

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL SERRA DA CANASTRA – MINAS GERAIS, NO PERÍODO DE 1991–2011

Estudante: Gustavo Puga Lemes, matrícula 08/30950

Linha de Pesquisa: Sensoriamento Remoto.

Orientador: Prof. Eraldo Matricardi

Trabalho apresentado ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de
Brasília, como parte das exigências
para obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

Brasília- DF, 08 de março de 2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL SERRA DA
CANASTRA – MINAS GERAIS, NO PERÍODO DE 1991–2011**

Gustavo Puga Lemes

Monografia de projeto final em Sensoriamento Remoto

Brasília- DF, 08 de março de 2013

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL SERRA DA CANASTRA
– MINAS GERAIS, NO PERÍODO DE 1991-2011.**

Aluno: Gustavo Puga Lemes, matrícula 08/30950

Menção: SS

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi - UnB/ EFL (Orientador)



Prof. Dr. Reginaldo Sergio Pereira - UnB/ EFL



Prof.(a). Dr.(a) Rosana de Carvalho Cristo Martins – UnB/ EFL

Brasília, 08 de março de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus familiares que me deram grande suporte para a realização desse curso. Minha mãe Maria Lúcia Puga Lemes, e meu pai Antônio José Lemes e meu irmão Rafael Puga Lemes que estiveram presente em todos os momentos da minha vida, e com eterna gratidão ofereço essa conquista a eles. Meus tios e tias como tia Verinha, tio Junior, tia Elena que sempre me apoiaram e realizaram a todas minhas necessidades e ajudas. Amigos(as) que sempre me apoiaram e me incentivaram como João Gabriel, André Nunes, Rodrigo Carvalho, Nathália Alvarenga, Eduardo Bessa, Matheus, Bruno, Júlia, Marcelle, entre outros que além do lazer me deram compreensão e sabedoria para os momentos de estudo.

Tenho eterna gratidão por todos os funcionários, monitores, alunos, mestrandos e professores, em especial, do departamento de Engenharia Florestal e do departamento de Fitopatologia que me auxiliaram e me ajudaram de diversas formas para a conclusão do curso. Meu primeiro orientador prof. Dr. Carlos Inácio, que me deu suporte inicial para introdução e iniciação científica. Meu segundo orientador prof. Dr. Eraldo Matricardi, assim como os professores Reginaldo Sergio e Rosana de Carvalho, que me incentivaram e acreditaram no meu potencial para realização e conclusão deste curso.

A instituições como CNPQ e FAP pelo apoio financeiro durante as pesquisas de Pro-IC realizadas.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido uma análise espaço-temporal de incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional Serra da Canastra (PNSC) em Minas Gerais. Foram obtidas imagens de satélite *Landsat 5 TM* para a área de estudos do ano 1991 ao ano 2011. As imagens foram empilhadas e elaboradas as correções geométrica e radiométrica, que foram transformadas em ACP, removendo a correlação entre as bandas, aumentando a discriminação de áreas queimadas. As novas bandas CPs foram carregadas na forma RGB, e elaborada sua classificação através da técnica de árvore de decisão, com utilização principalmente das banda CP3, CP4 e CP5, que se encontraram melhores para a discriminação. A classificação desenvolvida se mostrou excelente na avaliação de sua acurácia global, aproximadamente 93%, número Kappa 92%, erros de omissão de 0% e comissão de 18%. Qualquer foco de incêndio foi realmente detectado, porém devido a dificuldade de classificação no terreno, devido a ser muito acidentado, com presença de nuvens, sombras de relevos e exposições de solo e rochas, algumas regiões foram incluídas como áreas queimadas. Os anos mais afetados foram 1991, 1997, 2001, 2007 e 2010 com cerca de 80% do parque queimado. O ano de 2010 teve 157 mil hectares queimados segundo a pesquisa, e 2000 com maior área queimada em um único incêndio com 140 mil hectares. Houve um aumento das áreas queimadas em toda área do parque para os anos estudados, e um aumento da recorrência de incêndios. Há poucos estudos sobre a área, muitos baseiam-se apenas nos Relatórios de Ocorrência de Incêndios.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, cerrado, incêndio.

SPACE-TIME EVALUATION OF FOREST FIRES IN NATIONAL PARK SERRA DA CANASTRA – MINAS GERAIS, IN THE PERIOD 1991-2011

ABSTRACT

This study have developed an analysis of spacial-temporal forest fires in the National Park Serra da Canastra (NPSC) in Minas Gerais. Was obtained images of Landsat 5 TM for the studied area from 1991 to 2011. The images were stacked, elaborated corrections geometric and radiometric and them transformed into PCA, removing the correlation between bands, increasing the discrimination of burned areas. The new bands CPs were loaded as RGB, and elaborate his classification using the decision tree technique, using mainly the band CP3, CP4 and CP5, which were reported better for the discrimination. The classification developed showed substantial review of its accuracy, approximately 93%, 0% of omission and commission of 18%. Any fire outbreak was actually detected, but with the difficulty of classification because, the presence of clouds, shadows and exposures of soil and rocks, some regions were included as burnt areas, increasing this class. The years most affected were 1991, 1997, 2001, 2007 and 2010 with about 80% of the park burned. The year 2010 was the maximum area with 157 000 hectares burnt, and the year 2000 with 140 thousand hectares in one fire. There was an increase in burned areas and the behavior it's modifying. The recurrence of fire had increase. The area had few studies, and almost of them are based on Fire Occurrence Report.

Key-words: remote sensing, cerrado, fire.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE SIGLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. PROBLEMAS DE PESQUISA	3
3. OBJETIVOS	4
4. JUSTIFICATIVA	5
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
5.1. Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto	6
5.2. Incêndios Florestais	6
5.3. Fatores de Risco de Incêndios	8
5.4. Incêndios Ocorridos no Parque Nacional Serra da Canastra	9
5.5. O Satélite <i>Landsat 5</i>	14
5.6. Detecção de Incêndios Florestais	16
6. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
6.1. Caracterização da Área de Estudo	20
6.2. Base de Dados	22
6.3. Pré-Processamento e Manipulação das Imagens	23
6.4. Processamento e Estudo da Imagem	25
6.5. Mapa de Risco de Incêndios.....	32
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
7.1. Análise da Técnica ACP.....	37

7.2. Análise da Área Queimada do PNSC.....	38
7.3. Considerações Finais	45
7.4. Análise da Classificação e Teste de Acurácia.....	46
7.5. Mapas de Recorrência de Incêndios.....	49
8. REVISITANDO AS QUESTÕES DE PESQUISA	52
9. CONCLUSÕES	53
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
11. ANEXOS (MAPAS GERADOS)	58

LISTA DE SIGLAS

- ACP – Análise de Componentes Principais
- AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer
- CP – Componente Principal
- ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus
- GIS – *Geographic Information System*
- GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite
- IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IVDN – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
- MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- MSS – Multispectral Scanner
- NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
- NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
- PNSC – Parque Nacional Serra da Canastra
- PREVFOGO - Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais
- PROARCO - Prevenção e Controle de Incêndios Florestais no Arco do desflorestamento da Amazônia
- ROI – Relatório de Ocorrência de Incêndios
- RGB – Carregamento no sistema vermelho-verde-azul
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SR – Sensoriamento Remoto
- TM – Thematic Mapper
- UC - Unidade de Conservação
- UCs – Unidades de Conservação

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Distribuição das 17 áreas de endemismo no PNSC, MG	10
Figura 02: Áreas de risco de incêndio	11
Figura 03: Distribuição do número de ocorrências e a causa de incêndios florestais durante os meses de janeiro a dezembro, no PNSC, no período de 1987-2001.....	13
Figura 04: Classes de tamanho de área queimada em relação as causas de incêndios no PNSC, no período de 1987-2001.....	13
Figura 05: Distribuição de áreas queimadas em relação aos anos no PNSC, no período de 1987-2001.....	14
Figura 06: Localização do PNSC	21
Figura 07: Fluxograma das etapas de pre-processamento	23
Figura 08: Diferenciação visual das diferentes conformações de bandas geradas pelo sistema RGB do ENVI	24
Figura 09: Diferença das bandas CPs. Área queimada a esquerda da imagem, presença de nuvens	26
Figura 10: Diferença visual da imagem com bandas comuns para bandas ACP.....	27
Figura 11: Reflectância das Bandas RGB:(CP3-CP4-CP5) para o alvo em questão.....	28
Figura 12: Classificação por árvore de decisão acima, e no canto inferior direito a árvore elaborada com classes não-queimadas (verde), classe de áreas queimadas (vermelho) e classes de nuvens e sombras de nuvens (branco).....	30
Figura 13: Aplicação do filtro <i>majoritary</i> 5x5.....	31
Figura 14: Área total queimada e a porcentagem queimada para cada ano analisado, com linha de tendência dos dados	39
Figura 15: Área queimada e número de queimadas dos ano 1988 até 2008, para toda a área do PNSC	41
Figura 16: Número de Registros de Ocorrência de Incêndios e área queimada (ha), por ano, no Parque Nacional Serra da Canastra	42
Figura 17: Maiores áreas queimadas, no Parque Nacional Serra da Canastra	43
Figura 18: Áreas queimadas e frequência por ano, no Parque Nacional Serra da Canastra.....	44
Figura 19: Acurácia do método, confiança visual entre áreas queimadas e áreas classificadas	47
Figura 20: Mapa de recorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra da	

Canastra para os anos 1991 a 2000	50
Figura 21: Mapa de recorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra da	
Canastra para os anos 2001 a 2011	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Número de espécies endêmicas que ocorrem no Parque Nacional Serra da Canastra, MG em relação ao número total de espécies e os respectivos especialistas.....	10
Tabela 02: Principais aplicações das bandas do sensor TM	16
Tabela 03: Datas de passagem do satélite Landsat 5 sensor TM das imagens utilizadas para cada ano e órbita	22
Tabela 04: Índices de risco atribuídos ao uso do solo	34
Tabela 05: Índices de risco atribuídos a proximidade com estradas	34
Tabela 06: Índices de risco atribuídos a orientação das encostas	34
Tabela 07: Índices de risco atribuídos a declividade do terreno	35
Tabela 08 : Índices de risco atribuídos a altimetria	35
Tabela 09: Pesos atribuídos a cada variável analisada	36
Tabela 10: Causas de incêndios florestais com área queimada maiores que 10.000 ha no PNSC	39
Tabela 11: Área queimada, porcentagem de área queimada e presença de nuvens no Parque Nacional Serra da Canastra	40
Tabela 12: Matriz de confusão calculada por número de <i>pixels</i> analisados	48
Tabela 13: Matriz de confusão calculada em porcentagem	48
Tabela 14: Erros de comissão e omissão	48
Tabela 15: Acurácia global do produtor e usuário	49

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são uma das principais fontes de danos das florestas de todo o mundo, alterando a vegetação, o solo e animais além de contribuir para a emissão de gases agravadores do efeito estufa (CIPRIANI *et al.*, 2011). Não só danos ecológicos, mas também diversos danos sociais, econômicos e humanos (BIANCHINI *et al.*, 2005; GABBAN *et al.*, 2008 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2009). Muitos incêndios, usualmente no Brasil, se tornam incontroláveis, destacando-se o incêndio acidental em Roraima no início de 1998 que destruiu cerca de 3,3 milhões de hectares e na Floresta Nacional de Carajás, em Parauapebas, sul do Pará, com área queimada de 584 hectares com 283 focos de incêndio (ALVES; NÓBREGA, 2011).

O fogo é um importante agente modificador da estrutura da composição das comunidades (MIRANDA *et al.*, 2000). Apesar de ser considerado por estudiosos como agente negativo, em alguns aspectos ele se torna positivo, como por exemplo os vegetais e animais do cerrado são altamente dependentes de um regime variado de queima. As espécies vegetais coo evoluíram e dependem dele para a rebrota ou quebra de dormência de sementes, as cascas das árvores, por sua vez, são mais espessas e resistem a altas temperaturas, o fogo acaba sendo um desbaste natural de gramíneas, dentre outras relações ecológicas.

Em compensação, segundo Ibama (2007) a alta frequência de queimadas está além do que a vegetação nativa consegue suportar, acarretando sérios problemas na conservação ambiental. Medeiros *et al.*, (2002) analisou amostras de carvão datadas 27.100 e 41.700 anos atrás indicando a ocorrência de fogo no cerrado brasileiro e que nos anos 18.000 a 773 atrás os incêndios ocorriam com menor frequência do que observados atualmente. Demonstrando que os regimes de fogo encontrados atualmente causam severos danos a fitossociologia e a evolução da floresta, causando extinção de espécies e favorecimento de outras espécies mais adaptadas ao fogo.

