temas envolvidos no estudo, nomeadamente fogo, queimada, incêndio florestal e foco de calor. Após diferenciar os conceitos sobre o tema fogo, é feita uma descrição sobre a ocorrência de incêndios florestais no Brasil, enfocando o caso do Estado da Bahia como forma de contextualizar a complexidade que acontece na região de estudo; o PNCD. No tópico seguinte o enfoque volta-se para as formas de combates existentes, os incentivos governamentais e até internacionais dos agentes envolvidos na questão dos incêndios, bem como na de preservação de UC. Assim sendo, algumas considerações sobre as características de um sistema de implantação de torres de vigia para monitoramento da vegetação, utilizando ferramentas de um SIG e considerando os condicionantes para

instalação e os parâmetros de controle da visibilidade de uma torre, são apresentadas como forma de justificar sua implantação e também estruturar as atividades voltadas à gestão de uma UC. No próximo tópico, ainda deste segundo capítulo, é retratada a contribuição da utilização das técnicas do sensoriamento remoto aliadas com as dos SIG nos estudos sobre queimadas, dando enfoque para os sensores e técnicas utilizadas neste trabalho. O próximo tópico retrata exclusivamente as características e contribuições das imagens ASTER GDEM em estudos como este, os tipos de dados fornecidos por estes sensores e a relevância dos mesmos. O último tópico deste capítulo demonstra os benefícios de estabelecer um fluxo de trabalho que guarda todas as operações e parâmetros configurados, além de ainda poder ser compartilhado.

No terceiro capítulo deste trabalho os dados e a metodologia são descritos. Inicia-se primeiro com uma breve descrição da área de estudo, sua localização e outras características contextuais e técnicas. A descrição de todos os dados utilizados, suas fontes de acesso e formatos, é o segundo tópico tratado neste capítulo. Por fim descrevem-se todas as metodologias utilizadas no pré-processamento, processamento e no pós-processamento dos dados, bem como na configuração dos parâmetros e as operações utilizadas na localização das torres de vigia.

O quarto capítulo engloba os resultados obtidos e as discussões sobre os mesmos. Os focos de calor no período de 2011 a 2013 são analisados estatisticamente como forma de conhecer, por exemplo, a espacialidade e temporalidade de ocorrência dos focos na área do PNCD e sua ZA. No tópico seguinte são apresentados os mapas resultantes identificando as áreas queimadas no PNCD e ZA, a avaliação da precisão da classificação dessas áreas queimadas através das análises sobre os índices globais e Kappa também são discutidas. O último tópico refere-se exclusivamente aos locais ideais para instalação de torres de vigia; uma técnica viável e que pode ser implementada em curto prazo. A identificação da localização ideal para estas torres é apresentada como forma de garantir uma maior cobertura de área visível para o monitoramento das constantes queimadas que ocorrem no parque, desta forma apresenta-se e discutem-se os mapas resultantes do posicionamento e visibilidade das torres, os quais são sobrepostos a outros planos de informações, como por exemplo, o mapa sobre os setores de monitoramento do parque; os quais estão também classificados quanto ao risco de incêndio.

O quinto e penúltimo capítulo apresenta as principais conclusões obtidas neste estudo em relação aos resultados alcançados. A complexidade política, social, ambiental e

econômica no combate às queimadas na Chapada, as dificuldades de acesso a outros dados e a carência de profissionais capacitados e de estudos específicos para a região da UC, são alguns dos temas discutidos. Os mapas do posicionamento das torres e de sua visibilidade, assim como outros dados, são apresentados como forma de fornecer informação e demonstrar que o sistema de monitoramento da região pode e deve melhorar. Para finalizar este capítulo, são apresentadas algumas recomendações para o aperfeiçoamento deste trabalho, como por exemplo, acesso a dados mais específicos e que normalmente não estão disponíveis livremente, bem como para as atividades de gestão e/ou conservação desta UC, no que diz respeito ao tema fogo, alertando para a necessidade de uma participação mais efetiva das autoridades e instâncias governamentais envolvidas em questões de estruturação e capacitação profissional.

Para finalizar são apresentadas todas as referências bibliográficas utilizadas na composição deste estudo, seguidas dos anexos elaborados com os resultados obtidos e referenciados no decorrer do texto.

2. REVISÃO DE LITERATURAS

Este capítulo inicia-se diferenciando os conceitos entre fogo, queimada, incêndio florestal e foco de calor, como forma de esclarecer suas particularidades e correlações. Após essa conceptualização descreve-se sobre as ocorrências de incêndios florestais no Brasil, dando ênfase ao caso do Estado da Bahia como forma de enquadrar o que ocorre no PNCD e sua ZA. As formas de combate existentes nesta UC, as investidas em novas e modernas técnicas e os incentivos por parte das instâncias governamentais, não governamentais, institutos, empresas, entre outros, também são mencionadas para demonstrar que as formas de combate aos incêndios nesta UC podem e devem ser melhorados. Como subtópico dos incentivos governamentais, descreve-se sobre as relevâncias em se implantar um sistema de torres de vigia, considerando seus condicionantes para instalação e a análise de visibilidade para cada torre. Em seguida apresentam-se as recentes técnicas de sensoriamento remoto e SIG voltadas para esta questão do fogo e seu combate. A utilização de imagens de satélites e dados disponíveis gratuitamente, a forma de processamento automático para identificar as áreas queimadas nas imagens, o algoritmo usado, bem como o método de avaliação dessa classificação são alguns dos tópicos retratados. O Modelo Digital de Elevação (MDE) ASTER da área de estudo, tem suas características técnicas descritas como forma de também justificar sua escolha para este estudo. Por fim descrevem-se algumas características e os benefícios em se estabelecer fluxos de trabalho.

2.1. Conceitualização: Fogo, Queimada, Incêndio Florestal, Foco de Calor

Para melhor se compreender o significado de cada palavra, elucidando suas diferenças e particularidades, este tópico apresenta os conceitos de cada uma delas, segundo as definições propostas pelo IBAMA/ MMA. Pelo que está exposto na pagina oficial do órgão do governo brasileiro – IBAMA:

- Fogo refere-se ao desenvolvimento simultâneo de calor, luz e/ ou chama, produzido pela combustão viva de algum material combustível.

- A queimada é um procedimento de manejo agropastoril que utiliza o fogo para limpeza da área de cultivo ou mesmo para queima de restos de produção.
- Incêndio florestal é o fogo fora de controle em qualquer tipo de vegetação; muitas vezes ocasionado por queimadas mal aceiradas/ monitoradas, ou não autorizadas devidamente.
- O foco de calor é o registro de calor detectado na superfície do solo por sensores a bordo de satélites de monitoramento (IBAMA, MMA, s.d.).

2.2. Queimadas no Brasil: O Estado da Bahia

Desde antes da colonização os índios ateavam fogo para limpeza da área, porém por serem nômades, eles se assentavam por algum tempo e demoravam cerca de 40 anos para retornar ao mesmo lugar; tempo mais que suficiente para recuperação natural do local (Dean 1996, citado em Custódio, 2006). Atear fogo nas áreas antes do plantio se tornou cultural, sendo realizado pelos primeiros portugueses para o plantio de cana de açúcar – primeiro ciclo econômico brasileiro, depois da exploração do pau-brasil – e continua sendo realizado com o mesmo fim (Custódio, 2006).

As queimadas são permitidas no Brasil desde que seguido os requisitos legais descritos no Código Florestal, a qual dispõe sobre a proibição do uso do fogo e do controle dos incêndios (Lei Nº 12.651, 2012). A maioria dos biomas do Brasil está sujeito a queimadas em diferentes escalas, sendo a renovação de pastagens uma das práticas mais comuns (PIVELLO 2011, citado por Seger *et al.* 2013). Diferente do que ocorre com os sistemas agroflorestais, a agricultura convencional no Brasil ainda é praticada de forma itinerante, seguido de queimada e exploração agrícola até o esgotamento do solo e “pousio” (abandono) (Almeida, 2010). Segundo Oliveira *et al.*, (2005) as queimadas devem ser feitas sob determinadas condições ambientais e critérios técnicos que permitam que o fogo mantenha-se confinado à área que será utilizada, impedindo sua propagação além dos limites estabelecidos. Ainda segundo o mesmo autor, o IBAMA é um dos institutos responsáveis por ações de conscientização em zonas onde a prática do fogo é

usual, sendo que o mesmo pode em situações especiais, proibir as queimadas; o que não impede que elas ocorram ilegalmente, provocando incêndios florestais.

No Brasil, a falta de informações integradas a nível nacional ou mesmo regional e a falta de ferramentas computacionais, aliados à falta de monitoramento e da adoção de políticas preventivas e de combate aos incêndios florestais em determinados biomas e UC, apresentam-se como um sério problema para os técnicos atuantes na prevenção e combate. A expansão das fronteiras agrícolas e as práticas de manejo de pastagens com uso do fogo estão entre as principais causas dos incêndios que acabam invadindo os limites de muitas áreas protegidas no Brasil (Vallejo, 2010; citado por Vallejo, 2012).

No Estado da Bahia as queimadas criminosas e os incêndios florestais acontecem em toda a extensão territorial, sejam eles provocados por causas naturais ou culturais, ou devido às diversas ações exploratórias para fins econômicos, sejam elas o garimpo ainda exercido na Chapada Diamantina, a produção de celulose pela extração dos eucaliptos no litoral norte e no sul do estado, ou mesmo as práticas agropecuárias tradicionais exercidas em todo interior e oeste do Estado e ações diversas (cigarros jogados acessos em locais de seca, ação por litígio, turismo, entre outras). Mesmo sendo o Estado da região Nordeste do país com o maior número de UC's, a Bahia apresenta a segunda maior extensão territorial legalmente protegida; perde apenas para o Maranhão (Vallejo, 2012).

Na Bahia é a Chapada Diamantina uma das regiões que mais sofrem com constantes queimadas, demandando grande quantidade de recursos financeiros no combate e controle dos incêndios, mesmo tendo estudos comprovando que em algumas áreas desta UC a vegetação tem capacidade de se regenerar rapidamente após as queimadas (Silva *et al.*, 2013).

2.2.1. Queimadas no Parque Nacional da Chapada Diamantina

O fogo natural em ecossistemas é um evento pontual, ocasional e de periodicidade secular. O fogo periódico é um fator ambiental determinante e necessário para a manutenção do equilíbrio ecológico nas principais savanas do mundo. Nas savanas da África e Austrália o fogo é relativamente bem conhecido, porém ainda existem grandes lacunas no conhecimento científico dos efeitos do fogo nas savanas brasileiras; nomeadamente o Cerrado e a Caatinga (Alves e Silva, 2011).

A região da Chapada Diamantina é frequentemente queimada por fogos que atravessam grandes extensões das formações campestres do Cerrado e alcançam os campos montanhosos com elevado número de espécies endêmicas e trechos de Mata Atlântica em nascentes que abastecem importantes rios, como por exemplo, o Rio de Contas e São Francisco (Mesquita *et al* 2011; Neves e Conceição 2010; Conceição e Costa 2009, Harley *et al.* 2005; Harley 1995, citados em Conceição e Pivello 2011). Devido a grande quantidade de combustível fino, a vegetação campestre é considerada uma das mais inflamáveis e ocorre em 76,8% do PNCD, assim como nas formações campestres de Cerrado no entorno do parque (Funch *et al.* 2009, citados em Conceição e Pivello 2011).

De acordo com a versão preliminar do plano de manejo do parque lançado em 2007, os incêndios no PNCD são predominantemente de origem antrópica com motivos diversos, sendo que os de causas naturais, provocadas geralmente por relâmpagos, não representam nem 1% das ocorrências e são extintos normalmente pelas chuvas. No que diz respeito às causas antrópicas, pode-se citar os incêndios causados por: piromaníacos, criadores de gado bovino, coletores de sempre-vivas e de lenha, caçadores, agricultores, garimpeiros, turistas, incêndios de beira de estradas e até mesmo como disputa entre pessoas e grupos opostos. Enquanto na porção oeste do PNCD os incêndios são causados por criadores de gado bovino, na região sul eles são causados por coletores de sempre-vivas (plantas altamente valorizadas por serem utilizadas na confecção de buques em casamentos europeus, devido ao fato das flores manterem a mesma aparência após destacadas). A região leste do parque, em áreas da porção norte, têm os incêndios atribuídos aos garimpeiros que ainda trabalham na serra. Nas proximidades da Vila do Capão, município de Mucugê e Palmeiras, é comum os incêndios causados por disputas de terra ou piromaníacos. Os incêndios causados por agricultores não são muito significativos em números, porém atingem áreas sensíveis de exuberantes matas (MMA, ICMBIO, IBAMA, 2007).

Segundo o que está publicado no blog Parque Nacional Chapada Diamantina (Parque Nacional da Chapada Diamantina, s.d.), apesar da região da Chapada ser marcada por um forte período de secas (até quatro meses), baixa umidade do ar e altas temperaturas neste período seco, esses fatores não explicam por si só a ocorrência de incêndios que atingem o parque e seu entorno, uma vez que é preciso analisar as ações humanas; principal deflagradora dos incêndios por meio de práticas ilegais e sem fiscalização, como por exemplo: coleta de sempre-vivas, garimpo artesanal, caça, avanço agrícola e

principalmente ação por litígio com o parque. Para reforçar ainda mais a ação humana na deflagração do fogo no Parque, o Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada Diamantina elaborado pelo Instituto Chico Mendes em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA, afirma que: “Os incêndios no Parque são predominantemente de origem antrópica, com motivações variadas.” (MMA, ICMBIO, IBAMA, 2007).

Segundo Vallejo (2012), baseando-se em estudos sobre focos de calor produzidos em escala nacional, afirma-se que diversas UC's do nordeste, incluindo o PNCD, aparecem com destaque no ranking das que mais queimaram ao longo da última década. São UC's que apresentam problemas de consolidação territorial, nomeadamente: desconhecimento por parte dos gestores públicos da realidade fundiária, falta de políticas públicas e recursos para promover desapropriações e deficiência orçamentárias e administrativas para fiscalização e prevenção de ações impactantes, incluindo o problema do fogo. Todos esses fatores acarretam em implicações diretas nos conflitos com populações tradicionais que vivem na área (interior e entorno), além de invasões, grilagens, ações especulativas, insegurança, bem como oportunismo político.

O problema do fogo nas UC's nordestinas, assim como em muitas pelo país, vem se agravando ao longo do tempo (Vallejo, 2012). Eventos recorrentes de focos de incêndio têm atingido o parque anualmente, porém ainda faltam estudos que procurem sistematizar essas ocorrências e utilizar os dados no planejamento de ações de prevenção e combate, além de subsidiar pesquisas (Mesquita *et al.*, 2011).

2.3. Incentivos governamentais e Formas de combate

A primeira iniciativa do governo brasileiro voltada para a questão do fogo aconteceu em 1965 com a criação do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771), proibindo o uso do fogo nas florestas e disciplinando o seu uso para fins de queima controlada. A partir desse ano não parou mais de criar alternativas para prevenir, monitorar e combater os incêndios e queimadas ilegais. Em 1989 o Governo Federal criou o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), com o objetivo de prevenir as queimas e incêndios florestais e de dotar o país de infraestruturas capazes de combater a destruição causada pelo fogo. Na década de 90, o PREVFOGO junto com o INPE implantaram o monitoramento e controle dos incêndios florestais no Brasil, durante todo o

ano, por meio dos satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat) e *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (Spot). Não obstante, foi estabelecido um acordo de cooperação técnica internacional entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Serviço Florestal Americano para intercâmbio técnico-científico, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Universidade de São Paulo (USP), Universidade de Brasília (UNB) e outras para proteger o patrimônio ambiental brasileiro (Custódio, 2006). Atualmente, além dos satélites citados acima, o CPTEC/INPE disponibilizam dados de sensores dos satélites *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), AQUA e TERRA ambos transportam o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS); dados essenciais para a detecção de queimadas (Rodrigues *et al*, 2011).

São diversos os órgãos que regulamentam e realizam programas de prevenção e combate aos incêndios em todo país. Eles estão organizados de forma semelhante à federação brasileira, ou seja, são organizados por cada ente federado – união, estado, município – sem formarem hierarquia, mas com atuações ligadas aos entes que os criam e gerem. Isso tudo deve ser feito em respeito ao art. 23 da Constituição Federal do Brasil de 1988, que estabelece: “É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: [...] VI – proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; VII – preservar as florestas, a fauna e a flora”. Todos esses órgãos formam o chamado Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), criado pela lei 6938/81. Como exemplo de alguns programas federais realizados de prevenção e combate aos incêndios, cita-se o Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e aos Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento (PROARCO), o qual é destinado especificamente à região da Amazônia (Custódio, 2006). No Brasil os focos de queimada são diariamente monitorados pelos satélites geoestacionários e de órbita polar, disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE) (Vallejo, 2012).

No que diz respeito aos Estados da Federação brasileira, cada um é responsável por estruturar e gerir programas e ações que previnam e combatam os incêndios. No caso do Estado baiano, o mesmo já desenvolveu e vêm desenvolvendo alguns programas e ações voltados a este tema, seja pela formação ou contratação de novos brigadistas, pela compra de equipamentos, investimento em novas tecnologias, palestras conscientizadoras e

voltadas para educação ambiental, parcerias entre institutos, Organizações Não Governamentais – ONG’s, empresas, comunidades, entre tantas outras. Como alguns exemplos cita-se a parceria da Secretaria do Meio Ambiente (SEMA) com o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) e a secretaria do Meio Ambiente do município de São Desiderio, a qual deu origem a um centro de monitoramento operacional diário na Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) (abrange uma área delimitada de cerca de 500 mil hectares), demonstrando ser um modelo funcional e eficaz de monitoramento e combate a incêndio florestal para a realidade do Oeste baiano (Dias, 2013). Outra ação do governo para a questão do fogo foi a cobrança da Taxa de Combate a Incêndios (cobrada na conta de energia), objetivando aparelhar e modernizar o Corpo de Bombeiros. Criada pela Lei 14.251 de 2012, esta taxa apesar de ser realizada em outros Estados e ser defendida por especialistas e pelo próprio governador do Estado (Jacques Wagner), tributaristas alertam para a irregularidade da cobrança e o economista Paulo Dantas afirma que se torna inconstitucional a cobrança de duas taxas a partir da mesma base de cálculo, uma vez que a taxa de iluminação já é calculada através da conta de energia (CONSEG, s.d.).

No que diz respeito à região da Chapada Diamantina, para apoiar a gestão do fogo no PNCD e sua ZA, foi constituída no ano de 2005, no âmbito do Conselho Consultivo do Parque Nacional da Chapada Diamantina (CONPARNA-CD), a Câmara Técnica do Fogo, responsável por elaborar, em conjunto com a equipe do PNCD, o Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do PNCD; resultado do planejamento para o manejo de toda situação envolvendo a prevenção e o combate de incêndios (MMA, ICMBIO, IBAMA, 2007).

Na Chapada Diamantina o trabalho de combate ao fogo envolve brigadistas voluntários, Corpo de Bombeiros, técnicos do INEMA, policiais militares da Companhia de Polícia Ambiental e do Cerrado (CIPPA), além do apoio do PREVFOGO e do ICMBIO (Portal Sul da Bahia, 2012) vinculados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA); órgão responsável pelo monitoramento e combate de incêndios em UC’s (Rodrigues *et al.*, 2011). Mesmo com este esforço conjunto, o governo ainda continua a investir em novos métodos de combate, como o Projeto Piloto de Chuvas Artificiais (PPCA); parceria entre a direção do PNCD e a empresa paulista Modclima Pesquisas e Desenvolvimento Ltda. Essa tecnologia é chamada de “semeadura de nuvens” e consiste em injetar, por meio de avião, jatos de água filtrada em nuvens do tipo cúmulos,

estimulando-as a crescer e entrar em processo de precipitação (Redação 360 graus, 2009). Apesar de ser vista como uma arma de prevenção de incêndios, alguns especialistas defendem que a mudança no regime de chuvas e na umidade no parque pode ser desastrosa para a fauna e flora. Outro ponto crucial dessa tecnologia é sobre o investimento. Mesmo após o segundo ano de atividade, depois de aeronaves e radares adquiridos e apesar do custo cair em 40%, o mesmo continua muito acima do valor necessário para empregar outras técnicas, como por exemplo, a construção de aceiros, contratação de brigadistas e aquisição de equipamentos. A título de comparação, no Parque Nacional das Emas em Goiás, a construção de 300km de aceiros custou à unidade cerca de 900 vezes menos que um ano de chuvas artificiais (O eco, 2009).

Muitas foram e continuam sendo as investidas para prevenir e combater o fogo nesta região. A constante contratação de brigadistas, a inclusão de novos aparelhos para o controle das queimadas (Sistema de Posicionamento Global – GPS, da sigla em inglês), a utilização de helicópteros em situações mais críticas, as inúmeras parcerias ente órgãos e institutos, a elaboração dos ROI, entre tantas outras, aparecem como importantes medidas que devem ser mantidas na sua íntegra para garantir um efetivo controle e combate de incêndios, bem como notificação dos responsáveis. Porém, de acordo com Rodrigues *et al* (2011), reforçando o que foi defendido por Mesquita *et al.*, (2011) anteriormente, a elevada quantidade de ROI sem todas as informações devidamente preenchidas trazem preocupações uma vez que por não se conhecer a causa dos incêndios, o monitoramento se torna pouco exitoso.

De acordo com o publicado na página da internet da Universidade Federal do Paraná (UFPR, disponível em <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/tecnicas-de-combate/>>), a operação de combate ou supressão de um incêndio envolve seis etapas distintas: a detecção, comunicação, mobilização, deslocamento, planejamento do combate e o combate. Na detecção o método mais prático e econômico é a utilização das torres de vigia, sendo que ainda existe o patrulhamento terrestre, aéreo, ou o uso de imagens de satélites. A fase da comunicação é feita através de rádios e telefones entre o observador e o escritório central ou comando de operações de combate, repassando todas as informações pertinentes. A mobilização do pessoal deve levar em consideração o treinamento das equipes e o tempo de viagem até o local do fogo, sendo que este último é considerado o ponto mais crítico entre as fases que precedem o combate, pois se o incêndio for muito distante e as vias precárias, o tempo consumido no deslocamento e a consequente demora

do combate podem aumentar o perímetro do fogo e dificultar ainda mais a sua extinção, isso mostra a necessidade constante de uma manutenção adequada das estradas. O planejamento do combate refere-se ao estudo preliminar para se tomar decisões e evitar erros frequentes, como por exemplo, a construção de aceiros em locais inapropriados. Por último o combate, ação que deve levar em conta a hierarquia e a disciplina para o sucesso da operação (Laboratórios de Incêndios Florestais, s.d.).

Sabendo que a principal causa da degradação ambiental na região da Chapada Diamantina é atribuída às ações humanas, a educação ambiental também se apresenta como importante medida para esclarecer a importância da conservação dos recursos naturais nos dias atuais, bem como para amenizar os impactos causados por tais ações (Tanan e Chaves, 2012). O avanço da ocupação do homem, principalmente na ZA do parque, vem provocando uma supressão das áreas naturais pelo fogo, as quais são substituídas cada vez mais por atividades ligadas à agricultura mecanizada (Rodrigues *et al.*, 2011).

Existem muitas alternativas para se detectar e localizar incêndios florestais, porém o método mais prático e econômico é o uso de torres de vigilância. Outras formas também possíveis são através do patrulhamento terrestre e/ ou aéreo, ou mesmo pelo processamento de imagens de satélites (Combate a incêndios, s.d.).

2.3.1. Torres de Vigia

As torres de vigia integram um sistema mais amplo de combate e prevenção de incêndios florestais e por isso são de fundamental importância suas instalações com os devidos equipamentos e profissionais capacitados. As torres por si só atuam como elemento detector de focos de incêndios, seja através da identificação das fumaças provenientes dos focos, ou o próprio foco. São pontos de observação destinados a monitorarem extensas áreas e/ ou áreas específicas.

Os equipamentos básicos necessários para cada torre consistem em: binóculos, alidade para localização do azimute da origem do foco de incêndio, facilitando sua localização, mapas com informações sobre topografia e estação de radio conectada à rede de comunicações de vigilância e/ ou comunicação por telefones móveis (Viegas *et al.*, 2005). A rápida detecção de um incêndio florestal é fundamental para a realização bem

sucedida das etapas de controle e extinção, bem como para que o deslocamento das equipes sejam mais rápidos e precisos, favorecendo até a identificação do responsável.

A construção de torres metálicas têm sido preferível por conta de sua maior durabilidade, menor custo de manutenção e facilidade de relocação quando necessário. São torres geralmente construídas tendo no topo uma cabine fechada, com visibilidade para todos os lados, onde permanece o operador ou vigilante. O número de torres necessário para cobrir uma determinada região, depende da topografia; em regiões planas a distribuição das torres pode ser simétrica e a área coberta é maior, enquanto regiões acidentadas exigem maior número de torres e mesmo assim é praticamente impossível se obter uma cobertura completa, sendo assim, considera-se suficiente uma cobertura de 70 a 80% da área. A distância visual máxima de uma torre, dependendo das condições locais, situa-se entre 8 e 15km e para que a torre funcione perfeitamente, é imprescindível que o operador seja devidamente treinado (Soares e Batista, 2003).

Já existem implantações de torres com sistemas automatizados de detecção em algumas regiões do globo, como em alguns parques da África do Sul e nos Estados Unidos. Mesmo assim esses sistemas ainda apresentam algumas limitações, principalmente quando ocorrem diversos incêndios simultaneamente. A utilização das torres para detecção e monitoramento dos incêndios florestais é focada na premissa de que o tempo decorrido do início do fogo até sua identificação é de fundamental importância para sua extinção (Venturi, 2006).

A determinação dos locais ideais para implantação das torres de vigia é estabelecida obedecendo a algumas variáveis que exercem influência na capacidade de detecção dos focos de incêndio. Quando o foco ainda é pequeno, por exemplo, o problema associado à detecção consiste na capacidade que o olho humano possui, mesmo utilizando determinados aparelhos de longo alcance, de distinguir pequenos objetos como sendo uma fumaça proveniente de um fogo nascente, uma vez que a detecção de fogos extensos não constitui problema (Rego *et al.*, 2005). Algumas variáveis que exercem influência sobre a capacidade de detecção dos focos de incêndio pelas torres, são consideradas como predominantes.

A rugosidade de uma região é apontada por autores como sendo uma forte causa na diminuição das áreas a serem vigiadas, uma vez que vales e serras escondem potenciais alvos (Venturi, 2006). As análises de visibilidade dependem diretamente do modelo digital

disponível, já que a topografia do terreno é um dos fatores que podem condicionar a visibilidade de uma forma determinante.

A visibilidade diminui à medida que a distância aumenta devido à curvatura da Terra, da diminuição do tamanho dos objetos e da presença de inúmeras partículas em suspensão na atmosfera. A curvatura da Terra provoca uma diminuição da visibilidade, sendo o efeito exponencialmente potencializado à medida que a distância de observação também aumenta. A transparência da atmosfera também influencia o alcance da visibilidade, uma vez que névoas, nevoeiros ou neblinas, podem reduzi-la fortemente. Esses fenômenos são provocados pela difusão, refração e reflexão da luz pelas inúmeras partículas em suspensão entre o observador e o objeto a ser visualizado; mesmo em dias claros a atmosfera nunca está completamente limpa. O efeito da refração age de forma contrária ao efeito da curvatura da Terra, ou seja, provoca um aumento aparente da altura dos objetos. Existem diversos outros fatores que influenciam na visibilidade e/ ou detecção precisa de um determinado foco de incêndio, dentre eles citam-se: o vento, a direção da iluminação e contrastes, a ocupação do solo, a dimensão da coluna de fumaça, bem como fatores relacionados com as limitações do observador (Rego *et al.*, 2005).

Para que a análise de visibilidade das torres seja executada considerando as variáveis predominantes (distância e topografia) é preciso primeiro configurar alguns parâmetros que controlam essa análise, garantindo um grau de cobertura aceitável.

O modo como se processará a análise da visibilidade pode ser especificado pelo utilizador a partir da configuração de nove parâmetros, os quais são automaticamente utilizados quando se executa a análise. Uma vez não configurados estes parâmetros, são utilizados valores padrões definidos pela aplicação. Dentre os parâmetros existentes para configuração, especificamente nas aplicações do *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), existem três parâmetros particularmente fundamentais na análise de visibilidade, designados por *OffsetA*, *OffsetB* e *Radius2*. São parâmetros que podem exercer influência decisiva sobre os resultados da análise. Abaixo seguem descritos todos os parâmetros configuráveis na análise de visibilidade, por uma aplicação de um SIG (Rego *et al.*, 2005):

- a) *Spot* – Especifica a altitude da superfície para os pontos de observação, sendo que se este parâmetro não for definido, a altitude da superfície para os pontos é determinada a partir do MDT (Rego *et al.*, 2005).

- b) *OffsetA* – Indica a distância vertical a ser acrescentada ao valor de *spot* do ponto de observação (Rego *et al.*, 2005).

- c) *OffsetB* – É o valor adicionado a cada célula no momento em que se está a avaliar a sua visibilidade, ou seja, aumenta-se a visibilidade de cada célula em avaliação, uma vez que esta fica mais elevada do que as outras (Rego *et al.*, 2005).

- d) *Azimuth1* e *Azimuth2* – Especificam os limites inferior e superior, respectivamente, do ângulo horizontal de visão (entre 0 e 360 graus). A análise é feita no sentido horário, do *azimute1* para o *azimute 2* (Rego *et al.*, 2005).

- e) *Vert1* e *Vert 2* – Especificam o limite superior e inferior, respectivamente, do ângulo de visão vertical, acima do plano horizontal (Rego *et al.*, 2005).

- f) *Radius 1* e *Radius 2* – Especifica o limite inferior e superior, respectivamente, da distância a pesquisar tendo a torre de vigia como centro (Rego *et al.*, 2005).

2.4. Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto como ferramentas aplicadas em estudos sobre incêndios

A área do geoprocessamento pode ser dividida em três atividades: primeiro a cartografia digital, destinada à captação, organização e manipulação de mapas. Segundo, o processamento digital de imagens vinculado com a manipulação numérica de imagens, a fim de corrigir distorções e aumentar a visualização e discriminação dos objetos de estudo, e por fim o Sistema de Informações Geográficas (SIG), os quais trabalham com aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados (Rosa e Brito 1996; citados por Lemes, 2013).

O uso de SIG tem sido também explorado para o desenvolvimento de ferramentas de modelagem de incêndios devido à sua natureza e capacidade de representar

características espaciais com precisão. O nível de integração que se pode alcançar entre as técnicas de geoprocessamento e modelagem ambiental, incluindo o fogo, é a grande contribuição de um SIG (Sibolla e Smit, 2013). Um SIG pode analisar de forma integrada, dados de imagens de sensoriamento remoto e outros dados temáticos, como por exemplo, dados administrativos, dados sobre topografia, recursos florestais, entre outros (Saranya *et al.*, 2014).

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto é fundamental na medida em que os bancos de dados gerados pelos diversos satélites em órbita da Terra correspondem a uma importante fonte de informação sobre a dinâmica que ocorre na superfície terrestre (Roza e Ribeiro, 2013). Nas últimas décadas as técnicas de sensoriamento remoto têm sido bastante aplicadas em estudos sobre incêndios florestais, principalmente por apresentarem uma visão sinóptica, ampla cobertura e repetida amostragem temporal, fornecerem dados de áreas remotas e inacessíveis, além de apresentarem custos mais reduzidos e respostas mais rápidas do que as campanhas de campo (Shepers, 2014). Para o Brasil, a detecção de incêndios através do sensoriamento remoto é a forma mais viável devido à extensão territorial, a magnitude e diversidade dos ecossistemas florestais, bem como o número expressivo de ocorrências de incêndios registrados pelo país (Batista, 2013).

Atualmente, encontram-se diversos satélites em órbita carregando diferentes tipos de sensores com diferentes resoluções, bem como técnicas para detectar impactos causados por incêndios em países tropicais (França e Ferreira, 2005; citados por Roza e Ribeiro, 2013). As práticas usadas para o monitoramento de queimadas incluem o imageamento da superfície terrestre por satélites de alta e média resolução espacial de 0.61 a 30m e de média a baixa frequência temporal de 3, 16 a 26 dias, tais como QuickBird, IKONOS, SPOT, CBER e Landsat TM (Roza e Ribeiro, 2013).

Sabe-se que a vegetação verde saudável reflete fortemente no infravermelho próximo, enquanto o solo exposto e rochas refletem fortemente no infravermelho de ondas curtas. Então, ao comparar a quantidade de refletância medida nestas duas regiões, por exemplo, antes e depois de um evento de fogo, pode-se definir a extensão e gravidade de um incêndio. Esse é um método de análise consistente nos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS, National Aeronautics and Space Administration – NASA*, s.d.).