De acordo com o Ibama (2000) incêndio florestal é um fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, sendo 90% dos casos provocado pelo homem (intencional ou não-intencional) e o restante por causas naturais, ou seja, pode ser ativado principalmente por raios, erupções vulcânicas e faíscas geradas por

atrito entre rochas. De forma não intencional é causado por práticas de turismo, agrícolas, pastoreio, acidentes rodoviários, descuidos com cigarros, fósforos, foguetes festivos, balões, entre outros. E quando intencionalmente pode ser por interesse econômico, satisfação pessoal e perturbações mentais (piromaniacos) (RODRIGUES *et al.*, 2009).

No Brasil grande parte das Unidades de Conservação (UCs) vem sendo atingidas por incêndios florestais, sendo esta uma das principais preocupações na gestão e manejo das UCs, principalmente as do bioma cerrado. Os incêndios proporcionam uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade e manutenção de processos ecológicos (PRUDENTE, 2010).

Segundo Medeiros (2002) as principais causas de incêndios em UCs são devido ao uso incorreto do fogo por pessoas para renovação de pastagens e limpeza de restos de culturas próximas ao parque ou até mesmo dentro de seus limites.

O material combustível (vegetação), o estado meteorológico (umidade, insolação, ventos) e a ignição (faísca inicial) são fatores fundamentais ao surgimento do fogo. Assim como para seu combate, a supressão do calor, oxigênio e combustível é fundamental para que o fogo se apague (triângulo do fogo) (BOTELHO; SALGUEIRO, 1990 *apud* CARVALHO; ALEXANDRE, 2005). Quanto maior a quantidade de material combustível e menor sua umidade, maiores são os riscos de incêndio, intensidade das chamas e dificuldade no combate.

Segundo Batista (2004) a alternativa utilizada pela maioria dos órgãos responsáveis pela proteção dos recursos naturais é a adoção de técnicas e medidas de prevenção. Tais como conscientização da população, monitoramento dos incêndios e elaboração de mapas de risco. Indicar áreas de altos riscos como próximas a estradas, uso do solo inadequado, vegetação seca e abundante, micro clima propício, declividade do terreno, está entre as atividades do manejo das UCs.

Os efeitos do fogo sobre as comunidades arbóreas são: diminuição da densidade de indivíduos; redução de recrutas (árvores jovens); diminuição da diversidade de espécies; e o entouceiramento (aglomeração de indivíduos) (RAMOS, 1990). Pode alterar também a fitofisionomia do local deixando a vegetação mais rala, e em alguns casos suprimindo as flores, frutos e sementes, dificultando assim a perpetuação da espécie. O manejo do fogo em UCs, segundo Medeiros (2002), leva em conta as seguintes relações: a resposta natural do ecossistema ao regime de fogo e seus efeitos sobre a biota e processos ecológicos.

O IBAMA possui dados de monitoramento de áreas queimadas e focos de incêndios em uma base de dados ampla das UCs num espaço temporal. O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) cede imagens de satélites gratuitas para estudos de qualquer finalidade e tem demonstrado muita eficiência para estudos do comportamento do fogo, monitoramento e elaboração de mapas de riscos em áreas inacessíveis ou de grande extensão dificultando o estudo e acesso.

Aliado ao fato anterior os *softwares* de geoprocessamento também tem evoluído muito nos últimos anos, a correção e manipulação das imagens se tornou facilitada, assim como a classificação e elaboração dos mapas ficou mais fácil e confiável. As correções e testes de fórmulas e técnicas de classificação das imagens foram aperfeiçoadas e possuem erros mínimos.

O estudo espaço-temporal de incêndios florestais ocorridos em UCs permite uma avaliação inicial do comportamento e ocorrência do fogo durante um período de tempo, para implicar em estudos mais detalhados de maiores ou menores riscos de incêndio, e possivelmente a relação do meio biótico e abiótico com incêndios regulares.

2. PROBLEMAS DE PESQUISA

A degradação e destruição de *habitats* e fragmentos do cerrado tem aumentado de forma significativa nas últimas décadas. A expansão das cidades, agricultura, pecuária e silvicultura tem tomado espaço, poluído e degradado diversos ambientes principalmente regiões do bioma cerrado.

Essa destruição causa uma pressão sobre recursos naturais, diminuindo a disponibilidade de serviços ambientais prestados pela área como: estabilidade física do solo, recarga hídrica, manutenção e proteção de cursos d'água, proteção e purificação do ar, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes e estabilidade química do solo, preservação e equilíbrio das espécies, preservação das características dos ecossistemas, lazer e espiritualidade.

O local protegido necessita de práticas silviculturais e manejo periódico, práticas de recuperação de áreas degradadas, combate e manejo do fogo, educação ambiental e pesquisa, aumentando os custos para a manutenção da área. A dificuldade de vigilância e monitoramento do perímetro e interior do parque também é outro problema, devido a entrada de caçadores e pessoas sem autorização.

Incêndios Florestais tem degradado diversas UCs na região do bioma cerrado, causando severos danos aos *habitats*, e a manutenção das espécies animais e vegetais. Sendo o PNSC uma grande área de elevado interesse ecológico, que sofre anualmente com incêndios florestais como observado pelos ROIs da região.

O plano de manejo e combate ao fogo é muitas vezes antigo e inviável, os estudos realizados pelo plano são baseados em ROIs e ao uso de satélite NOAA, que necessitam de monitoramento constantes e normalmente subestimam as áreas queimadas. Análise de imagens do satélite *Landsat* podem ser mais precisas do que observações em ROIs.

Os dados gerados com a pesquisa são de suma importância para estudos secundários da relação do fogo com a vegetação, elaboração de mapas de risco, estudos de causas e combate aos incêndios. E auxiliar ao planos de manejo e gestão no combate ao fogo pelo administradores do Parque Nacional Serra da Canastra (PNSC). Alta intensidade de ataque no PNSC observada, sendo uma UC de alto risco e necessidade de um monitoramento detalhado das áreas queimadas, e o aumento de recorrência de incêndio em quais locais.

As questões de maior relevância e interesse desta pesquisa foram: Onde, quando e em que frequência ocorrem incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra-MG? Quais os fatores que mais influenciam sua ocorrência? Existe algum padrão para ocorrência de incêndios? Existe alguma interação com atividades antrópicas ao redor ou dentro do parque com a ocorrência dos incêndios? Houve um aumento dos incêndios?

3. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi estudar e utilizar técnicas de sensoriamento remoto para o registro e monitoramento espaço-temporal dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional Serra da Canastra-MG numa série de 20 anos, visando auxiliar no plano de combate e manejo do fogo no parque.

Como objetivos específicos buscou-se:

- a) Mapear os incêndios ocorridos na área entre 1991 a 2011, utilizando imagens do satélite *Landsat 5*, sensor TM.
- b) Quantificar a área queimada para cada ano, e relacionar com outros anos, procurando alguma tendência de ocorrência.

- c) Verificar e testar a acurácia da metodologia aplicada.
- d) Elaboração do mapa de recorrência de incêndios.

4. JUSTIFICATIVA

Pesquisas de monitoramento espaço-temporal da ocorrência de incêndios florestais em UCs são de suma importância para estudos iniciais da relação do fogo com a vegetação e a severidade dos danos causados. Posteriores estudos de elaboração de mapas de risco de incêndios e fatores de maior influência a ocorrência e propagação do fogo podem ser elaborados.

Maiores entendimentos sobre comportamento e dinâmica do fogo na região, e futuramente a elaboração de manejo e combate de incêndios mais eficientes e viáveis, podem também servir para minimizar as perdas ecológicas e de recursos naturais. É fundamental ampliar áreas de pesquisa no bioma cerrado e promover educações ambientais e programas políticos, afim de promover maiores atenções não apenas para área de combate ao fogo, mas como um todo na gestão e manutenção das Unidades de Conservação UCs.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

O termo geoprocessamento (geo = terra; processamento = executar, realizar, manipular) trabalha com informações sobre a superfície terrestre através de ferramentas computacionais ou não. Sendo auxiliar ao homem para monitoramento, administração e planejamento do espaço geográfico. Os *softwares* que trabalham com esse propósito são conhecidos como SIG (Sistema de Informação Geográfica) (PRUDENTE, 2010).

Conforme Rosa e Brito (1996) a área do geoprocessamento é dividida em três atividades: a cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas. Ficando a cartografia digital destinada à captação, organização e manipulação de mapas, o processamento digital de imagens está vinculado com a manipulação numérica de imagens, afim de corrigir distorções e aumentar a visualização e discriminação dos objetos de estudo. Já os programas de SIG trabalham com aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georeferenciados .

O sensoriamento remoto, técnica com o uso de imagens orbitais, fornece dados de cobertura e uso do solo de grandes áreas, facilitando a coleta de dados e análise rápida se comparado a levantamentos de campo e estudos de inventário, que demandam tempo e maiores gastos (PRUDENTE, 2010).

De acordo com Novo (1998) o sensoriamento remoto tem como objetivo estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e os objetos componentes do planeta. A partir da energia proveniente dos objetos da superfície observada, segundo Florenzano (2002), pode-se extrair diversas informações com elementos básicos de análise e interpretação como: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização.

5.2. INCÊNDIOS FLORESTAIS

O fogo possui diversos efeitos benéficos aos ecossistemas, principalmente no controle e equilíbrio de dominância de espécies e a competição (MORGAN, 1990 *apud* CARVALHO; ALEXANDRE, 2005). Segundo Bunting (1990) o fogo é um

fator ecológico que reconhecidamente interfere na evolução de muitos ecossistemas terrestres.

Os incêndios além da destruição imediata, provocam fortes alterações no equilíbrio local do solo e da água. De acordo com Carvalho e Alexandre (2005) o solo fica exposto com maior fragilidade aos pingos d'água, acarretando erosões intensas, diminuindo a percolação da água pelo solo e abastecimento do lençol freático.

O estudo do relacionamento do fogo com a biota em diversos ecossistemas, assim como benefícios e malefícios causados, e em qual intensidade, segundo Carvalho e Alexandre (2005) permite compreender os motivos e consequências dos incêndios florestais, afim de minimizar e reduzir seus efeitos devastadores e perversos ao ecossistema. Quais fatores influenciam sua ocorrência, recorrência e comportamento, para podermos influir na identificação, descrição e quantificação dos incêndios florestais. Sendo o homem o principal agente de ignição de incêndios.

Segundo dados do Ibama (2006), 93% dos incêndios ocorridos em Unidades de Conservação Federal nos anos de 1979 a 2005 foram de causas antrópicas e apenas 7% foram de causas naturais (raios).

Algumas ações devem ser tomadas segundo Liu (2007), para minimizar os incêndios de causa antrópica como: educação sobre risco de incêndio e danos causados, leis rigorosas e redução do período de risco de incêndios florestais. Para redução dos riscos deve-se construir aceiros, realizar desbaste e retirar o material combustível, proibição de livre acesso à áreas de alto risco, monitoramento da área, sempre visando a proteção de um patrimônio natural a UCs.

De acordo com Ross (2005) *apud* Prudente (2010) queimadas de pequenas extensões são de menor importância, pois conseguem se integrar a dinâmica do fogo do ecossistema, como é o caso de limpeza de áreas densas para pastagem de veados-campeiro e ema, animais nativos que se alimentam da rebrota das gramíneas. Porém em incêndios de grandes proporções, como é o caso do uso do fogo para atividades agrícolas, a extinção de espécies e a dificuldade de fuga de grandes mamíferos é crucial para uma maior degradação e alteração das relações ecológicas naturais.

Camargo *et al.*, (2000) demonstra que a adaptação da vegetação ao fogo e a resistência adquirida está relacionada ao regime de queima (frequência e época do ano), tipo de queimada (solo ou copa), e ao comportamento do fogo como: velocidade de propagação; tempo de residência; frente de fogo; temperaturas do ar; e

do solo. Alterações nesses fatores geram danos severos na estrutura e dinâmica da vegetação, a quantidade de combustível disponível e sua umidade assim como velocidade dos ventos podem alterar significativamente o comportamento do fogo, alterando a biodiversidade vegetal e animal local.

Um incêndio florestal gera diversos prejuízos, segundo Soares e Batista (2007) consome o material lenhoso, o calor gerado mata ou danifica a vegetação, mata ou causa injúrias em animais e danifica ou altera o solo. Os constituintes minerais residuais da queima dos combustíveis alteram a química do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A exposição da superfície do solo devido a queima da vegetação, dificulta a penetração da água no mesmo, favorecendo um início de erosão se agravando ainda mais em locais de alta declividade.

A falta de abrigo para alguns animais pode ser ainda mais preocupante que as próprias chamas, fazendo com que fiquem expostos a predadores oportunistas (PRUDENTE, 2010).

5.4. FATORES DE RISCO DE INCÊNDIOS

A iniciação e propagação do fogo depende de diversos fatores, segundo Batista (2004), a probabilidade da ocorrência de um incêndio florestal, depende da possibilidade da fonte de chama juntamente com condições ambientais favoráveis a sua propagação. Permitindo assim obter maiores informações dos locais mais propícios a ocorrência e registro do fogo e da área queimada por imagem de satélite.

O material combustível está dentro dos fatores, e pode ser definido como qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz em entrar em ignição e queimar.

Rigolot (1990) indica cinco modos que podem ser encontrado o combustível e sua intensidade são eles: quantidade de material, umidade do material, inflamabilidade, a continuidade e a compactação. Se em todos esses aspectos o material combustível for aceito, o fogo terá uma maior propagação. Esses fatores também podem controlar a velocidade de propagação das chamas. Os materiais absorvem e liberam umidade de acordo com as variações climáticas.

As variações climáticas influenciam fortemente as vegetações e os incêndios florestais, segundo Batista (2004), a temperatura, umidade relativa, vento e regime de precipitação, influenciam decisivamente na iniciação e propagação do fogo. A

umidade relativa é um dos fatores mais importantes e afeta a continuidade e intensidade do incêndio, já a temperatura influencia na quantidade necessária de calor para ignição de novos materiais combustíveis.

A topografia também influencia, podendo alterar profundamente o microclima e a presença de ventos convectivos alterando o comportamento dos incêndios florestais. A inclinação do terreno se assemelha a das chamas causando maiores fontes de calor no material combustível à ser queimado.

O tipo de vegetação também é importante, uma floresta mais densa e fechada proporciona maior umidade e um microclima mais estável dificultando a propagação do fogo e sua ignição, enquanto uma floresta rala ou uma formação savânica proporciona um favorecimento ao estabelecimento e propagação do incêndio florestal (BATISTA, 2004).

5.5. INCÊNDIOS OCORRIDOS NO PARQUE NACIONAL SERRA DA CANASTRA

Segundo um levantamento florístico realizado no PNSC, por Romero *et al.*, (1999), o local possui 45 espécies endêmicas, sendo 37 espécies novas, pertencentes a 11 famílias. Foram observados locais de maior endemismo e estudados pelo autor, a importância do parque para a manutenção da biota e comunidade dos ecossistemas, são fundamentais ao estabelecimento e evolução das famílias de plantas encontradas na área, e sua relação com a biodiversidade de animais, insetos, e outros microrganismos presentes no bioma do Parque Nacional Serra da Canastra.

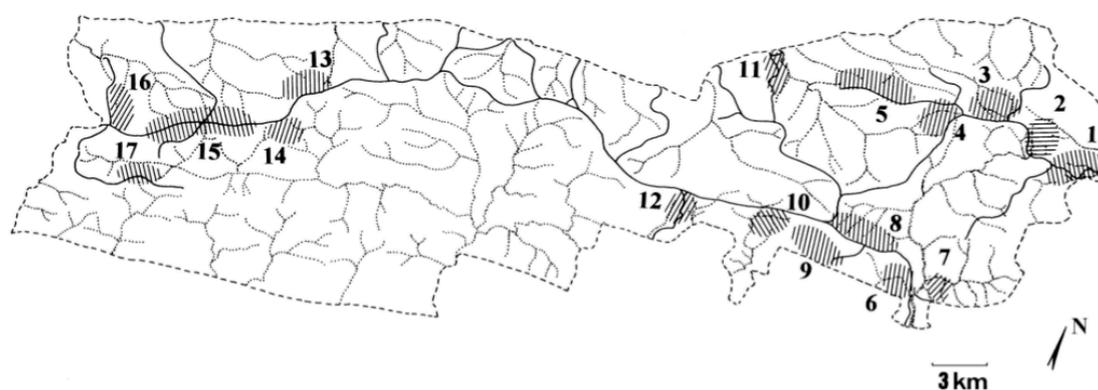
A Tabela 01 indica as famílias encontradas durante o estudo, com o número total de espécies, o número de espécies endêmicas, e os especialistas relacionados..

Tabela 01: Número de espécies endêmicas que ocorrem no Parque Nacional Serra da Canastra, MG em relação ao número total de espécies e os respectivos especialistas.

Famílias	Número de espécies	Número de endêmicas	Especialistas	Instituição
Amaryllidaceae	6	1	J. Dutihl	UEC
Apiaceae	3	1	L. Constance	UC
Aquifoliaceae	11	1	S. Andrews	K
Asteraceae	210	22	J. N. Nakajima	HUFU
Caesalpinaceae	21	2	R. Barneby	NY
Ericaceae	8	1	L. Kinoshita	UEC
Gesneriaceae	5	1	A. Chautems	G
Lamiaceae	22	1	R. M. Harley	K
Melastomataceae	93	9	R. Romero	HUFU
Schrophularaceae	10	1	V. C. Souza	ESA
Velloziaceae	12	5	R. Mello-Silva	SPF

Fonte: ROMERO *et al.*, (1999).

Com base na distribuição das espécies foram estabelecidas 17 áreas de endemismo, sendo elas expressas por Romero *et al.*, (1999) pela Figura 01.



Fonte: ROMERO *et al.*, (1999).

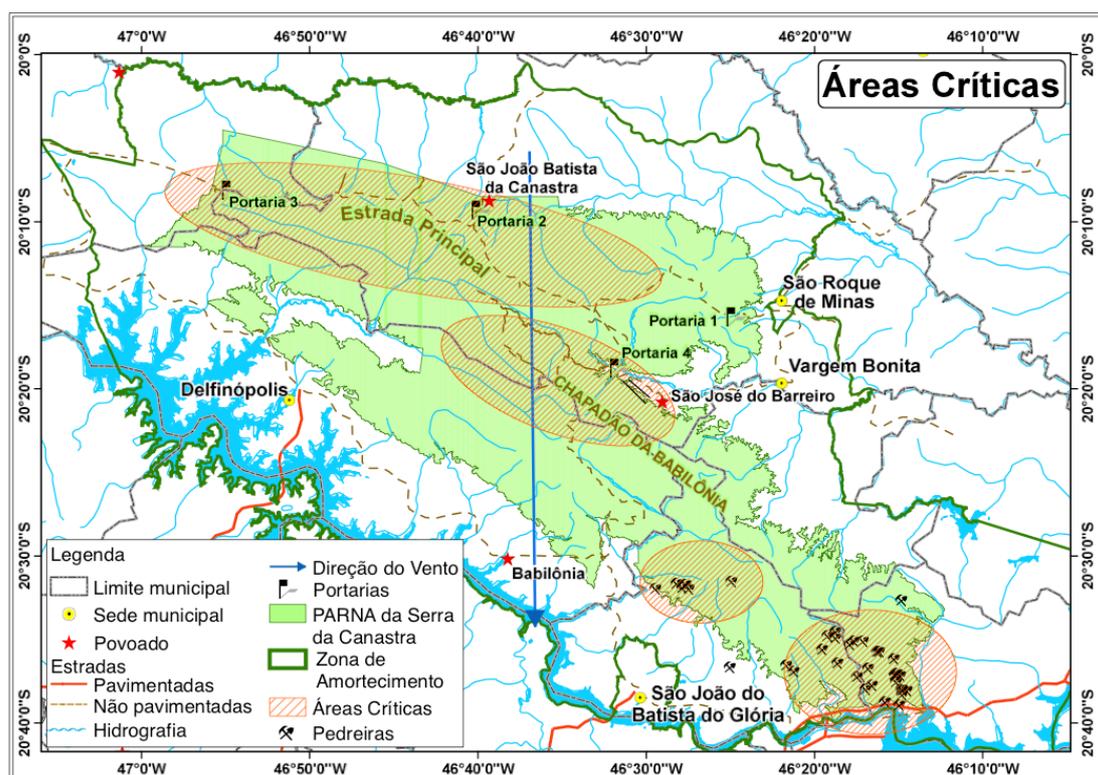
Figura 01: Mapa de distribuição das 17 áreas de endemismo no Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. 1. sede administrativa; 2. vale da nascente do rio São Francisco; 3. córrego do Quilombo; 4. Cural de Pedras; 5. chapadão do Diamante; 6. cachoeira Casca d'Anta; 7. "pico"; 8. acesso cachoeira Casca d'Anta; 9. serra Brava; 10. córrego dos Passageiros; 11. cachoeira dos Rolinhos; 12. Garagem de Pedras; 13. torre de observação; 14. córrego dos Currais; 15. chapadão da Zagaia; 16. guarita de Sacramento; 17. serra das Sete Voltas (Linhas pontilhadas representam as estradas).

Estudos como este realçam a importância ecológica da área, e a necessidade da pesquisa e estudos sobre o comportamento e combate do fogo na região do PNSC.

De acordo com o Ibama (2007) seis áreas de maior risco de incêndios merecem atenção especial são elas:

- Vale dos Cândidos, limita a área regularizada do Parque, criação extensiva de gado;
- Chapadão da Canastra nas proximidades da estrada principal, e próximo a portaria 2 (ao norte do Parque);
- Chapadão da Babilônia área de maior pressão antrópica;
- Pedreiras se utilizam do fogo para limpeza da área;
- Próximo ao minério de caulim, onde a entrada para a UC não é controlada;
- Nas proximidades da MG-050, devido a facilidade de acesso ao parque e proximidade com a rodovia.

A Figura 02 mostra as regiões de áreas de maiores riscos de incêndios, hidrografia, estradas, povoadamentos, pedreiras e zona de amortecimento e delimitação do Parque Nacional Serra da Canastra.



Fonte: IBAMA (2007).

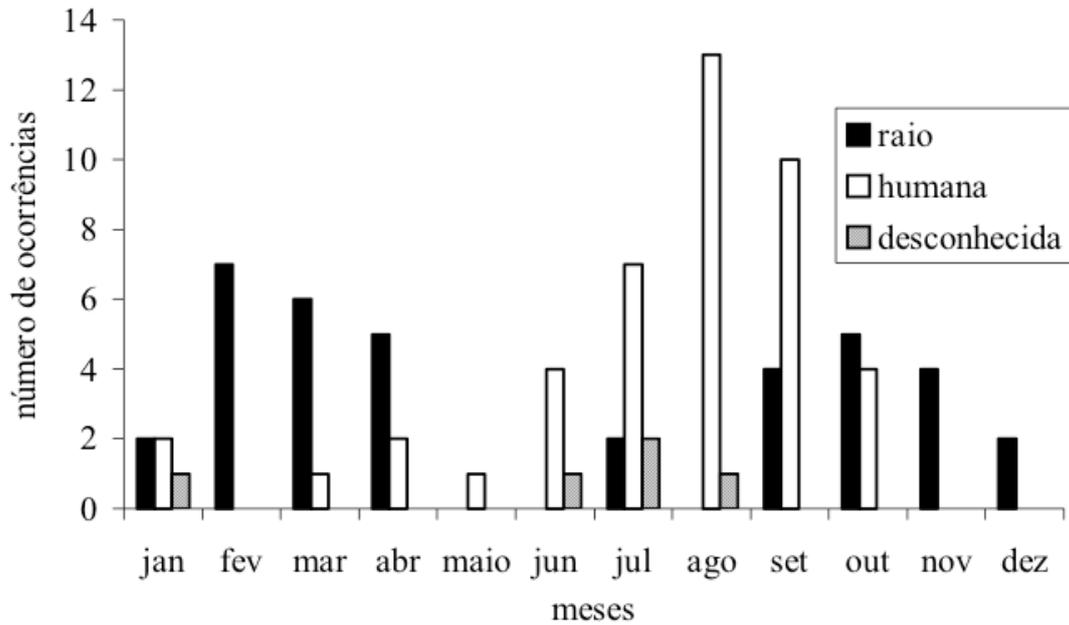
Figura 02: Áreas de risco de incêndio, limites do parque, limites da zona de amortecimento, municípios no entorno, presença de pedreiras e estradas.

Estudos do regime do fogo no PNSC, também foram elaborados por Medeiros *et al.*, (2004), baseados em coletas sistemáticas de dados por funcionários do IBAMA

através de relatórios de ocorrência de incêndios. Sendo analisado um período temporal de 1987 a 2001. Porém os dados dos relatórios se referem apenas a área do Chapadão da Canastra (71.525 ha).