De acordo com Roza e Ribeiro (2013), muitas pesquisas sobre queimadas utilizando imagens de satélites e processamentos digitais têm sido desenvolvidos, dentre

elas os autores citam o trabalho de Zanotta (2009), que realizou a detecção de queimadas por técnicas semiautomáticas e operadores morfológicos de erosão/ dilatação usando imagens de sensoriamento remoto, o trabalho de Morelli *et al.* (2009) quantificando a ocorrência de focos de queimadas detectados por satélites nas UC's estaduais e federais e nas terras indígenas no Pantanal, no período de 2000 a 2008, e por fim Pereira *et al.* (2008), os quais analisaram e mapearam a área queimada por meio de índices provenientes de imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5.

2.4.1. Os satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI_TIRS

De maneira geral os satélites Landsat provêm aos tomadores de decisões, informações chaves a respeito de como estão sendo utilizados os recursos naturais pelo mundo, eles podem ser destinados às mais diversas aplicações (USGS, NASA, s.d.).

O satélite Landsat 5 TM (L5) tem há muito tempo seus dados sendo utilizados em estudos ambientais. De acordo com Kushla e Ripple (1998), os autores Chuvieco e Congalton (1988) e Garcia e Caselles (1991), utilizaram dados do L5 para estudos sobre incêndios florestais em Valência, na Espanha. Ainda mais além, Wagtendonk *et al.* (2004) em seu estudo envolvendo detecção da gravidade de queimas, cita diversos autores que utilizaram dados do L5 para estudos envolvendo o fogo, como por exemplo, Kushla e Ripple (1998) que avaliaram dados do L5 para mapear a sobrevivência das florestas após um incêndio em Oregon, nos Estados Unidos, ou Miler e Yool (2002), que exploraram o uso dos dados do L5 para avaliação pós-fogo em bacias hidrográficas a fim de minimizar os efeitos de erosão.

No que diz respeito às suas características técnicas, o L5 apresenta imagens que cobrem, cada uma, uma área de 185x185km. As imagens digitais que estão disponíveis gratuitamente pelo INPE contêm todas as bandas, sendo que cada banda representa a resposta do solo em certa faixa espectral com uma resolução espacial especificada, como mostra a tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Resposta espectral e Resolução Espacial de cada banda do Landsat 5 TM (adaptado de Direção de Geração de Imagens; DGI-INPE, s.d.)

BANDA	FAIXA ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL
1	0.45 a 0.52 μm – Azul	30 metros
2	0.52 a 0.60 μm – Verde	30 metros
3	0.63 a 0.69 μm – Vermelho	30 metros
4	0.76 a 0.90 μm – Infravermelho Próximo	30 metros
5	1,55 a 1.75 μm – Infravermelho Médio	30 metros
6	0,4 a 12.5 μm – Infravermelho Termal	120 metros
7	2,08 a 2.35 μm – Infravermelho Distante	30 metros

O L5 apresenta como produto padrão: 6 bandas espectrais e 1 termal, orientação da imagem para o norte cartográfico, DATUM *World Geodetic System 1984* (WGS84), projeção cartográfica em *Universal Transverse Mercator* (UTM) e formato das imagens em *Geographic Tagged Image File Format* (GeoTiff). Com exceção da banda 6, a qual tem uma resolução espacial de 120m, todas as outras apresentam uma resolução de 30m. É possível combinar as bandas de diferentes maneiras, de acordo com o objetivo proposto para cada estudo. Para melhor mostrar as diferenças na vegetação, que aparece em tons de vermelho, a combinação indicada é entre as bandas 2, 3 e 4 (INPE, s.d.).

Conquanto, o lançamento do Landsat 8 (L8) no início de 2013 foi executado para garantir a continuidade da utilização dos dados da série Landsat, apresentando algumas modificações. O L8 carrega a bordo dois instrumentos, o *Observational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Os dois são sensores do tipo “*pushbroom*” e têm um campo de vista de 185km. O sensor OLI utiliza matrizes de detectores de comprimento com mais de 7 000 detectores por banda espectral, as imagens produzidas são a pancromática e as multiespectrais, com resoluções espaciais de 15m e 30m, respectivamente. Além de detectar as mesmas bandas espectrais dos instrumentos anteriores, o OLI adiciona duas novas bandas: ultra azul “*coastal*” (banda 1), útil para estudos costeiros (medir qualidade da água) e aerossóis, e infravermelho de ondas curtas “*cirrus*” (banda 9), a qual detecta nuvens finas. Já o sensor TIRS detecta energia em duas

regiões do infravermelho termal, com uma resolução espacial de 100m (USGS, NASA, s.d.).

A aquisição das imagens do L8 também pode ser feita gratuitamente e no que diz respeito às suas características técnicas, a tabela 2.2 demonstra algumas delas:

Tabela 2.2 - Comprimento de Onda e Resolução Espacial de cada banda do Landsat 8 OLI-TIRS (adaptado de USGS, s.d.)

Bandas	Comprimento de Onda	Resolução Espacial
1 – Ultra Azul	0.43 a 0.45 μm	30 metros
2 – Azul	0.45 a 0.51 μm	30 metros
3 – Verde	0.53 a 0.59 μm	30 metros
4 – Vermelho	0.64 a 0.67 μm	30 metros
5 – Infravermelho Próximo (NIR)	0.85 a 0.88 μm	30 metros
6 – Infravermelho de Ondas Curtas 1 (SWIR 1)	1.57 a 1.65 μm	30 metros
7 – Infravermelho de Ondas Curtas 2 (SWIR 2)	2.11 a 2.29 μm	30 metros
8 – Pancromática	0.50 a 0.68 μm	15 metros
9 – Cirrus	1.36 a 1.38 μm	30 metros
10 – Infravermelho Termal 1 (TIRS 1)	10.60 a 11.19 μm	100 metros
11 – Infravermelho Termal 2 (TIRS 2)	11.50 a 12.51 μm	100 metros

O sistema orbital Landsat continua sendo um dos mais utilizados no mapeamento da dinâmica espaço temporal do uso das terras e em todas as aplicações decorrentes. A antena do INPE recebe de forma contínua imagens de todo o território nacional, constituindo um enorme e único acervo de dados sobre o Brasil (Landsat, s.d.).

2.4.2. O satélite IRS-P6/ Resourcesat-1 LISS III

O sensor LISS-III foi desenvolvido em duas versões, sendo que a segunda foi lançada a bordo do satélite IRS-P6 ou Resourcesat-1, no qual as principais mudanças foram na resolução espacial, que passou a ser de 23.5 metros para todos os canais espectrais, em faixas imageadas de 141km. É um sensor que fornece informações relacionadas com a vegetação. A tabela 2.3 abaixo apresenta algumas características técnicas do sensor LISS-III, a bordo do satélite IRS-P6:

Tabela 2.3 - Resolução Espectral e Espacial de cada banda do IRS-P6 LISS III (adaptado de INPE, s.d.)

Bandas	Resolução Espectral	Resolução Espacial
2 – Verde	0.52 a 0.59 μm	23.5 metros
3 – Vermelho	0.62 a 0.68 μm	
4 – Infravermelho Próximo	0.77 a 0.86 μm	
5 – Infravermelho Médio	1.55 a 1.70 μm	

De acordo com Yadav *et al.* (2013), os dados de resolução moderada do sensor LISS-III são também úteis para estimar com precisão a superfície queimada (Yadav *et al.*, 2013).

Muitos países têm posto em órbita satélites com sensores que são ao menos potencialmente complementares à série Landsat, dentre eles cita-se o *Indian Remote Sensing* (IRS) (Goward *et al.*, 2012). De acordo com Berra *et al* (2014), o sensor LISS-III a bordo do satélite IRS-P6, se apresenta como uma alternativa para ser utilizado como complemento ou substituição aos dados do Landsat 5 TM, logo, estão sujeitos aos mesmos tipos de processamentos existentes para utilização das imagens.

2.4.3. Classificação Digital de Imagens de satélites

A classificação digital de imagens consiste em agrupar pixels com propriedades espectrais similares em classes, gerando uma nova imagem que torna mais simples a interpretação (Centeno, 2004; citado em Roza e Ribeiro, 2013). É um processo de associar

os pixels da imagem a um número finito de classes individuais que representam os objetos do mundo real, baseado nos valores digitais desses pixels. O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa temático representado por símbolos, cores ou gráficos (Meneses *et al.*, 2012).

A classificação de imagens é um processo estatístico e probabilístico que tenta ao máximo aproximar o mapa final produzido à realidade (Meneses *et al.*, 2012). Os diversos métodos existentes e em uso para classificação de imagens podem ser divididos segundo diferentes critérios: classificação paramétrica e não paramétrica, classificação espectral e espacial e classificação supervisionada e não supervisionada. Existe também a possibilidade em dividir os classificadores em classificação por pixel, ou por regiões (Kury e Vieira, 2001; citado em Meneses *et al.*, 2012).

Um classificador é um algoritmo que objetiva implementar uma determinada função de classificação, ou seja, é um algoritmo que identifica as composições dos diversos materiais, de modo a associar a cada pixel da imagem, uma classe representativa de uma cena. Inúmeros classificadores já foram desenvolvidos para classificação de imagens óticas e de microondas (Gaboardi, 2003).

O classificador Máxima Verossimilhança é um tipo de classificador que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos. É um classificador que destina cada pixel à classe que tem mais alta probabilidade, ou seja, máxima verossimilhança. Significa que para um pixel na posição x do espaço multiespectral, são computadas um conjunto de probabilidades que dão as possibilidades relativas do pixel pertencer a cada classe disponível. A menos que se estabeleça um limiar, todos os pixels de uma imagem são classificados (Meneses *et al.*, 2012). Não obstante, é considerado robusto para os pontos de ruídos isolados e para atributos irrelevantes (Tan *et al.*, 2009; citados por Reis, 2013), é de fácil entendimento e implementação e apresenta bom desempenho (Gaboardi, 2003).

O estudo desenvolvido por Reis (2013) comparou e avaliou a classificação de uso e cobertura da terra para uma parcela da Floresta Nacional do Tapajós e arredores, utilizando três tipos de classificadores: Máxima Verossimilhança (MaxVer), Redes Neurais (*Artificial Neural Network* – ANN, da sigla em inglês) e Máquina de Vetores Suporte (SVM, da sigla em inglês). De acordo com as conclusões do mesmo autor, o classificador SVM se mostrou eficiente para a área de estudo, porém para os dados avaliados não houveram diferenças

significativas quando comparado com o MarVer. As ANN não se mostraram muito eficientes tanto no que diz respeito ao resultado final, à dificuldade na sintonia dos parâmetros, quanto ao tempo de processamento (Reis, 2013). Em comparação ao método da MaxVer, os classificadores baseados em aprendizado de máquina podem consumir maior tempo computacional, além de necessidade de o utilizador despende muito tempo em definir os parâmetros, o que pode ser extremamente desgastante (Sousa *et al.*, 2010).

De maneira geral, dois dos usos mais comuns de imagens de satélites são a detecção e mapeamento da mudança da cobertura do solo através da classificação de imagens (Song *et al.*, 2001). A melhor maneira para avaliar a precisão do mapa de queimadas derivado de imagens de sensoriamento remoto é coletar pontos que representam a verdade no solo e compará-los com o resultado da classificação (Rogan e Yool, 2001; citados por Graham, 2013). Essa comparação é normalmente feita através de uma matriz de erros; a qual garante que pontos da área classificada como queimados só sejam precisos quando fazem correspondência com os pontos verdadeiros do solo. É uma matriz que pode estimar uma precisão total para o mapa produzido (Graham, 2013). Além dessa matriz, o valor do coeficiente Kappa também é utilizado para medir o grau de concordância entre o que foi classificado e o que realmente é na realidade. O resultado da classificação deve ser avaliado com base no desempenho do classificador e validado por critérios numéricos para estimar a precisão e sua acurácia (Meneses *et al.*, 2012).

A confiabilidade de um mapa está diretamente ligada a sua exatidão, sendo que a mesma indica à proximidade de uma determinada medida ao seu valor real. Assim sendo, é preciso realizar algum procedimento estatístico no resultado de uma classificação de dados de sensoriamento remoto, para determinar sua precisão (Figueiredo e Vieira, 2007).

Segundo Congalton (1991), a maneira mais comum de representar a precisão da classificação de dados de sensoriamento remoto é através da matriz de confusão, ou matriz de erro; recomendada por muitos pesquisadores e deve ser adotada como medida padrão. Basicamente uma matriz de confusão é uma matriz quadrada de números estabelecidos em linhas e colunas, expressando o número de unidades de amostragem atribuídas a uma categoria em relação à mesma área semelhante no solo.

Normalmente a matriz é estruturada da seguinte forma: abaixo das colunas representam os dados de referência que são comparados com os dados do produto da classificação, representados ao longo das linhas. Os elementos da diagonal principal

indicam o nível de concordância, sendo que a precisão global é calculada dividindo a soma dos valores da diagonal principal, pelo número total de amostras coletadas. A precisão de uma dada classe individual é obtida através da divisão do número total de amostras classificadas corretamente, pelo número total de amostras daquela classe. As precisões do produtor e do utilizador são alternativas para representar a precisão de uma classe individualmente. A precisão do produtor refere-se às amostras que não foram classificadas corretamente como pertencentes àquela classe, sendo assim omitidas de sua classe original; uma vez que o produtor está interessado em saber em quão exata uma área pode ser classificada corretamente. A precisão do utilizador indica a probabilidade que um pixel classificado na imagem de fato representa aquela classe na realidade em campo (Figueiredo e Vieira, 2007).

Congalton (1991) afirma que esse tipo de matriz é uma maneira muito eficiente de representar a precisão global e de cada categoria, juntamente com os erros de inclusão (erro de comissão) e exclusão (erro de omissão), presentes na classificação. Figueiredo e Vieira (2007) apontam que outro método padrão para avaliação da precisão temática tem sido índices derivados da matriz de confusão.

Uma medida também bastante usual para avaliar a precisão da classificação de dados de sensoriamento remoto é o índice Kappa (K), o qual é baseado no número de respostas concordantes. O K mede o grau de concordância além do que seria esperado aleatoriamente, no qual o valor 1 representa o valor máximo de total concordância e valores próximos e abaixo de 0, indicam pouca e/ ou nenhuma concordância, ainda em caso negativo, discordância (Laboratório de Epidemiologia e Estatística – Lee, s.d.). Resumidamente é uma medida do quanto à classificação está de acordo com os dados de referência (Figueiredo e Vieira, 2007). Abaixo segue a tabela 2.4 com a classificação de cada intervalo de valor desse coeficiente, de acordo com a classificação de Landis e Koch (1977):

Tabela 2.4 - Classificação para cada intervalo de valor do índice Kappa (retirado de Landis e Koch, 1977)

Estatística Kappa	Vigor de Concordância
< 0.00	Pobre
0.00 – 0.20	Fraço
0.21 – 0.40	Razoável
0.41 – 0.60	Moderado
0.61 – 0.80	Robusto
0.81 – 1.00	Quase Perfeito

O coeficiente Kappa pode obter qualquer valor entre -1 e +1, entretanto, matematicamente um valor de aproximadamente +1 é difícil de alcançar, sendo observado apenas em circunstâncias extremas (Gisev *et al.*, 2013). É um método mais complexo de medida de exatidão, uma vez que ao realizar a classificação de uma mesma cena com diferentes métodos, encontram-se diferentes valores para as matrizes de confusão. Dentre os métodos mais utilizados está o coeficiente Kappa, por conseguir retirar do cálculo do índice da classificação correta, a parte referente à alocação puramente aleatória das classes (Gaboardi, 2003).

Existem muitos filtros que podem ser aplicados nas imagens digitais a fim de refina-las. Os morfológicos são filtros que atuam nas propriedades geométricas, utilizando dois princípios básicos: fechamento (*Close*) e abertura (*Open*). Ainda se podem combinar essas duas propriedades com as sequências: abertura seguido de fecho, denominada de dilatação (expande as partes claras da imagem) e, fecho seguido de abertura, denominada de erosão (reduz as partes claras da imagem). São filtros que podem possuir algoritmos para imagens binárias e em tons de cinzento, sendo aplicados para remoção de ruídos, realçar bordas e na segmentação de imagem para classificação. As máscaras denominadas de elementos estruturantes, que atuam na imagem, podem assumir diversas formas: quadradas, retangulares, diagonais ou qualquer outra desejada, sendo que a escolha da forma influencia na mudança induzida na imagem. Ressalva-se que os valores dos elementos estruturantes são sempre zero ou um (Meneses *et al.*, 2012).

A aplicação do filtro de erosão causa uma redução das partes claras da imagem, gerando imagens mais escuras, enquanto o filtro de dilatação expande as partes claras da imagem, e o da mediana, suaviza e elimina ruídos. Abaixo segue figura 2.1 com alguns exemplos de kernel estruturantes (Meneses *et al.*, 2012):

Figura 2.1 - Exemplos de máscaras (retirado de Meneses *et al.*, 2012)

0 1 0	1 0 1	0 0 0
1 1 1	0 1 0	1 1 1
0 1 0	1 0 1	0 0 0
0 1 0	1 0 0	0 0 1
0 1 0	0 1 0	0 1 0
0 1 0	0 0 1	1 0 0

Apesar de fechar os buracos de uma imagem binária, a dilatação também “engorda” os elementos. O filtro morfológico de fecho corrige esta distorção, suavizando a fronteira dos objetos, fechando buracos e unindo componentes próximos (Falcão, 2005). Sendo assim, foi-se aplicado este filtro nos resultados da classificação das imagens, combinado com o filtro majoritário (*Majority*), o qual limpa a imagem de pixels isolados que foram mal classificados, uma vez que o processo de classificação resulta em muitas zonas isoladas de dados que são mal classificadas ou irrelevantes para o estudo (ArcGis *Resources*, s.d.). Após obter os resultados das filtragens, as zonas de interesse são convertidas para polígonos e novamente sofrem outro processo de filtragem, desta vez para suavizar as bordas dos polígonos, melhorando a qualidade de representação visual.

2.5. Modelo Digital de Elevação Global: ASTER GDEM

De maneira geral, Modelos Digitais de Elevação Global (GDEM, da sigla em inglês) são representações contínuas da topografia do terreno distribuída espacialmente às variações de altitude numa determinada área de interesse, podendo ser interpolados espacialmente e otimizados na obtenção de valores altimétricos originais de áreas planificadas. Os dados provenientes para a construção de um MDE podem derivar de levantamentos de campo, aerofotogrametria, imagens de satélites, ou captura de dados geográficos. No caso das imagens de satélites, atualmente encontra-se disponíveis diversas fontes de obtenção, devido ao crescente número de satélites em órbita da Terra (Grego *et al.*, 2013).

Os MDEs podem ser considerados como fontes de informações para o conhecimento sobre o relevo da superfície terrestre, permitindo a derivação de informações sobre a declividade, exposição solar e/ ou mapeamento da rede de drenagem de extensas áreas, entre outras, facilitando na identificação de áreas favoráveis para a agricultura ou para conservação do solo e da diversidade biológica, modelagem hidrológica, ortorectificação de imagens de satélites, ou avaliação de riscos (Landau e Guimarães, 2011). Um MDE é representado por uma matriz numérica cujos valores correspondem à elevação da área (Z), referenciada a um sistema de coordenadas espaciais (X e Y), ou por uma representação vetorial (Fuckner *et al.*, 2009).

Com o advento de sensores orbitais, modelos de elevação puderam ser extraídos através da interferometria (sensores imageadores de microondas), como exemplo o *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), ou da estereoscopia (sensores ópticos que adquirem imagens com retrovisada), como exemplo o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) *Global Digital Elevation Model* (GDEM); este último é um resultado de um consórcio entre a *United States National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e o *Ministry of Economy, Trade and Industry* (METI) of Japan (Fuckner *et al.*, 2009). Além de representarem aproximadamente toda a superfície terrestre e serem disponibilizados gratuitamente, assim como o SRTM, os produtos do ASTER GDEM apresentam algumas vantagens frente aos dados do SRTM. É possível construir de forma direta, ou seja, sem necessidade de interpolação, um produto com 30 metros de resolução espacial. Ainda assim, diferente do SRTM, no ASTER GDEM não existem os chamados “voids” (ausência de informações), por conta de seus produtos serem obtidos por processos estereoscópicos. Porém há a desvantagem de poder haver algumas falhas de correlação causadas por cobertura de nuvens nas imagens de entrada, uma vez que tais imagens são óticas e não de radar como o SRTM (Rodrigues *et al.*, 2010).

O GDEM foi criado com o processamento e correlacionamento de 1.3 milhões de arquivos de cenas ASTER, de imagens ópticas. O formato de saída é o *Geographic Tagged Image File Format* (GeoTIFF), 16 bits, níveis digitais de -9999 para pixels sem dados e 0 para corpos d’água (Rodrigues *et al.*, 2010). Para a América do Sul os dados são disponibilizados na resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30m), no sistema de coordenadas Lat/Long e *DATUM* WGS84 (Landau e Guimarães, 2011).

Os produtos gerados pelo ASTER GDEM são utilizados para as mais diversas aplicações, tais como: modelos de declive, cartografia, geomorfologia, estudos de uso e

ocupação do solo em áreas urbanas e rurais e todas as aplicações derivadas (Tomazoni *et al.*, 2011). Além desses citam-se: o planejamento do uso do espaço agrícola, a gestão ambiental, os programas de conservação de florestas e de solos, entre outras (Landau e Guimarães, 2011).

2.6. Workflow: *ModelBuilder*

As operações de um SIG envolvidas nas análises para um determinado estudo, muitas vezes precisam ser repetidas, remetendo a um esforço cansativo e que pode ser evitado por meio da criação de modelos que criam fluxos de trabalho, ou seja, modelos que personalizam e automatizam procedimentos no SIG a partir de uma sequência organizada de operações (Barroso *et al.*, s.d.).

O módulo *ModelBuilder*, utilizado neste estudo, personaliza ferramentas de geoprocessamento encadeando comandos preexistentes em fluxos. É um módulo disponível na aplicação ArcGIS Desktop. De acordo com Marra e Salgado (2009), as principais vantagens na utilização desse módulo são:

- a. Facilidade de Operação: dispensa o domínio de linguagens de programação;
- b. Execução Dinâmica: à medida que o fluxo de operações é construído a ferramenta pode ser executada, obtendo resultados intermediários que permitem analisar se os objetivos estão sendo atingidos;
- c. Interface Simples: fácil manuseamento das ferramentas e feições do fluxo
- d. O modelo pode ser salvo e permanecer disponível, além de possibilitar sua exportação e distribuição para outros utilizadores.

De maneira geral, esse módulo é uma plataforma de desenvolvimento que executa e programa funções complexas em pouco tempo, permitindo o compartilhamento das soluções personalizadas (Marra e Salgado, 2009). Neste sentido, a utilização desse módulo neste estudo foi justamente para automatizar processos repetitivos, ou processamentos complexos e longos, sempre que necessário.

3. DADOS E METODOLOGIA

Este capítulo aborda inicialmente uma breve descrição sobre a área de estudo, apresentando algumas características que tornam o PNCD e a sua ZA uma área de relevância a nível internacional. Além da descrição, elaborou-se um mapa (Anexo 7.1) com a localização geográfica da área de estudo e os municípios que a compõe. Posteriormente passa-se a descrever todos os dados utilizados neste estudo, explicitando de onde foram retirados, como vieram estruturados e como foram aplicados, a fim de garantir a confiabilidade em sua utilização. Após a descrição dos dados, apresentam-se todos os procedimentos metodológicos usados nos processamentos de cada um deles, descrevendo a configuração dos parâmetros em cada operação executada e os resultados alcançados.

3.1. Área de Estudo

Criado pelo decreto nº 91.655 em 1985 com o objetivo de proteger amostras do ecossistema da Serra do Sincorá, preservar os recursos naturais, gerir visitas controladas, pesquisas científicas e a conservação de sítios e estruturas de interesse histórico cultural, o PNCD abrange uma área de aproximadamente 152 000ha, com um perímetro de aproximadamente 110km, apresenta um clima tropical, subquente, semiárido brando e com mais ou menos seis meses secos. As temperaturas médias anuais ficam entre 22° a 24°C, com máximas absolutas de 36° a 38°C e mínima absoluta de 4° a 8°C. Seu relevo apresenta altitudes que ultrapassam os mil metros e sua fauna e flora são compostas por uma imensa variedade de espécies (LabGeo, s.d.). A média pluviométrica atinge índices entre 700 e 1.000 mm/ano, com período chuvoso geralmente entre outubro a abril e a estação seca de maio a setembro (Rodrigues *et al.*, 2011).

Completamente inserido no Estado baiano, mais especificamente na região central do Estado, o PNCD localiza-se entre as coordenadas geográficas 41°35' – 41°05' W e 12°25' – 13°20' S e abrange os seguintes municípios: Andaraí, Ibicoara, Itaetê, Lençóis, Mucugê e Palmeiras. Com a ZA incluem os municípios de Iraquara, Seabra, Nova Redenção, Iramaia e Boninal, totalizando 11 municípios (ver mapa em Anexo 7.1). É composto basicamente pelos biomas da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, com ecossistemas de florestas (ombrófila e estacional), mata ciliar, áreas alagadas, cerrado

(campo limpo, campo sujo, campo rupestre) e ecótonos, além do incontável número de nascentes existentes na área do PNCD. Neste parque são desenvolvidas diversas atividades consideradas conflitantes, como por exemplo: caça, pesca, captura de animais silvestres, extração mineral, coleta indevida de plantas e outros materiais biológicos, abertura e reabertura de trilhas para visitas turísticas, corte seletivo de madeira, uso indevido do fogo, entre outras. (MMA, ICMBIO, IBAMA, 2007).

A relevância desse parque ultrapassa as fronteiras do Brasil especialmente por fazer parte de limites das Reservas da Biosfera (RB), as quais foram criadas pela Organização das Nações Unidas para a Ciência, a Educação e a Cultura (UNESCO), com o objetivo de auxiliar o planejamento e instrumentalização de ações de preservação de biomas. As RB são sistemas de proteção ambiental, complementares às UC. São compostas por amostras de ecossistemas onde se buscam soluções que promovam a conciliação entre a conservação da diversidade biológica e o seu uso sustentável. Vale ressaltar que as RB não são consideradas UC pela lei do SNUC, porém objetivam adequar-se aos sistemas de proteção ambiental de cada país ou região, os quais têm autonomia para indicar como as RB devem ser geridas frente à existência da rede internacional das Reservas (fornecem diretrizes gerais para sua efetiva implantação). Acredita-se que o PNCD será incluído em no mínimo quatro RB, o que colocaria o parque numa situação inigualável no cenário nacional e atestaria o complexo mosaico de ambientes de transição característicos do parque. A inclusão do PNCD nas RB implicaria em oportunidades de colaboração internacionais no que compete às ações de implantação das Reservas, tornando o parque um caso único e com grande potencial de buscar diversos parceiros internacionais, junto com a UNESCO ou não, para programas multilaterais em geral. Um bom exemplo seria a possibilidade da obtenção de recursos pertinentes ao crédito-carbono e/ou sequestro de carbono; serviço que resulta de ações de combate aos incêndios que assolam a área e fazem com que o parque dependa praticamente toda sua energia e escassos recursos da UC em tais ações (MMA, ICMBIO, IBAMA, 2007).

Existe um sistema de comunicação instalado no parque, o qual é composto por 7 bases fixas distribuídas pelas cidades e/ ou vilas de Palmeiras, Lençóis, Mucugê, Andaraí, Rumo, Capão e Ibicoara, apenas 2 bases móveis todas localizadas no município de Palmeiras e 2 antenas, uma numa extremidade norte e outra na sul (MMA, IBAMA, 2005). Porém a carência de informações mais atuais e específicas para a área em estudo impedem

o desenvolvimento de trabalhos mais aprofundados e que abordem uma complexidade maior da dinâmica envolvente da região.

3.2. Descrição dos Dados

Os dados utilizados neste trabalho foram oriundos de diversas fontes e em diversos formatos, sendo eles basicamente dados geoespaciais (vetores e matrizes) e alfanuméricos. Os dados matriciais são imagens de sensores orbitais a bordo dos satélites Landsat 5–TM, Landsat 8 OTIS-TIRS, IRS-P6/ Resourcesat-1 LISS III e do ASTER GDEM; utilizado para obter o modelo de elevação da área de estudo. Todas as imagens utilizadas neste trabalho estão disponíveis gratuitamente, porém em fontes distintas. As imagens provenientes dos satélites L5 e IRS são gratuitamente obtidas pelo catálogo de imagens na página da internet do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), enquanto que as imagens do L8 são obtidas na página da internet do USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) e as do ASTER GDEM, na página da internet do próprio ASTER (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>). Os dados vetoriais são as primitivas geoespaciais (ponto, linha, polígono) dotados de atributos que permitem executar diversas análises e que junto com os alfanuméricos (basicamente em formato de tabela; extensão ‘*xls*’), fornecem as informações necessárias para a realização desse estudo. Os dados complementares são basicamente mapas elaborados em estudos anteriores e que permitem extrair informações vetoriais que complementam as análises.

No que diz respeito aos dados matriciais, o mosaico de imagens formando o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo foi feito pelo processamento de duas imagens ASTER GDEM, contidas nos arquivos ‘ASTGTM2_S13W042’ e ‘ASTGTM2_S14W042’, porém sem especificar o ano de aquisição. Todas as imagens vêm com o Sistema de Coordenadas Geográficas (SCG) DATUM WGS84 e por isso precisaram ser projetadas, com o mesmo DATUM, para o sistema de coordenadas UTM, zona 24 sul.

Para o ano de 2011 foram selecionadas três imagens retiradas do DGI/INPE: uma do satélite L5 e duas do IRS. A cobertura desse ano foi feita com as imagens dos meses de maio, setembro e dezembro. O ano de 2012 teve duas imagens de cobertura, uma do mês de abril e outra do mês de dezembro; ambas do satélite IRS e retiradas do DGI/ INPE. O ano de 2013 teve três imagens de cobertura, uma do mês de abril, uma para o mês de

agosto e outra do mês de outubro, uma do satélite IRS retirada do DGI/ INPE e as outras do L8 retirada do USGS, respectivamente. Ressalva-se que todas as imagens selecionadas tinham uma cobertura de nuvens menor do que 50% do total da cena. Abaixo segue tabela 3.1 com alguns dados das imagens usadas neste trabalho:

Tabela 3.1 - Relação das Imagens utilizadas no estudo

ANO	SATELITE	SENSOR	DATA	FONTE	COBERTURA NUVENS (%)	PATH/ ROW – CIDADE
2011	Resourcesat-1	LISS 3	30-05-2011	DGI-INPE	40	Mucuge
	Landsat 5	TM	14-09-2011	USGS	7.5	217/ 69
	Resourcesat-1	LISS 3	08-12-2011	DGI-INPE	47.5	Mucuge
2012	Resourcesat-1	LISS 3	30-04-2012	DGI-INPE	30	Mucuge
	Resourcesat-1	LISS 3	26-12-2012	DGI-INPE	42.5	Mucuge
2013	Resourcesat-1	LISS 3	01-04-2013	DGI-INPE	20	Mucuge
	Landsat 8	OLI/ TIRS	02-08-2013	USGS	6.5	217/ 69
	Landsat 8	OLI/ TIRS	05-10-2013	USGS	21.99	217/ 69

A última coluna da tabela indica a maneira de busca para cada imagem, ou seja, algumas imagens só podem ser encontradas quando buscadas pelo nome da cidade, neste caso Mucugê, outras podem ser encontradas especificando a órbita e o ponto de passagem do satélite, neste caso *path 217* e *row 69*. Das imagens listadas acima apenas as do L8 vieram com a extensão dos metadados (MTL), utilizada neste caso para corrigir os efeitos da atmosfera na imagem. Cada banda do L5 vinha acompanhada de um arquivo com extensão *xml*, o qual continha as informações necessárias para os cálculos da correção dos efeitos da atmosfera, já para as imagens do IRS, teve-se que consultar na própria página da internet, no catálogo de imagens do INPE, as informações para os cálculos.

A correção dos efeitos atmosféricos para as imagens do L5 e IRS foi feita por um procedimento diferente das do L8; utilizou-se outra aplicação e outro módulo de operação. Todas as imagens precisaram ser projetadas devido ao sistema de coordenadas de origem, a deslocamentos umas em relação às outras, ou mesmo falta de informações. No caso das imagens do L5, apesar de virem com o sistema de coordenadas projetado DATUM WGS84 UTM, zona 24S (sistema de coordenadas definido para o estudo), as mesmas não se encontravam na mesma posição espacial e por isso o deslocamento nestas precisou ser corrigido. Para as imagens do IRS, apesar de também apresentarem o mesmo sistema de coordenadas atribuído para o estudo, as imagens vinham sem os valores para o falso leste e norte e o meridiano central, por isso elas também tiveram que ser georeferenciadas. Já para

as imagens do L8 Zona 24, a projeção se deu pelo fato de que as mesmas estão orientadas para o norte verdadeiro (24N), bem como não possuem informação sobre o falso norte (10 000km).