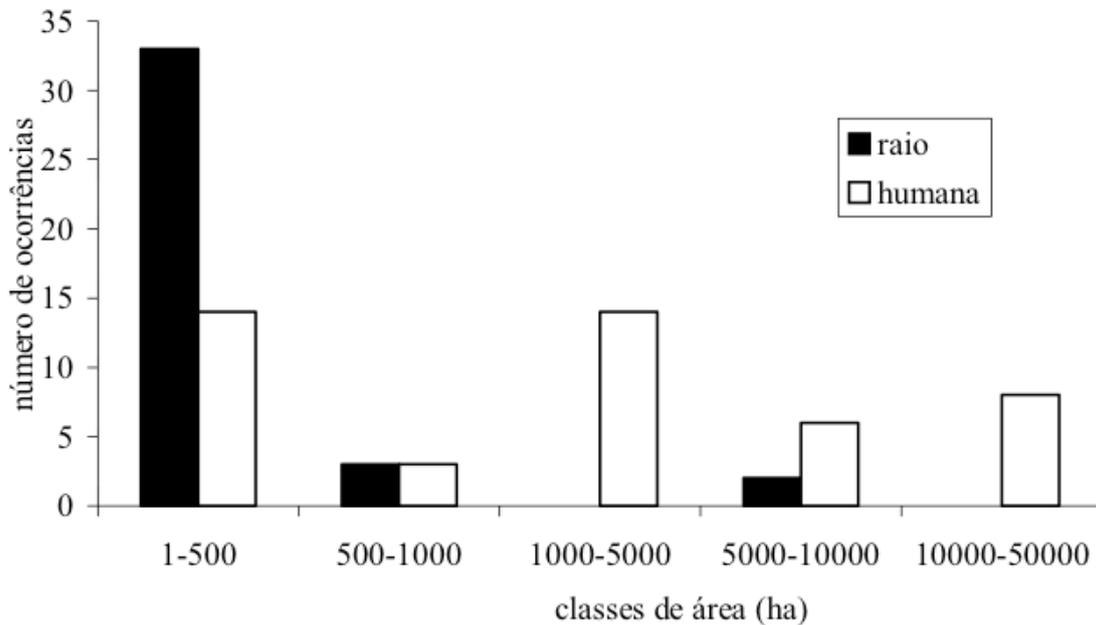
Foi analisado por Medeiros *et al.*, (2004), as causas de incêndios, área queimada e datas de ocorrência. A causa dos incêndios no PNSC, em específico o Chapadão da Canastra, teve um comportamento diferencial do observado na literatura. Sendo uma porcentagem de 50% para causas antrópicas, 44% oriundas de raios (causas naturais) e 6% de forma desconhecida. Das causas originadas pelo homem, os incendiários ocupam 47% dos casos, superando queima de pastagem (23%) e indefinida (30%). Segundo dados do Ibama (2007) para todo o Parque a área de amortecimento 42% das causas são originárias de raios, 49% forma criminosa, 8% agropecuária e 1% desconhecida. Sendo 80% da área queimada corresponde aos incêndios provocados de forma criminosa. Ibama (2007) ainda registra que os meses de maiores ocorrências de focos de calor detectado pelo satélite NOAA-12, são agosto e setembro podendo chegar a mais de 40 focos por mês. Sendo esses meses também enquadrados no intervalo de meses da obtenção das imagens para a presente pesquisa

Incêndios originários por raios ocorrem comumente nos meses de setembro a abril época de transição da estação seca para chuvosa. Enquanto que os ocasionados pelo homem predominam no período da seca, junho a outubro, em especial agosto e setembro. O período da presente pesquisa por imagens de satélite compreende os meses com maior ocorrência de incêndios por causas humanas. As Figuras 03 e 04 demonstram a distribuições das causas de ocorrência durante o ano, e relaciona área queimada com as causas de incêndio.



Fonte: MEDEIROS *et al.*, (2004).

Figura 03: Distribuição do número de ocorrências e a causa de incêndios florestais durante os meses de janeiro a dezembro, no Parque Nacional Serra da Canastra, no período de 1987-2001.

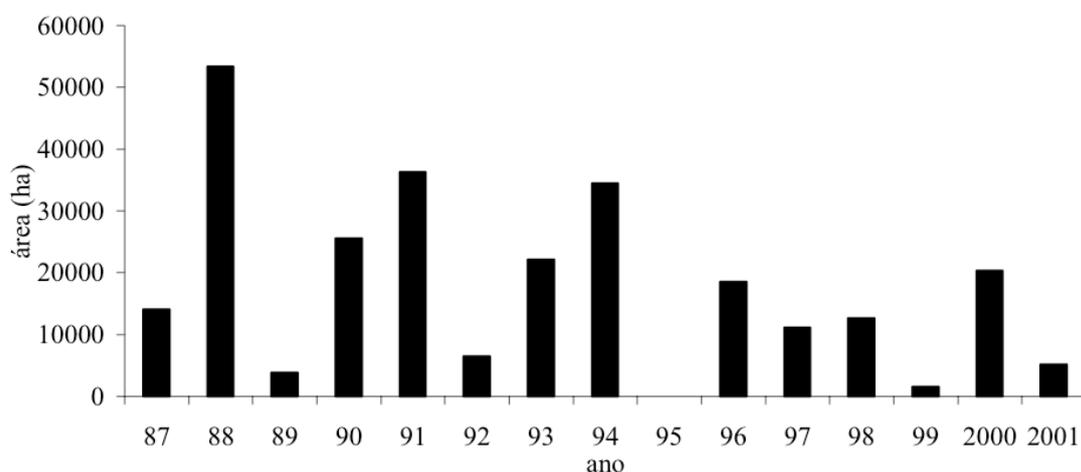


Fonte: MEDEIROS *et al.*, (2004).

Figura 04: Classes de tamanho de área queimada em relação as causas de incêndios no Parque Nacional da Serra da Canastra, no período de 1987-2001.

Segundo Medeiros *et al.*, (2004) a escala de impactos causados pelos grandes incêndios provocados pelo homem provavelmente está afetando elementos da biota no PNSC. Nesta região há elevada frequência de ocorrência de incêndios florestais, atingindo grandes áreas e levando a danos consideráveis, principalmente no meio e

final da estação seca, provocadas majoritariamente pelo homem. A Figura 05 demonstra a área queimada para cada ano no PNSC. Para o ano de 1988 obteve-se cerca de 55 mil hectares queimados, de acordo com a área analisada foi queimado cerca de 76% da área analisada (Chapadão da Canastra). E em 91 e 94 em torno de 53,12%.



Fonte: MEDEIROS *et al.*, (2004).

Figura 05: Distribuição de áreas queimadas em relação aos anos no Parque Nacional da Serra da Canastra, no período de 1987-2001.

5.6. O SATÉLITE LANDSAT 5

Segundo dados do *site* da NASA, o satélite *Landsat 5* foi lançado em de 1 de março de 1984, foi projetado e construído no mesmo período do satélite *Landsat 4* portando os mesmos 2 sensores: o *Multispectral Scanner System* (MSS) e o *Thematic Mapper* (TM). Porém apenas o sensor TM (mapeadores temáticos) foi ativado efetivamente nesse satélite.

No *site* oficial *Landsat* informa os seguintes dados sobre o *Landsat 5*. Informações sobre sua órbita e camada espectral de cada banda para o sensor TM. Dados essenciais para correção e manipulação da imagem, assim como leitura e entendimento dos mapas e variáveis em questão.

Órbita do Satélite

- *Worldwide Reference System-2 (WRS-2) path/row system*
- *Circular, sun-synchronous, near-polar orbit at an altitude of 705 km (438 mi)*
- *Inclined at 98.2°*
- *Repeat cycle: 16 days*

- *Swath width: 185 km (115 mi)*
- *Equatorial crossing time: 9:45 a.m. +/- 15 minutes*

Sensor

Mapeador Temático - *Thematic Mapper (TM)*

- *Added the mid-range infrared to the data*
- *Seven spectral bands, including a thermal band:*
 - *Band 1 Visible (0.45 – 0.52 μm) 30 m*
 - *Band 2 Visible (0.52 – 0.60 μm) 30 m*
 - *Band 3 Visible (0.63 – 0.69 μm) 30 m*
 - *Band 4 Near-Infrared (0.76 – 0.90 μm) 30 m*
 - *Band 5 Near-Infrared (1.55 – 1.75 μm) 30 m*
 - *Band 6 Thermal (10.40 – 12.50 μm) 120 m*
 - *Band 7 Mid-Infrared (2.08 – 2.35 μm) 30 m*
- *Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m reflective, 120 m thermal*

Outras Características

- *Scene size: 170 km x 185 km (106 mi x 115 mi)*
- *Design Life: Minimum of 3 years*

A Tabela 02 indica as aplicações para cada faixa dos sensor TM. Cada sensor possui uma amplitude de comprimento de onda captada pelas visadas do satélite, sendo esses dados armazenados e utilizados para geração das imagens. Para cada comprimento de onda, pode-se analisar a reflectância das feições estudadas.

Tabela 02: Principais aplicações das bandas do satélite *Landsat* sensor TM.

TM	Aplicações
1	Diferenciação solo/vegetação em virtude da absorção de pigmentos das plantas nessa região do espectro/diferenciação entre espécies decíduas e coníferas.
2	Permite diferenciar o vigor da vegetação pela maior sensibilidade à reflectância no verde.
3	Diferenciação de espécies de plantas em função da presença de pigmentos de clorofila. Também permite discriminar solo exposto e vegetação.
4	Permite avaliar a biomassa da cobertura vegetal, e também mapear corpos d'água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta absorção dessa faixa pelas superfícies líquidas.
5	Permite detectar a umidade da cobertura vegetal, pois essa região do espectro é sensível à presença de água no tecido foliar.
6	Permite avaliar diferenças de temperatura entre alvos da superfície.
7	Útil para a identificação de áreas sujeitas a alterações hidrotermais.

(Adaptado de NOVO, 2008).

Segundo Rivera-Lombardi (2005) a partir de dados orbitais pode-se obter informações de cicatrizes de fogo (área queimada) sendo os sensores mais usados o TM/*Landsat* e o AVHRR/NOOA cada qual com suas limitações. Porém o *Landsat*/TM enfrenta problemas como baixo volume de dados devido sua órbita de 16 dias (baixa resolução temporal), alta presença de nuvens e por ter ficado inativo durante um período para reparos.

5.7. DETECÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Existem duas linhas de pesquisa relacionadas a detecção e monitoramento dos incêndios florestais. Segundo Anderson *et al.*, (2005) uma linha de pesquisa refere-se ao estudos dos focos ativos de calor, utilizando bandas espectrais na região do

infravermelho termal, princípios da temperatura na superfície da Terra. A segunda linha de pesquisa está atrelada a quantificação da extensão das queimadas e as áreas afetadas, associadas as bandas espectrais na região da luz visível, e do infra vermelho médio e termal.

De acordo com Rivera-Lombardi (2005) apesar da grande utilidade dos dados orbitais, existem algumas dificuldades para diferenciar queimadas de outros elementos como corpos d'água e sombras de nuvens e relevos, devido a semelhança espectral entre esses objetos. Quanto maior o tempo de aquisição das imagens após a ocorrência do incêndio florestal, maior se torna a dificuldade para discriminação das imagens, devido ao processo de rebrota natural. Porém áreas de rebrota podem ser diferenciadas do restante da vegetação devido a atividade metabólica das rebrotas, presença de apenas folhas jovens e vistosas.

A utilização da interpretação visual ainda segundo Rivera-Lombardi (2005), é a mais adequada, uma vez que a classificação digital geralmente confundem padrões espectrais semelhantes, assim como observado na detecção de cicatrizes de fogo.

As bandas termais e do infravermelho médio têm sido usadas na detecção de incêndios florestais e estudos de mapeamentos, permitindo a discriminação de áreas queimadas detectadas através do contraste entre os gradientes térmicos (REMMEL e PERERA, 2001).

O sensor AVHRR (*advanced very high resolution radiometer*) também utilizado para detecção de incêndios, segundo Antunes e Ribeiro (2000) *apud* Batista (2004), este sensor pode captar qualquer temperatura acima de 47 °C, interpretando com um foco de calor, porém devido a sua baixa resolução espacial, podem ser registradas queimadas de no mínimo 900 m².

O INPE utiliza os satélites meteorológicos NOAA, GOES e Terra e Aqua, que juntamente com os *softwares SpringWeb-Queimadas e TerraLib-Queimadas* disponíveis na *internet*, obtém dados termais da superfície terra para o registro e monitoramento dos incêndios.

De acordo com Granemann (2009), estima-se que no Brasil ocorrem anualmente mais de 300 mil queimadas, detectadas e manipuladas pelo INPE desde a década de 80, e a partir de 1998 passou a ser realizado o trabalho de monitoramento juntamente com o IBAMA. Com o programa Prevenção e Controle de Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento da Amazônia (PROARCO), também com essa finalidade abrange países como Bolívia, Paraguai e Peru.

Lombardi (2003) *apud* Anderson (2005) teve grande êxito em utilizar imagens do *Landsat* sensor TM, porém concluiu que a utilização de satélites com maior resolução temporal poderia permitir um aumento na exatidão no monitoramento das áreas queimadas. Para áreas com alta cobertura de nuvens e uma dinâmica temporal de queimadas por um grande período do ano, faz com que o *Landsat 5* sensor TM não seja muito indicado, devido sua resolução temporal. O presente estudo possui apenas 2 imagens com presença de nuvens, com baixas coberturas.

No caso do bioma cerrado (área de estudo), a presença de nuvens não é um fator preocupante pois as épocas das imagens são nos períodos sem chuva. Para regiões com alta taxa de cobertura de nuvens Pereira, (1999); Domenikiotis *et al.*, (2012) *apud* Anderson (2005) indicam a utilização de imagens NDVI, geralmente na forma de mosaicos. NDVI é uma relação entre medidas espectrais, visando eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica.