No que diz respeito à resolução radiométrica das imagens aqui utilizadas, as imagens do L5 e IRS são representadas por 256 níveis de cinzento (0 – 255), ou seja, uma resolução de 8bits, enquanto que as imagens do L8 são representadas por 65 536 níveis de cinzento (0 – 65 535), ou 16 bits.

A composição de banda definida para este estudo foi a 4R3G2B; infravermelho próximo, vermelho e verde, respectivamente, para as imagens do L5 e do IRS. Para o L8 ficou 5R4G3B, devido à adição da banda ultra-azul (Banda 1). Essa composição ressalta a vegetação numa cor em tom de vermelho, permitindo diferenciar melhor as outras áreas, principalmente o que foi queimado. Não obstante, a escolha na utilização destes três satélites foi estritamente devido à disponibilidade dos dados gratuitamente, considerando uma cobertura anual significativa pela combinação das imagens. Além disso, as imagens do satélite Landsat 7 ETM+ disponíveis para a zona de estudo e também gratuitamente pela página da internet do USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), apresentavam ruídos que comprometiam as operações e análises a serem realizadas, por isso nenhuma imagem deste satélite pôde ser utilizada.

Enquanto o mosaico de imagens do ASTER GDEM foi utilizado para obter informações sobre relevo – declividade – e altimetria, as imagens dos satélites multiespectrais foram utilizadas para se obter informações sobre as áreas queimadas no PNCD e na sua ZA no período de 2011 até 2013, sendo estas informações um complemento a ser agregado às informações provenientes dos outros dados; vetoriais e complementares. São dados que, assim como os matriciais, também são provenientes de diversas fontes e estão em diferentes sistemas de coordenadas, necessitando projetá-los para o sistema de referência definido para este estudo.

O polígono delimitando a UC do PNCD foi obtido do ICMBIO e veio no SCG DATUM SIRGAS 2000. Esse dado é composto por todas as UC's brasileiras catalogadas pelo instituto, necessitando neste caso apenas extrair a UC baiana de interesse e atribuir o sistema de coordenadas. O vetor dos limites municipais da Bahia e do próprio Estado foi obtido do IBGE, com o SCG DATUM WGS84 e datado de 2008. Os pontos das sedes municipais do estado da Bahia e as redes hidrológica e rodoviária foram obtidos através do

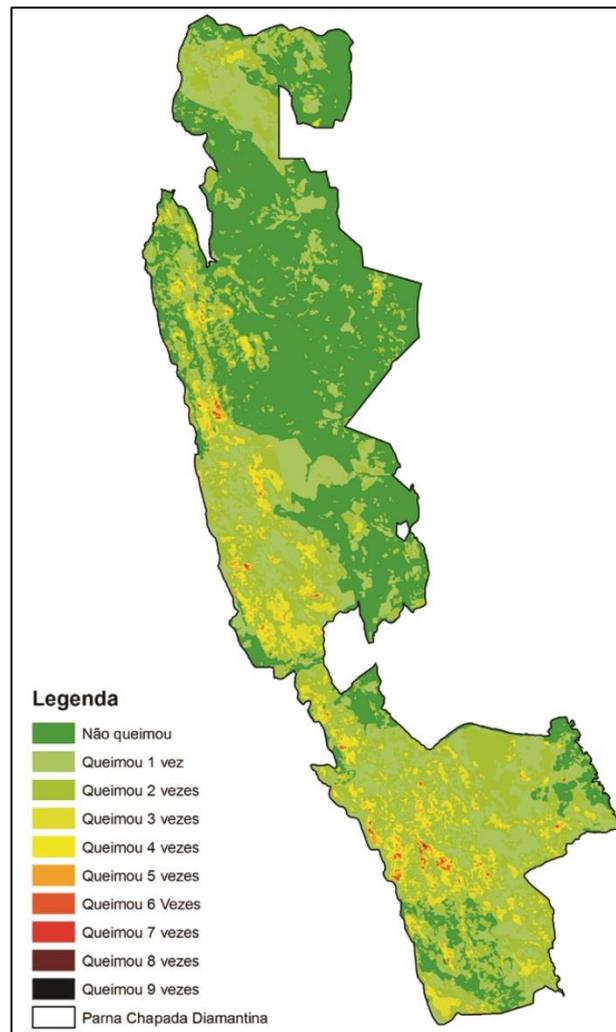
Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), todos eles referenciados pelo WGS84. As amostras pontuais localizando as sedes de cada município são do ano de 2009. A rede hidrológica demonstra os principais rios e alguns de seus afluentes, porém como não apresenta metadados não foi possível identificar qual o ano de referencia. A rede rodoviária, datada de 2011, apresenta as principais rodovias federais (BR) e estaduais (BA) que cortam a Bahia, porém encontram-se neste dado outros tipos de vias sem classificação.

As amostras pontuais sobre os focos de calor foram obtidas através do site do INPE <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>, especificando os parâmetros para obter diretamente os focos na UC desejada para o período que vai de 2011 até 2013. Esses focos são dados gerados a partir de imagens de sensores a bordo dos satélites polares da série NOAA, EOS (TERRA e AQUA) e dos geoestacionários GOES e METEOSAT, referenciados pelo SCG *South American Datum 1969* (SAD69). No ano de 2011 foram computados 103 focos de calor, o ano de 2012 teve registrado 1 161 focos e o ano de 2013, 425 focos de calor. Ressalta-se que nem tudo que é foco de calor é incêndio, e nem tudo que é incêndio é detectado pelos sensores (Gontijo *et al.*, 2011), porém os focos de calor são indicadores de queimadas apesar de não fornecerem informações diretas sobre a extensão da área queimada. Embora tais dados representem bem aspectos da distribuição espacial e temporal dos incêndios, relacionar os focos de calor com a área realmente queimada é uma tarefa bastante complexa (Silva *et al.*, 2013).

O polígono que delimita a ZA da área de estudo foi definido através de um *buffer* com 10 000m de distância em relação a todo o perímetro do PNCD; a medida do *buffer* obedece à resolução N° 13 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, a qual estabelece que nas áreas circundantes das UC's, num raio de 10km, qualquer atividade que afete a biota deve ser obrigatoriamente licenciada. (CONAMA, 1990).

As outras informações vetoriais utilizadas neste estudo foram extraídas de alguns dados complementares, provenientes de diferentes fontes. Os polígonos que expressam as áreas críticas queimadas no PNCD foram extraídos pela vetorização de um mapa elaborado no trabalho desenvolvido por Gonçalves *et al* (2011), sobre a recorrência de incêndios no PNCD no período de 1985 até 2010. Este mapa diferencia o número de vezes que cada área queimou (máximo de 9 vezes), sendo que para este estudo considerou-se como área crítica àquela queimada a partir de 5 vezes, ficando com um total de 164 polígonos; abaixo segue figura 3.1 do mapa referido como base para vetorização das áreas críticas:

Figura 3.1 - Mapa sobre recorrência de incêndios no PNCD entre 1985 – 2010
(retirado de Gonçalves *et al.*, 2011)



Outro mapa utilizado para extrair informações foi o mapa desenvolvido pela parceria entre a CPRM e o IBAMA, o qual demonstra as trilhas e os pontos turísticos integrantes do Projeto Chapada Diamantina. Neste mapa estão expressos 27 pontos turísticos e o percurso das 14 trilhas catalogadas para este projeto. São também demonstradas as rodovias de acesso, a rede hidrográfica, as sedes das principais cidades ou vilas que compõem a área, entre outras características. O mapa foi produzido com dados coletados em campo, bem como por pesquisas bibliográficas e informações verbais de estudiosos e conhecedores da região, sendo publicado no ano de 1995 e modificado pela última vez em 2001. O mapa em questão encontra-se no anexo 7.2, do qual extraiu-se apenas as linhas das trilhas, as quais foram utilizadas como critério para instalação das torres.

Ressalva-se que mais dados complementares foram obtidos e utilizados, dentre eles podemos citar: os focos de calor para todo o Estado da Bahia no período que compete este estudo, como forma de estabelecer uma comparação estatística entre o queimado no Estado e no PNCD e sua ZA, o mapa dos setores de monitoramento do parque e o risco de incêndio para cada setor, utilizados, por exemplo, para quantificar quantas torres são necessárias em cada setor, entre outros. Também se obteve dados complementares gerados através do processamento dos dados originais. São resultados preliminares que também subsidiam as análises a serem feitas para se alcançar os objetivos propostos, como por exemplo, os *buffers* que definem as zonas de proximidade entre as torres e as áreas críticas queimadas, as tabelas de frequência de focos de incêndio mensais e anuais calculadas nas aplicações de SIG, os mapas de *Kernel*, entre outros.

3.3. Metodologias

Buscando compreender a dinâmica de ocorrência dos incêndios no PNCD é analisado o padrão de distribuição temporal dos focos de calor, através das análises de gráficos, mapas e tabelas com valores representativos, obtidos pelos processamentos em aplicações de um SIG. As áreas queimadas na área de estudo no período que compete essa pesquisa (2011 – 2013) são identificadas por processamentos de imagens de satélites multiespectrais, gerando mapas correspondentes a cada ano, bem como ao período total. As áreas críticas queimadas no parque são definidas pela vetorização de informações histórica sobre a ocorrência de queimadas no parque, presentes no mapa realizado por Gonçalves *et al.* (2011). Para a localização dos locais ideais para o posicionamento de torres para monitorar essas áreas críticas, utilizaram-se informações sobre o declive e altimetria extraídos de imagens do ASTER-GDEM, junto com alguns critérios estabelecidos para região.

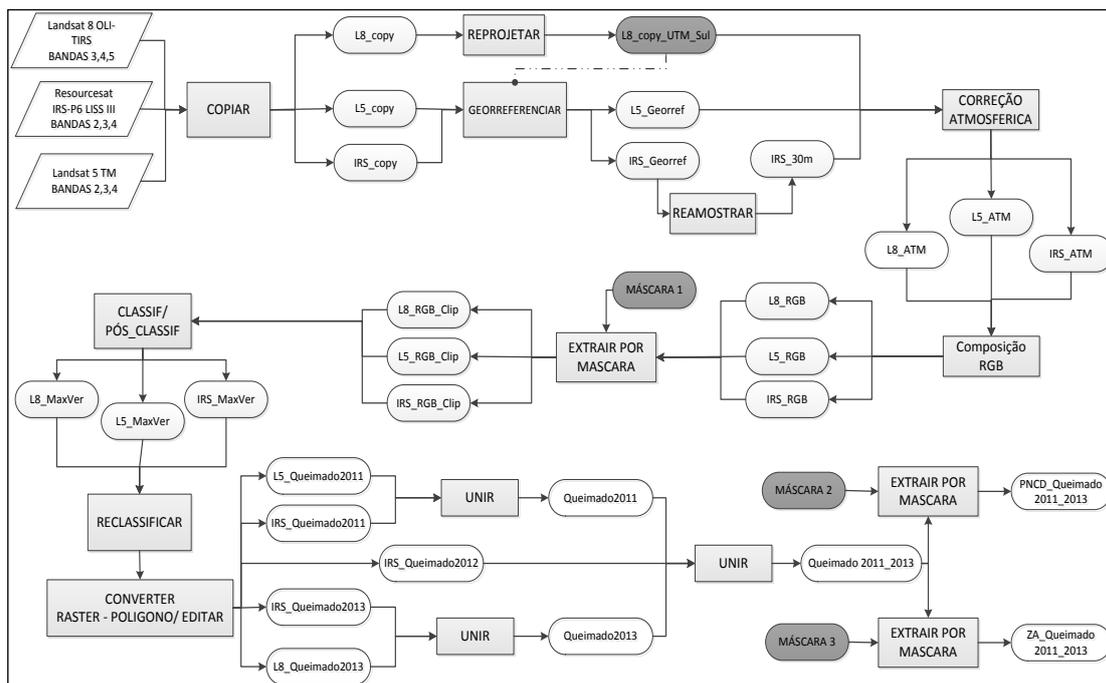
Foram também utilizadas outras informações que são complementares e contextualizam as análises, como por exemplo, as zonas de influências geradas, os polígonos especificando os limites da UC, dos municípios e do Estado, os mapas de setores de monitoramento e de risco de incêndio por setor, entre outros. De maneira geral são abordados os procedimentos metodológicos aplicados em cada dado utilizado neste estudo, a fim de obter os objetivos definidos. São apresentados os fluxos metodológicos aplicados,

descrevendo os parâmetros definidos em cada operação realizada, bem como a maneira para se chegar aos resultados finais.

3.3.1. Imagens Multiespectrais: Áreas queimadas de 2011 até 2013

As imagens multiespectrais são provenientes de três satélites: Landsat 5 TM e 8 OLIS/ TIRS, e o ResourceSat 1 IRS-P6 LISS III. Para os processamentos foram selecionadas as bandas verde, vermelho e infravermelho próximo (2, 3 e 4 para o L5 e IRS; 3, 4 e 5 para o L8). Todas as operações executadas nestes dados estão ilustradas na figura 3.2 do fluxograma que segue abaixo. Neste estão expressos os procedimentos usados para identificar as áreas queimadas na região de interesse, no período de 2011 até 2013:

Figura 3.2 - Fluxo Metodológico para imagens Multiespectrais



O fluxo inicia-se pelas caixas no canto superior esquerdo do fluxo, as quais representam as bandas de cada satélite e são os dados de entrada originais. Os retângulos pintados de cinza claro representam todas as operações envolvidas no processamento dos dados, as elipses em branco são os resultados temporários utilizados como dados de entrada em outras operações e também os resultados finais. As elipses na cor cinza mais

escuro representam os vetores utilizados ou como dado de referência para o georeferenciamento, ou como máscaras no processo para cortar as imagens pela zona de interesse. Ressalva-se que o fluxograma acima aborda de maneira geral os dados, as operações envolvidas e os resultados alcançados, sendo que as configurações dos parâmetros, os detalhes da composição dos dados e de cada operação e resultados, são abordados nos parágrafos que se seguem.

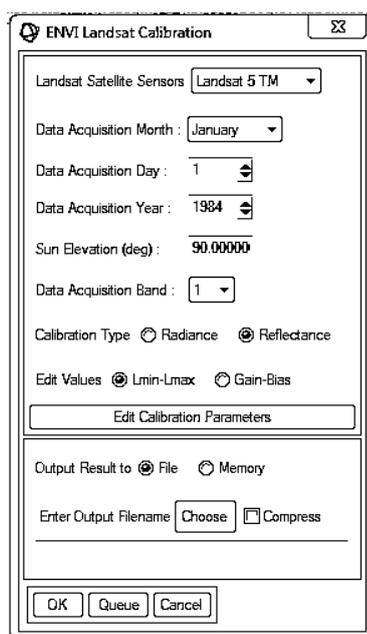
Toda a banda utilizada neste estudo apresenta originalmente uma escala de cinzento que varia de 0 até o valor máximo, que no caso das imagens do L5 e IRS vai até 255 e do L8 até 65 535, o que representa uma resolução radiométrica de 8 bits e 16 bits, respectivamente. O primeiro procedimento realizado para todas as imagens foi o de copiar cada banda (*copy Raster*) para eliminar pixels sem informações, bem como *background* na imagem, ou seja, todo pixel com valor menor ou igual a zero será excluído. Isso altera a escala de cinzento para os valores mínimos e máximos reais contidos em cada banda. Essa operação é feita mantendo a profundidade do pixel e foi realizada pelo módulo *batch*, contida na *toolbox* do Arcgis, o qual permite executar grande quantidade de arquivos de uma só vez, ajustando de maneira dinâmica os parâmetros a serem definidos.

O próximo passo foi atribuir o sistema de coordenadas definido para os dados matriciais resultantes do processamento anterior. Como a zona de interesse localiza-se no hemisfério sul e no fuso 24, definiu-se para este estudo o sistema de coordenadas UTM, Zona 24S, DATUM WGS84. A atribuição desse sistema nas bandas do L8 foi feita somente pela reprojeção das mesmas para o hemisfério sul, já no caso das imagens do L5 e IRS, as mesmas foram georeferenciadas utilizando a imagem projetada do L8 como referência.

Os pontos de controle para o georeferenciamento foram coletados em apenas uma das bandas de cada satélite (2, 3 ou 4), para todas as outras utilizaram-se os mesmos pontos de controle correspondentes para cada data, sendo que para as imagens do L8 apenas precisou-se reprojeta-las para o hemisfério sul. Após a reprojeção e georeferenciação, todas as informações que faltavam (falso norte, falso leste, meridiano central) foram adicionadas automaticamente. Com as imagens devidamente projetadas, teve-se agora que reamostrar (*resample*) os pixels das bandas do IRS para 30 metros (tamanho da célula correspondente para todas as imagens utilizadas), antes de dar início à correção atmosférica. O processo foi executado pelo método do vizinho mais próximo e também foi feito no módulo *batch* do Arcgis, executando todas as bandas de vez.

A correção atmosférica para as imagens resultantes do processamento anterior foi feita de maneira distinta e utilizando diferentes aplicações. No que diz respeito às bandas do L8, como os arquivos de origem dispunham dos metadados (extensão MTL) com todas as informações necessárias, o processo de correção dos efeitos da atmosfera puderam ser calculados de forma automatizada, utilizando a aplicação GRASS com o módulo *i.landsat.toar*, o qual, depois de adicionado o metadado, basta escolher um nome de saída, o tipo de sensor (*ot8*) e o método de correção atmosférica (*uncorrected*). Esse módulo faz os cálculos automaticamente para todas as bandas, salvando-as numa mesma pasta e com a mesma extensão (*TIF*). Já para as bandas dos satélites L5 e IRS, os cálculos se deram de modo interativo através da aplicação ENVI versão clássica 5.1, com o módulo *Landsat Calibration*. É um módulo que assim como o do GRASS citado acima, também tem embutido as expressões matemáticas necessárias para os cálculos das imagens de radiância e refletância (para este estudo utilizou as imagens de refletância para compor o RGB de cada data), executando-as automaticamente, porém os ajustes dos parâmetros são mais morosos. Neste módulo, além de ter que processar banda por banda, deve-se sempre ajustar o sensor, data de aquisição (mês, dia, ano), ângulo de inclinação solar em graus, especificar a banda, o tipo de calibração e o valor correspondente para o cálculo, bem como um nome de saída. Abaixo segue figura 3.3 demonstrando a interface desse módulo no ENVI:

Figura 3.3 - Ilustração do Módulo Landsat Calibration



Ainda por ser mais moroso que o módulo do GRASS, continua sendo mais vantajoso utilizá-lo uma vez que esse módulo calcula diretamente a imagem de refletância sem precisar escrever manualmente as expressões matemáticas para realização dos cálculos.

Com os efeitos da atmosfera devidamente corrigidos, a próxima etapa constitui-se em compor as bandas de forma que a imagem resultante dessa composição ressalte a vegetação a ponto de fornecer informação sobre a dinâmica que ocorre na mesma, possibilitando assim, identificar as áreas queimadas através de processo automático. Desta forma, para melhorar o nível visual das imagens, a composição definida para este estudo foi a RGB com a banda do infravermelho próximo no canal R, a banda do vermelho no canal G e a banda do verde no canal B. Esse tipo de composição atribui à vegetação uma cor em tom de vermelho, destacando-a bem de todo o resto que não é vegetação, sendo que para o L5 e IRS a composição foi 4R3G2B e para o L8, 5R4G3B. Foi utilizada a banda do infravermelho próximo, pois segundo Roza e Ribeiro (2013) é a banda mais adequada para identificar áreas queimadas, as quais aparecem nas imagens em preto.

O corte das imagens RGB, etapa seguinte à composição, foi feito utilizando o vetor do *buffer* com 10 000m da área do PNCD ('MASCARA 1' ilustrada na figura 3.2). Essa máscara foi usada como limitante para determinar nas imagens, a área total de interesse neste estudo. Esse processo de corte também foi feito com o módulo em lote (*batch*) do ArcGis.

De posse das respectivas imagens com a área de interesse devidamente delimitada, deu-se início ao processo de identificação das zonas queimadas em cada uma delas. Para todas as imagens utilizadas, as classes finais definidas com a classificação dos pixels foram: Queimado, Vegetação, Água, Solo Exposto, Nuvens, Sombras. O classificador utilizado neste processo foi o Máxima Verossimilhança (MaxLike – *Maximum Likelihood*), por ser tido como o mais confiável entre os classificadores supervisionados e também para seguir adaptando a metodologia usada por Junior *et al.*, (2013). Apesar de ter sido usada para identificar queimadas em lavouras canavieiras, a metodologia proposta pelo autor citado acima apresenta procedimentos que são pertinentes para os dados adquiridos e condiz com a dinâmica da região. São rotinas para tratamento de imagens do L5, portanto puderam ser aplicadas com suas devidas adaptações.

Todas as imagens foram classificadas com 9 classes: Nuvens, Sombra_Encosta, Solo_Exposto, Agua, Rocha_Exposta, Vegetação, Sombra_Nuvens, Veget_2 e Queimado. Após a classificação e análise visual dos resultados, combinaram as seguintes classes numa única classe: Solo Exposto com Rocha Exposta deu origem à classe SOLO_EXPOSTO, Vegetação e Veget_2 deu origem à classe VEGETAÇÃO e por fim, Sombr_Nuvens com Sombra_Encosta, deu origem à classe SOMBRAS. Houve primeiramente a diferenciação dessas classes pelo fato de que todas elas apresentavam regiões com pixels que eram confundidos como pertencentes a outra classe. Ao aumentar o número de classes, especificando melhor as diferenças espectrais, essas regiões puderam ser diferenciadas e atribuídas à classe definida mais corretamente, por isso inicialmente elas precisaram ser separadas. Somente após a classificação e avaliação visual do resultado preliminar, as mesmas foram combinadas. Foi um método utilizado para melhor distinguir os elementos contidos nas imagens, garantindo uma melhor precisão na classificação.

Seguindo os métodos de Junior *et al.*, (2013), o processo de classificação das imagens para poder identificar as áreas queimadas em cada uma delas foi feito obedecendo a ordem das datas para cada ano. Toda imagem classificada gerou dois arquivos como resultado: um em formato de matriz representado o mapa digital da área queimada, e o outro no formato de tabela (Matriz de Erros), a qual expressa a precisão da classificação através dos índices globais e Kappa, além de determinar os acertos e erros oriundos para cada classe; omissão e comissão. Pelos índices citados acima é possível avaliar o resultado da classificação para cada imagem.

Na matriz de confusão ou erro, usualmente as colunas são tomadas por corretas, enquanto as linhas são para mostrar o que foi classificado no mapa ou na classificação gerada dos dados de sensoriamento remoto. É uma matriz que representa a acurácia do mapa, uma vez que permite correlacionar a imagem classificada com os dados que são obtidos por verdade no solo. As análises feitas nas matrizes geradas para cada imagem restringiram-se apenas aos valores da precisão global, do coeficiente Kappa e da classe de interesse; neste caso QUEIMADO.

Em todas as matrizes apresentadas, a diagonal principal (na cor cinza) representa o número de pixels identificados pelo utilizador como corretamente classificados, sendo que os demais elementos das linhas fornecem o número de pixels classificados erroneamente. A acurácia da classificação para uma determinada classe é dada pelo número de pixels corretamente classificados na classe (valor da diagonal em cinza para cada classe),

dividido pelo número total de pixels de referência para a mesma classe. A precisão global é uma medida da precisão de todas as classes, expressa em porcentagem; é a razão entre a soma de todos os pixels classificados corretamente (valores da diagonal principal), pelo número total de pixels. O coeficiente de concordância Kappa é um índice que fornece a concordância entre a classificação e os dados de referência.

Na avaliação da exatidão do processo de classificação, fez-se primeiro uma análise visual do resultado obtido comparando-o com as imagens. A percepção visual foi utilizada para uma interpretação qualitativa dos resultados, moldando a construção de todo processo de classificação por meio de comparações entre os resultados preliminares e a visualização nas imagens. Após conferir visualmente os resultados, foram geradas amostras aleatórias de pixels, as quais são depois utilizadas para gerar as respectivas matrizes de confusão ou erro. Essas amostras aleatórias foram definidas sempre em proporção ao número de classes e maior do que o número definido automaticamente pela aplicação, ou seja, se a aplicação atribui um máximo de amostras abaixo de 480, o valor a ser definido seria de 480, caso contrário, se a aplicação definisse um número total entre 480 e 540, o valor a ser definido seria de 540. Em caso da aplicação definir valores entre 540 e 600, o valor a ser definido seria de 600. Seguiu-se empiricamente esse método como forma de garantir melhores resultados, uma vez que os valores aplicados sempre obedeciam ao que a aplicação propunha, apenas arredondando-os para valores proporcionais ao número de classes. Após esse processo, todas as imagens foram refinadas através da aplicação de filtros digitais; utilizados aqui para melhorar a visualização dos resultados da classificação.

A aplicação dos filtros refere-se à etapa da pós-classificação, sendo que para este estudo os filtros necessários para refinar os resultados alcançados com a classificação foram o *Majority* e o *Close*, ambos com kernel 3x3. O *Majority* é aplicado para substituir as células individuais que foram mal classificadas, com base na maioria das células contíguas vizinhas (*Majority Filter*, s.d.), enquanto o *Close* atua para suavizar a fronteira dos objetos e fechar os buracos dentro dos polígonos.

A próxima etapa foi isolar apenas o classificado como queimado, para isso recorreu-se ao processo de reclassificação dos resultados obtidos após as filtragens. A reclassificação devolve como resultado uma imagem binária de zeros e uns, ou seja, tudo que for de interesse para o estudo atribui-se o valor 1 e o que não for, atribui-se 0. Com a área de interesse para cada imagem individualizada, passou-se a converter os resultados para vetores.

Esse processo de conversão é importante na medida em que ele permite realizar análises espaciais e estatísticas, como por exemplo, cálculo de área identificada como queimada, porcentagem total do parque queimado entre 2011 e 2013, município que teve a maior área queimada, além de poder gerar gráficos a partir dos atributos contidos nas tabelas, entre outros. Após o processo de conversão utilizou-se um algoritmo de suavização contida na *tollbox* do Arcgis. Esse algoritmo suaviza os ângulos agudos dos polígonos, melhorando a qualidade estética e cartográfica dos mesmos. Para o caso deste estudo o que melhor se aplicou foi o algoritmo predefinido denominado de *Bezier_Interpolation*, o qual determina que as curvas passem por entre os vértices, sem a necessidade de estabelecer uma tolerância. Todos os resultados desse processo de conversão foram acompanhados de uma edição vetorial, como de atributos.

A edição vetorial foi devido ao fato de o processo de classificação ter gerado, por conta da ocorrência de nuvens e suas sombras, zonas identificadas como queimadas que na verdade eram sombras (erros de comissão e omissão) e como não foi possível utilizar procedimentos automatizados para correção desses ruídos, os mesmos tiveram que ser apagados manualmente na edição, para garantir que todos os polígonos convertidos representassem apenas as áreas queimadas em cada imagem. A edição dos atributos foi para incluir e calcular campos que servem para serem utilizados nas análises estatísticas e espaciais, três são referentes à data (dia, mês e ano), um referente ao valor da área de cada polígono, em hectares (ha). Como os resultados desse processo de conversão representam polígonos para determinado mês de um ano específico, o próximo passo foi uni-los para se obter o total de cada ano e por fim, o total do período entre 2011 e 2013, especificando o que foi queimado no PNCD e em sua ZA.

Após a união dos polígonos que originam as áreas queimadas para o período em estudo (2011 até 2013), foram atribuídas duas máscaras para especificar o que foi queimado no PNCD e na sua ZA. A “MASCARA 2” referida na figura 3.2 representa o polígono do PNCD, enquanto a “MASCARA 3” é o *buffer* que representa a ZA. Como resultado final da metodologia aplicada nas imagens multiespectrais, além dos resultados preliminares para o total queimado em cada ano, obteve-se três imagens das áreas queimadas, uma do total queimado na área de estudo e outras duas do total queimado no PNCD e na ZA; “Queimado 2011_2013”, “PNCD_Queimado 2011_2013” e “ZA_Queimado 2011_2013”, respectivamente.

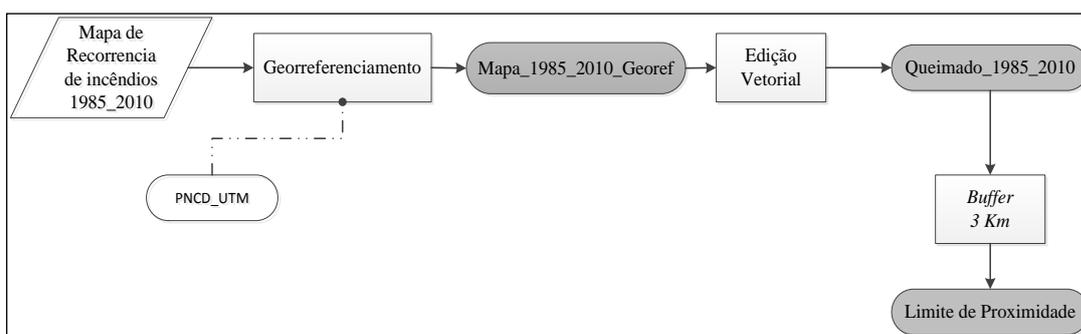
Essa metodologia aplicada às imagens multiespectrais permitiu conhecer o que foi queimado na UC em estudo e em sua ZA, considerando os erros inerentes à classificação. Através dos métodos empregados foi possível realizar análises que podem subsidiar os ROI's municipais e o específico para a UC, fornecendo informações sobre a área que foi queimada em cada ano e onde se localizam, por exemplo.

Dando seguimento, o próximo passo foi estabelecer as áreas críticas queimadas na região de estudo, bem como obter dados referentes ao relevo e altimetria pelo processamento do MDE da área e outros dados que complementam as análises para este estudo.

3.3.2. Mapa das Áreas Críticas Queimadas no PNCD

A determinação das áreas críticas mais queimadas no PNCD se deu pela análise sobre o mapa elaborado por Gonçalves *et al.*, (2011), extraindo as áreas queimadas a partir de cinco vezes. A escolha por essa classe se deu pelo fato dela estar bem distribuída espacialmente, por representar o início das classes que estão acima da média do número máximo de vezes que uma determinada área queimou e por fim, por especificar ainda mais as áreas que mais queimam no parque. Tomando como lógica o fato de que, se o máximo de vezes queimado numa área foi de nove em 25 anos, não seriam três anos que mudariam essa realidade, logo, as áreas a partir de cinco vezes queimadas podem ser consideradas como críticas e assim priorizadas para serem monitoradas. Assim sendo, elaborou-se um fluxograma, ilustrado na figura 3.4 abaixo, para demonstrar a metodologia utilizada na identificação dessas áreas:

Figura 3.4 - Fluxo metodológico para processar as áreas críticas queimadas no PNCD



Inicialmente o mapa obtido precisou ser georeferenciado para que as informações extraídas estivessem de acordo com o mesmo sistema de coordenadas do trabalho. Para isso utilizou o polígono do parque devidamente projetado, como referência para posicionar o mapa num plano de projeção. Bastou-se apenas coletar quatro pontos de controle com o polinômio de primeira ordem, para obter um posicionamento e RMS significativos.

Como a resolução do mapa não permitia um bom resultado para obter as informações desejadas por meios automáticos (classificação de imagem), o próximo passo foi a edição vetorial, a qual foi feita inicialmente criando uma nova primitiva vetorial, *features class*, em formato de polígono e com o sistema de coordenadas WGS84 UTM, zona 24S. Após a criação da nova camada vetorizaram-se os polígonos das áreas determinadas, os quais tiveram os *buffers* representando os limites de proximidade para as torres, calculados.

O estabelecimento desses limites se deu para garantir uma cobertura efetiva dessas áreas e por isso representa um critério a ser respeitado na definição dos locais para a implantação das torres.

3.3.3. Dados Vetoriais e Complementares

Todos os dados vetoriais utilizados nesta etapa, assim como os demais usados anteriormente, tiveram que ser projetados, porém como os parâmetros são iguais para todos, utilizou-se o modo em lote do Arcgis para projetá-los simultaneamente, sendo para isso necessário criar uma variável *Multivalued Feature Class* com todos os vetores e um diretório de saída para armazenar o resultado da projeção; executada no *Model Builder*. Após esse processo, foi-se selecionando dado por dado para realizar as respectivas operações.

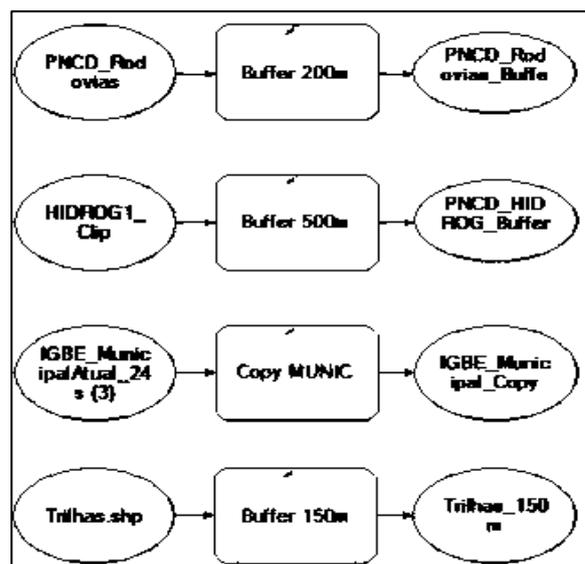
Nos parágrafos que seguem são representados os fluxos, ou fragmentos dos mesmos, expressando a metodologia adotada para cada dado, bem como uma descrição dos procedimentos. O fluxograma 1 expresso no anexo 7.3 demonstra as operações envolvidas na extração das partes das camadas que integram a área de estudo, bem como na geração dos *buffers* denominados de ZA e Zonas de Corte (ZC).

No fluxograma apresentado no anexo 7.3 estão identificados quatro tipos de dados selecionados para este estudo: a rede hidrográfica, as rodovias, as UC baianas e as trilhas do parque; não necessariamente nesta ordem. Após a seleção da UC correspondente ao parque, foram realizados três *buffers*: um para a ZA e os outros dois para as respectivas ZC. A ZA, como dito anteriormente, foi estabelecida com 10 000m de distância de todo o perímetro do parque, sendo que o *buffer* que a representa foi calculado apenas para a parte externa do perímetro do PNCD. As ZC foram especificadas com 10 000 e 12 000m de distância do perímetro do parque, porém o polígono para estas zonas são calculados para abranger toda a área, ao invés de apenas a parte externa do PNCD. Para o cálculo destas distâncias utilizou-se a ferramenta *Multiple Ring Buffer*.

O polígono ZC de 10 000m foi utilizado como máscara para cortar as imagens multiespectrais, enquanto a ZC de 12 000m foi utilizada como máscara para cortar o mosaico de imagens ASTER, as rodovias, a hidrografia e também como limitante para selecionar os municípios que compõem a área de estudo. Após a seleção dos municípios, feita pela interseção entre os polígonos municipais e a ZC de 12 000m, os mesmos tiveram que ser copiados para se tornarem arquivos permanentes e em formato *shapefile*.

No que diz respeito aos *buffers* e à cópia dos polígonos municipais, abaixo segue a figura 3.5 com um fragmento do fluxograma 1 do anexo 7.3, correspondente às operações executadas e valores definidos.

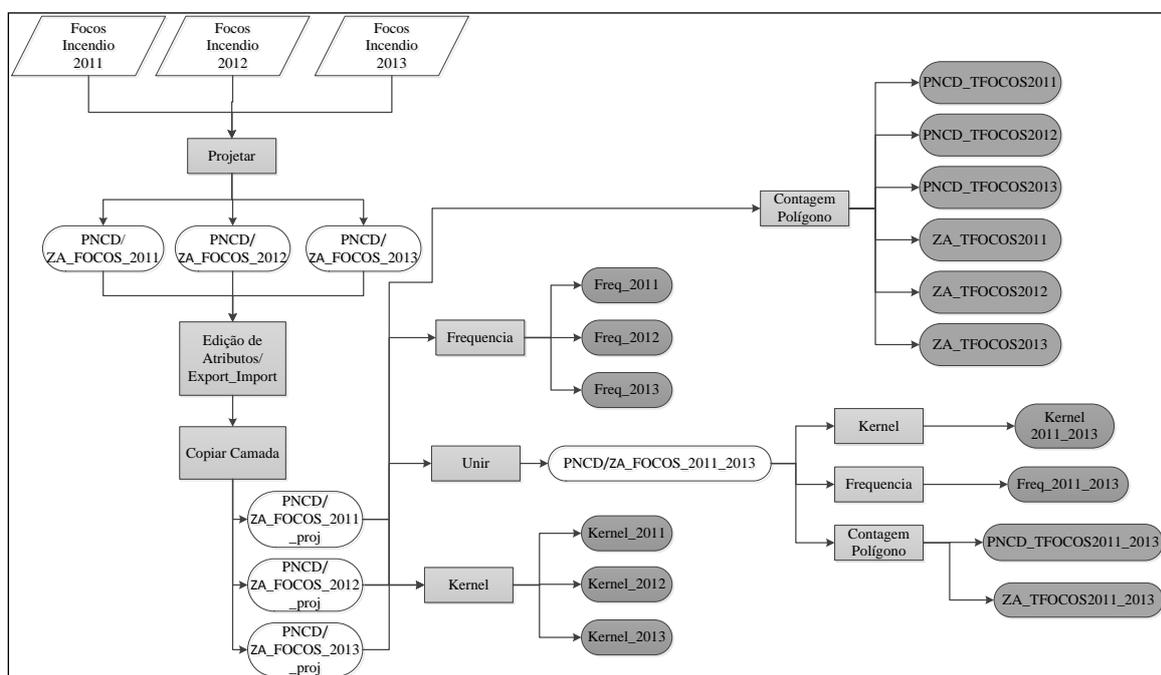
Figura 3.5 - Fragmento do Fluxo metodológico com os buffers e municípios definidos



Como demonstrado na figura, foram gerados três *buffers* com diferentes medidas: 200m para as rodovias, 500m para os recursos hídricos e 150m para as trilhas. Esses valores estão justificados no tópico sobre as metodologias aplicadas.

Para os dados relativos aos focos de calor disponibilizados pelo INPE no período de 2011 até 2013, as operações usadas estão expressas na figura 3.6. Os resultados alcançados com os processamentos realizados contribuem para as análises espaciais e estatísticas a cerca da ocorrência dos focos de incêndio nesta UC em estudo.

Figura 3.6 - Fluxo metodológico aplicado aos pontos de focos de calor



A metodologia expressa no fluxo representado na figura 3.6 apresenta três tipos de resultados finais (todos em cinza mais escuro), um em formato de imagem apresentando o mapa de densidade de ocorrência dos focos em cada ano e no período total (*Kernel*) classificado em cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, outro em formato de gráfico especificando a quantidade de focos encontrados dentro dos limites do PNCD e da ZA e por fim, resultados em formato de tabela (*Frequency*), os quais possibilitaram a geração de gráficos sobre a frequência de ocorrência dos focos por mês e por município. Estes resultados alimentam as análises espaciais e temporais sobre a ocorrência de focos em cada ano e no período total estudado, ou mesmo às análises

estatísticas, fornecendo informações fundamentais que podem ser utilizadas nos ROI's municipais e no específico da UC.

Após obter os dados devidamente projetados, iniciou-se a edição dos atributos de cada arquivo dos focos. Essa edição é feita pela atribuição de mais cinco campos na tabela de atributo de cada um dos arquivos, os quais são posteriormente preenchidos ou na própria aplicação SIG, ou no Excel. Os cinco campos adicionados são: coordenadas UTM X e Y (X_UTM; Y_UTM) e mais três campos referentes à data de ocorrência de cada foco registrado (Ano, Mês, Dia). Os campos das coordenadas e 'Ano' foram criados e calculados na aplicação Arcgis, com o tipo *double* e *Text*, respectivamente. Enquanto os campos das coordenadas foram calculados pela opção *calculate geometry*, o campo do 'Ano' foi através da opção *field calculator*. Para o cálculo dos outros dois campos referentes à data de ocorrência (mês, dia), utilizou-se a aplicação Excel, através da exportação das tabelas. Após a edição dos campos no Excel as mesmas tabelas são novamente importadas para a aplicação SIG, porém como os dados vêm sem estarem em formato *shapefile* (arquivos temporários), utilizou-se a ferramenta de cópia de camadas para convertê-las ao formato desejado e torná-las arquivos permanentes. Após a obtenção das camadas vetoriais de pontos para cada ano, o próximo passo foi unir todos os focos de incêndio dos três anos numa única camada, pois dessa maneira consegue-se visualizar o total para o período em estudo através de uma única tabela e permitir realizar as análises pretendidas; específicas para cada ano e geral para todo o período de 2011 até 2013.

A primeira análise feita foi para conhecer em qual, ou quais zonas se encontram a maior, ou as maiores concentrações de ocorrência de focos registrados pelos satélites do INPE. Para isso utilizou-se a ferramenta que estima a densidade, *Kernel*, a qual calcula a magnitude por unidade de área do ponto e gera uma imagem como resultado final. Segundo Silva *et al.*, (2013), o mapa de *Kernel* apresenta o resultado da interpolação dos focos de calor onde se observa a intensidade pontual destes na área de estudo, estimando dessa maneira, a sua densidade. Este estimador fornece uma visão geral da distribuição espacial dos pontos, possibilitando averiguar a intensidade dos focos de toda área do PNCD e as regiões críticas dentro desta delimitação para o período especificado neste trabalho.

A próxima análise foi conhecer a frequência mensal de ocorrência dos focos para cada ano, bem como a frequência por município. Nessa etapa apresentam-se os resultados em forma de tabelas com valores que permitem analisar o comportamento espacial e

temporal dos focos, além de permitir gerar gráficos correspondentes. Todas as tabelas e gráficos foram gerados na própria aplicação SIG, ou no Excel.

A última etapa permite conhecer a quantidade de focos registrados especificamente no polígono que compete ao parque e no polígono da sua ZA. Essa operação esclarece ainda mais a dinâmica dos focos que são registrados no parque e nas suas redondezas. São dados que em conjunto com os resultados anteriores permitem analisar o comportamento espacial e temporal dos focos de calor detectados na área de estudo. Esta operação de contagem de pontos por polígono foi executada na aplicação do QuantumGis, a qual gera como saída o mesmo polígono, só que com um campo a mais na tabela de atributos referenciando o número de pontos encontrados no interior do polígono processado.

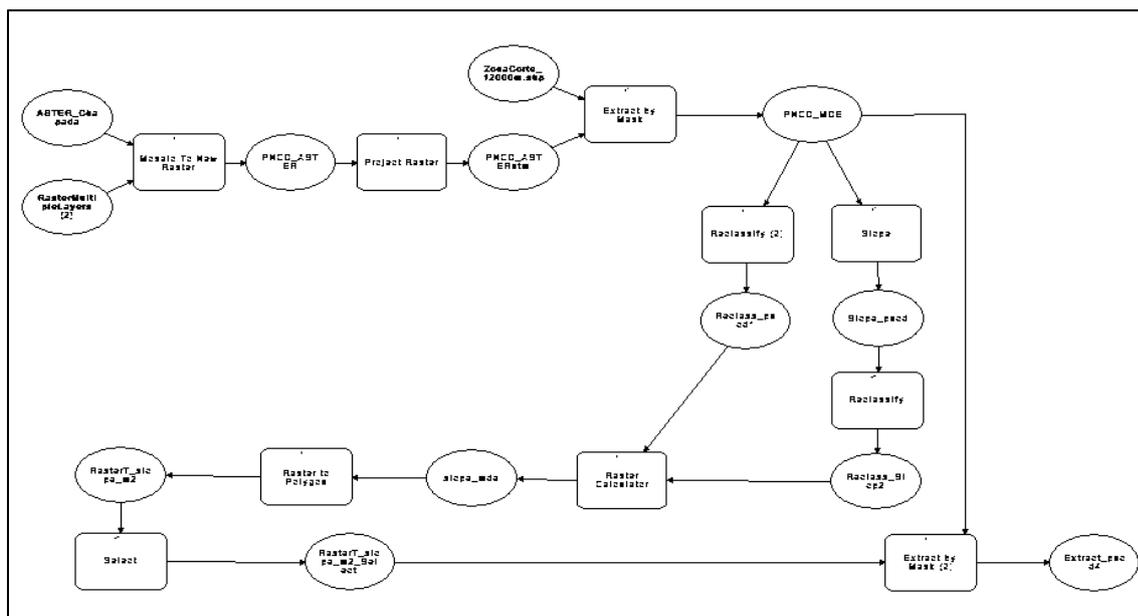
No que se refere aos dados complementares aqui utilizados, o mapa elaborado pela parceria entre a CPRM e o IBAMA em 1995 e modificado em 2001, originou os vetores das trilhas, os quais são também utilizados como critérios para obter o melhor posicionamento das torres de vigia. A extração das trilhas, catalogadas no mapa utilizado, foi feita através da vetorização ora com a ferramenta *Arcscan*, para isso foi preciso converter a imagem para escala de cinzento 8bits, (feito no *Adobe Photoshop CS3*) com apenas 2 classes (preto e branco), ora pela vetorização manualmente. O anexo 7.2 mostra o mapa utilizado.

Do mapa com os setores de monitoramento, extraíram-se os polígonos referentes a cada setor e os cruzaram com a informação extraída do mapa sobre o risco de incêndio para cada setor, como forma de conhecer a quantidade de torres identificadas em cada setor classificado quanto ao risco de incêndio. Esses dois mapas estão disponíveis nos anexos 7.4 e 7.5, respectivamente.

3.3.4. ASTER-GDEM

A localização dos locais ideais para instalação de torres de vigia para o monitoramento dos incêndios que acontecem no parque, foi estabelecida através dos resultados das operações que seguem no fluxo representado na figura 3.7:

Figura 3.7 - Fluxo metodológico aplicado às imagens ASTER



A montagem do fluxo na aplicação *Model Builder* permite que todas as operações sejam executadas em sequência, deixando todos os parâmetros configurados e o fluxo com os dados utilizados salvos num determinado arquivo, o qual pode ser compartilhado. Na figura 3.7, todas as operações são representadas pelos retângulos, os resultados, os dados de entrada (imagens ASTER e máscara para extrair zona de interesse) e o diretório de saída do mosaico, são as elipses.

Primeiro foi necessário criar uma variável *MultiLayer* para armazenar todas as imagens necessárias para a montagem do mosaico. Para este caso, foram necessárias apenas duas imagens do radiômetro ASTER-GDEM para cobrir a área de estudo. O mosaico foi montado com o sistema de coordenadas de origem das imagens – GCS_WGS_1984 – com 16bits e o operador da Média, o qual atribui para as células de saída das áreas sobrepostas, o valor médio das células de entrada sobrepostas. Após o mosaico pronto, o mesmo foi projetado e tendo-se extraído a zona de interesse utilizando um *Buffer* de 12km de distância (Zona de Corte – ZC) do polígono do parque. Foi utilizado um *buffer* de 12km justamente para garantir que o processamento do mosaico ASTER na zona de interesse tenha os ruídos e efeitos de borda amenizados, ou até eliminados. Somente após o resultado final pronto, o corte pela zona de interesse é feito.

Após obter o mosaico da área pronto, as informações sobre o relevo e altimetria foram extraídas. Para o relevo retirou-se a informação referente ao declive, em graus,

sendo que quanto menos íngreme for o terreno mais os custos de construção são minimizados, além de garantir maior estabilidade. Desta forma e seguindo a metodologia proposta por Singh *et al.* (2014), com suas devidas adaptações, processou-se o mosaico ASTER e selecionaram-se apenas os declives inferiores 20°, através da opção *Raster Calculator*, presente na aplicação Arcgis, a qual devolve como resultado uma imagem binária de 0 e 1. Com o declive especificado, ainda é necessário selecionar apenas as células que contém informação, ou seja, eliminar os pixels com valores iguais à zero. Essa etapa é feita no *Model Builder* utilizando a ferramenta *Extract by Attributes*, com a expressão em *Structured Query Language* (SQL): *'value=1'*. O resultado desse processamento também gera uma imagem que é convertida para polígonos e usada no processo de sobreposição de planos de informação – resultados finais – que identificam os locais ideais para instalação das torres de vigia. Ressalta-se que foi escolhida a metodologia proposta pelos autores citados acima, pelo fato de se tratar da mesma temática, por apresentar critérios condizentes com a dinâmica da região em estudo e por ser aplicada numa área com topografia semelhante, ou seja, área de floresta montanhosa, cortada por serras e morros que formam extensos vales.

O MDT da área de estudo gerado a partir das curvas de nível espaçadas de 50m e extraídas do mosaico ASTER apresenta altitudes entre os 180 e os 2 316m. Sendo assim, as maiores altitudes foram definidas pela aproximação do valor da média estabelecida (considerou-se 1 300m) até a máxima, e as menores altitudes foram definidas a partir do menor valor de altitude encontrado nos centróides dos polígonos das áreas críticas mais queimadas, o qual demonstra que o centróide mais baixo está a 350m de altitude, ou seja, as torres devem ser instaladas a partir dos 350m, logo se considerou um intervalo entre os 360 aos 1 250m. Esses valores foram definidos empiricamente, considerando as maiores altitudes como prioridade e a partir das análises visuais sobre a topografia do terreno, próximas às áreas críticas queimadas.

As maiores altitudes são preferíveis pelo fato de fornecerem melhor visibilidade do terreno circundante, ampliando o campo de visão das torres. Porém, como o terreno é bastante acidentado e existem áreas críticas inseridas em regiões de vales, buscaram-se também altitudes menores para garantir o monitoramento da vegetação nessas regiões. A definição das altitudes ideais foi estabelecida a partir de uma série de testes dentro dos critérios que especificam as áreas para instalação das torres, sendo que aquela altitude que fornecesse maior cobertura de visão era a escolhida. A expressão utilizada na álgebra de

mapas para obter os intervalos de valores definidos, foi feita através da ferramenta *Raster Calculator* presente no Arcgis.

3.3.5. Localização das Torres de Vigia

Os melhores locais para instalação das torres foram determinados respeitando basicamente os seguintes critérios:

- a) Declive inferior a 20°;
- b) Preferencialmente a uma distância de 200m de rodovias e/ ou 150m das trilhas;
- c) Preferencialmente a uma distância máxima de 500m dos recursos hídricos;
- d) A uma distância máxima de 3km das áreas críticas mais queimadas;
- e) Distribuídas por regiões com altitudes entre 360 e 1 250m e/ou entre 1 300 e 2 316m.

Os valores para cada critério exposto acima, foram estabelecidos através de adaptações da literatura consultada, uma vez que para a região não há ainda nenhum estudo que estabeleça parâmetros específicos, nem dados mais específicos, como por exemplo, altura da vegetação, coordenadas dos mirantes naturais utilizados para monitoramento, percursos já conhecidos ou feitos pelos bombeiros, guias ou brigadas, entre outros. Uma vez que para a área em estudo existe uma carência muito forte sobre pesquisas desenvolvidas e conseqüentemente fornecimento de dados gratuitos que possibilitem um estudo mais aprofundado, buscou-se a interpolação dos dados adquiridos tendo como critérios principais o declive, a altitude e a proximidade das áreas críticas mais queimadas como forma de garantir o monitoramento nessas áreas e obter uma cobertura de visão satisfatória para todo o parque.

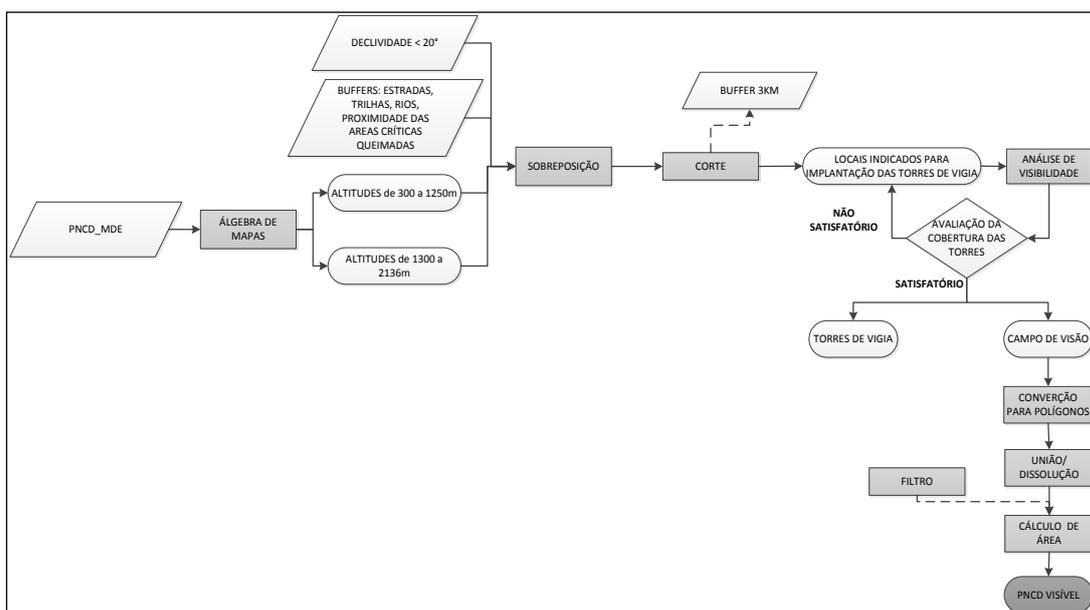
Com os polígonos da altitude e do declive definidos, o próximo passo foi estabelecer o *buffer* limitante para as áreas mais críticas, dentro dos quais as torres deveriam ser

implantadas para garantir uma cobertura plena dessas áreas. Sendo assim, a distância estabelecida foi de 3km, a qual seguramente garante cobertura. A partir do resultado da interpolação entre a altitude, o declive e o raio limitante, buscavam-se locais inseridos nos polígonos estabelecidos para os acessos (rodovias e trilhas) e recursos hídricos, a fim de obedecer todos os critérios.

Ressalva-se que a sobreposição dos planos de informações foi feita pela interpolação entre os resultados dos processamentos dos critérios acima, todos em formato de polígono, sendo que a combinação que apresentasse áreas melhores distribuídas espacialmente seria a definitiva. O processamento foi realizado desta forma pelo fato de existir na região uma carência muito grande de estudos específicos, sendo assim, foi necessário estabelecer uma série de combinações entre os resultados, todas obedecendo aos critérios acima, ora utilizando-os por completo, ora apenas relevando a altitude, o relevo e mais um ou outro critério.

Depois de conseguir obter os locais indicados para as torres serem instaladas, criou-se um novo tema de pontos distribuídos estrategicamente por estes locais, e à medida que ia selecionando os locais, analisava-se a visibilidade individual de cada ponto para que o resultado garantisse o monitoramento das áreas críticas identificadas e obtivesse uma cobertura de no mínimo 70% do PNCD. Abaixo é representada a figura 3.8 com o fluxograma aplicado para obter a localização das torres de vigia na região:

Figura 3.8 - Fluxograma para determinar a implantação das torres de vigia



Após estabelecer a sobreposição dos planos de informação definidos anteriormente, a qual é feita tendo obrigatoriamente a altitude e o declive, faz-se um corte das áreas com um *buffer* de 3km das áreas críticas queimadas como limitante, e assim obtêm-se os melhores locais selecionáveis para a instalação das torres nos dois intervalos de altitude, sendo que a partir desta seleção a análise da visibilidade pode ser efetuada. Caso seja satisfatório o resultado da análise da cobertura da torre, finaliza-se o processo, caso contrário, buscam-se novos locais e novamente a análise de visibilidade é feita até se obter a cobertura desejada, ou seja, que consiga observar as áreas críticas e que represente, após a instalação de todas as torres, pelo menos 70% da área do PNCD.

Como já foi exposto, existem alguns parâmetros que devem ser configurados nas aplicações da ESRI para que a operação de visibilidade seja devidamente executada. Assim sendo estabeleceu-se 41.60m para a altura das torres (*offsetA*), a qual foi calculada considerando a altura média de um ser humano igual a 1.60m, somada aos 40m estabelecidos para todas as torres. A determinação do valor da altura das torres se deu por testes feitos considerando a topografia do terreno e os limites mínimos e máximos indicados nas literaturas (10m a 40m). Os testes mostraram que qualquer acréscimo no valor do *offsetA*, altera consideravelmente o resultado de cobertura de visão de uma torre, sendo assim, por conta principalmente da topografia, adotou-se o valor de 40m. O valor adicionado para cada célula a ser observada na imagem foi de 10m (*offsetB*), o qual representa a altura de uma coluna de fumaça a partir da qual se considera aceitável para detecção de um foco de incêndio ainda numa fase inicial (Rego *et al.*, 2005). Para realmente garantir uma visibilidade com uma menor margem de erro, o raio de distância (*radius2*) para realizar a análise de visibilidade, tendo como centro a torre de vigia, ficou definido nos 15km. Esse mesmo valor foi utilizado como limite máximo para o posicionamento das torres, ou seja, a distância máxima entre duas torres consecutivas não pode ultrapassar o valor do definido no raio de visão. Para todos os outros parâmetros utilizaram-se os valores padrões definidos pela aplicação.

A análise da visibilidade foi feita utilizando a ferramenta *visibility*, presente no pacote de ferramentas do Arcgis, a qual devolve como resultado uma imagem com atributos que identificam quantos pixels são visíveis e quantos não são. A partir de análise quantitativa do número de pixels visíveis dentro do limite do parque e da análise visual da distribuição espacial considerando a topografia, a cobertura de visão da torre era classificada como satisfatória ou não satisfatória. De maneira geral, buscaram-se resultados

que apresentavam 50 000 pixels visíveis em diante, dentro do limite do parque, o que representa uma área de 4 500ha. Porém, como a topografia é bastante acidentada e existem áreas críticas queimadas entre serras, morros ou vales, o valor mínimo de pixels visíveis para as torres implantadas nestes locais são relevantes, podendo desta forma existir torres com cobertura de visão bem abaixo dos 50 000 pixels. Esse valor de 50 000 pixels foi estimado a partir da análise do resultado obtido após a implantação da sexta torre, a qual apresentou uma cobertura significativa da área com um total de 50 249 pixels visíveis; a menor cobertura aceitável das seis primeiras torres até então definidas. A partir da comparação ente os resultados das seis primeiras torres, buscou-se manter este limiar de aceitação, definido empiricamente.

Para analisar a cobertura de visão, inicialmente buscou-se a análise de visibilidade individualmente para cada torre e depois de obter os resultados individuais, os mesmos foram convertidos para polígonos, os quais foram unidos numa única camada através da ferramenta *merge*. Em seguida os polígonos foram dissolvidos para formar um único polígono com pixels visíveis e outro com pixels não visíveis. Após isso eliminaram-se os polígonos com valores iguais a zero (não visíveis), aplicou-se um filtro para suavizar os polígonos (*Smooth Polygon*, presente no pacote de ferramentas do Arcgis) e por fim as respectivas áreas foram calculadas em hectares e comparadas com a área do PNCD para demonstrar a porcentagem visível pelas torres.

Após definida a localização ideal das torres, fez-se uma análise sobre a quantidade de torres identificada em cada setor de monitoramento do parque, classificado quanto ao risco de incêndio, bem como sobre a cobertura de visão em cada setor, apresentando que torres cobrem cada setor e a porcentagem do setor visível. A extração dos setores e da classificação de risco de incêndio para cada um deles foi feita através do georreferenciamento dos mapas, seguido de vetorização das zonas de interesse. A contagem do número de torres por setor foi feita na aplicação QuantumGis. Após obter os polígonos que identificam o número de torres presentes em cada setor, foi feita uma edição na tabela de atributos dos mapas para inserir novos campos e após isso um *join* entre as tabelas para unir informações referentes ao número de torres instaladas em cada setor classificado quanto ao risco de incêndio e a porcentagem de área visível.

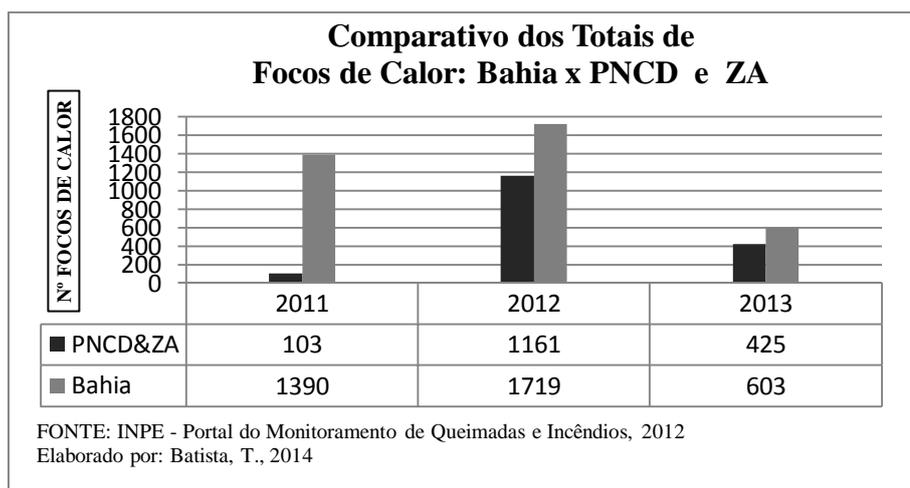
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão descritos os principais resultados alcançados com os processamentos anteriores, bem como uma discussão para cada um deles. Os resultados foram obtidos praticamente pela sobreposição de diferentes planos de informações, executando diversas análises para se conhecer ainda mais o comportamento espacial e temporal dos focos de calor captados pelos satélites do INPE na área de estudo, bem como para atualizar informações relevantes para a gestão da UC. São resultados que culminam em alternativa de identificação de áreas queimadas, beneficiando as ações de monitoramento e combate aos incêndios.

4.1. Análise dos Focos de calor de 2011 até 2013

A primeira análise feita sobre a ocorrência dos focos de calor no PNCD e sua ZA foi para comparar com o total registrado em todo o Estado, e com isso poder estabelecer a porcentagem relativa entre o ocorrido na UC e na Bahia. Abaixo segue gráfico 4.1 expressando os resultados:

Gráfico 4.1 - Comparação entre focos ocorridos na Bahia e na UC



Para o ano de 2011 os satélites do INPE registraram para todo Estado da Bahia um total de 1 390 focos de calor em UC federal, o que deixou o Estado baiano na 7ª posição, de acordo com a classificação dos registros do próprio instituto, ganhando de Minas Gerais

(1 413), Maranhão (1 523), Roraima (2 539), Piauí (2 747), Pará (3 218) e por fim o Tocantins (4 432). Do total registrado em UC federal, na Bahia foram registrados 103 focos no PNCD e ZA, o que corresponde a uma porcentagem de 7.41% do total registrado no Estado; um excelente resultado frente ao que sucedeu nos 2 anos seguintes (INPE, 2012).

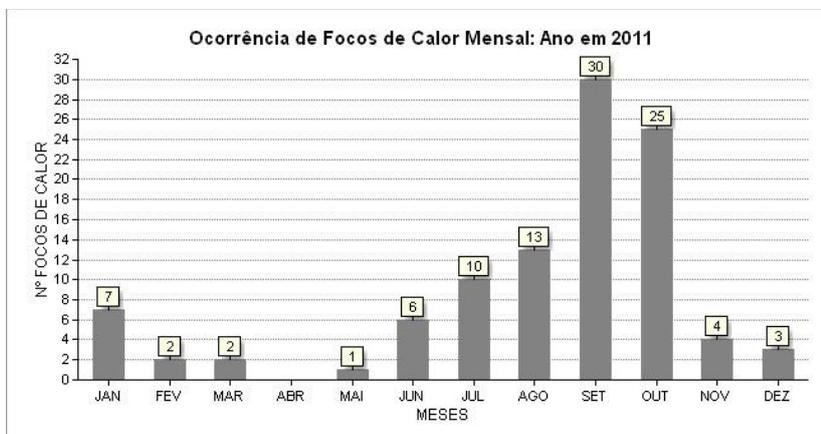
Se no ano de 2011 a porcentagem de focos que atingiram o parque ficou abaixo dos 10%, no ano de 2012 ela alcançou 67.54% dos 1 719 registros para a Bahia, ou seja, foram registrados no PNCD e ZA 1 161 focos de calor. Mesmo com o aumento registrado o Estado baiano ganhou posições na classificação do INPE, desceu da 7ª para a 11ª posição. Infelizmente esse fato não é comemorável em escala nacional, uma vez que se observa um aumento considerável nos focos de calor em UC's federais registrados pelo país. Comparativamente, o Estado do Tocantins que já liderava o ranking com o maior número de registros de focos de calor em UC federal em 2011 (4 432), para o ano de 2012, esse número passou para 14 845, seguido do Piauí com 8 583, Pará com 6 506 e assim até a Bahia; no total passou-se de 23 525 focos de calor no ano de 2011 para 55 910 no ano de 2012. Não obstante, o ano de 2013 também registrou um aumento da porcentagem de focos que atingiram o PNCD e ZA, frente ao total que atingiu o Estado, mesmo sendo esse total menor do que os anos anteriores (INPE, 2012).