Novas técnicas propostas por Anderson (2005) com a utilização dos satélites Terra e Aqua portando o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), onde esses sensores em relação ao NOAA/AVHRR e GOES possui uma melhor resolução espacial e radiométrica, e uma alta resolução temporal (2 dias).

Segundo Pereira e Setzer (1993) a banda 4 (760-900 nm) apresentou a maior capacidade de separar as áreas queimadas dos demais alvos da cena, na utilização do sensor TM. França e Setzer (2001) identificaram mudanças causadas pelo fogo utilizando os canais 2, 3 de imagens AVHRR e o IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

Cochrane e Souza Jr. (1998) *apud* Matricardi *et al.*, (2010) desenvolveram uma técnica de sensoriamento remoto para detectar e classificar florestas queimadas usando vegetação não-fotossintética derivada da Análise Linear de Mistura Espectral para uma área de estudo na Tailândia, Pará. Matricardi *et al.*, (2010) se basearam em imagens fracionadas de vegetação não-fotossintética para detectar e mapear florestas queimadas em uma área de estudo entre 1992 e 2004.

Souza *et al.*, (2003) desenvolveram uma abordagem metodológica para mapear desmatamentos e florestas queimadas com base na Sombra, Vegetação Não-Fotossintética e imagens fracionadas do solo derivadas de Análise de Mistura Espectral.

Modelos matemáticos e algoritmos são gerados para cada área em específico de acordo com suas peculiaridades, são utilizados para validar e classificar as imagens no sensoriamento remoto. Entre eles, a análise por componentes principais (ACP), que é um método estatístico que pode ser usado facilmente para fazer correlações entre bandas de imagens de satélite (SOUZA *et al.*, 2007). A principal função da ACP é determinar a extensão da correlação existente entre as bandas e, através de uma transformação matemática apropriada, remover a correlação existente (CROSTA, 1992). Na detecção de cicatrizes de fogo a ACP pode ser um método eficaz.

Em algoritmos de classificação, de acordo com Shiba *et al.*, (2005) as árvores de decisão muito utilizadas, um meio eficiente de construir classificadores que predizem classes baseadas nos valores de atributos de um conjunto de dados. A classificação por árvore de decisão pode obter um melhor resultado que a classificação por Máxima Verossimilhança, para os casos em que os *pixels* das classes não são “bem comportados”, isto é, não obedecem a uma distribuição gaussiana, como nos casos em que existem duas respostas espectrais distintas para uma mesma classe ou a “fronteira” das classes se emaranham no espaço de atributo. As cicatrizes de fogo apresentam certa variação da assinatura espectral, a classificação por árvore de decisão pode ser um método eficaz (SHIBA *et al.*, 2005).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional Serra da Canastra, localizado a sudeste do estado de Minas Gerais, foi criado em 3 de abril de 1972, sob o decreto de lei nº 70.355, compreendendo os municípios São Roque de Minas, Sacramento, Delfinópolis, São João Batista da Glória, Capitólio e Vargem Bonita, numa área de aproximadamente 200.000 hectares. Apenas 71.525 hectares (Chapadão da Canastra) estão sob a jurisdição do IBAMA, enquanto o restante ainda não regularizados e são constituídos por propriedades privadas (Chapadão da Babilônia) (MEDEIROS e FIEDLER, 2004).

Segundo Romero e Nakajima (1999) o parque se encontra dentro dos limites dos municípios de São Roque de Minas, Delfinópolis e Sacramento, entre as coordenadas 20°00'- 20°30'S e 46°15'- 47°00'W. As principais altitudes variando entre 800-1200 m, atingindo o ponto máximo no topo da Serra Brava com 1496m. De acordo com dados do IBDF (1981) *apud* Romero e Nakajima (1999) as principais fitofisionomias encontradas são florestas mesófilas de encosta, capões, cerradão, cerrado *sensu stricto*, campo cerrado, campo limpo e campo rupestre.

O clima nesta área é caracterizado por duas estações bem distintas: uma chuvosa durante o verão e uma seca durante o inverno. A temperatura média no mês mais frio é próximo a 18 °C e a temperatura média máxima é de próxima a 22 °C. Pluviosidade anual entre 1000 e 1.500 mm (JUNIOR *et al.*, 2010). Segundo Alves e Nóbrega (2011) o clima é do tipo sazonal, com estação seca entre maio e setembro e outra chuvosa entre outubro e abril. Segundo Ibama (2007) o vento tem direção predominante norte-sul, sendo mais estáveis nessa direção no período da tarde, podendo chegar a 80km/h em meses mais críticos.

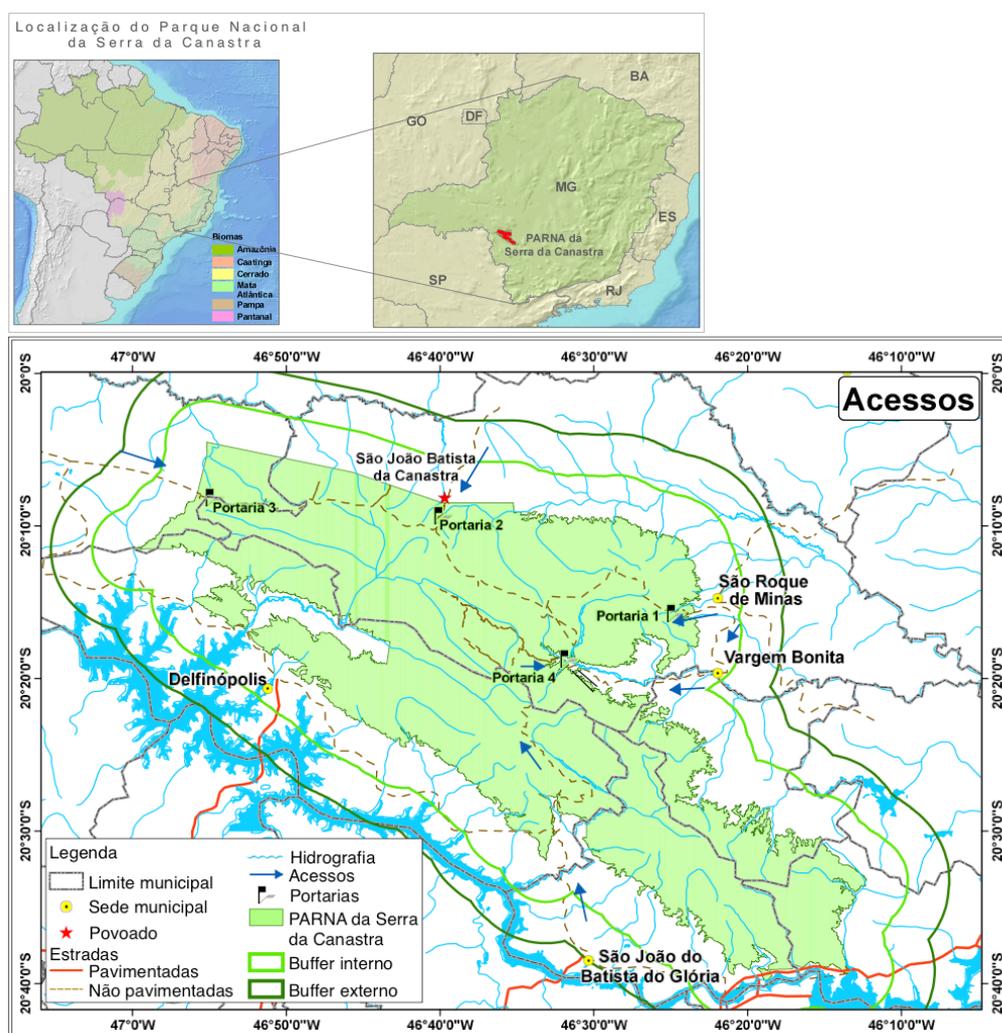
A Serra da Canastra está inserida dentro da morfoestrutura dos planaltos e serras de Goiás-Minas, sendo esse domínio geomorfológico associado a faixas de dobramentos Brasília, apresentando serras residuais das antigas dobras com alinhamento de cristas sustentadas na sua maioria por rochas metamórficas. A região é parte do domínio morfoestrutural dos remanescentes de cadeias dobradas, composto pelo subdomínio da região dos planaltos da Canastra, dividindo-se em Unidade

Patamares da Canastra e Unidade Serra da Canastra (GATTO *et al.*, 1983; ROSS, 1985 *apud* JUNIOR *et al.*, 2010).

A mesorregião Sul e Sudeste de Minas tem sua economia baseada na cultura do café, possui área de 49.523,9 km² e 2.463,6 habitantes (IBGE).

Na Figura 5 encontra-se o mapa da localização do Parque Nacional Serra da Canastra, em relação a Minas Gerais e a localização da Serra da Canastra dentro dos limites do Parque Nacional. Evidenciando-se os dobramentos e feições da geomorfologia local. Essa é uma área de nascentes que abastecem o rio São Francisco, um dos maiores do Brasil, que percorre todo o país, até a chegada ao Nordeste e desagua no mar.

A Figura 06 representa a localização do Parque, limites e municípios vizinhos da área de estudo:



Fonte: IBAMA (2007)

Figura 06: Localização do Parque Nacional Serra da Canastra no Brasil e no estado de Minas Gerais. Figura inferior, rotas de acesso, limites municipal, sedes, povoados, estradas, hidrografia, portarias, limites do parque e limites da zona de amortecimento.

6.2. BASE DE DADOS

As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas através do *site* do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a região foram adquiridas fotos dos anos 1991 a 2011, nos meses de agosto a outubro, pois são os meses de maior ocorrência antrópica de incêndios segundo Medeiros *et al.*, (2004), e os meses relativos ao final da época da seca, período onde já ocorreram os principais incêndios. O local de estudo fica entre duas órbitas, necessitando a aquisição de duas imagens, órbitas 219 e 220, no ponto 74.

As imagens obtidas estão na projeção UTM, Datum SAD69. A Tabela 03 indica as datas das imagens utilizadas no trabalho. Para o ano de 2002 não há nenhuma imagem disponível pelo INPE.

Tabela 03: Lista das datas da passagem do satélite *Landsat 5* sensor TM das imagens utilizadas para cada ano e órbita.

Ano	Órbita 220 (dia/mês)	Órbita 219 (dia/mês)
1991	14/out	23/out
1992	28/jul	06/ago
1993	19/out	12/out
1994	20/set	24/mai
1995	10/nov	31/ago
1996	08/ago	20/out
1997	30/out	23/out
1998	15/set	06/jul
1999	02/set	27/set
2000	22/out	15/out
2001	07/set	15/ago
2002	-	-
2003	15/out	22/set
2004	14/ago	24/set
2005	05/nov	13/out
2006	05/set	14/set
2007	24/set	17/set
2008	25/ago	18/ago
2009	13/set	20/jul
2010	31/ago	24/ago
2011	03/set	28/set

Arquivos na forma de *shape* (vetorial) de rodovias, hidrografia e divisões estaduais, e limites das UCs utilizados pelo orientador em outros trabalhos obtidos do

IBGE (2009), foram utilizados na presente pesquisa. Os anos de 1992, 1996 e 2009 não se encontram na faixa de mês proposto pelo projeto devido a ausência de fotos no período proposto. Porém em muitos casos queimadas podem ocorrer após ou antes do período de estudo. Para o ano de 2002 não foram encontrado imagens disponíveis, do satélite *Landsat 5 TM*.

6.3. PRÉ-PROCESSAMENTO E MANIPULAÇÃO DAS IMAGENS

Foram utilizados os *softwares ArcGis 9.3 e ENVI 4.5* para todo o processamento das imagens, e para geração de dados e mapas.

O fluxograma da Figura 07 explica de forma reduzida as principais etapas do trabalho que precedem a classificação das imagens.

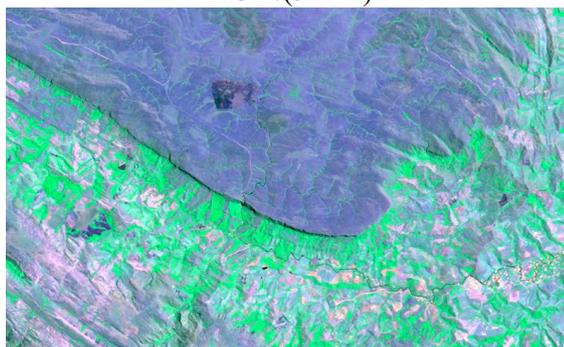


Figura 07: Fluxograma das etapas de pré-processamento.

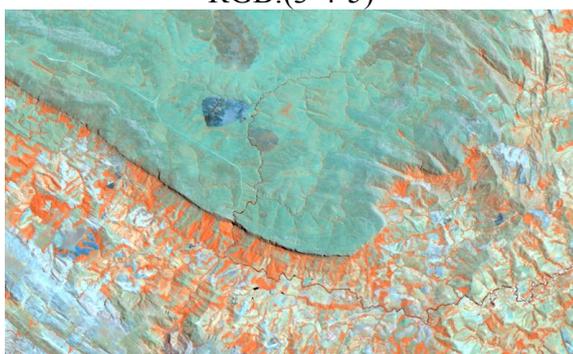
As imagens extraídas do *site* INPE, inicialmente foram empilhadas em bandas podendo ser utilizadas no modo RGB do software ENVI, com isso as bandas foram abertas no modo RGB:1-5-7, observando uma boa discriminação inicial das cicatrizes. A Figura 08 composta por uma sequência de imagens carregadas em diferentes bandas, evidenciando visualmente a diferença para diferentes configurações de RGB (RedGreenBlue) indicando a 1-5-7 como sendo a melhor para diferenciação das cicatrizes de fogo. Área queimada se encontra na região mais azul-roxeadada no configuração RGB(1-5-7), as áreas de verde mais escuro arredondado se referem a possíveis queimadas antigas após rebrota e regeneração da vegetação, diferenciando a assinatura espectral em relação ao restante do cerrado não queimado.



RGB:(3-2-1)



RGB:(3-4-5)



RGB:(4-5-7)



RGB (1-5-7)

Figura 08: Diferenciação visual das diferentes conformações de bandas geradas pelo sistema RGB do ENVI. Regiões queimadas mais escuras nos primeiros carregamentos, e para os dois últimos região mais azulada. Outras manchas observadas nos dois últimos carregamentos são possivelmente áreas queimadas a algum tempo.

Segundo Costa *et al.*, (2010) na composição R(5) G(4) B(3) as queimadas são passíveis de serem confundidas com manejo de pastagens e área alagadas indo de um

roxo escuro para lilás/rose. Nas faixas 4 e 5 (infravermelho Média e Próximo) tem características de sensibilidade a presença de água na vegetação. Já no infravermelho Distante a reflexão é sensível as características morfológicas do terreno, se relacionando com a umidade de algumas áreas ou seca.

As correções geométrica (georreferenciamento) e radiométrica também foram efetuadas. O georreferenciamento foi feito utilizando-se o *software ArcGis 9.3* com o auxílio dos *shapes* já corrigidos de forma geométrica. Pôde-se arrastar a imagem ou girar até um ponto conhecido previamente georreferenciado. Para a correção radiométrica, utilizando-se o *software ENVI 4.5*, os valores digitais dos *pixels* foram convertidos para reflectância. O uso da reflectância permite medições mais absolutas do alvo em estudo, pois os números digitais não representam quantitativamente valores físicos reais (ROBINOVE 1982).

Durante a correção e calibração da imagem, algumas informações foram solicitadas como elevação do azimute solar e ângulo de incidência, assim como características básicas do tipo de sensor, órbita e sistema de localização geográfica, data da imagem, sendo essas informações obtidas no arquivo metadados das imagens.

Após as correções da imagem obtida, com auxílio do *shape* (vetor poligonal) do PNSC, fez-se o recorte da região de interesse, afim de diminuir o processamento de áreas fora do estudo e o tamanho de armazenamento do arquivo, agilizando o processamento pelos *softwares*.

6.4. PROCESSAMENTO E ESTUDO DA IMAGEM

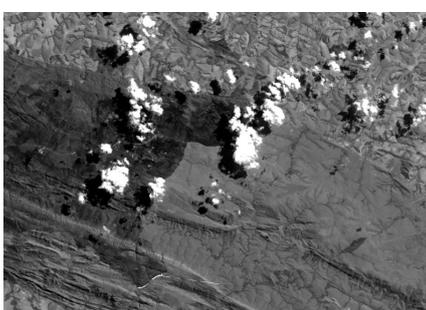
Foi desenvolvida a técnica de transformação da imagem por componentes principais que tem por função diminuir a semelhança espectral entre alvos como corpos d'água, sombras de relevo e nuvens, áreas sem cobertura vegetal. É utilizado um método estatístico chamado ACP, aplicando uma equação a cada *pixel*, dando um novo número digital, facilitando a discriminação dos alvos.

As bandas originadas são chamadas CP, e são combinações lineares das bandas originais. A correlação entre as bandas são calculadas pelo computador e eliminadas. As cores das imagens ficam mais vibrantes e discrimináveis, pois os dados não possuem correlação.

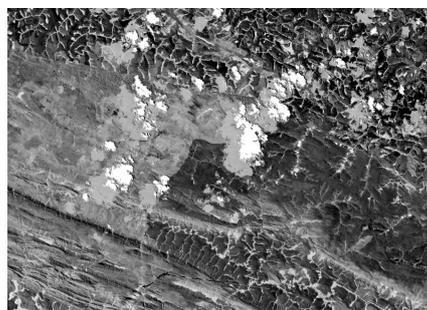
As primeiras bandas CPs originadas possuem uma maior qualidade de interpretação, porém no estudo observou-se que as bandas CP3, CP4 e CP5

encontraram-se em melhores estados para a discriminação das cicatrizes, e foram utilizadas para a discriminação e classificação dos atributos. A sequência de imagens da Figura 09 evidencia essa diferença. Porém em algumas imagens foi utilizado também o CP2 que mostrava-se melhor que o CP3, assim como o CP1 foi útil em alguns casos para discriminação das nuvens.

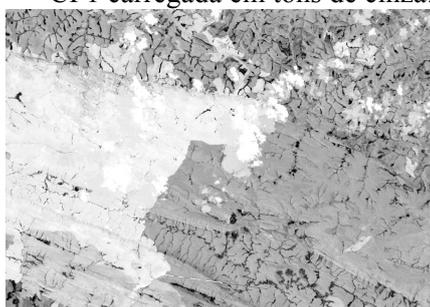
A banda CP3 e CP5 possuem a maior porcentagem de explicação dos atributos, indicando uma forte variação no gráfico de reflectância entre a vegetação e área queimada, ambos com alta reflectância (área clara) para queimadas, sendo a banda CP5 melhor discriminável na presença de nuvens.



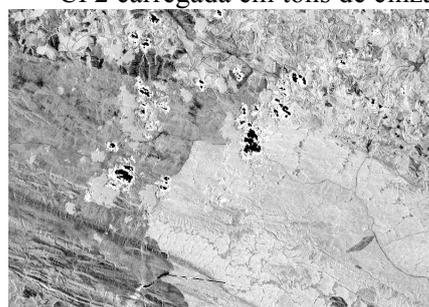
CP1 carregada em tons de cinza.



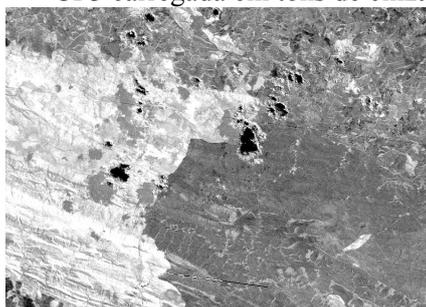
CP2 carregada em tons de cinza.



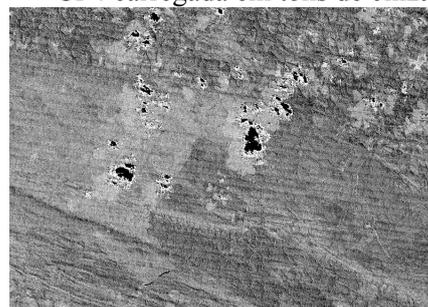
CP3 carregada em tons de cinza.



CP4 carregada em tons de cinza.



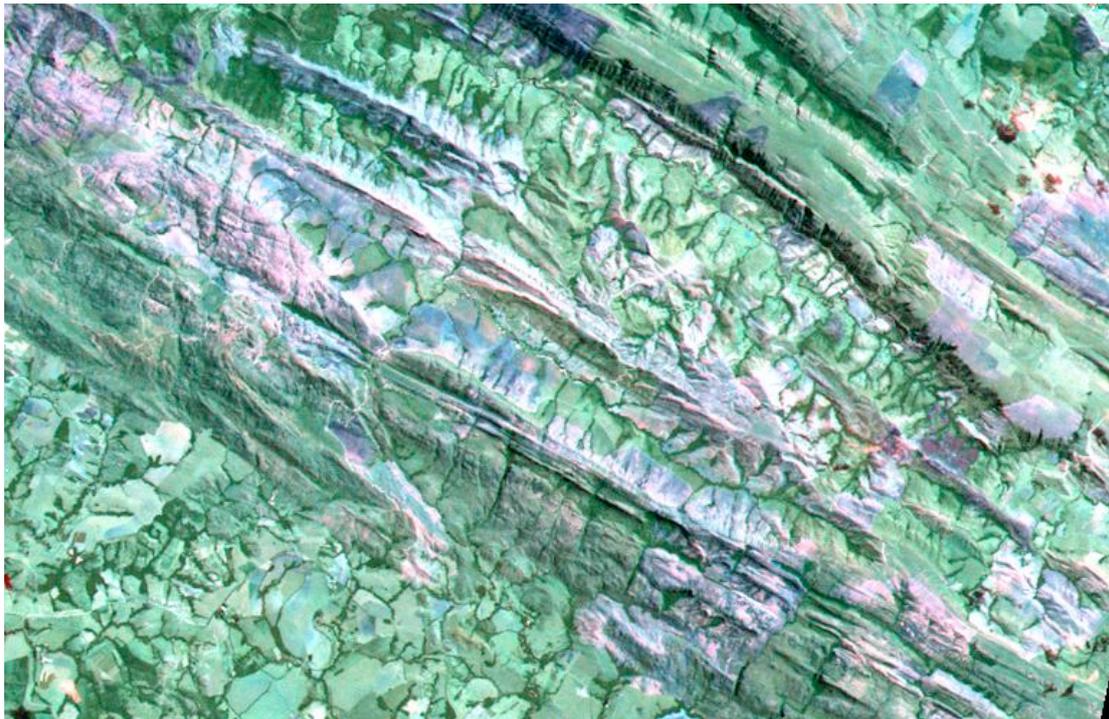
CP5 carregada em tons de cinza.



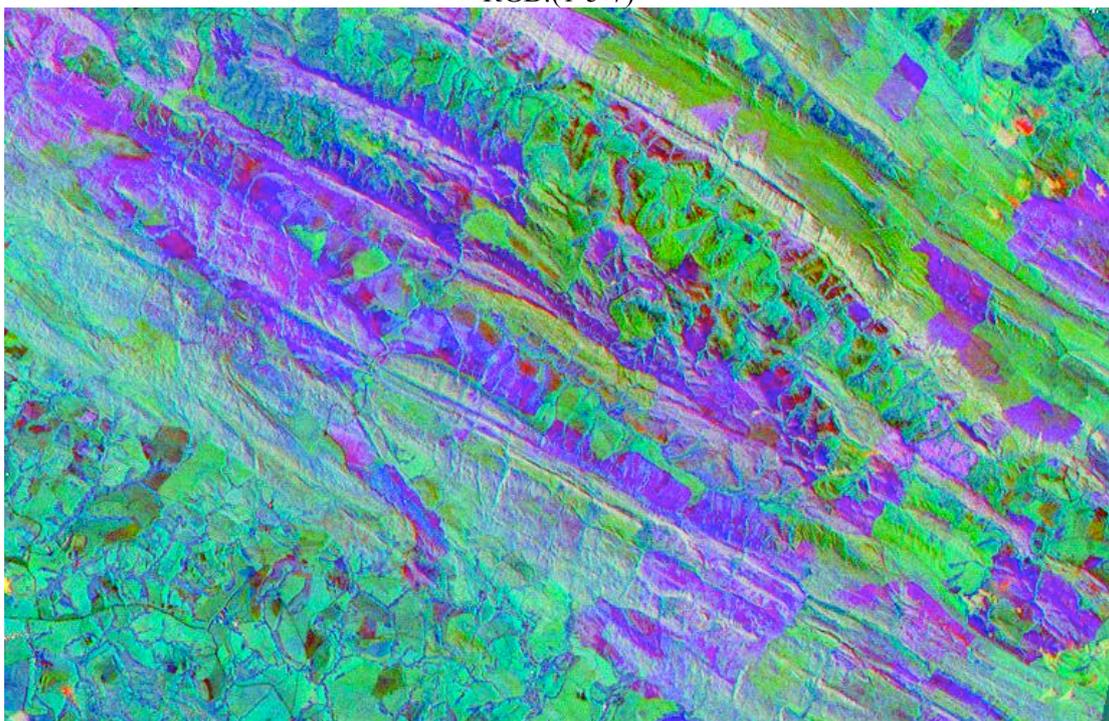
CP6 carregada em tons de cinza.

Figura 09: Diferença visual das bandas CPs. Área queimada a esquerda das imagens, presença de nuvens. Mesma imagem da Figura 11 e 12.

As duas imagens, Figura 10, indicam a diferença entre os dados visualizados por bandas originais e outra com bandas CP, ambos carregados na forma RGB.