Como ilustrado no gráfico acima, foram registrados 425 focos de calor no PNCD e ZA, dos 603 registrados em todo o Estado no ano de 2013, o que corresponde a uma porcentagem de aproximadamente 70.50%; a maior dos três anos pesquisados. Mesmo apresentando um número total de focos menor do que nos dois anos anteriores, a Bahia voltou a estar entre os 10 Estados com maiores registros de focos de calor no país em UC federal; desta vez amargando a 8ª posição no ranking estabelecido pelo INPE (INPE, 2012). De maneira geral a ocorrência de focos de calor nos três anos pesquisados para a área em estudo oscilou de acordo com o resultado para todo Estado. Desta forma a região do PNCD e ZA ainda continua sendo a que mais registra este tipo de evento, permanecendo como a região que necessita de uma maior atenção para questões que envolvem o monitoramento, a prevenção e o combate dos focos de incêndios e/ ou queimadas criminosas.

Especificamente para a área de estudo buscou-se conhecer qual o mês e a localidade de maior ocorrência, para cada ano e para todo o período em estudo. Sendo assim, elaborou-se uma série de gráficos e mapas que traduzem as estatísticas de

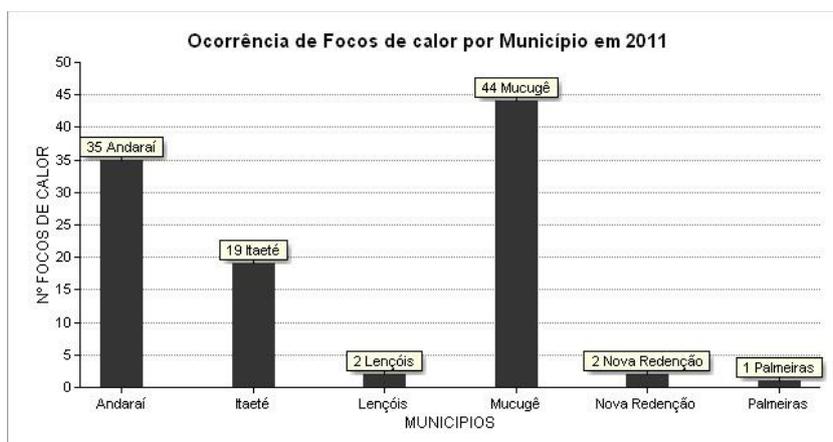
ocorrência, bem como a localização espacial das áreas de maior ocorrência desses focos. Para o ano de 2011, os resultados mensais são apresentados no gráfico 4.2 abaixo:

Gráfico 4.2 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC em 2011



Como pode ser observado no gráfico 4.2 acima, o mês que registrou o maior número de focos de calor foi o mês de setembro com 30, seguido do mês de outubro com 25. Do total registrado para o ano de 2011, aproximadamente 29% do total de focos ocorreram no mês de setembro e 24% no mês de outubro, ou seja, 53% dos focos registrados neste ano concentraram-se nestes dois meses. No que diz respeito à localização desses focos, abaixo segue gráfico 4.3 com os resultados:

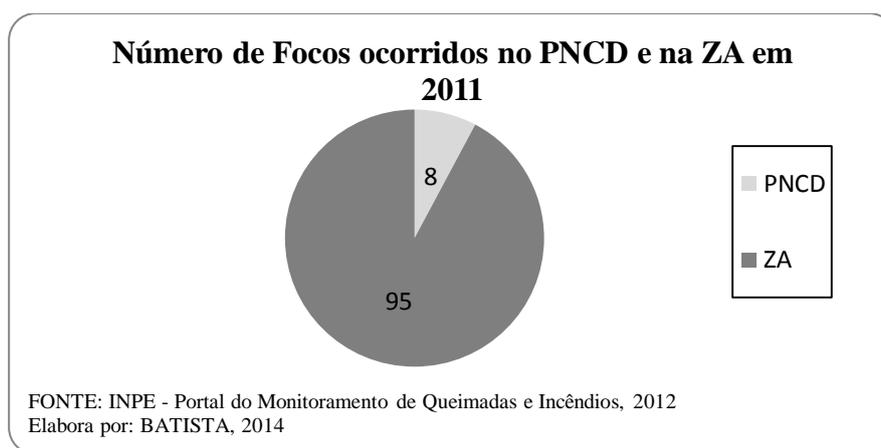
Gráfico 4.3 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC em 2011



Nitidamente percebe-se que os dois municípios mais preocupantes para o ano de 2011 foram Mucugê e Andaraí, com um registro de 44 e 35 focos respectivamente, ou seja,

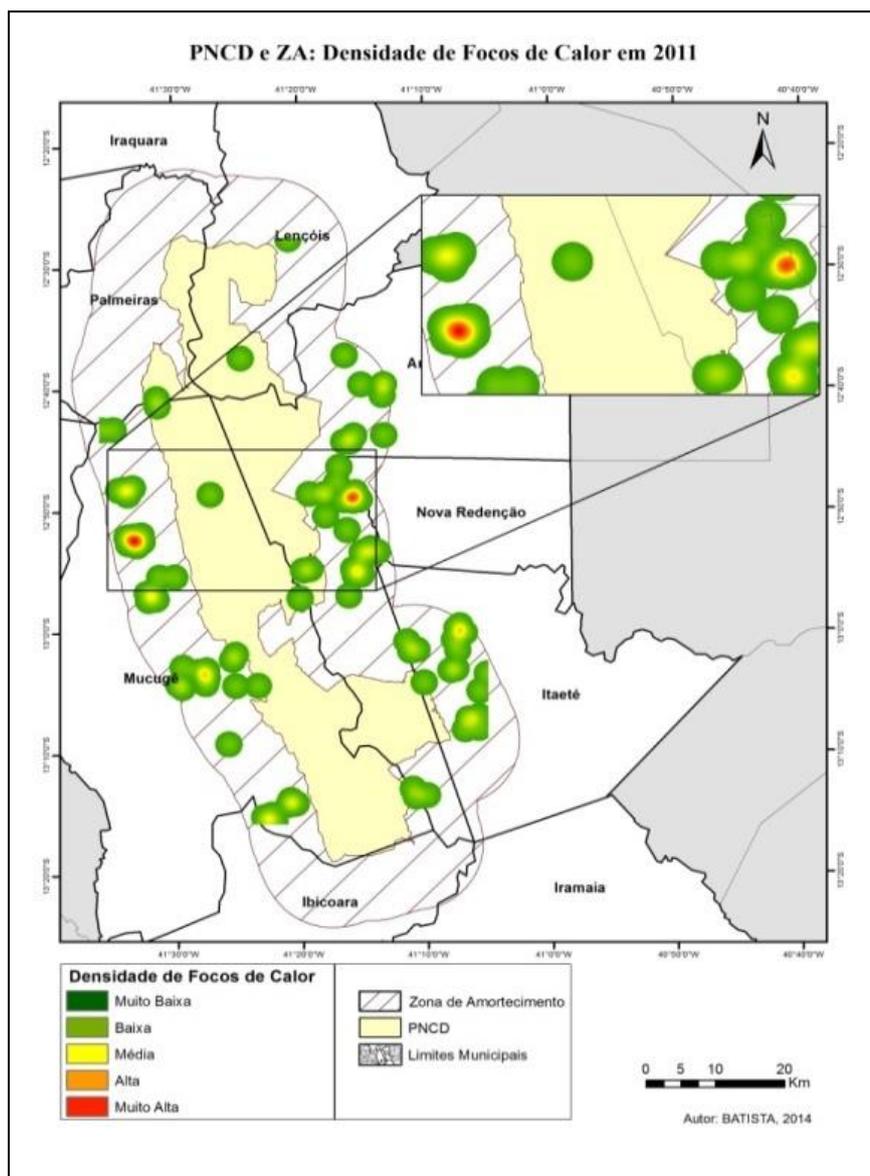
aproximadamente 77% do total de focos registrados foram concentrados nestes dois municípios. Ainda sobre a localização de ocorrência desses focos para o ano de 2011, foi também analisado qual a zona da área em estudo de maior concentração. Para isso elaborou-se o gráfico 4.4 abaixo, o qual demonstra a quantidade de focos ocorridos entre o PNCD e a ZA:

Gráfico 4.4 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC em 2011



Em 2011 registraram-se na ZA 95 focos de calor, o que representa mais de 90% do total de focos ocorridos na área em estudo. Analisando a figura 4.1 abaixo, percebe-se que a distribuição espacial desses focos na ZA foi majoritariamente nas partes leste e oeste, estendendo-se para o sul e com duas zonas com densidade de ocorrência de focos categorizadas como ‘Muito Alta’, uma em cada lado do parque (Zonas em destaque na figura 4.1 abaixo).

Figura 4.1 - Mapa de Densidade de Focos de Calor em 2011



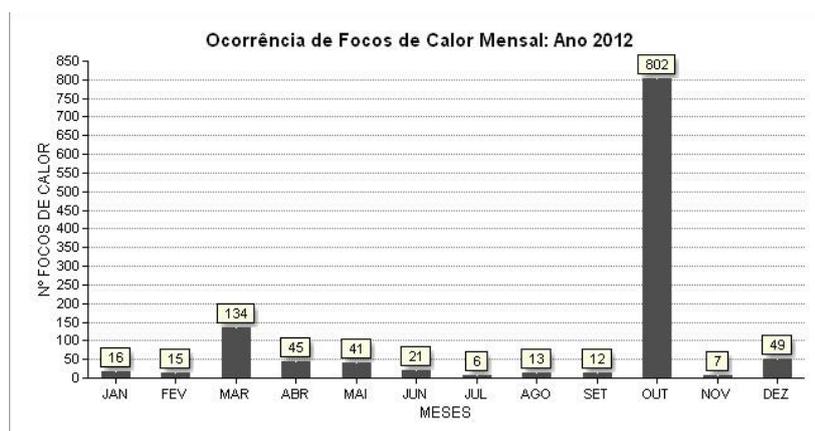
Outras zonas de densidade classificadas como ‘Média’ e ‘Alta’ também podem ser identificadas no mapa acima, porém o maior destaque deu-se para as zonas extremas, ou seja, classificadas como ‘Muito Alta’. Essas duas zonas em destaque no mapa ocorreram, segundo a interpretação visual das imagens de satélites, próximas ou inseridas em locais onde ocorrem atividades agropecuárias, sendo que uma localiza-se no município de Mucugê e a outra, em Andaraí, quase na divisa com Nova Redenção.

No ano de 2012 registrou-se uma dinâmica dos focos bem parecida com 2011. Mesmo com o aumento significativo do número de focos de calor e apresentando algumas diferenças em determinados aspectos, de forma geral nota-se claramente semelhanças entre

o registrado nos dois anos, um bom exemplo é a região que mais concentrou a ocorrência dos focos de calor, ou mesmo a época do ano de maior registro.

Da mesma forma que o ano anterior, o início das análises se deu pela interpretação do resultado que representa a ocorrência mensal dos focos em 2012, o qual é apresentado no gráfico 4.5 que segue abaixo:

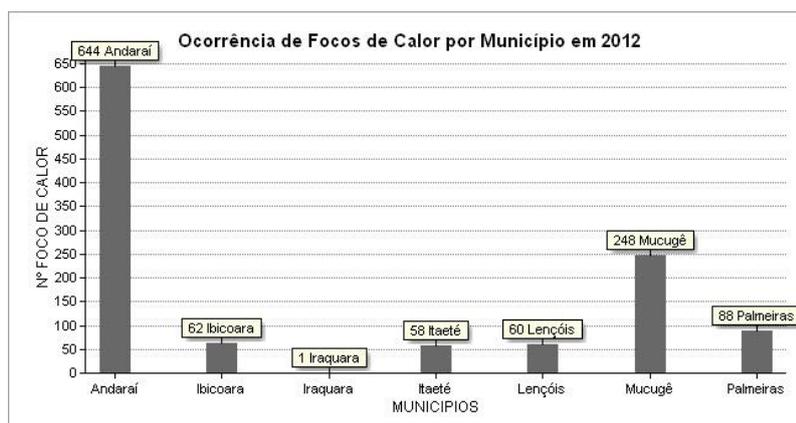
Gráfico 4.5 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC em 2012



Apesar de apresentar a mesma época do ano passado com o maior número de focos registrados, o aumento da quantidade registrada e concentrada apenas num único mês (outubro) é elevado. Como se pode perceber, dos 1 161 focos registrados nesta UC, 802 foram captados no mês de outubro, isso representa aproximadamente 69% do total dos focos, concentrados num único mês. Analisando apenas esses dois anos, poderíamos concluir que o período de maior ocorrência de focos concentra-se entre agosto e novembro.

A distribuição espacial dos focos para o ano de 2012 também se assemelha com a do ano anterior, apresentando os mesmos municípios com os maiores números de ocorrência, ou seja, Andaraí e Mucugê. Além da diferença na quantidade de registros, no ano de 2012 houve uma inversão: Andaraí passa a ser o município com o maior número de focos registrados. Abaixo segue gráfico 4.6 com resultado:

Gráfico 4.6 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC em 2012



Outra diferença identificada é sobre quais os municípios que apresentaram focos de calor. Enquanto que no ano de 2011 os focos foram registrados em seis municípios, no ano de 2012 o número aumentou para sete, sendo que o município de Nova Redenção deixa de aparecer para dar lugar à Ibicoara e Iraquara; todos os outros se repetem. Seguido de Mucugê com 248 ocorrências registradas (21.30%), Andaraí alcançou aproximadamente 55.50% do total de focos ocorridos na área de estudo, com seus 644 focos identificados. Comparando o número de focos ocorridos entre o PNCD e sua ZA para este ano, percebe-se que o resultado foi igual ao de 2011 na medida em que a ZA foi a que, novamente, mais registrou estes tipos de focos. Abaixo segue o gráfico 4.7 com o resultado da comparação:

Gráfico 4.7 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC em 2012

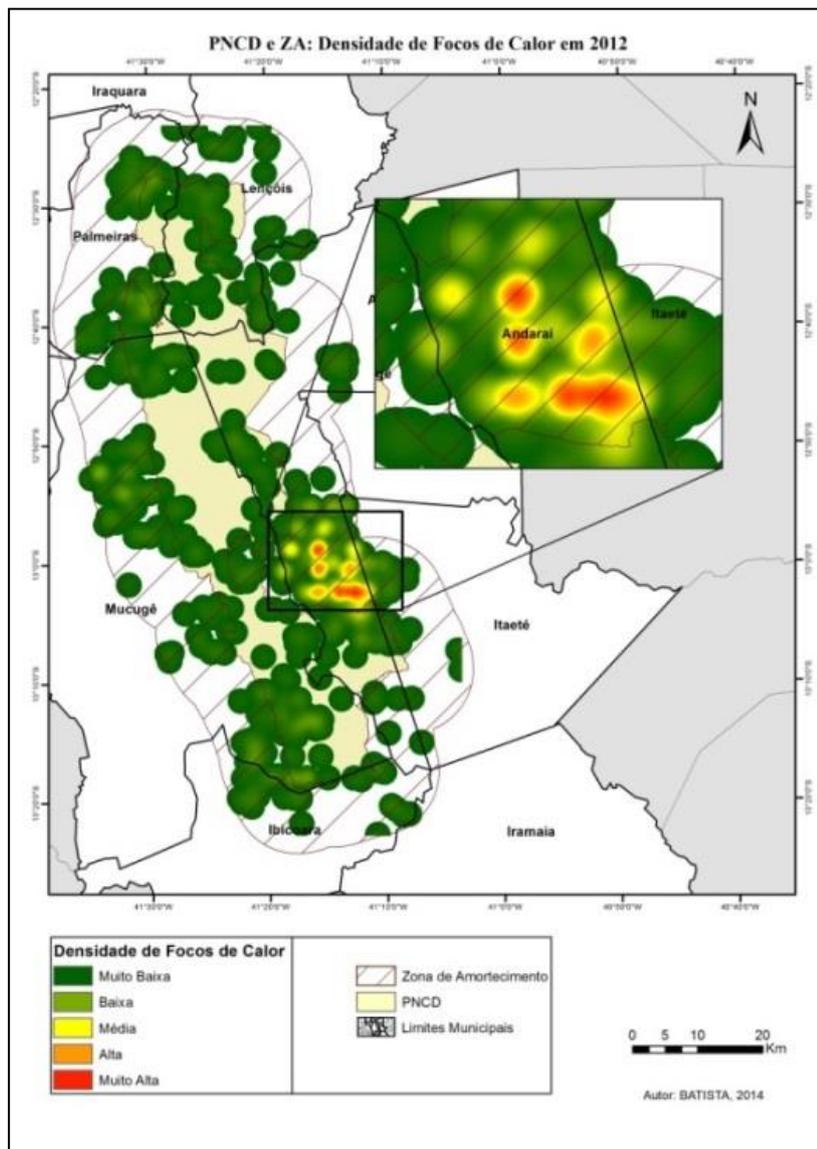


De acordo com o gráfico acima, a ZA foi responsável por aproximadamente 78% do total de focos ocorridos na UC em 2012. Numerosamente muito maior que 2011, os focos de calor ocorridos em 2012 tiveram uma distribuição espacial mais abrangente.

Neste ano os focos de calor se estenderam muito mais por toda a ZA, a parte norte e sul teve um considerável acréscimo de registro de focos quando comparado com 2011.

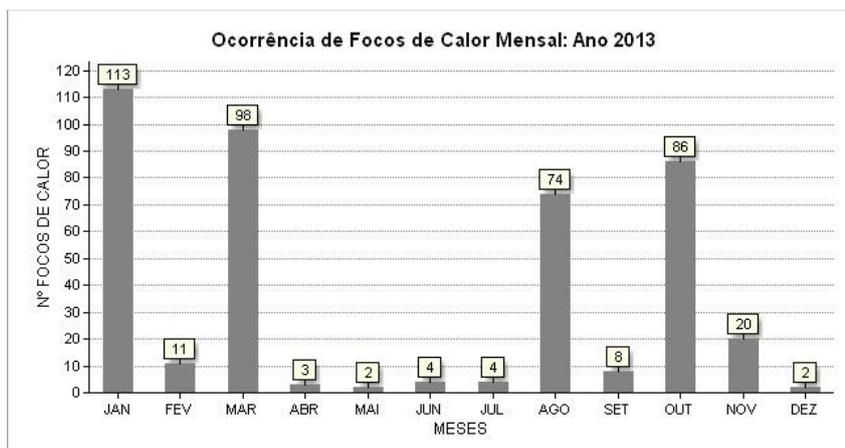
A figura 4.2 que segue abaixo apresenta o mapa de densidade dos focos de calor registrados em 2012, destacando a zona com maior densidade de ocorrência, bem como a localização desta. Diferente de 2011, as zonas de maior densidade de ocorrência dos focos ficaram concentradas em apenas uma região da ZA, sendo que desta vez observa-se que houve três zonas classificadas como 'Muito Alta', muito próximas uma da outra. Pela interpretação das imagens de satélites, percebe-se que são áreas próximas às zonas de atividade agropecuárias; assim como aconteceu em 2011. Pode-se perceber também que todas as zonas em destaque ocorreram apenas em Andaraí.

Figura 4.2 - Mapa de Densidade de Focos de Calor em 2012



Como já mencionado anteriormente, houve uma redução do número de focos de calor registrados no ano de 2013 e como pode ser observado no gráfico 4.8 abaixo, a distribuição temporal dos focos também mudou:

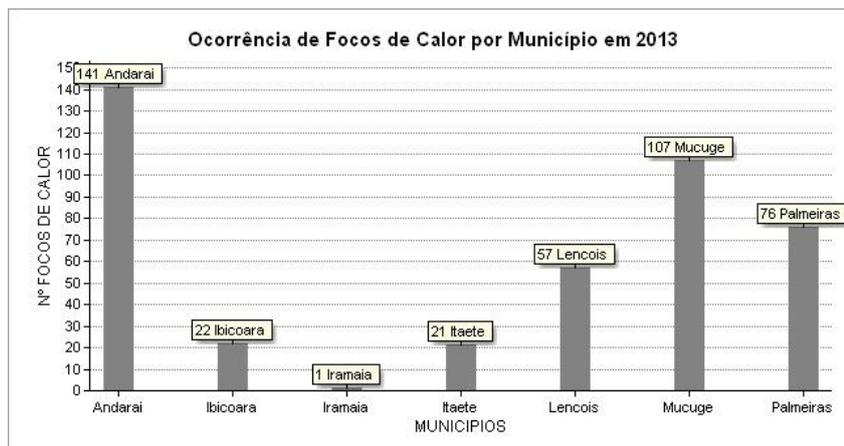
Gráfico 4.8 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC em 2013



Enquanto que nos anos anteriores os maiores picos de ocorrência dos focos se concentravam em no máximo dois meses e comumente ao final do ano, em 2013 observa-se quatro meses com grandes picos e temporalidade de ocorrência mais distribuída durante o ano: Janeiro, Março, Agosto e Outubro, sendo o maior de todos em Janeiro, com 113 registros.

No que se refere à distribuição espacial dos focos para o ano de 2013, os municípios de Andaraí e Mucugê seguem como os que mais registram esse tipo de fenômeno. Assim como nos dois anos anteriores, esses dois municípios continuaram a apresentar os maiores números de focos; essa afirmação pode ser constatada no gráfico 4.9 que segue abaixo:

Gráfico 4.9 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC em 2013



Com um total de 425 focos de calor registrados no ano de 2013, Andaraí e Mucugê representam juntos aproximadamente 58.30% do total de focos na UC; 33.10% e 25.20% respectivamente. No que diz respeito à área onde ocorreram, novamente a ZA registrou o maior número, porém já se identifica no interior do PNCD um aumento dos registros. Abaixo segue gráfico 4.10 com o resultado obtido:

Gráfico 4.10 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC em 2013

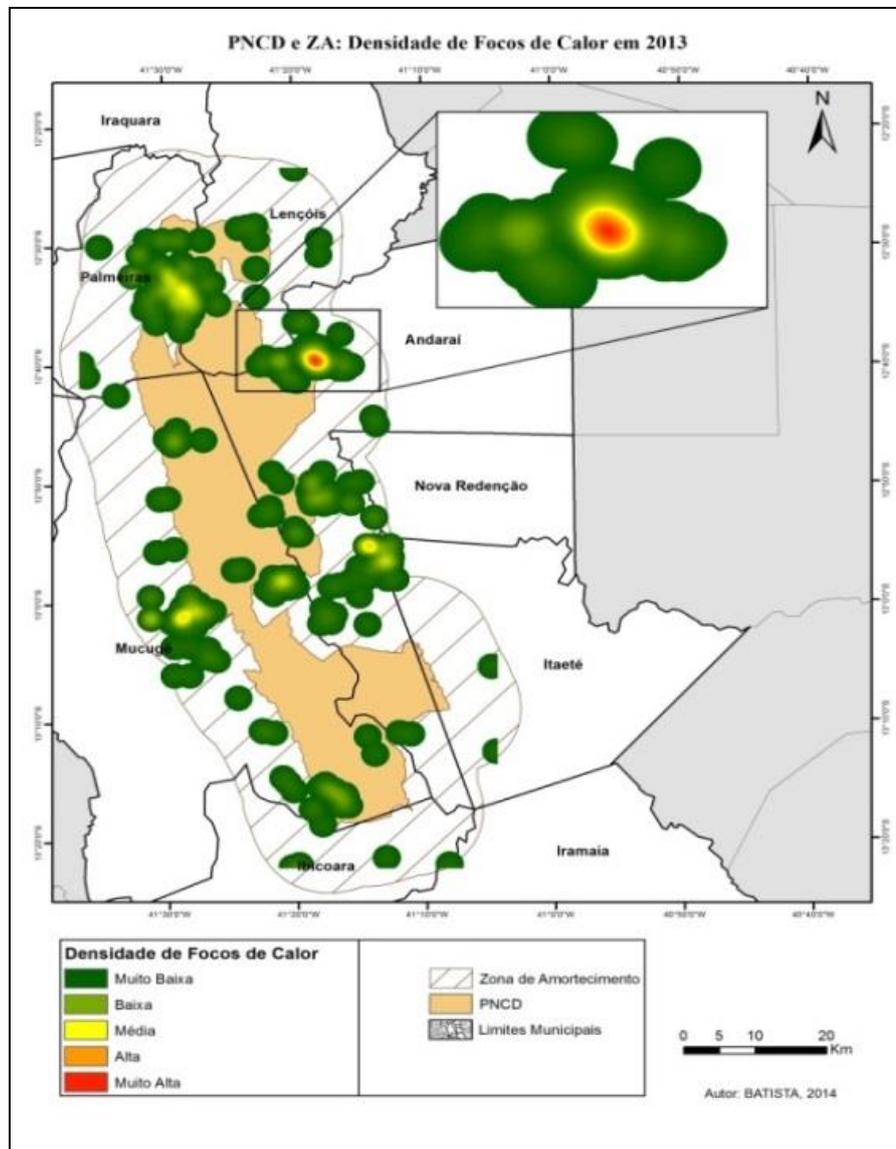


Enquanto nos dois anos anteriores o PNCD registrou uma porcentagem inferior aos 25% do total dos registros, no ano de 2013 essa porcentagem alcançou aproximadamente 34.10%; um aumento considerável.

De acordo com a figura 4.3 abaixo, a qual representa o mapa de densidade de ocorrência dos focos de calor em 2013, percebe-se que ainda são nesses municípios que se

encontram a(s) zona(s) de maior densidade de ocorrência, ora Andaraí, ora Mucugê, ou mesmo os dois em simultâneo; como ocorreu em 2011.

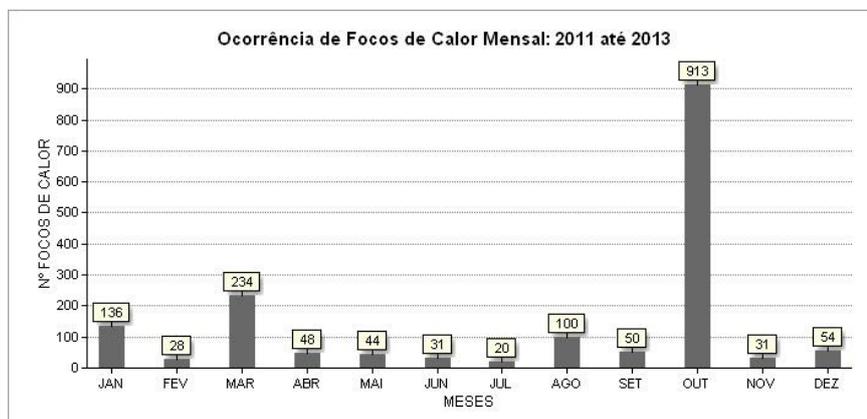
Figura 4.3 - Mapa de Densidade de Focos de Calor em 2013



Como pode ser observado na figura 4.3, no ano de 2013 identificou-se apenas uma zona classificada como 'Muito Alta' (em destaque), localizada em Andaraí. Essa zona, segundo a interpretação das imagens de satélites, também encontra-se em área onde ocorrem atividades agropecuárias.

De maneira geral, analisando os dados para todo o período em estudo (2011 a 2013) verificou-se que os três meses com maior ocorrência de focos foram, em ordem decrescente: outubro, março e janeiro. Abaixo segue gráfico 4.11 com resultado:

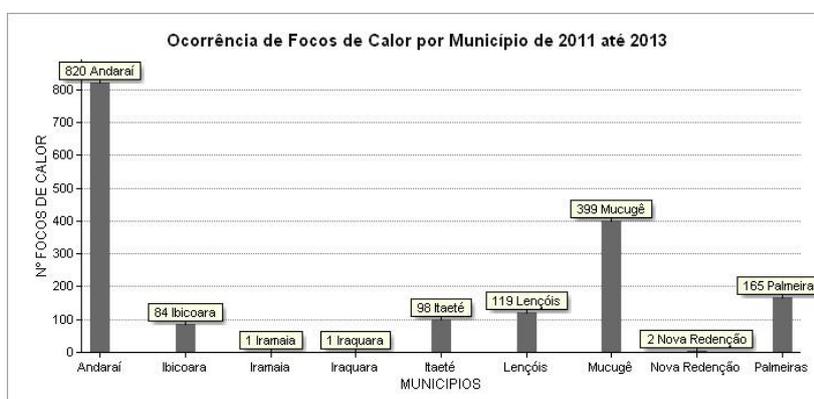
Gráfico 4.11 - Ocorrência mensal de focos de calor na UC de 2011 até 2013



Do total de focos para esse período, os três meses citados acima representam aproximadamente 76% do total dos registros, sendo que somente o mês de outubro é responsável por aproximadamente 54% das ocorrências.

Para os municípios que fazem parte da UC, os três que mais registraram focos de calor, em ordem também decrescente foram: Andaraí, Mucugê e Palmeiras. Abaixo segue gráfico 4.12 com o resultado:

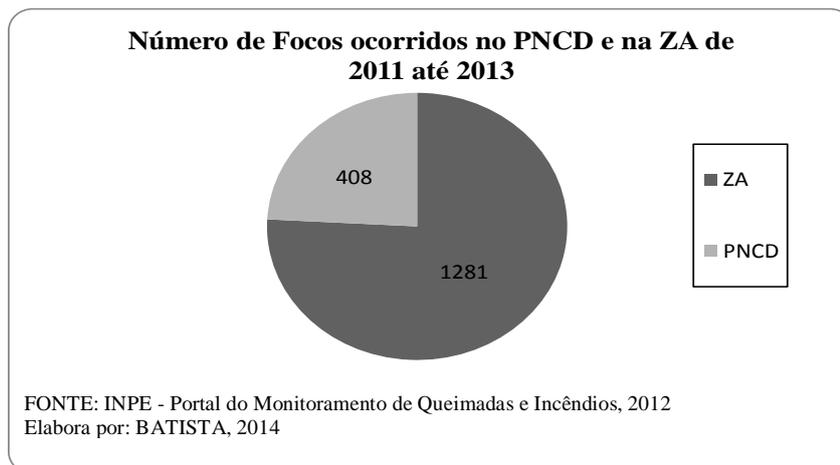
Gráfico 4.12 - Ocorrência Municipal de focos de calor na UC de 2011 até 2013



Dos 1689 focos de calor registrados, os três municípios citados representam juntos aproximadamente 82% do total de focos, sendo que somente Andaraí é responsável por aproximadamente 48.60%.

Em relação ao número de focos ocorridos na área da UC em estudo, a ZA é a região que mais concentrou esse tipo de fenômeno. Abaixo segue gráfico 4.13 com resultado:

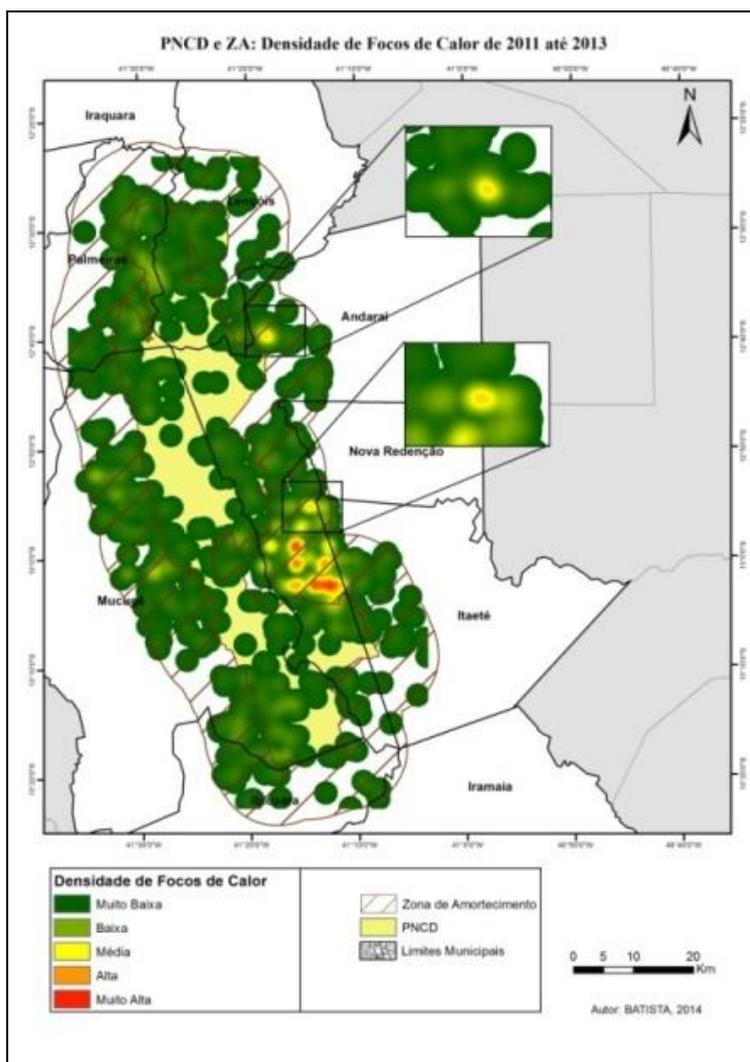
Gráfico 4.13 - Comparativo entre os focos de calor ocorridos na UC de 2011 até 2013



De acordo com o resultado expresso acima, somente a ZA foi responsável por registrar aproximadamente 75.84% dos focos identificados nesse período, ou seja, pode ser considerada como a zona mais crítica da UC para este tipo de evento, uma vez que nela identificam-se as maiores porcentagens de ocorrência de focos de calor.

A densidade de ocorrência dos focos para todo o período esta expresso na figura 4.4 abaixo:

Figura 4.4 - Mapa de Densidade de Focos de Calor de 2011 até 2013



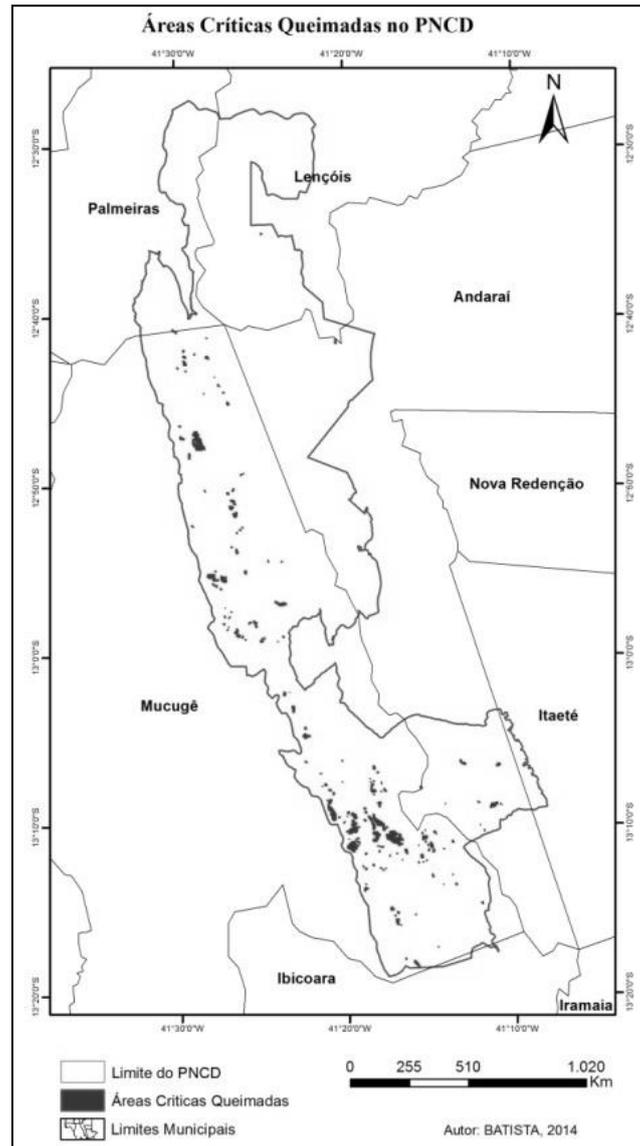
O mapa ilustrado na figura 4.4 apresenta resultado praticamente igual ao de 2012 (Figura 4.2), no que se refere às áreas de maiores densidades, porém aparecem mais zonas classificadas como 'Média' e/ou 'Alta'; como exemplo destacou-se duas dessas zonas na imagem acima.

De maneira geral, ao contrário do número de focos de calor registrados, a distribuição espacial e temporal dos mesmos não difere tanto entre os anos analisados pelo fato do fogo ter a mesma origem antrópica, seguindo a dinâmica de produção dos donos de terra que circundam o parque, ou mesmo a prática de exploração de outros recursos naturais.

4.2. Mapas das Áreas Queimadas

De acordo com a figura 4.5 que segue abaixo, as áreas críticas mais queimadas no PNCD ficaram concentradas na parte sul e oeste do parque:

Figura 4.5 - Mapa das Áreas Críticas mais queimadas no PNCD



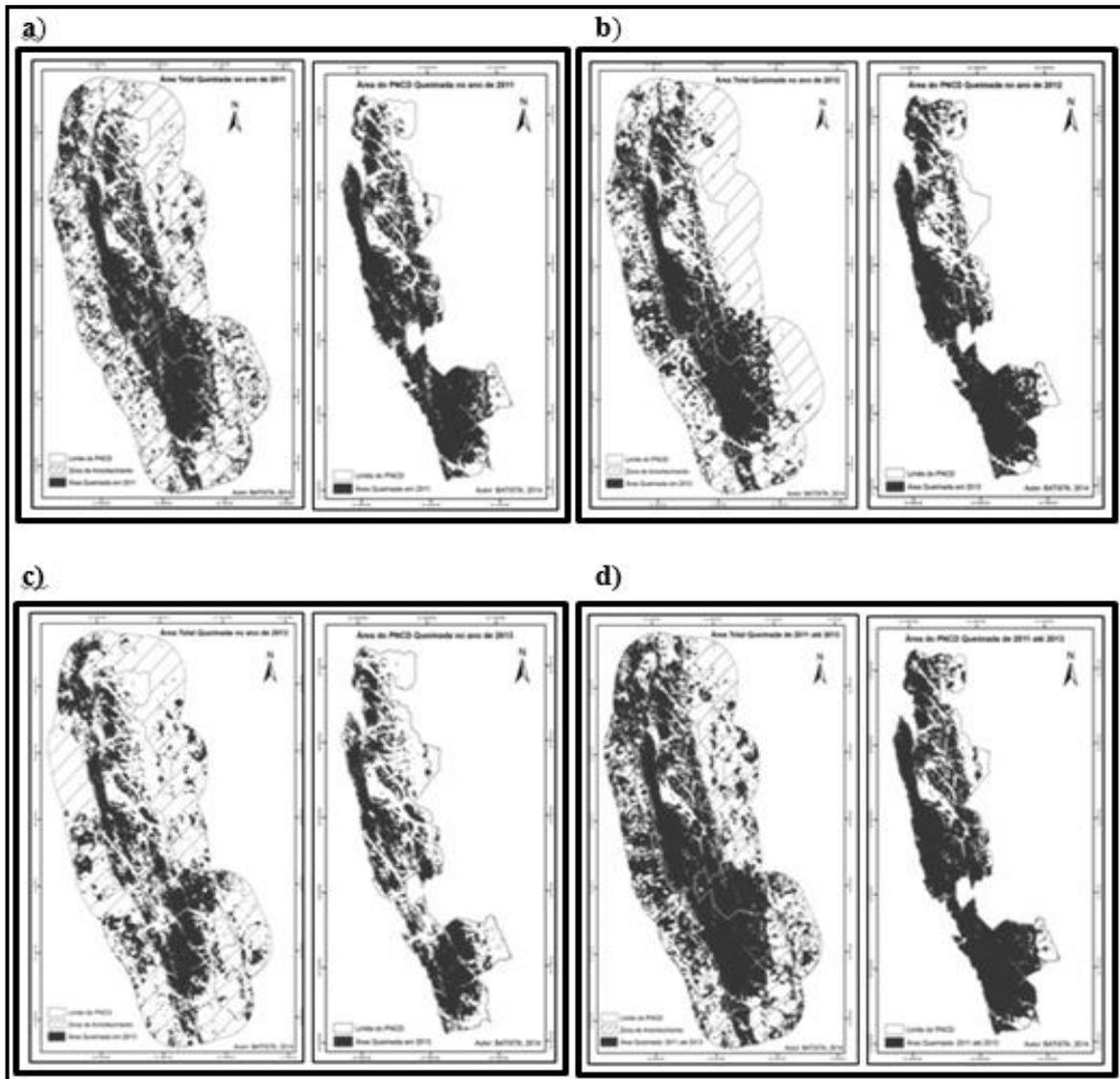
A vetorização dessas áreas críticas deu origem a 164 polígonos, os quais estão majoritariamente localizados no município de Mucugê, sendo que também se encontram alguns polígonos de áreas queimadas no município de Andaraí, apenas um polígono em Lençóis e outro que divide sua área entre Mucugê e Palmeiras.

Outro procedimento realizado nos polígonos extraídos da vetorização foi o cálculo do centróide de cada polígono, resultado que possibilitou estimar a menor altitude de ocorrência dessas áreas mapeadas historicamente. A partir da atribuição dos valores de altitudes referentes ao MDT da região em cada ponto representando o centro dos polígonos das áreas críticas, é possível identificar qual está localizado na menor, ou maior altitude. Isso determina os valores mínimos aceitáveis para a instalação das torres, uma vez que as mesmas devem preferencialmente estar acima dos focos. Os resultados obtidos pela atribuição do intervalo de valores definidos para a altitude de instalação das torres se mostraram satisfatórios, na medida em que foi possível obter uma cobertura significativa das áreas críticas, além de alcançar o limiar estabelecido para a cobertura de visão da área do parque.

As áreas identificadas como queimadas nas imagens de satélites e que competem ao período de 2011 a 2013, foram mapeadas entre o que queimou em toda a área de estudo e o que queimou somente no PNCD. Sendo assim gerou-se uma série de mapas para as respectivas épocas do ano.

O resultado de cada imagem processada foi unido por ano e geraram dois mapas: um referindo-se ao que foi queimado em toda a área, ou seja, PNCD e sua ZA, e outro mapa somente com a área queimada dentro do limite do parque, para cada ano e para o período completo. Todos os mapas seguem na figura 4.6 abaixo:

Figura 4.6 - Áreas queimadas em cada ano e para o período completo, no PNCD e na região em estudo. a) Queimado em 2011; b) Queimado em 2012; c) Queimado em 2013; d) Queimado de 2011 até 2013.



Considerando a área exata do PNCD de 152 143.91ha, descrita nos atributos do polígono da UC fornecido pelo ICMBIO e calculando a área da ZA do PNCD em ambiente SIG (294 717.04ha), obtêm-se uma área total de 446 860.96ha. A partir desses valores foi criada a tabela 4.1 abaixo, que apresenta a proporção entre as áreas queimadas em toda área de estudo e somente na do PNCD, para cada ano e para o período completo:

Tabela 4.1 - Comparativo entre áreas queimadas e as áreas de estudo e do PNCD

Período	Áreas Queimadas (ha)		Porcentagem (%)	
	Área de Estudo	PNCD	Área de Estudo	PNCD
2011	132 707.32	80 891.28	29.70	53.17
2012	145 601.27	86 297.69	32.58	56.72
2013	106 327.73	57 911.14	23.79	38.06
2011_2013	198 081.39	101 156.80	44.33	66.49

Analisando a tabela 4.1 se tem que: no ano de 2011, considerando a área completa do estudo (PNCD+ZA), foi queimada uma área total de 132 707.32ha, o que representa 29.70% de toda a área. Já para o PNCD, considerando sua área igual a 152 143.91ha, foi queimada uma área de 80 891.28ha, o que representa 53.17% de toda sua área. Esse mesmo tipo de análise foi-se feita para todos os outros períodos da tabela acima, apresentando os respectivos valores.

Considerando a área coberta pelas nuvens nas imagens, percebe-se que tanto para os três anos quanto para o período completo, o PNCD queimou mais do que sua ZA. Abaixo segue tabela 4.2, com a porcentagem do que queimou em cada zona:

Tabela 4.2 - Percentual Comparativo entre o Queimado no PNCD e na ZA

Períodos	Zona da UC	Porcentagem (%)
2011	PNCD	60.96
	ZA	39.04
2012	PNCD	59.27
	ZA	40.73
2013	PNCD	54.47
	ZA	45.53
2011_2013	PNCD	51.07
	ZA	48.93

Os valores expressos acima referem-se à relação entre o total queimado em toda área de estudo, com o queimado especificamente no parque e em sua ZA, ou seja, 54.47% dos 106 327.73ha queimados em 2013 (valor apresentado na tabela 4.1), localizam-se dentro do limite do parque, os outros 45.53% na ZA.

Mesmo registrando um número menor de focos de calor do que em 2013, o ano de 2011 também foi responsável por queimar mais da metade da área do parque (53.17%), enquanto em 2013 foram 38.06% do parque queimado. Dos três anos analisados, o ano de 2012 foi o mais preocupante no que se refere à área queimada, tanto no parque quanto na área total do estudo, bem como ao número de focos de calor registrados.

Comparando com o resultado obtido por Gonçalves *et al.* (2011) no estudo realizado sobre a recorrência de incêndios no PNCD entre os anos de 1985 e 2010, no qual os autores afirmam que nesse período aproximadamente 60.43% do PNCD havia sido queimado, sendo que somente no ano de 2008 já haviam sido queimados 41.93% do parque, os resultados alcançados neste estudo demonstram que a área queimada no PNCD em 3 anos, foi maior do que a área queimada em 25 anos, ou seja, 66.49% do parque foram queimados no período em estudo; cerca de 6.06% a mais. Ainda assim, somente em 2012 já quase se registrou a mesma porcentagem da área queimada no parque (56.72%), dos 25 anos estudados pelos autores citados acima; cerca de 3.71% menos.

No que diz respeito à ZA também se construiu uma tabela, 4.3 que segue abaixo, apresentando os valores referentes ao que foi identificado como queimado em toda sua extensão e o percentual entre a área da ZA e o queimado nela:

Tabela 4.3 - Área e percentual queimado na ZA

ZA - Áreas Queimadas		
Períodos	Área Queimada (ha)	Porcentagem (%)
2011	51 816,03	17.58
2012	59 303,58	20.12
2013	48 416,59	16.43
2011_2013	96 924,59	32.89

De maneira geral, o ano mais crítico foi o de 2012 por ter apresentado as maiores porcentagens de áreas queimadas, tanto para toda a área do estudo quanto para o PNCD, ou a ZA. Percebe-se que a área do parque, no período que compete o estudo, queimou muito mais do que a ZA, isso levando em consideração a porcentagem de cada imagem coberta por nuvens, bem como a localização das mesmas. Quando há presença de nuvens não se consegue classificar o que há por baixo das mesmas, logo não se pode aferir se a área

coberta esta queimada ou não, isso implica nos valores apresentados nas tabelas, bem como nas áreas identificadas como queimadas nos mapas de cada ano e do respectivo período completo, apresentados anteriormente.

O processo de classificação, para cada imagem, gerou quatro tabelas que expressam a precisão da classificação; são elas: duas Matrizes de Confusão ou Erros, uma com o número de pixels e outra com a porcentagem, e as outras duas representam os erros de omissão e comissão e a precisão do produtor e do utilizador, também pelo número de pixels e por porcentagem. As referidas tabelas seguem em anexo; do 7.6 ao 7.13.

Para a primeira imagem do período em estudo – imagem do satélite IRS datada de 30/05/2011 – foram coletados um total de 540 pixels para averiguar a precisão da classificação, distribuídos pelas 6 classes. Dos 90 pixels atribuídos à classe QUEIMADO, 81 pixels foram reconhecidos como realmente pertencentes a esta classe, isso representa que 90% de todos os pixels dessa classe foram corretamente classificados como queimados; esta é a precisão do utilizador. Dos erros inerentes ao processo de classificação, no que diz respeito ao erro de comissão, ou seja, pixels que foram atribuídos à classe QUEIMADO, mas que na verdade pertenciam a outra classe, foram identificados 9 pixels distribuídos da seguinte forma: 5 para classe SOMBRAS, 3 para SOLO_EXPOSTO e 1 para AGUA. Para o erro de omissão, ou seja, pixels que pertenciam à classe QUEIMADO, mas que foram classificados como outra classe, foram identificados 8 pixels distribuídos pelas classes SOMBRAS, com 7 pixels, e SOLO_EXPOSTO com 1 pixel. Desta forma percebe-se que na verdade existe um total de 89 pixels pertencentes à classe QUEIMADO, isso resulta numa precisão de 91.01% (precisão do produtor), ou seja, de todos os pixels que realmente pertencem a classe em análise, 81 deles foram classificados corretamente. De maneira geral, os erros encontrados para esta imagem foram baixos; 10% para o erro de comissão e 8.99% para omissão.

Somando todos os pixels classificados corretamente tem-se que, do total de 540 pixels distribuídos pelas classes, 447 pixels estão corretos, isso representa que aproximadamente 82.78% de todos os pixels foram corretamente classificados (precisão global). O índice Kappa apresentou um valor de aproximadamente 0.7933, o que segundo a classificação apresentada na tabela 2.4, tem o vigor de concordância considerado como robusto.

Como o objetivo principal desse trabalho é avaliar a precisão de cada resultado da classificação em cada imagem, apresentam-se de maneira geral os valores para a precisão global e o índice Kappa, bem como o vigor da concordância da classificação, como forma de resumidamente demonstrar os resultados obtidos pelo processamento de todas as imagens selecionadas. Todos esses resultados são apresentados na tabela 4.4:

Tabela 4.4 - Resultados da Classificação para cada imagem

Ano	Imagens	Precisão Global (%)	Índice Kappa	Vigor da Concordância
2011	IRS_300511	82.77	0.79	Robusto
	L5_140911	87.91	0.85	Quase Perfeito
	IRS_081211	87.03	0.84	Quase Perfeito
2012	IRS_300412	81.04	0.76	Robusto
	IRS_261212	87.50	0.84	Quase Perfeito
2013	IRS_010413	89.50	0.87	Quase Perfeito
	L8_020813	88.16	0.85	Quase Perfeito
	L8_051013	91.50	0.89	Quase Perfeito

Como pode ser observado acima, todas as imagens apresentaram resultados satisfatórios utilizando o classificador MaxLike. A precisão global ficou sempre acima dos 80%, o índice Kappa acima dos 0.75 e o vigor de concordância variando entre robusto ou quase perfeito.

Ressalta-se que outros métodos foram testados na tentativa de identificar a área queimada nas imagens, como por exemplo, pela aplicação de índices (NDVI, NDWI, NBR, SAVI, MIRBI, entre outros). Essa metodologia não foi aplicável por conta das sombras das nuvens nas imagens disponíveis e usadas neste estudo, as quais formam zonas que são confundidas com áreas queimadas ou mesmo com a água, impossibilitando o estabelecimento de limiares para diferenciar os pixels e agrupá-los nas devidas classes.

Sendo assim não foi possível encontrar um limiar útil que diferenciasse o queimado das sombras das nuvens. Outras metodologias pesquisadas utilizavam dados não disponíveis gratuitamente (imagens SPOT, MODIS, dados de campo, entre outros) como auxiliares para os cálculos de identificação do queimado, ou reconhecimento automático de nuvens e suas sombras, mas devido à falta de recurso financeiro, os mesmos não puderam ser adquiridos e por isso estas metodologias também não foram aplicáveis para este caso.

4.3. Análise da Localização das Torres de Vigia: Visibilidade das torres

Considerando a área do polígono da UC do parque fornecido pelo ICMBIO de aproximadamente 152 143.91ha e também os dados utilizados e a metodologia proposta, foi preciso 26 torres para cobrir aproximadamente 70.30% da área, ou seja, uma área de aproximadamente 106 906.53ha. As torres ficaram distribuídas por toda a extensão do parque, em regiões de topos de serra e morros, bem como em vales e regiões mais baixas, para garantir uma maior cobertura de visão das torres e o monitoramento das áreas críticas. O mapa com a distribuição espacial das torres sobre os municípios que integram a UC encontra-se no anexo 7.14, através do qual é possível perceber que em Mucugê seriam instaladas 12 torres, enquanto Andaraí 8, Lençóis 5 e Palmeiras 1, para que a cobertura fosse garantida.

A sobreposição dos resultados entre as torres e suas coberturas visíveis do parque e os setores de monitoramento, permitiram identificar os seguintes resultados expressos na tabela 4.5 abaixo:

Tabela 4.5 - Porcentagem de área visível e número de torres para cada setor de monitoramento

ID do Setor	Setores de Monitoramento	Risco de Incêndio	Número de Torres	Área (ha)	Área Visível (ha)	(%) de Área Visível
1	Gerais do Morrao	Alto	3	5 880.39	4 024.11	68.43
2	Mandassaia	Medio	0	8 619.04	5 783.54	67.10
3	Capao	Alto	2	10 886.04	6 922.45	63.59
4	Candomba	Medio	0	3 526.41	1 095.14	31.06
5	Sul de Lençóis	Alto	2	3 712.45	2 764.03	74.45
6	Gerais do Rio Preto	Alto	2	12 189.62	7 662.62	62.86
7	Marimbus	Medio	1	7 282.30	6 068.02	83.33
8	Pati	Baixo	0	3 945.33	2 150.04	54.50
9	Andaraí	Alto	0	5 082.83	3 504.67	68.95
10	Casa Branca	Medio	0	7 447.49	5 573.76	74.84
11	Igatu	Medio	3	6 886.25	4 758.04	69.09
12	Capa do Bode	Medio	0	2 461.09	2 315.20	94.07
13	Sul de Mucuge	Alto	2	6 011.28	4 964.92	82.59
14	Capao do Correa	Baixo	2	8 403.54	6 741.38	80.22
15	Machobongo	Medio	2	14 772.90	11 229.61	76.01
16	Chapadinha	Medio	2	11 806.35	6 227.98	52.75
A	Nascentes	Baixo	2	11 895.13	8 228.83	69.18
B	B	Baixo	1	10 816.65	8 460.21	78.21
C	C	Baixo	2	10 653.98	6 363.32	59.73

Não se deve afirmar que somente a quantidade de torres instalada num determinado setor implica numa maior cobertura de área visível, um critério preponderante a ser

relevado é a topografia do terreno, a qual demonstrou ser um dos principais fatores limitantes da visibilidade de uma torre. Como pode ser percebido na tabela acima, mesmo contendo o maior número de torres (neste caso 3), os setores 1 e 11, Gerais do Morrão e Iगतú, respectivamente, não obtiveram os 70% indicados. Outros setores, mesmo tendo dimensões menores e apenas uma torre, ou nenhuma, conseguiram obter o limite de área visível, como por exemplo, os setores 7, 10 ou B. De maneira geral os setores classificados quanto ao risco de incêndio ficaram com uma cobertura visível total de acordo com o que mostra a tabela 4.6 abaixo:

Tabela 4.6 - Área Total Visível por Setor Classificado quanto ao Risco de Incêndio

Setores/ Risco de Incêndio	AREA TOTAL VISIVEL (%)
Baixo	69,88
Médio	68,55
Alto	68,19

Uma vez que o objetivo principal desse estudo não envolve obter especificamente uma cobertura de 70% das áreas desses setores, os resultados expostos acima são utilizados para contextualizar os objetivos alcançados, com a dinâmica local já estudada por outros autores. Ainda que a área total visível de cada setor não corresponda com o limite indicado pelas literaturas, o pouco que faltou pode ser cumprido pelo monitoramento terrestre, ou aéreo, além de que a área total do PNCD coberta garante o resultado recomendado. São análises pertinentes no que diz respeito ao fornecimento de dados e informações que podem ser utilizadas em estudos futuros, além de demonstrarem que para muitos dos setores não é necessário mais do que 2 torres para monitorar acima dos 70% da área.

Pela análise da cobertura visível das áreas críticas, mesmo tendo obedecido aos critérios impostos, ainda foi possível identificar três zonas que não foram possíveis monitorar pelas torres (apresentadas em destaque no mapa abaixo), mas que podem e devem ser monitoradas de outras maneiras. A topografia mais uma vez aparece aqui como determinante para que resultados como estes surjam. Os extensos vales e as regiões entre morros escondem os focos de incêndios que ali ocorrem, dificultando o monitoramento dessas áreas. O mapa elaborado entre o resultado da cobertura de visão das torres e as áreas críticas queimadas, segue representado no anexo 7.15. É preferível ter pontos específicos conhecidos para gerir o monitoramento nestas áreas, do que aumentar o número de torres.

As distâncias entre as torres seguem representadas na tabela 4.7 abaixo, na qual é possível verificar que a maior distância foi entre as torres 14 e 15, separadas por aproximadamente 12 593.76m e a menor distância foi entre as torres 24 e 25, separadas por 3 254.45m. Desta forma conclui-se que todas as torres foram dispostas mantendo as distâncias recomendadas pelas literaturas e o raio de visão definido (*radius2*), ou seja, distantes de no máximo 15km.

Tabela 4.7 - Distância entre as Torres de Vigia

TORRES		DISTANCIA (m)
1	2	9271,977636
2	3	11506,475243
3	4	5215,563968
4	5	10205,696321
5	6	7467,019749
6	7	5088,089197
7	8	9187,375071
8	9	10524,127000
9	10	7973,042065
10	11	9618,358363
11	12	10164,102546
12	13	5648,414839
13	14	4899,749920
14	15	12593,763357
15	16	6642,731542
16	17	8671,747641
17	18	6139,505457
18	19	4608,790780
19	20	8500,515856
20	21	5605,709699
21	22	6735,495805
22	23	5358,931222
23	24	8707,193525
24	25	3254,454756
25	26	4963,018555

As altitudes das torres também obedeceram aos intervalos de valores definidos: entre os 360 e 1 250m, ou entre os 1 300 e 2 316m. A torre localizada na altitude mais elevada é a 15, a qual se encontra a cerca de 1 636.97m. A menos elevada encontra-se numa altitude cerca de 511.42m; é a torre 18. Como era de se esperar, a cobertura de visão da torre mais elevada é superior à torre menos elevada. Enquanto a torre 15 cobre uma área visível de 10 716.03ha, a torre 18 cobre 9 120.90ha, aproximadamente. Porém isso não serve de regra quando se observa que a torre 17, encontra-se localizada a uma altitude cerca de 1 245.18m, cobre uma área de aproximadamente 11 987.33ha. Isso pode ser

explicado pela análise da topografia junto com o resultado da cobertura de visão de cada torre, na qual é possível perceber que apesar da torre 15 ser mais alta, a mesma está cercada por morros e/ ou serra, enquanto a torre 17, também localizada em altitudes elevadas, porém mais baixa que a torre 15, consegue obter uma visão mais limpa de zonas mais baixas. A torre que obteve a menor cobertura de área foi a torre 8 com aproximadamente 1 357.36ha visíveis, o que também pode ser explicado pela topografia, pois apesar de estar a uma altitude cerca de 1 329.27m esta torre esta cercada por morros, porém mesmo estando nesta situação ela ainda consegue monitorar uma relevante área crítica situada nas mesmas condições. A tabela final das torres com todas as informações pertinentes ao estudo encontra-se disponível para consulta no anexo 7.16.

5. CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as principais conclusões a respeito do que foi analisado neste estudo, bem como algumas recomendações para melhoria deste trabalho e para melhor estruturação da gestão do parque. A constante queima e focos de calor detectados nesta UC, a insuficiência das ações governamentais e/ ou não governamentais voltadas para a questão da prevenção e combate ao fogo, bem como a notificação dos incendiários responsáveis e fornecimento de outras informações a ponto de estruturar os ROIs de maneira mais digna a serem utilizados como ferramenta de gestão, junto como as análises sobre os resultados apresentados, a carência de estudos voltados para esta região e a dificuldade em ainda se obter dados mais precisos, são alguns dos tópicos também discutidos neste capítulo.

5.1. Principais Conclusões

Percebe-se que o histórico de intensas queimadas no parque e na sua área circundante se mantém até os dias atuais e ainda continua sendo um obstáculo a ser vencido pelas instâncias governamentais ou instituições não governamentais. Todos os esforços que supostamente estão sendo investidos na preservação da UC estudada parecem não surtir efeito quando comparamos com os números e estatísticas das ocorrências de focos de calor e da constante identificação de áreas queimadas, ano após ano. As técnicas e recursos empregados nesta UC não conseguem, de maneira geral, acabar ou coibir o uso ilegal do fogo, nem identificar de maneira mais imediata onde esse fogo esta ocorrendo. Devido à carência de um sistema de identificação de focos de incêndio mais eficaz e condizente com a realidade local, os responsáveis por atear fogo ilegalmente não são devidamente notificados e os ROI's permanecem indevidamente preenchidos, ou não preenchidos; como é o caso de muitos encontrados, além de extensas áreas da UC serem continuamente devastadas pelo fogo.

Continua existindo muitas lacunas a serem preenchidas no que se refere à conservação da Chapada Diamantina. São tarefas que continuam dependendo principalmente, de ações do governo para investimentos em diversos setores. Juncá *et al.*, (2005) chama a atenção que é fundamental para o processo de conservação dessa área, um

trabalho de educação ambiental junto à população, levando em consideração os aspectos culturais, históricos, sociais, ambientais e econômicos. Não obstante, é preciso que haja investimentos para modernizar e equipar as UC's, compatibilizando com uma melhora na qualidade de vida dos residentes. São ações que devem ser combinadas e planejadas para suprir às necessidades a curto, médio e longo prazo. Mais trabalhos de campo precisam ser realizados nesta região, principalmente na área que compete à UC em questão. Dados técnicos atuais e mais precisos precisam ser coletados e disponibilizados para que estudos sobre as questões que envolvem o fogo, bem como gestão de UC, possam ser elaborados e difundidos mais intensamente com o intuito de fornecer informações mais precisas que são utilizadas pelas diversas aplicações de geoprocessamento, compostas por ferramentas compatíveis com os estudos sobre preservação e/ou conservação ambiental, envolvendo o tema fogo e outros fenômenos. Os resultados da utilização desses novos dados podem garantir que os parâmetros a serem configurados tenham valores direcionados especificamente para a dinâmica que ocorre na região, deixando de serem valores aproximados ou adaptados de outros estudos semelhantes; o que implica em resultados sobrestimados.

A metodologia empregada neste estudo mostrou-se bastante eficaz no que diz respeito ao cumprimento dos objetivos propostos, uma vez que foi possível estabelecer uma cobertura significativa das áreas críticas queimadas, além de conseguir cobrir os 70% de área visível do parque e estabelecer as análises estatísticas espaciais e temporais dos focos de calor e das áreas queimadas no parque e na sua ZA. Mesmo com limitações referentes aos dados disponíveis para a região, os métodos utilizados foram capazes de estabelecer os locais ideais para a implantação de torres de monitoramento de incêndios no parque, respeitando os critérios definidos. Ressalva-se que os valores resultantes da visibilidade das torres estão sobrestimados, por conta de não ter sido possível obter dados mais específicos. Dados como a altura da vegetação, histórico de coordenadas dos focos já identificados durante os anos ou dos mirantes naturais já conhecidos como locais de monitoramento, mapeamento das trilhas percorridas pelos brigadistas voluntários ou pelos bombeiros, entre outros, são de fundamental importância para obtenção de resultados mais robustos. Apesar da falta de estudos que definam valores específicos para o estudo do fogo nesta UC, a configuração dos parâmetros estabelecida para a análise de visibilidade das torres, a qual foi feita pela adaptação de diversas literaturas consultadas, se mostrou

bastante eficaz. Os testes realizados na configuração garantiram que os valores fossem definidos com mais segurança e os resultados satisfatórios.

Os mapas apresentados como resultado da classificação das imagens de satélites, identificando as áreas queimadas no período de 2011 até 2013, assim como os mapas dos focos de calor, demonstram o nível de degradação que o parque vem sofrendo nos últimos anos, à medida que ainda registra-se mais da metade da área do parque queimada nos últimos três anos (cerca de 60.96% em 2011, 59.27% em 2012 e 54.47% em 2013) e o número de focos de calor registrados nesta UC, apesar de em 2011 terem alcançado uma redução considerável de ocorrência, permanecem representando altas proporções frente ao total registrado em todo o Estado da Bahia no período estudado, atingindo em 2013 o percentual de aproximadamente 70.48% do total de focos.

O sistema de torres proposto neste estudo não deve ser encarado como única alternativa de monitoramento e identificação de focos de incêndios no parque, ele deve estar integrado a um sistema mais amplo e complexo, com atividades que envolvam o constante e estratégico monitoramento terrestre, aéreo, através de processamento de dados de satélites e/ ou pela combinação entre eles, participação efetiva das comunidades locais, além de outros incentivos governamentais e/ ou não governamentais, destinados a principalmente garantir estruturação e capacitação profissional adequada deste sistema. Neste sentido, o número de torres determinadas neste estudo pode ser futuramente reduzido, bem como aumentado, pois a integração com um sistema mais amplo pode fornecer informações mais específicas sobre os critérios a serem considerados na implantação de torres. Desta forma, essa mesma metodologia proposta aqui neste estudo, pode ainda ser futuramente incrementada através do acesso, ou produção de novas informações; muitas das quais poderiam ser fornecidas pelos ROI's, caso estes fossem devidamente preenchidos.