RGB:(1-5-7)



ACP RGB:(CP3-CP4-CP5)

Figura 10: Diferença visual da imagem com bandas comuns para bandas ACP.

Após essas análises foi feita uma avaliação do perfil horizontal da imagem e o reconhecimento da amplitude de comprimento de onda para os alvos em estudo. Com a janela *Zoom* do *software ENVI 4.5* pode-se observar, ao correr o cursor do *mouse* pela área queimada, os respectivos números digitais máximos e mínimos. Assim como na ferramenta “*x profile*” o *software ENVI 4.5* gerou um gráfico com os

respectivos números de reflectância para cada ponto da imagem, ao correr o cursor sobre a imagem ou gráfico observou-se as variações na assinatura espectral para as bandas CP3, CP4 e CP5. A Figura 11 a seguir exemplifica o gráfico gerado.

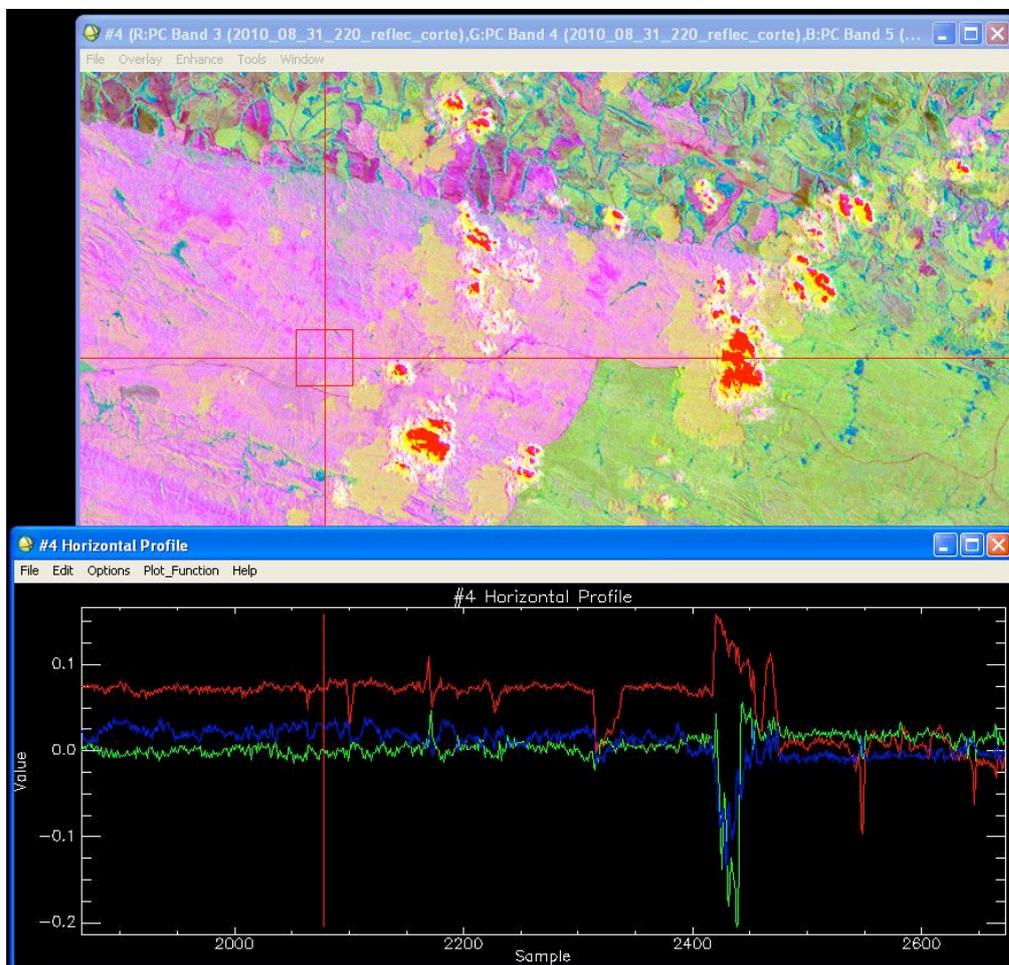


Figura 11: Reflectância das Bandas RGB:(CP3-CP4-CP5) para o alvo em questão. Mesma imagem da Figura 9 e 12.

A partir dessas informações obtidas no gráfico pôde-se estimar a amplitude e a assinatura espectral das cicatrizes de fogo para cada imagem. Para cada ano e cada órbita foi gerada uma assinatura espectral distinta, sendo assim cada imagem foi analisado o gráfico de valores máximos e mínimos e o intervalo para cada classe envolvida no estudo. Para a maioria dos casos o nível de reflectância da banda CP3 (vermelho) aumenta ao passar por uma área queimada, CP4 (verde) diminui e CP5 (azul) aumenta. Ao passar por manchas de nuvens e sombras CP3 aumenta imensamente, e o CP4 e CP5 diminuem consideravelmente. Áreas de nuvens e sombras foram excluídas devido a falta de informação sobre a superfície real, mesmo sabendo que algumas vezes a nuvem se instalava no centro de uma grande área

queimada. Muitas sombras de nuvens em algumas fotos tinham extrema semelhança espectral com áreas queimadas devido a sua coloração mais arroxeada em alguns casos, assim como afloramentos rochosos nos topos de encostas, gerando colorações próximas á áreas queimadas. Outras áreas problemáticas são queimadas de anos anteriores com dificuldade para regeneração, ou queimadas a alguns meses com rápida regeneração possuindo grande semelhança na assinatura espectral. Fumaças geradas pelas queimadas geram interferência nos sensores do satélite podendo causar alguns ruídos (danos) na imagem, ou mesmo perda de informação de algumas regiões.

Para a delimitação dos valores gerados pelo gráfico para cada classe, utilizou-se de três premissas $CP3 > 0,002$; $CP4 < 0.01$; $CP5 < 0,003$. Porém esses valores foram reajustados para cada foto podendo ser inclusive valores negativos. Não houve variação quanto sazonalidade e a qualidade das bandas CP3,CP4 e CP5, em todas as fotos elas foram as principais analisadas devido sua alta intensidade para diferenciação das cicatrizes. Apenas para o ano de 1997 foi utilizada a banda CP2 ao invés da CP3, pois apresentava-se com melhor discriminação visual dos dados.

Com a delimitação da amplitude do comprimento de onda para áreas queimadas nas imagens utilizadas, foi aplicado a técnica de árvore de decisão para classificação da imagem, que tem por objetivo separar as áreas de interesse (áreas queimadas) do restante das classes observadas. O desenvolvimento de algoritmos que conduzem a árvore de decisão são obtidos com base nos valores observados no perfil horizontal da imagem. É um sistema binário com respostas de sim ou não, que quando satisfaz todas as etapas da árvore de decisão, o *pixel* acaba se agrupando a classe de interesse (área queimada). A seguir a Figura 12 demonstra a técnica aplicada.

A imagem foi classificada em três classes:

- I- Vermelho – área queimada (incêndio florestal);
- II- Verde – área não-queimada (vegetação nativa);
- III- Branco – nuvens e sombra de nuvens (se presente).

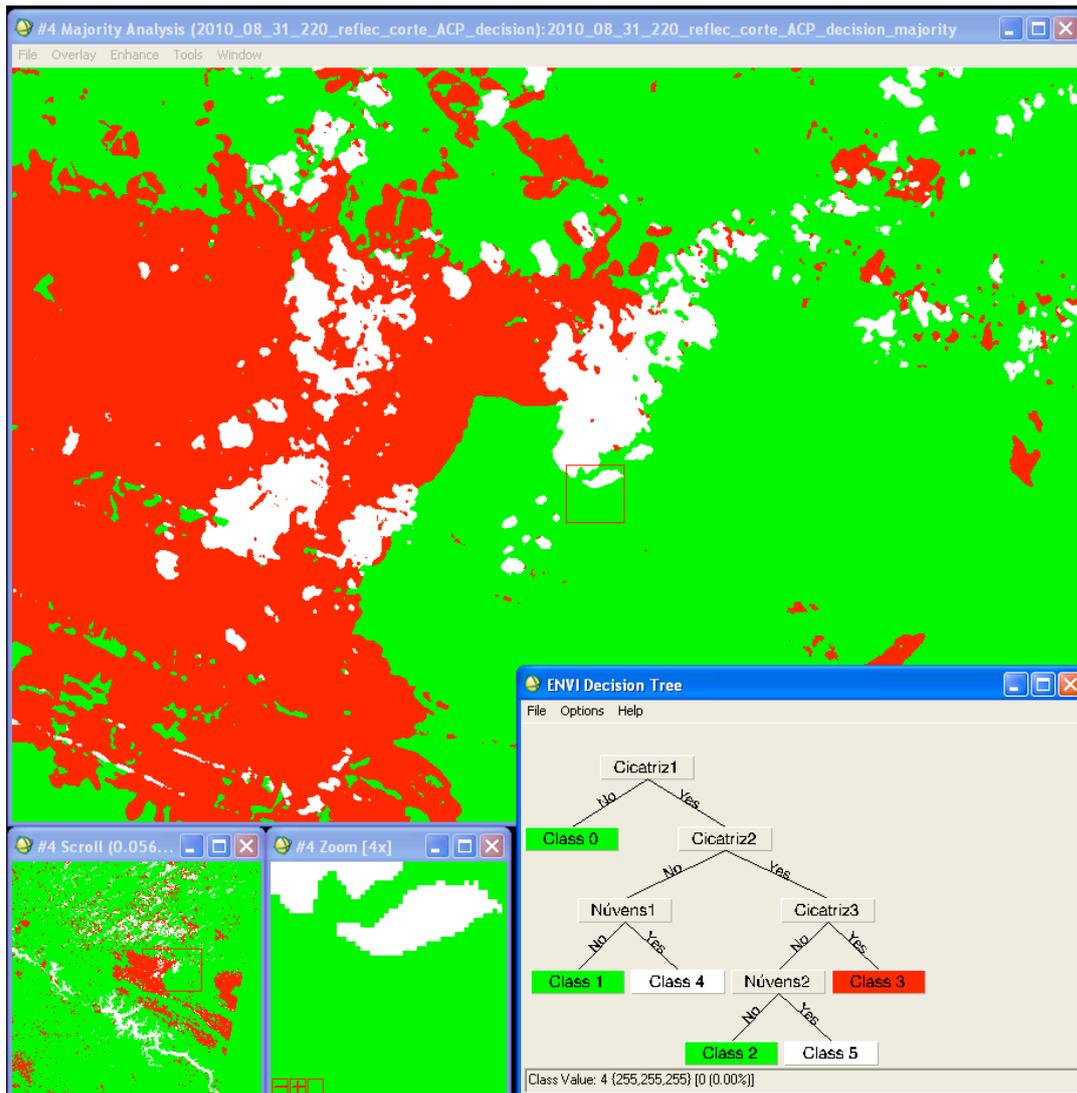


Figura 12: Classificação por árvore de decisão acima, e no canto inferior direito a árvore elaborada com classes não-queimadas (verde), classe de áreas queimadas (vermelho) e classes de nuvens e sombras de nuvens (branco).

Após a classificação da imagem utilizou-se de filtros do tipo majoritário tipo 5x5, com objetivo de se eliminar *pixels* isolados que representem erro durante a classificação. Essa ferramenta é importante para homogeneizar as cicatrizes de fogo, diminuindo erros na classificação devido a interferência de sombras de encostas, afloramentos rochosos e fumaça na imagem devido a algumas queimadas ativas. A Figura 13 indica a diferença entre uma imagem classificada sem o filtro e com o uso do filtro majoritário 5x5. Descarte de *pixels* isolados, por provavelmente serem erros durante a classificação.

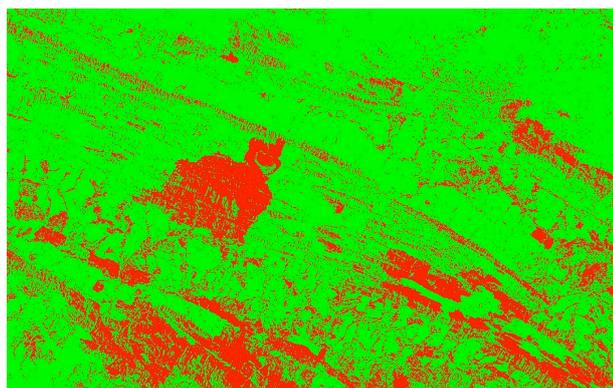


Imagem sem filtro.

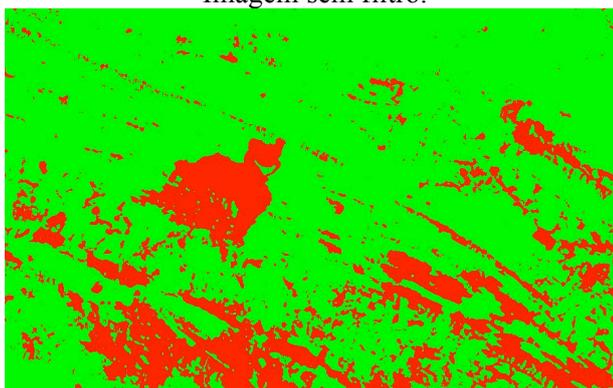


Imagem com filtro *majoritary* 5x5.