No que diz respeito aos custos de instalação de uma torre, os mesmos não puderam ser obtidos por falta de fonte, porém fazendo um comparativo proporcionalmente ao que acontece em Portugal e de acordo com o publicado na página da internet da INESC – Inovação (http://www.inov.pt/pages/noticias_eventos/notic_20.php), o custo para se manter operável um sistema com 237 postos de vigia ultrapassa os 3.8 milhões de euros anualmente, o que convertendo para a moeda brasileira e considerando as devidas proporções territoriais, a sazonalidade do trabalho de mais ou menos 4 meses e a conversão de R\$3.20 por 1.00€, bem como as 26 torres instalada na região do PNCD

(aproximadamente 11% do total de postos de vigia em Portugal), custaria ao Estado baiano aproximadamente R\$1.3 milhões anualmente. É claro que esse valor está sobrestimado, porém mesmo dobrando esse valor calculado, o resultado (R\$2.6 milhões) ainda estaria abaixo do valor que foi publicado na página da internet do O Eco (<http://www.oeco.org.br/reportagens/21331-brincando-de-deus-na-chapada-diamantina>), a qual afirma que a técnica empregada para fazer chover artificialmente na Chapada Diamantina custaria no primeiro ano R\$3.5 milhões, sendo que somente após a aquisição de aeronaves e radares, calcula-se que este custo reduza 40% do seu valor. Mesmo com essa redução o valor investido continua fora da realidade local, uma vez que somente com essa técnica seriam gastos mais de R\$2 milhões, isso limitaria em muito os investimentos em outras técnicas ou pesquisas, sem citar que reduziria significativamente a participação das comunidades e conseqüentemente a oferta de gerar empregos e renda para a população nativa local. Assim sendo, pela comparação feita acima, vê-se que é matematicamente mais barato manter um sistema de torres integrado a um sistema maior, o qual garantiria a cobertura de áreas que não foram possíveis serem vistas pelas torres, porém como passam a saber quais são essas áreas e onde se localizam, o monitoramento terrestre pode ser gerido com maior precisão e estratégia.

Nem no plano de prevenção para o parque, elaborado entre parcerias de institutos e o MMA em 2005, nem no relatório de ocorrência de incêndios em unidades de conservação federais, elaborado também pelo mesmo ministério em parceria com outras instituições em 2006-2007, e nem no plano de manejo elaborado pelo MMA e ICMBIO em 2007, foi sequer citado a possibilidade de realizar estudos para que torres de vigia possam ser implantadas e com isso possam ser parte integrante do sistema já vigente. Em todo o documento produzido pelo governo e consultado para este estudo, houve sequer a menção da importância em estabelecer um sistema de torres para monitoramento, ou mesmo informações demonstrando a inviabilidade de instalação de torres no limite do parque. Ou seja, não há nem informações precisas que especifiquem as condições e parâmetros para instalação de torres no parque, nem contra-indicações para que estas instalações sejam realizadas.

Mesmo com toda a limitação encontrada, este tema foi escolhido e mantido como foco de interesse pela necessidade em ao menos demonstrar que novos métodos podem ser incrementados ao sistema de monitoramento existente. A implantação de torres de vigia para monitorar o parque é uma realidade que pode ser facilmente alcançada, uma vez que

os devidos investimentos sejam efetivamente empregados, novos dados podem ser adquiridos e pesquisas mais complexas podem ser realizadas e finalizadas, as quais podem considerar informações sobre diversos aspectos que influenciam nos resultados que uma torre pode fornecer, além de aumentar a oferta de emprego, principalmente para população local, inserindo-a de forma participativa.

Mostra-se necessário um sistema de monitoramento mais eficaz, o qual em conjunto com os sistemas de comunicação e dos sistemas de combate já utilizados e paralelamente atuantes em conformidade com capacitações profissionais, garantem melhores coberturas das áreas constantemente monitoradas, redirecionando desta forma, os esforços destinados ao monitoramento terrestre, o qual passa a ser planejado mais estrategicamente por conta dos resultados que podem ser obtidos entre o que é visível pelas torres e a comunicação com os setores de combate. A implantação das torres implica em repensar todo o sistema de combate em funcionamento no PNCD, como forma de garantir uma cobertura de monitoramento e atuações terrestres capazes de identificar logo de início os focos de incêndios e queimadas criminosas que acontecem pelo parque, coibindo estes tipos de ações e sendo possível até identificar e notificar os responsáveis, o que forneceria ainda mais informações para estruturar os ROI e conseqüentemente utilizar essas informações em diversas áreas de estudo.

5.2. Recomendações

Como forma de aperfeiçoar os métodos e parâmetros utilizados e assim aprofundar ainda mais o estudo realizado, pela também inserção de novos dados e informações, bem como de manter atualizado o estudo sobre queimadas e alternativas de monitoramento no PNCD, aborda-se neste tópico algumas recomendações que inevitavelmente perpassam por uma atuação mais efetiva do governo.

É preciso que investimentos sejam aplicados em estudos de campo que colem dados essenciais para promoverem uma melhora de informações específicas da área da Chapada Diamantina e conseqüentemente da UC em questão. A carência de informação que assola a região não pode mais ser um obstáculo que limita a configuração de parâmetros e/ ou aplicação de índices. Os valores a serem utilizados precisam ser definidos especificamente para a dinâmica e para os condicionantes da região. Neste sentido a

participação das instâncias governamentais se mostra necessária, no que se refere ao direcionamento de recursos capazes de suprir as necessidades técnicas e profissionais, as quais também atuam como limitantes no processo de coleta e fornecimento de dados e informações.

Em termos futuros seria de grande interesse realizar trabalhos de campo que garantissem a obtenção de novos e mais dados técnicos e específicos, capazes de assegurar o desenvolvimento de trabalhos que considerem tanto os elementos ambientais, quanto sociais, econômicos ou geopolíticos, apresentado resultados mais completos; os quais seriam difundidos para serem utilizados em outros trabalhos. A região precisa suprir a carência de informações e pra isso é preciso que mais trabalhos de campo sejam realizados e novos e específicos dados sejam coletados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J.R.C. 2010. Atributos de Qualidade Física, Química e Biológica do Solo sob Diferentes Sistemas de Uso em Ambiente Semiárido da Bahia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

Alves, R.J.V. & Silva, N.G. 2011. O Fogo é Sempre um Vilão nos Campos Rupestres? Número Temático: Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Ano I, n.2, p.120-127.

ArcGis Resources. S.d. ArcGis Help 10.1: Generalization of classified raster imagery, acessado em 09/07/2014 <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009z0000003p000000>>.

Barroso, R.M.; Moura, E.N. & Gomide, A.C.S. s.d. O Uso de Ferramenta ModelBuilder para Automatizar a Delimitação de Bacias Hidrográficas em Sistema de Informação Geográfica.

Batista, A.C. 2013. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil.

Berra, E.F.; Fontana, D.C. & Kuplich, T. M. 2014. Comparação da Reflectância Espectral e do IVDN dos Sensores LISS-III/Resourcesat-1 e TM/Landsat 5 em Povoamento Florestal. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, n.66/2, p.393-406.

Combate a Incêndios s.d., acessado em 13/07/2014 <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/comba.htm>>.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM & Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1995. Mapa de Trilhas e Pontos Turísticos: Parque Nacional Chapada Diamantina - BA, Brasil.

Conceição, A.A. & Pivello, V.R. 2011. Biomassa Combustível em Campo Sujo no Entorno do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. Número Temático: Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Ano I, n.2, p.146-160.

Congalton, R.G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data. Remote Sensing Environment. Department of Forestry and Resource Management, University of California, Berkeley, n.37, p.35-46.

CONSEG s.d., Bahia cobra taxa de combate a incêndio na conta de luz, acessado em 12 de Julho de 2014, <<http://consegseguranca.com.br/clientes/2-institucional/185-bahia-cobra-taxa-de-combate-a-incendio-na-conta-de-luz.html>>.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 1990. Resoluções, acessado em 7 de Julho de 2014 <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res1390.html>>.

Corrêa, I.C.S. 2010. Topografia aplicada à Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 12^a edição.

Custódio, M.M. 2006. Incêndios Florestais no Brasil. Valladolid. Espanha.

Dias, I. 2013. Bahia sem Fogo em 2013. Jornal do São Francisco: A voz da integração do oeste baiano, acessado em 12 de Julho de 2014, <www.jornaldosaofrancisco.com.br/bahia-sem-fogo-em-2013/#.VAspAmPgyfb>.

Direção de Geração de Imagens Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DGI/INPE. s.d. Imagens *Landsat* TM e ETM, acessado em 10 de junho de 2014 <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php>.

Falcão, A.X. 2005. Introdução ao Processamento de Imagem Digital (MO443/MC920): Filtros Morfológicos.

Figueiredo, G.C. & Vieira, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do

sensoriamento remoto. 2007. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Florianópolis, Brasil. Anais... INPE, p.5755-5762.

Florenzano, T.G. 2011. Iniciação em Sensoriamento Remoto, 3ª edição, Prol gráfica e editora, São Paulo, Brasil.

Fuckner, M.A.; Florenzano, T.G. & Moraes, E.C. Avaliação altimétrica de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta 2009. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Natal, Rio Grande do Norte. Anais... INPE, p.683-690.

Gaboardi, C. 2003. Utilização de Imagem de Coerência SAR para Classificação do Uso da Terra: Floresta Nacional do Tapajós. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

Gisev, N.; Pharm, B.; Bell, J.S. & Chen, T.F. 2013. Interrater agreement and interrater reliability: Key concepts, approaches, and applications. ELSEVIER. Research in Social and Administrative Pharmacy, 9, p.330-338.

Gonçalves, C.N.; Mesquita, F.W.; Lima, N.R.G.; Coslope, L.A. & Lintomen, B.S. 2011. Recorrência dos Incêndios e Fitossociologia da Vegetação em Áreas com Diferentes Regimes de Queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. Biodiversidade Brasileira. n. 2, p. 161-179.

Gontijo, G.A.B.; Pereira, A.A.; Oliveira, E.D.S. & Júnior, F.W.A. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto 2011. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba, Paraná. Anais... INPE, p.7966-7973.

Goward, S.N.; Chander, G.; Pagnutti, M.; Marx, A.; Ryan, R.; Thomas, N. & Tetrault, R. 2012. Complementarity of ResourceSat-1 AWiFS and Landsat TM/ETM+ sensors. ELSEVIER, Remote Sensing of Environment, University of Maryland, United States, 123, p.41-56.

Graham, E. 2013. Using Remote Sensing Imagery to Evaluate Post-Wildfire Damage in Southern California. GEO 3230, Advanced Remote Sensing, Lab 1.

Grego, C.R.; Long, R.M.; Vicente, L.E.; Loebmann, D.G.S.W.; Vedovato, L.B.; Oliveira, B.P.; Leivas, J.F. & Victória, D.C. Otimização de modelo digital de elevação - ASTER utilizando análise geoestatística 2013. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Foz do Iguaçu, Paraná. Anais... INPE, p.1237-1243.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA & Ministério do Meio Ambiente - MMA. s.d. Incêndios Florestais, acessado em 9 de Junho de 2014.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, s.d. Imagens LANDSAT TM e ETM. Direção de Geração de Imagens - DGI, acessado em 10 de Junho de 2014 <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 2012. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Acessado em 13 de Fevereiro de 2014 <<http://www.inpe.br/queimadas>>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. s.d. IRS-P6 Sensor Specificatins. acessado em 11 de Junho de 2014 <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ir-p6.html>>.

Junior, C.A.; Bacani, V.M. & Carvalho, L.A. 2013. Rotinas de Tratamento Digital de Imagem Landsat 5/TM para a Identificação de Queimadas em Lavouras Canavieiras. Uberlândia, Minas Gerais, v.29, p.1514-1523.

Junior, C.A.; Bacani, V.M. & Carvalho, L.A. 2013. Rotinas de Tratamento Digital de Imagem Landsat 5/TM para a Identificação de Queimadas em Lavouras Canavieiras. Uberlândia, Minas Gerais, v.29, p.1514-1523.

Kushla, J.D. & Ripple, W.J. 1998. Assesssing wildfire effects with Landsat thematic mapper data. Forest Service, Texas, v.19, n.13, p.2493-2507.

LabGeo, s.d. Portal do Laboratório de Geociências: Dossiê Chapada Diamantina. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, acessado em 12/06/2014 <<http://www.labgeo.biouesb.com/biotrilha-uesb/dossie-chapada-diamantina/>>.

Laboratório de Epidemiologia e Estatística - Lee, s.d. Análise de Concordância - Kappa, acessado em 10 de Junho de 2014 <<http://www.lee.dante.br/pesquisa/kappa/>>.

Laboratórios de Incêndios Florestais, Técnicas de Combate. Universidade Federal do Paraná - UFPR, acessado em 06/06/2014 <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/tecnicas-de-combate/>>.

Landau, E.C. & Guimarães, D.P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação: ASTER, SRTM e TOPODATA 2011. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba, Paraná. Anais... INPE, p.4003-4010.

Landis, J.R. & Koch, G.G. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. International Biometric Society, vol.33, n.1, p.159-174.

Landsat, s.d. Características do Satélite, acessado em 11/06/2014 <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/txt/landsat.htm#informa>>.

Lemes, G.P: 2013. Avaliação Espaço-Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional Serra da Canastra - Minas Gerais, no Período de 1991-2011. Dissertação de Graduação. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

Majority Filter: Illustration and Usage tips, s.d., acessado em 28 de Junho de 2014 <http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisengine/java/Gp_ToolRef/spatial_analyst_tools/majority_filter.htm>.

Marra, T.B. & Salgado, C.B. Proposta de modelo auxiliar de classificação baseado em processamento vetorial - experiências na geração de dados de uso e cobertura do solo 2009. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Natal, Rio Grande do Norte. Anais... INPE, p.5957-5964.

Meneses, P.R. & Almeida, T. (org.); Rosa, A.N.C.S.; Sano, E.E.; Souza, E.B.; Baptista, G.M.M. & Brites, R.S. 2012. Introdução ao Processo de Imagens de Sensoriamento Remoto, Brasília, Brasil.

Mesquita, F.W.; Lima, N.R.G.; Gonçalves, C.N.; Berlinck, C.N. & Lintomen, B.S. 2011. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. Biodiversidade Brasileira, n. 2: 228-246.

Ministério do Meio Ambiente & Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2005. Plano de Prevenção aos Incêndios Florestais: Parque Nacional Chapada Diamantina, Palmeiras, Bahia, Brasil.

Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade & Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2007. Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada Diamantina: Versão Preliminar - Documento de Trabalho Parte I, Brasília, Brasil.

Neves, S.P. & Conceição, A.A. 2010. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Ciências Biológicas, Feira de Santana, Bahia, Brasil.

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 Incêndios com Auxílio do SIG. Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, Minas Gerais - MG, v.26, n.3, p.363-369.

O eco 2009, Brincando de deus na Chapada Diamantina, acessado em 12 de Julho de 2014 <<http://www.oeco.org.br/reportagens/21331-brincando-de-deus-na-chapada-diamantina>>.

Oliveira, I.P.; Santos, K.J.G.; Araújo, A.A. & Oliveira, L.C. 2005. Queimadas e suas Consequências na Região Centro Oeste. Revista Eletrônica, Faculdade Montes Belos, Goiás. v.1, n.2, p.88-103.

Parque Nacional da Chapada Diamantina s.d., Incêndio Florestal, acessado em 06 de Junho de 2014, <<http://parnachapadadiamantina.blogspot.pt/p/incendios-florestais.html>>.

Perna, M.A. s.d. O Sistema UTM. Engenharia Cartográfica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, acessado em 13 de Julho de 2014 <<http://www.carto.eng.uerj.br/cgi/index.cgi?x=utm.htm>>.

Petropoulos, G.P.; Kontes, C. & Keramitsoglou, I. 2010. Burnt area delineation from a uni-temporal perspective base on Landsat TM imagey classification using Support Vector Machine. ELSEVIER. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. n.13, p.70-80.

Portal Sul da Bahia 2012, Reforçando o combate a incêndios florestais na Bahia, acessado em 12 de Julho de 2014, <www.portalsuldabahia.com.br/index.php/reforcado-combate-a-incendios-florestais-na-bahia/>.

Redação 360 graus 2009, Parque teste nova tecnologia para fazerchoverna Chapada Diamantina, acessado em 12 de Julho de 2014 <<http://360graus.terra.com.br/ecoturismo/?did=28067&action=news>>.

Rego, F.C. 2005. Análise da Rede Nacional de Postos de Vigia em Portugal, Relatório Técnico. Instituto de Novas Tecnologias INOV - INESC INOVAÇÃO, Associação de Desenvolvimento do Instituto Superior de Agronomia - ADISA, Portugal.

Reis, M.S. Comparação entre os Classificadores Máxima Verossimilhança, SVM e Rede Neural MLP para Uso e Cobertura da Terra em Parcela da FLONA Tapajós e Arredores. 2013. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Foz do Iguaçu, Paraná. Anais... INPE.

Rodrigues, R.P.; Borges, E.F. & Rocha, W.J.S.F. Identificação das zonas de ocorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina - BA. 2011. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba, Paraná. Anais... INPE.

Rodrigues, T.L.; Debiassi, P. & Souza, R.F. Avaliação da Adequação dos Produtos ASTER GDEM no Auxílio ao Mapeamento Sistemático Brasileiro 2010. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, Recife, Pernambuco. Anais..., p.1-5.

Roza, W.S.S. & Ribeiro, A.R.A. 2013. Detecção e estimativa de área queimada entre o limite do Parque Estadual de Vila Velha - PR e sua zona de amortecimento mediante sensoriamento remoto. Sociedade e Território, Natal, Rio Grande do Norte, v.25, n.1, p.102-118.

Saraiva, C.; Silva, C.H.S.; Gualberto, S. & Tupinambás, W.J.M. 2013. Coordenadas Topográficas x Coordenadas UTM. MundoGeo, acessado em 13 de Julho de 2014 <<http://mundogeo.com/blog/2013/06/05/coordenadas-topograficas-x-coordenadas-utm/>>.

Saranya, K.R.L.; Reddy, C.S.; Rao, P.V.V.P. & Jha, C.S. 2014. Decadal time-scale monitoring of forest fires in simlipal Biosphere Reserve, India using remote sensing and GIS. Environ Monit Assess. Suíça, n. 186, p.3283-3296.

Scariot, A.; Silva, J.C.S. & Felfili, J.M. 2005. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Brasília, Brasil.

Schepers, L.; Haest, B.; Veraverbeke, S.; Spanhove, T.; Borre, J.V. & Goosens, R. 2014. Bruned Area Detection and Bern Severety Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airbone Imaging Spectroscopy (APEX). Remote Sensing, 6, p.1803-1826.

Sibolla, B. & Smit, J.L. 2013. A GIS Based Approach to Embedded Fire Modelling: A South African Case Study. University of Cape Town, Cape Town, South African, África.

Silva, T.B.; Rocha, W.J.S.F. & Angelo, M.F. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada diamantina - BA. 2013. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Foz do Iguaçu, Paraná. Anais... INPE.

Singh, Y.; Sharma, M.P.; Sharma, S.D.; Prawasi, R.; Yadav, K. & Hooda, R.S. 2014. Application of GIS Technique to Select Suitable Sites for Erecting Watch Towers in Forest Areas of Mountainous Tract. v.5, 2, p.462-468.

Soare, R.V. & Batista, A.C. 2003. Controle de Incêndios Florestais: Módulo 6 - Combate aos incêndios florestais. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS e Universidade Federal de Viçosa - UFV, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitopatologia, Brasília, Brasil.

Song, C.; Woodcock, C.E.; Seto, K.C.; Lenney, M.P. & Macomber, S. A. 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM data: When and How to Correct Atmospheric Effects?. ELSEVIER, Remote Sensing of Enviroment, p.230-244.

Sousa, B.F.S.; Teixeira, A.S.; Silva, F.A.T.F.; Andrade, E.M. & Braga, A.P.S. 2010. Avaliação de Classificadores baseados em Aprendizado de Máquina para a Classificação do Uso e Cobertura da terra no Bioma Caatinga. Revista Brasileira de Cartografia: Edição Especial, n.2, p.385-399.

Tanan, K.C.R. & Chaves, J.M. A Educação Ambiental como Prática Propositiva na Intervenção das Queimadas no município de Mucugê Chapada Diamantina - BA. 2012. In: I SEMINÁRIO NACIONAL DE GEOECOLOGIA E PLANEJAMENTO & IV SEMINÁRIO DO GEOPLAN, Universidade Federal de Sergipe - UFS, Sergipe. Anais...GEOPLAN.

Tomazoni, J.C.; Gomes, T.C.; Guimarães, E. & Silva, T.G. Uso de Modelo Digital de Elevação gerados a partir do ASTER GDEM, para Caracterização Altimétrica do Município de Renascença no Sudoeste do Estado do Paraná 2011. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba, Paraná. Anais... INPE, p.4338-4344.

United States Geological Survey – USGS. S.d. Landsat Missions: Frequently Asked Questions about the Landsat Missions, acessado em 10 de Junho de 2014 <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.ph>.

United States Geological Survey - USGS & National Aeronautics and Space Administration - NASA. A.d. Landsat: Continuing to Improve Everyday Life. United States.

Venturi, N.L. 2006. Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância florestais por meio de sistema de informação geográficas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

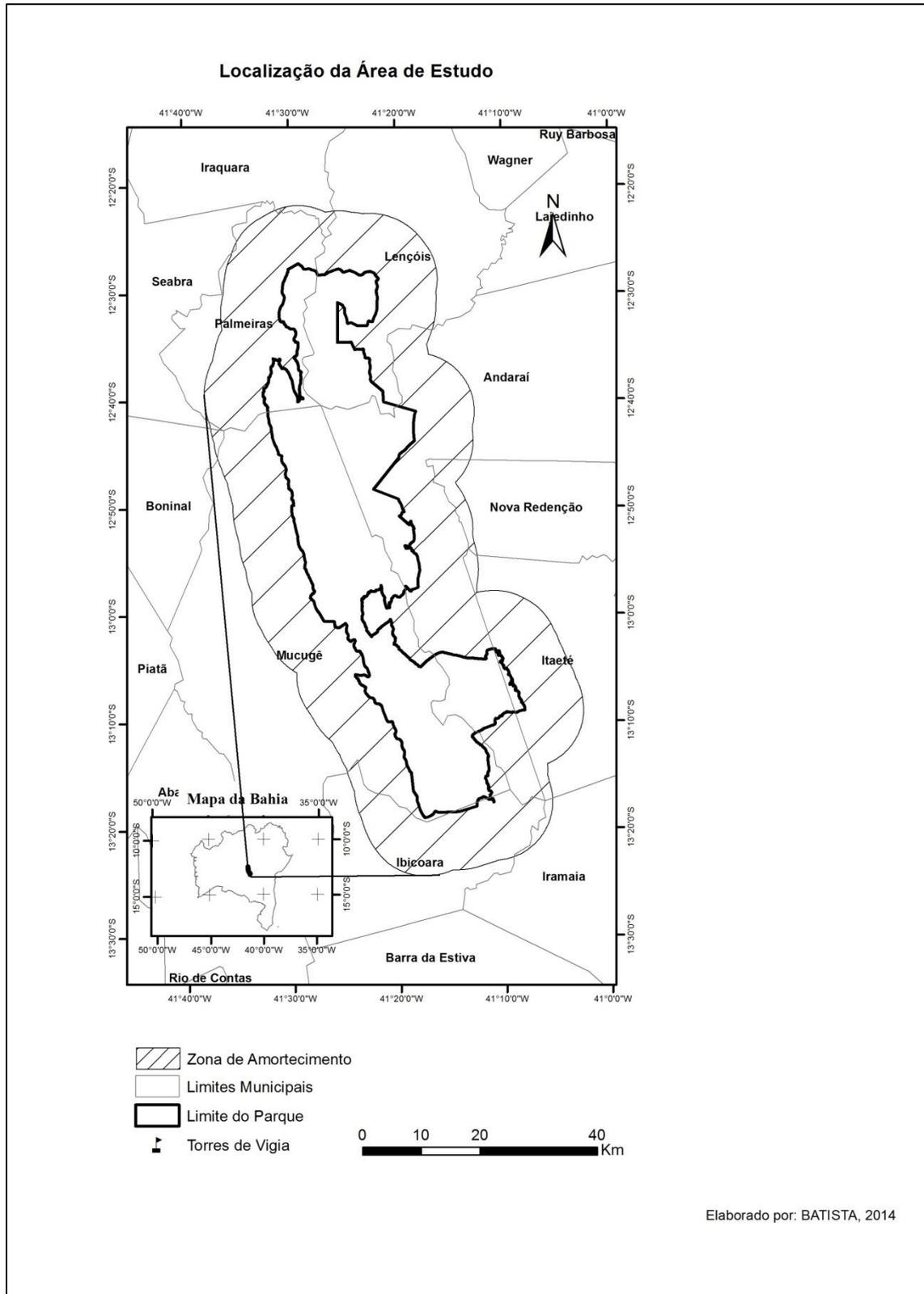
Viegas, D.X.; Viegas, M.T.P.; Pita, L.P.; Ribeiro, L.M. & Palheiro. P. 2005. Incêndios Florestais: Estudo Sobre Sistemas de Vigilância de Incêndios Florestais. Associação Empresarial para a Inovação - COTEC e Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial - ADAI, Portugal.

Wagtendonk, J.W.V.; Root, R.R. & Key, C.H. 2004. Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity. ELSEVIER. Remote Sensing of Environment. p.397-408.

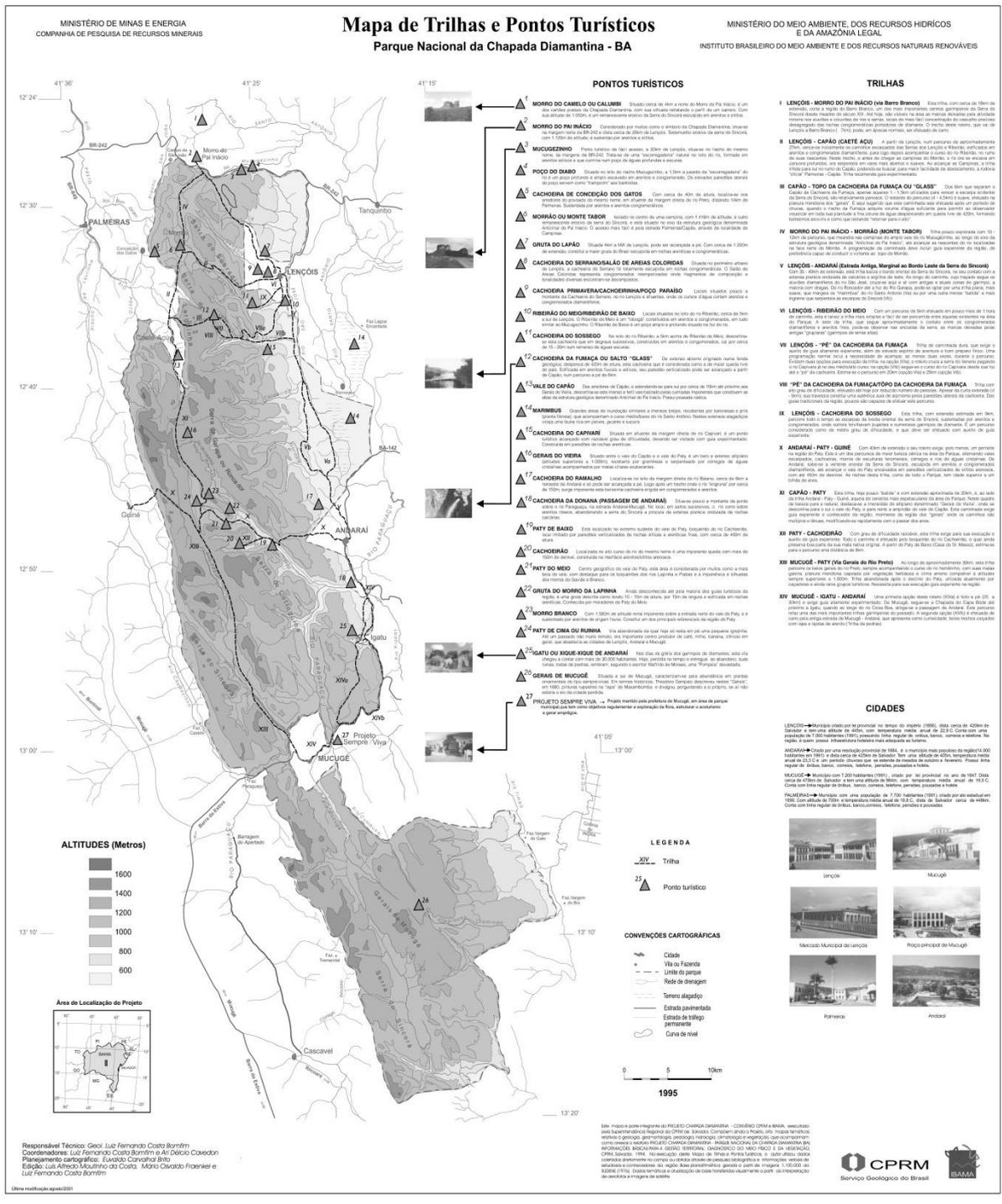
Yadav, M.; Sharma, M.P.; Prawasi, R.; Khichi, R.; Kumar, P.; Mandal, V.P.; Salim, A. & Hooda, R.S. 2013. Estimation of Wheat/Rice Residue Burning Areas in Major District of Haryana, India, Using Remote Sensing Data. J Indian Soc Remote Sens, 42, p.343-352.

7. ANEXOS

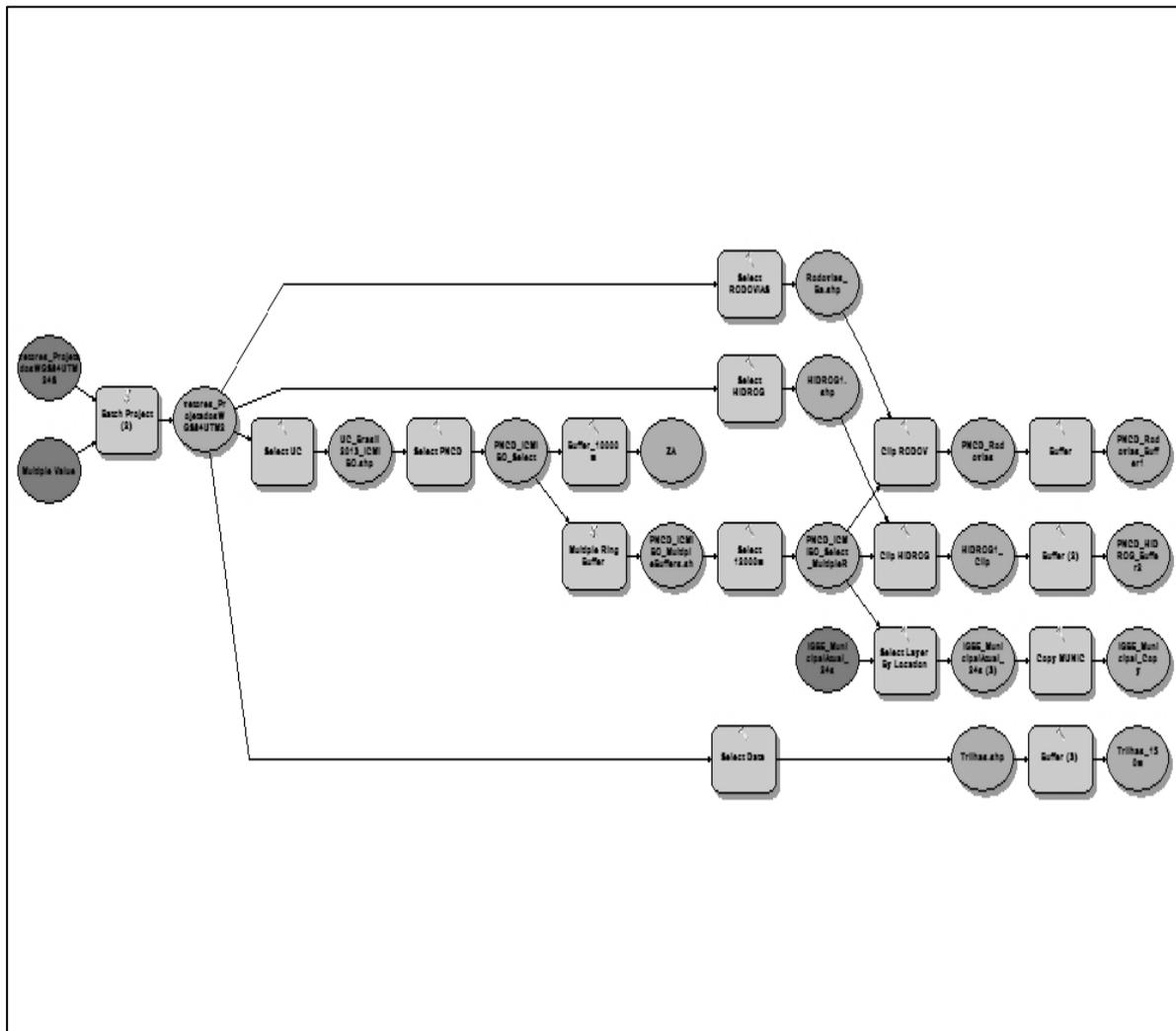
Anexo 7.1 - Mapa de Localização da Área de Estudo



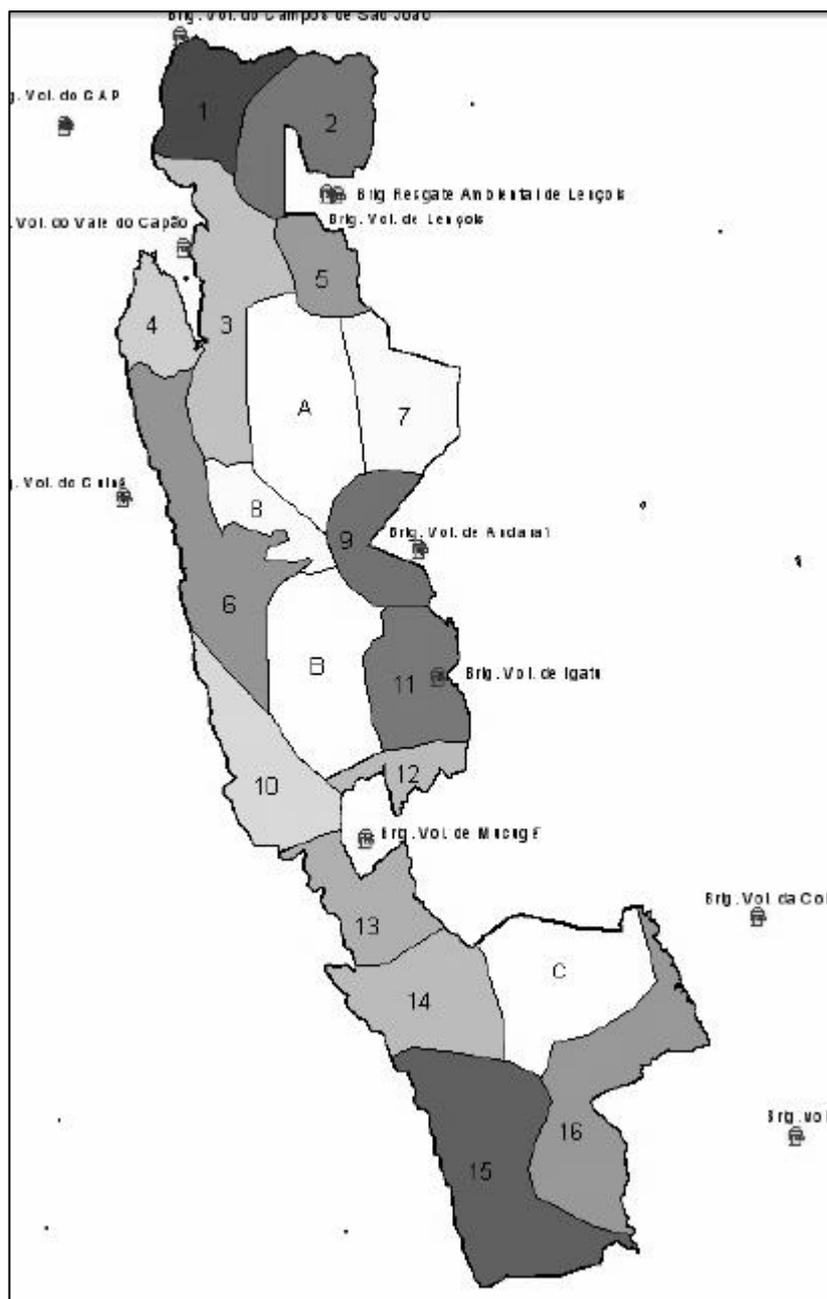
Anexo 7.2 - Mapa de Trilhas e Pontos Turísticos (retirado de CPRM, IBAMA, 2001).



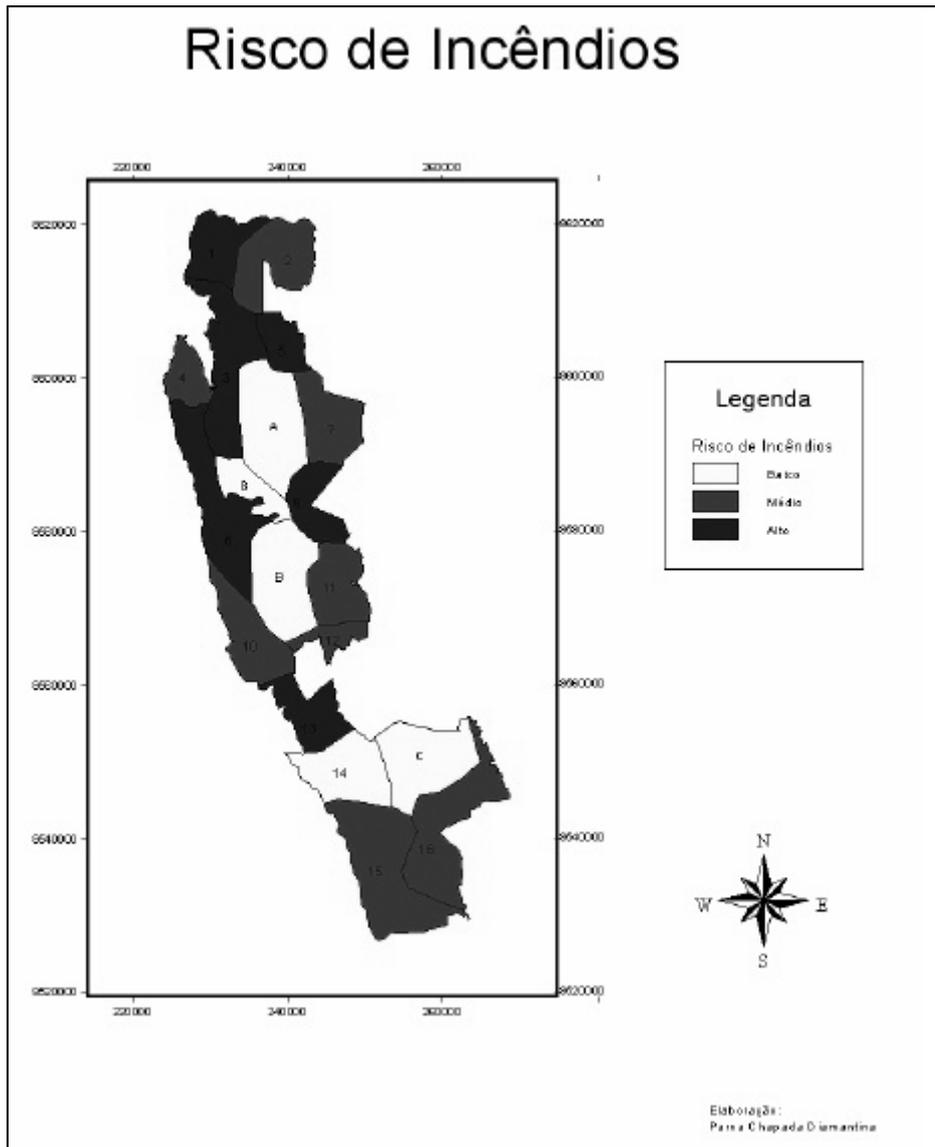
Anexo 7.3 - Fluxograma para Dados Vetoriais (*Model Builder*)



Anexo 7.4 - Mapa dos Setores de Monitoramento do PNCD (MMA, IBAMA, 2005).



Anexo 7.5 - Mapa do Risco de Incêndio por Setor de Monitoramento (MMA, IBAMA, 2005).



Anexo 7.6 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 30 de maio de 2011

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\IRS_300511_MaxLike_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	88	0	2	0	0	0	90
SOMBRAS	0	82	2	0	0	7	91
SOLO_EXPOSTO	12	2	73	0	1	1	89
AGUA	0	55	0	35	0	0	90
VEGETACAO	0	0	2	0	88	0	90
QUEIMADO	0	5	3	1	0	81	90
Total	100	144	82	36	89	89	540
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	88.00	0.00	2.44	0.00	0.00	0.00	16.67
SOMBRAS	0.00	56.94	2.44	0.00	0.00	7.87	16.85
SOLO_EXPOSTO	12.00	1.39	89.02	0.00	1.12	1.12	16.48
AGUA	0.00	38.19	0.00	97.22	0.00	0.00	16.67
VEGETACAO	0.00	0.00	2.44	0.00	98.88	0.00	16.67
QUEIMADO	0.00	3.47	3.66	2.78	0.00	91.01	16.67
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
NUVENS	2.22	12.00	2/90	12/100			
SOMBRAS	9.89	43.06	9/91	62/144			
SOLO_EXPOSTO	17.98	10.98	16/89	9/82			
AGUA	61.11	2.78	55/90	1/36			
VEGETACAO	2.22	1.12	2/90	1/89			
QUEIMADO	10.00	8.99	9/90	8/89			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
NUVENS	88.00	97.78	88/100	88/90			
SOMBRAS	56.94	90.11	82/144	82/91			
SOLO_EXPOSTO	89.02	82.02	73/82	73/89			
AGUA	97.22	38.89	35/36	35/90			
VEGETACAO	98.88	97.78	88/89	88/90			
QUEIMADO	91.01	90.00	81/89	81/90			
Precisão Global = (447/540) 82.7778%							
Coeficiente Kappa = 0.7933							

Anexo 7.7 - Matrizes de Erros: Imagem L5 14 de setembro de 2011

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\L5_140911_MaxLike_CombineClasses.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	SOMBRAS	NUVENS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
SOMBRAS	85	0	0	2	1	2	90
NUVENS	0	75	14	0	0	1	90
SOLO_EXPOSTO	1	0	75	0	4	10	90
AGUA	0	0	0	20	0	0	20
VEGETACAO	1	1	2	0	78	8	90
QUEIMADO	9	0	1	1	0	89	100
Total	96	76	92	23	83	110	480
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	SOMBRAS	NUVENS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
SOMBRAS	88.54	0.00	0.00	8.70	1.20	1.82	18.75
NUVENS	0.00	98.68	15.22	0.00	0.00	0.91	18.75
SOLO_EXPOSTO	1.04	0.00	81.52	0.00	4.82	9.09	18.75
AGUA	0.00	0.00	0.00	86.96	0.00	0.00	4.17
VEGETACAO	1.04	1.32	2.17	0.00	93.98	7.27	18.75
QUEIMADO	9.38	0.00	1.09	4.35	0.00	80.91	20.83
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
SOMBRAS	5.56	11.46	5/90	11/96			
NUVENS	16.67	1.32	15/90	1/76			
SOLO_EXPOSTO	16.67	18.48	15/90	17/92			
AGUA	0.00	13.04	0/20	3/23			
VEGETACAO	13.33	6.02	12/90	5/83			
QUEIMADO	11.00	19.09	11/100	21/110			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
SOMBRAS	88.54	94.44	85/96	85/90			
NUVENS	98.68	83.33	75/76	75/90			
SOLO_EXPOSTO	81.52	83.33	75/92	75/90			
AGUA	86.96	100.00	20/23	20/20			
VEGETACAO	93.98	86.67	78/83	78/90			
QUEIMADO	80.91	89.00	89/110	89/100			
Precisão Global = (422/480) 87.9167%							
Coeficiente Kappa = 0.8517							

Anexo 7.8 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 08 de dezembro de 2011

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\IRS_081211_MaxLike_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	SOMBRAS	NUVENS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
SOMBRAS	94	0	0	5	0	11	110
NUVENS	0	75	13	0	2	0	90
SOLO_EXPOSTO	0	11	89	0	0	0	100
AGUA	12	0	0	18	0	0	30
VEGETACAO	0	3	0	0	97	0	100
QUEIMADO	12	0	1	0	0	97	110
Total	118	89	103	23	99	108	540
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	SOMBRAS	NUVENS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
SOMBRAS	79.66	0.00	0.00	21.74	0.00	10.19	20.37
NUVENS	0.00	84.27	12.62	0.00	2.02	0.00	16.67
SOLO_EXPOSTO	0.00	12.36	86.41	0.00	0.00	0.00	18.52
AGUA	10.17	0.00	0.00	78.26	0.00	0.00	5.56
VEGETACAO	0.00	3.37	0.00	0.00	97.98	0.00	18.52
QUEIMADO	10.17	0.00	0.97	0.00	0.00	89.81	20.37
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
SOMBRAS	14.55	20.34	16/110	24/118			
NUVENS	16.67	15.73	15/90	14/89			
SOLO_EXPOSTO	11.00	13.59	11/100	14/103			
AGUA	40.00	21.74	12/30	5/23			
VEGETACAO	3.00	2.02	3/100	2/99			
QUEIMADO	11.82	10.19	13/110	11/108			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
SOMBRAS	79.66	85.45	94/118	94/110			
NUVENS	84.27	83.33	75/89	75/90			
SOLO_EXPOSTO	86.41	89.00	89/103	89/100			
AGUA	78.26	60.00	18/23	18/30			
VEGETACAO	97.98	97.00	97/99	97/100			
QUEIMADO	89.81	88.18	97/108	97/110			
Overall Accuracy = (470/540) 87.0370%							
Kappa Coefficient = 0.8411							

Anexo 7.9 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 30 de abril de 2012

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\IRS_300412_MaxLikelih_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	39	0	46	0	5	0	90
SOMBRAS	0	66	2	4	2	16	90
SOLO_EXPOSTO	0	0	85	0	0	5	90
AGUA	0	5	0	25	0	0	30
VEGETACAO	0	0	0	0	89	1	90
QUEIMADO	0	4	0	1	0	85	90
Total	39	75	133	30	96	107	480
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	100.00	0.00	34.59	0.00	5.21	0.00	18.75
SOMBRA_NUVENS	0.00	88.00	1.50	13.33	2.08	14.95	18.75
SOLO_EXPOSTO	0.00	0.00	63.91	0.00	0.00	4.67	18.75
AGUA	0.00	6.67	0.00	83.33	0.00	0.00	6.25
VEGETACAO	0.00	0.00	0.00	0.00	92.71	0.93	18.75
QUEIMADO	0.00	5.33	0.00	3.33	0.00	79.44	18.75
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
NUVENS	56.67	0.00	51/90	0/39			
SOMBRAS	26.67	12.00	24/90	9/75			
SOLO_EXPOSTO	5.56	36.09	5/90	48/133			
AGUA	16.67	16.67	5/30	5/30			
VEGETACAO	1.11	7.29	1/90	7/96			
QUEIMADO	5.56	20.56	5/90	22/107			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
NUVENS	100.00	43.33	39/39	39/90			
SOMBRAS	88.00	73.33	66/75	66/90			
SOLO_EXPOSTO	63.91	94.44	85/133	85/90			
AGUA	83.33	83.33	25/30	25/30			
VEGETACAO	92.71	98.89	89/96	89/90			
QUEIMADO	79.44	94.44	85/107	85/90			
Precisão Global = (389/480) 81.0417%							
Coeficiente Kappa = 0.7689							

Anexo 7.10 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 26 de dezembro de 2012

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\IRS_261212_MaxLike_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	88	0	2	0	0	0	90
SOMBRAS	0	71	0	0	1	17	89
SOLO_EXPOSTO	25	0	65	0	0	0	90
AGUA	0	5	0	25	0	0	30
VEGETACAO	1	0	0	0	88	1	90
QUEIMADO	0	7	0	0	1	83	91
Total	114	83	67	25	90	101	480
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	77.19	0.00	2.99	0.00	0.00	0.00	18.75
SOMBRA_ENCOST	0.00	85.54	0.00	0.00	1.11	16.83	18.54
SOLO_EXPOSTO	21.93	0.00	97.01	0.00	0.00	0.00	18.75
AGUA	0.00	6.02	0.00	100.00	0.00	0.00	6.25
VEGETACAO	0.88	0.00	0.00	0.00	97.78	0.99	18.75
QUEIMADO	0.00	8.43	0.00	0.00	1.11	82.18	18.96
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
NUVENS	2.22	22.81	2/90	26/114			
SOMBRAS	20.22	14.46	18/89	12/83			
SOLO_EXPOSTO	27.78	2.99	25/90	2/67			
AGUA	16.67	0.00	5/30	0/25			
VEGETACAO	2.22	2.22	2/90	2/90			
QUEIMADO	8.79	17.82	8/91	18/101			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
NUVENS	77.19	97.78	88/114	88/90			
SOMBRAS	85.54	79.78	71/83	71/89			
SOLO_EXPOSTO	97.01	72.22	65/67	65/90			
AGUA	100.00	83.33	25/25	25/30			
VEGETACAO	97.78	97.78	88/90	88/90			
QUEIMADO	82.18	91.21	83/101	83/91			
Precisão Global = (420/480) 87.5000%							
Coeficiente Kappa = 0.8474							

Anexo 7.11 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 19 de abril de 2013

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\IRS_190413_MaxLike_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	86	0	22	0	2	0	110
SOMBRAS	1	104	0	0	0	10	115
SOLO_EXPOSTO	6	1	101	0	2	5	115
AGUA	0	0	0	30	0	0	30
VEGETACAO	0	0	2	0	112	1	115
QUEIMADO	0	4	5	0	2	104	115
Total	93	109	130	30	118	120	600
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	92.47	0.00	16.92	0.00	1.69	0.00	18.33
SOMBRAS	1.08	95.41	0.00	0.00	0.00	8.33	19.17
SOLO_EXPOSTO	6.45	0.92	77.69	0.00	1.69	4.17	19.17
AGUA	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	5.00
VEGETACAO	0.00	0.00	1.54	0.00	94.92	0.83	19.17
QUEIMADO	0.00	3.67	3.85	0.00	1.69	86.67	19.17
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
NUVENS	21.82	7.53	24/110	7/93			
SOMBRAS	9.57	4.59	11/115	5/109			
SOLO_EXPOSTO	12.17	22.31	14/115	29/130			
AGUA	0.00	0.00	0/30	0/30			
VEGETACAO	2.61	5.08	3/115	6/118			
QUEIMADO	9.57	13.33	11/115	16/120			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
NUVENS	92.47	78.18	86/93	86/110			
SOMBRAS	95.41	90.43	104/109	104/115			
SOLO_EXPOSTO	77.69	87.83	101/130	101/115			
AGUA	100.00	100.00	30/30	30/30			
VEGETACAO	94.92	97.39	112/118	112/115			
QUEIMADO	86.67	90.43	104/120	104/115			
Precisão Global = (537/600) 89.5000%							
Coeficiente Kappa = 0.8714							

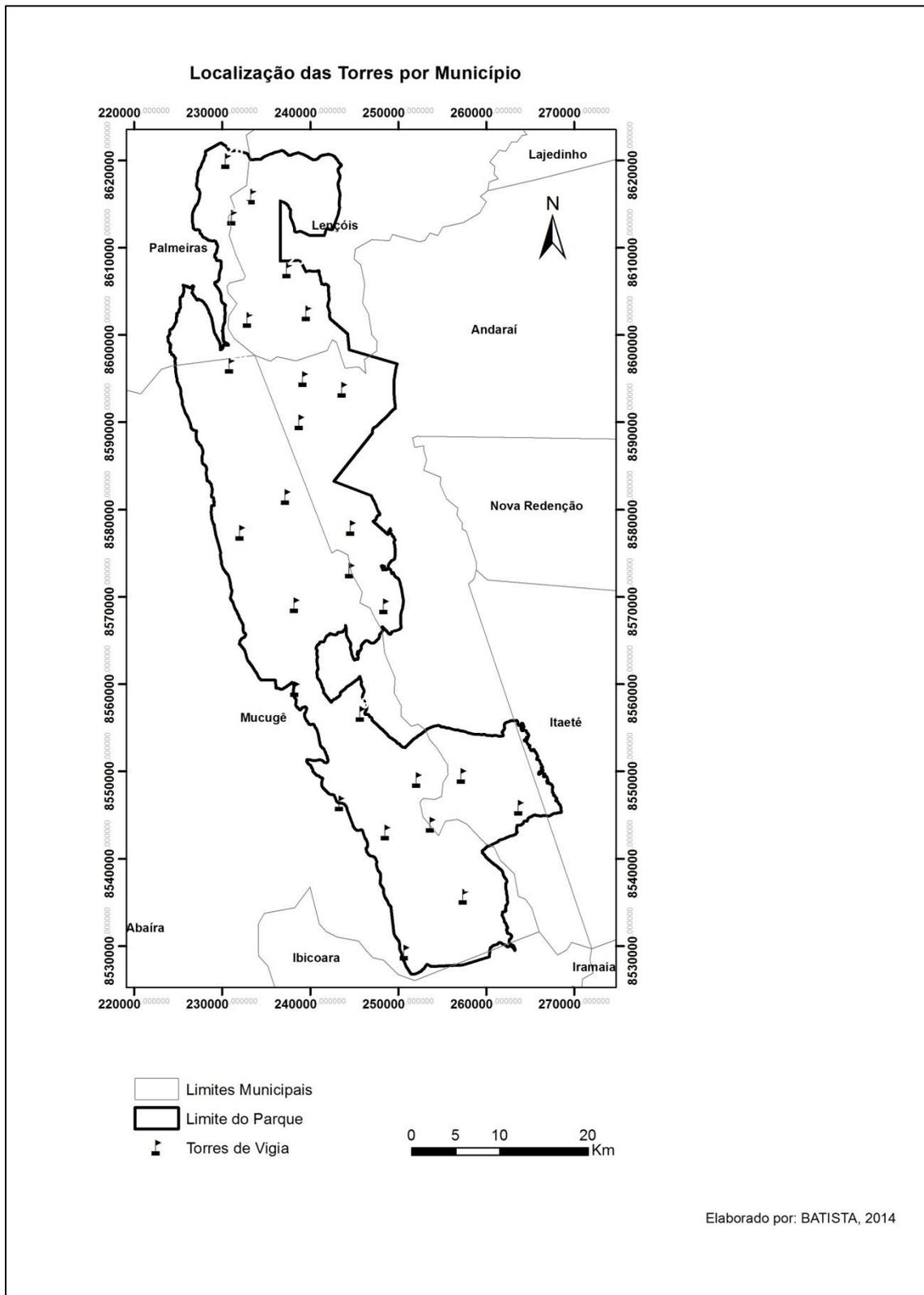
Anexo 7.12 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 02 de agosto de 2013

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\L8_020813_MaxLike_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	SOMBRAS	NUVENS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
SOMBRAS	118	1	0	1	0	0	120
NUVENS	0	110	0	0	0	0	110
SOLO_EXPOSTO	0	22	87	0	0	1	110
AGUA	16	0	0	14	0	0	30
VEGETACAO	0	3	0	0	107	0	110
QUEIMADO	26	1	0	0	0	93	120
Total	160	137	87	15	107	94	600
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	SOMBRAS	NUVENS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
SOMBRAS	73.75	0.73	0.00	6.67	0.00	0.00	20.00
NUVENS	0.00	80.29	0.00	0.00	0.00	0.00	18.33
SOLO_EXPOSTO	0.00	16.06	100.00	0.00	0.00	1.06	18.33
AGUA	10.00	0.00	0.00	93.33	0.00	0.00	5.00
VEGETACAO	0.00	2.19	0.00	0.00	100.00	0.00	18.33
QUEIMADO	16.25	0.73	0.00	0.00	0.00	98.94	20.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
SOMBRAS	1.67	26.25	2/120	42/160			
NUVENS	0.00	19.71	0/110	27/137			
SOLO_EXPOSTO	20.91	0.00	23/110	0/87			
AGUA	53.33	6.67	16/30	1/15			
VEGETACAO	2.73	0.00	3/110	0/107			
QUEIMADO	22.50	1.06	27/120	1/94			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
SOMBRAS	73.75	98.33	118/160	118/120			
NUVENS	80.29	100.00	110/137	110/110			
SOLO_EXPOSTO	100.00	79.09	87/87	87/110			
AGUA	93.33	46.67	14/15	14/30			
VEGETACAO	100.00	97.27	107/107	107/110			
QUEIMADO	98.94	77.50	93/94	93/120			
Precisão Global = (529/600) 88.1667%							
Coeficiente Kappa = 0.8544							

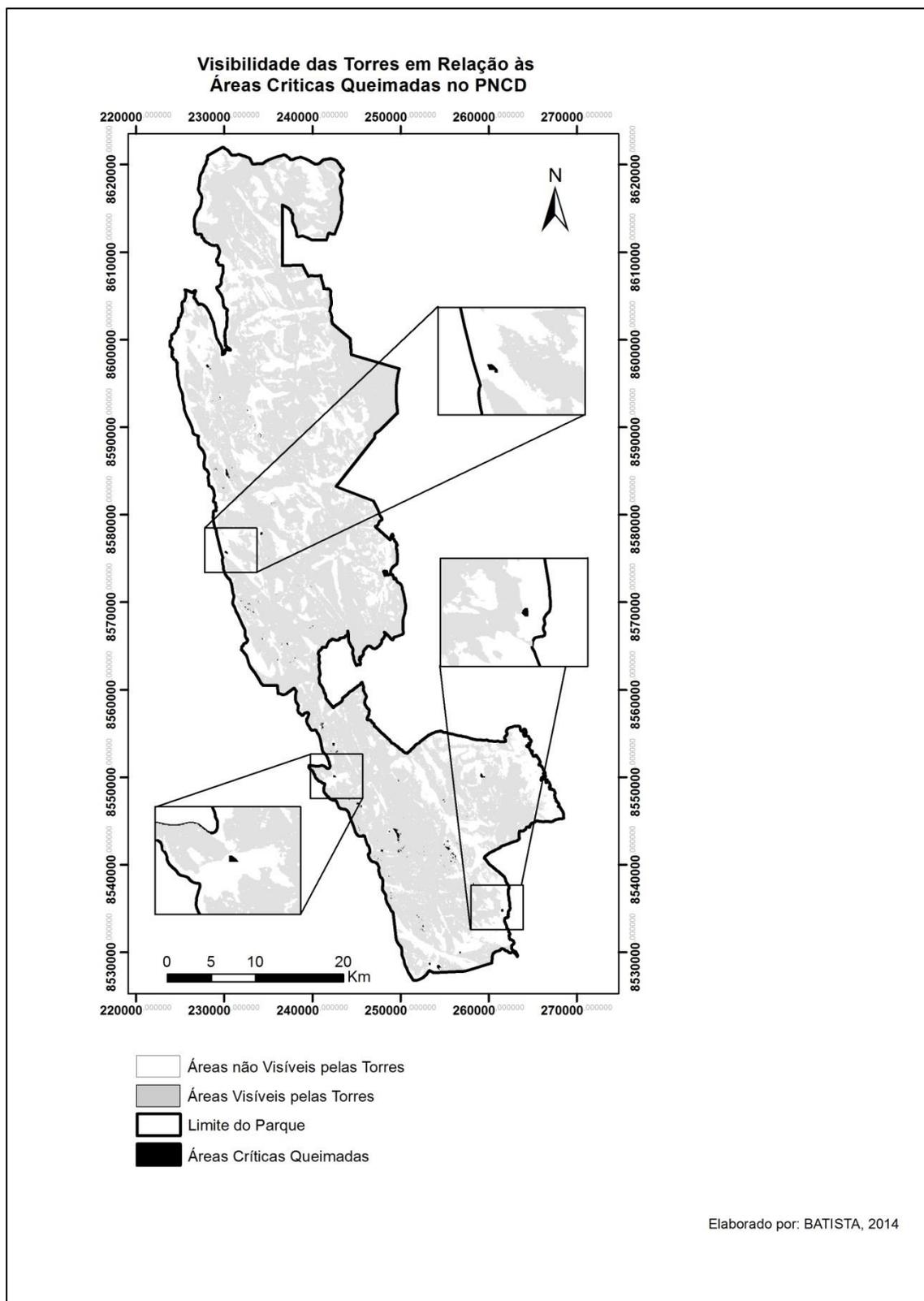
Anexo 7.13 - Matrizes de Erros: Imagem IRS 05 de outubro de 2013

Confusion Matrix: C:\Users\Tiago\Documents\...\L8_051013_MaxLike_CombineClass.tif							
Verdade no Solo (Pixels)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	110	0	0	0	0	0	110
SOMBRAS	0	119	0	0	0	1	120
SOLO_EXPOSTO	11	0	99	0	0	0	110
AGUA	0	1	0	29	0	0	30
VEGETACAO	0	0	4	0	101	5	110
QUEIMADO	0	28	0	1	0	91	120
Total	121	148	103	30	101	97	600
Verdade no Solo (Porcentagem)							
Classes	NUVENS	SOMBRAS	SOLO_EXPOSTO	AGUA	VEGETACAO	QUEIMADO	Total
NUVENS	90.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.33
SOMBRAS	0.00	80.41	0.00	0.00	0.00	1.03	20.00
SOLO_EXPOSTO	9.09	0.00	96.12	0.00	0.00	0.00	18.33
AGUA	0.00	0.68	0.00	96.67	0.00	0.00	5.00
VEGETACAO	0.00	0.00	3.88	0.00	100.00	5.15	18.33
QUEIMADO	0.00	18.92	0.00	3.33	0.00	93.81	20.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ERROS							
Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)			
NUVENS	0.00	9.09	0/110	11/121			
SOMBRAS	0.83	19.59	1/120	29/148			
SOLO_EXPOSTO	10.00	3.88	11/110	4/103			
AGUA	3.33	3.33	1/30	1/30			
VEGETACAO	8.18	0.00	9/110	0/101			
QUEIMADO	24.17	6.19	29/120	6/97			
PRECISÃO							
Classes	Prod. (Percent)	User. (Percent)	Prod. (Pixels)	User. (Pixels)			
NUVENS	90.91	100.00	110/121	110/110			
SOMBRAS	80.41	99.17	119/148	119/120			
SOLO_EXPOSTO	96.12	90.00	99/103	99/110			
AGUA	96.67	96.67	29/30	29/30			
VEGETACAO	100.00	91.82	101/101	101/110			
QUEIMADO	93.81	75.83	91/97	91/120			
Precisão Global = (549/600) 91.5000%							
Coeficiente Kappa = 0.8959							

Anexo 7.14 - Mapa de Distribuição das 26 Torres de Vigia



Anexo 7.15 - Mapa de Visibilidade das Torres em Relação às Áreas Críticas Queimadas



Anexo 7.16 - Tabela Final das Torres (Exportada da aplicação ArcGis)

TORRES	offsetA (m)	offsetB (m)	radius2 (m)	Coordenada X_UTM	Coordenada Y_UTM	Altitude (m)
1	41.60	10	15000	250 772.51	8 529 270.93	1 484.68
2	41.60	10	15000	257 480.42	8 535 672.00	1 184.01
3	41.60	10	15000	248 632.26	8 543 027.89	1 410.42
4	41.60	10	15000	253 770.83	8 543 920.78	1 401.60
5	41.60	10	15000	263 787.89	8 545 873.89	864.00
6	41.60	10	15000	257 268.55	8 549 514.57	1 244.57
7	41.60	10	15000	252 200.05	8 549 068.50	1 378.20
8	41.60	10	15000	243 415.21	8 546 378.80	1 329.27
9	41.60	10	15000	245 806.87	8 556 627.56	1 135.15
10	41.60	10	15000	238 350.68	8 559 451.50	1 380.71
11	41.60	10	15000	238 282.76	8 569 069.62	1 441.60
12	41.60	10	15000	248 446.07	8 568 942.21	1 080.40
13	41.60	10	15000	244 550.69	8 573 032.52	1 151.12
14	41.60	10	15000	244 685.21	8 577 930.42	856.31
15	41.60	10	15000	232 104.71	8 577 352.67	1 636.96
16	41.60	10	15000	237 303.73	8 581 487.41	1 440.25
17	41.60	10	15000	238 846.77	8 590 020.77	1 245.18
18	41.60	10	15000	243 725.89	8 593 747.40	511.42
19	41.60	10	15000	239 284.80	8 594 979.35	955.36
20	41.60	10	15000	230 923.95	8 596 513.94	1 500.77
21	41.60	10	15000	232 972.57	8 601 731.91	1 334.62
22	41.60	10	15000	239 660.89	8 602 527.65	744.91
23	41.60	10	15000	237 440.28	8 607 404.84	912.64
24	41.60	10	15000	231 206.56	8 613 483.98	1 253.15
25	41.60	10	15000	233 381.60	8 615 904.86	1 236.22
26	41.60	10	15000	230 504.65	8 619 948.95	1 256.12