Figura 13: Aplicação do filtro *majoritary* 5x5.

Para a junção das imagens de diferentes órbitas foi utilizado o *software ArcGIS (ArcMap)* opção *mosaic to a new raster*. Assim as imagens foram sobrepostas perfeitamente uma sobre a outra. O método de mosaico foi do tipo *mean* onde o sistema coloca uma média da classe entre as duas imagens no local de sobreposição, e *match* para levar em considerações ambas as classes. Algumas imagens passaram por uma reclassificação para geração do mapa final.

As imagens então após a junção, são transformadas em um arquivo do tipo polígono para análise das áreas queimadas e recorrência do fogo. Para isso utiliza-se a opção *raster to polygon* do *Arcmap*. As áreas são calculadas através da tabela de atributos gerada na área classificada, foi calculado também a frequência anual de incêndios (números de polígonos), maiores áreas queimadas em cada ano, área média queimada por ano.

Através da ferramenta *high/low clustering tool* pode-se medir o nível de concentração dos valores altos ou baixos de uma variável. Podendo ser adaptado para medir o nível de concentração e distribuição da recorrência, através da avaliação dos polígonos gerados pelas cicatrizes de fogo. Com a interpolação dos mapas criados para cada ano, estimou-se a recorrência do fogo, onde os polígonos ocorriam em

maiores intensidades em todas as imagens, e foi calculado também o tempo decorrido desde a última queimada. Este último tem por interesse prever alguns possíveis locais de queima, devido a passar por um longo tempo sem sofrer queimadas.

A avaliação da acurácia teve grande importância pois foram encontrados trabalhos escassos sobre o PNSC, alguns dados se referem apenas ao chapadão, a dados visuais de registro, ou dados de satélites de diferentes sensores. A avaliação da acurácia global do mapeamento de incêndios do PNSC foi feita pela análise de uma Matriz de Confusão. Esta acurácia pode ser calculada pelo somatório dos elementos da diagonal da matriz dividido pelo número total de elementos amostrados. Erros de omissão e comissão também podem ser calculados. A matriz de confusão é baseada num estudo entre a imagem real ACP, e a imagem classificada, diversos *pixels* são analisados e anotado seu acerto, quantos pixels se enquadram corretamente como áreas queimadas e quantos foram classificados erroneamente.

Outra medida de acurácia muito utilizada em sensoriamento remoto é o coeficiente *Kappa*, também relaciona-se a matriz de confusão. Segundo Ferreira *et al.*, (2007) o coeficiente expressa a medida da diferença entre a concordância entre dados de referência e a classificação automática, e a probabilidade de concordância entre dados de referência e a classificação aleatória. É expresso pela seguinte fórmula:

$$\frac{N\sum x_{ii} - \sum x_{i+}x_{+i}}{N^2 - \sum x_{i+}x_{+i}}$$

Onde:

x_{ii} = elementos da diagonal (concordância observada);

x_{i+} e x_{+i} = produto das marginais (concordância esperada);

N = total de elementos amostrados.

6.5. MAPA DE RISCO DE INCÊNDIOS

Os mapas de risco de incêndios tem por finalidade orientar a população e administradores do Parque Nacional Serra da Canastra sobre os locais de maiores riscos de incidência de incêndios florestais, afim de minimizar suas ocorrências. Esse

mapa de risco envolve diversas variáveis de estudo. Segundo Ribeiro *et al.*, (2008), com o auxílio do *software ArcGis*, utilizando técnicas de sobreposição de mapas de tipo e densidade de vegetação, declividade do terreno, exposição das encostas, elevação do terreno, benfeitorias, trafegabilidade da rede viária, influência da vizinhança e fatores climáticos, pode-se gerar o mapa de risco de incêndios. Através da utilização de uma equação de risco o *software* analisa cada variável de um ponto, faz interpolação dos mapas, e gera uma nova variável relativa ao risco de incêndios naquele ponto.

Os mapas de uso do solo, proximidade com estradas e vegetação foram gerados a partir das imagens obtidas do satélite *Landsat 5* sensor TM ano 2011, nos meses mais críticos de ocorrência de incêndios (agosto a outubro). Estudos feitos na área por Medeiros *et al.*, (2004), com uso de ocorrências registradas pelo IBAMA, nesses meses as ocorrências aumentam significativamente, e a predominância de causas humanas é notável para a região de estudo. Sendo os incendiários ocupando quase metade das causas antrópicas. Base de dados disponíveis na internet contendo mapas da altimetria, declividade e orientação das encostas para região de estudo foram visitados.

Durante a análise das variáveis foi considerado uma área ao redor do Parque de 2 km (área de amortecimento), além das áreas internas do Parque, para ser feito um estudo mais minucioso, devido a grande influência das causas humanas. Para cada mapa elaborado, foi definido polígonos suscetíveis a ocorrência de incêndios, onde cada condição recebe um índice de 1 a 5, onde 1 é o valor de menor risco e 5 o de máximo risco. As Tabelas 04 a 08 indicam a atribuição dos índices para cada variável envolvida no estudo.

Tabela 04: Índices de risco atribuídos ao uso do solo.

Uso do solo	Índice de risco
Cerrado degradado	5
Cerrado denso	3
Cerrado sentido restrito	4
Loteamento rural	4
Mata de galeria	1
Mata degradada	3
Monocultura agrícola	1
Monocultuta eucalipto	2
Ocupação humana/pastagens	5
Solo arado	1
Solo descoberto/cascalheira	2

Tabela 05: Índices de risco atribuídos a proximidade com estradas.

Distância de estradas (m)	Índice de risco
0 a 250	5
250 a 500	4
500 a 750	3
750 a 1000	2
acima de 1000	1

Tabela 06: Índices de risco atribuídos a orientação das encostas.

Orientação de encostas	Índice de risco
Norte	5
Noroeste/Oeste	4
Nordeste	3
Leste	2
Sul / Sudeste / Sudoeste	1

Tabela 07: Índices de risco atribuídos a declividade do terreno.

Declividade (graus)	Índice de risco
0 a 6,7	1
6,7 a 13,4	2
13,4 a 20,2	3
20,2 a 26,9	4
26,9 a 33,6	5

Tabela 08 : Índices de risco atribuídos a altimetria.

Altitude (m)	Índice de risco
abaixo de 900	5
900 a 1000	4
1000 a 1100	3
1100 a 1200	2
acima de 1200	1

O uso do solo e a proximidade com estradas são os fatores mais relevantes para análise e composição do mapa de risco de incêndios. Não sendo considerados os incêndios por causas naturais (raios). As estradas também não foram diferenciadas em pavimentadas ou não-pavimentadas, sendo que as de maior circulação de pessoas, possuem maiores riscos. A orientação de encostas será considerada devido às faces que recebem maior incidência de insolação, causando uma rápida desumidificação da vegetação e do solo. Áreas de menores altitudes tendem a ser mais quentes facilitando a ignição do material combustível e a energia gasta para a queima de novos combustíveis.

Devido as diferentes determinâncias para ocorrência de incêndios, cada variável de estudo, se relaciona a um peso para o cálculo final do risco de incêndio naquele ponto. Sendo o uso do solo e distância com estradas os de maior peso, e a altitude de menor peso, a Tabela 9 lista os respectivos pesos para cada variável em estudo.

Tabela 9: Pesos atribuídos a cada variável analisada.

Variáveis	Peso
Uso do solo	0,3
Distância de estradas	0,3
Orientação das encostas	0,15
Declividade	0,15
Altitude	0,1

Para estimar o risco de incêndios para cada ponto, foi utilizada a equação a seguir. Onde o risco de incêndios para cada variável encontrado é multiplicado pelo seu respectivo peso.

$$Risco = 0,3S + 0,3E + 0,15O + 0,15D + 0,1A$$

onde:

S = uso do solo; E = distância de estradas;

O = orientação de encostas; D = declividade;

A = altitude.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. ANÁLISE DA TÉCNICA ACP

Libonati *et al.*, (2006) estudou a utilização de bandas CPs para caracterização das assinaturas espectrais de queimadas no estado de Mato Grosso, o quanto cada CP explica as variâncias dos dados para imagens do satélite MODIS. As primeiras CPs se encontraram mais eficientes para discriminação dos dados, a primeira e segunda banda CP explicaram cerca de 94,4% da variância total dos dados. Ambas as CPs possuem informações de todos os canais (bandas), sendo a CP7 responsável por somente 0,15% da variância dos dados.

Neste estudo realizado no PNSC devido às diferenças na sazonalidade da região após a transformação em Componentes Principais, as bandas 3, 4 e 5 se encontraram melhores para a distinção das queimadas, como evidenciado na Figura 8. O Parque também possui um terreno acidentado em algumas regiões, com exposições de solo e rocha, além de diversos trechos de água com matas de galeria e estradas que moldam a direção e propagação das queimadas. Porém a técnica se mostrou bastante eficiente para a diferenciação dessas feições e boa estimativa da área queimada. Muitas áreas de solos expostos e/ou afloramentos rochosos foram facilmente diferenciadas, porém em algumas fotos essa diferenciação se tornou mais complicada, necessitando de mais nós na árvore de decisão. A árvore de decisão é uma ótima técnica, ela gera com grande precisão o intervalo de cicatrizes de fogo, podendo ser refinada a cada nova classe criada.

As cicatrizes de fogo segundo França *et al.*, (2007) podem ser encontradas em quatro formas ou estágios:

1. Logo após a queimada quando ainda há um depósito de cinzas sobre o solo e vegetação remanescente, absorvendo radiação numa ampla faixa do espectro, perpetuando por algumas semanas.
2. Início das primeiras rebrotas, com solo ainda exposto. Depende do tipo de cerrado, da capacidade do solo e condições climáticas, mesmo na época da seca há rebrota. Duração de semanas.
3. Alto índice de rebrota e com folhas verdes e jovens, tornando a área mais verde e vistosa que uma área de cerrado não queimado. Duração meses a anos.

4. Variação da temperatura da superfície. Solos sem cobertura apresentam uma maior temperatura nas imagens termais, e com o passar de semanas o recobrimento pela vegetação faz a temperatura cair.

No Parque Nacional Serra da Canastra foram identificadas principalmente focos nas formas 1,2 e de alguma forma o 4, visto que foi usado a banda 7 pan-cromática, devido a mistura das bandas pelo técnica de ACP. O estágio 3 quando visto em um outro ano foi considerado área não queimada pois no ano anterior já havia sido contabilizado. Pesquisas aprofundadas do comportamento do fogo e seus efeitos podem ser elaboradas com estudos mais detalhados durante as estações do ano, em diferentes meses e por vários anos. Podendo gerar um mapa de altíssima confiança sobre os fatores de risco e dinâmica do fogo para uma determinada região.

7.2. ANÁLISE DA ÁREA QUEIMADA DO PARQUE NACIONAL SERRA DA CANASTRA

O estado de Minas Gerais segundo Soares e Santos (2002) *apud*. Magalhães *et al.*, (2012), possui uma seca prolongada favorecendo a propagação do fogo, e que o PNSC, em média, possui uma área queimada superior a outras áreas protegidas do Brasil. O terreno também muito acidentado nas bordas da chapada favorece a propagação e velocidade do fogo.

A Tabela 10 indica as principais causas observadas por Ibama (2007), a criminosa ou incendiários possuem alta influência nos incêndios florestais do Parque, visto que a áreas de maiores focos de calor são na região regularizada, ao contrário do comportamento observado no Chapadão da Babilônia (parte não regularizada) onde se encontra algumas propriedades rurais. Há uma menor influência da queima de restos vegetais e renovação de pastagens nas causas dos incêndios segundo Tabela 10, do que raios e incendiários ou desconhecida.

Tabela 10: Causas de incêndios florestais com área queimada maiores que 10.000 ha no PNSC.

Ano	Área Queimada	Causa
1987	13.600,00	Criminosa
1988	12.625,00	Criminosa
1988	35.000,00	Criminosa
1990	10.000,00	Criminosa
1991	12.000,00	Criminosa
1991	20.000,00	Criminosa
1993	13.000,00	Raio
1994	16.000,00	Desconhecido
1996	11.000,00	Queima agropecuária
1997	11.000,00	Criminosa
2002	28.800,00	Criminosa
2005	13.400,00	Criminosa
2006	34.117,00	Criminosa

Fonte: IBAMA (2007).

Com o presente estudo do PNSC das áreas queimadas através do uso de imagens de satélite *Landsat 5 TM*, para toda a área do Parque (regularizada e não regularizada), obteve-se as seguintes áreas para cada ano e a porcentagem de área queimada. Figura 14 mostra área queimada total e sua porcentagem para cada ano analisado.

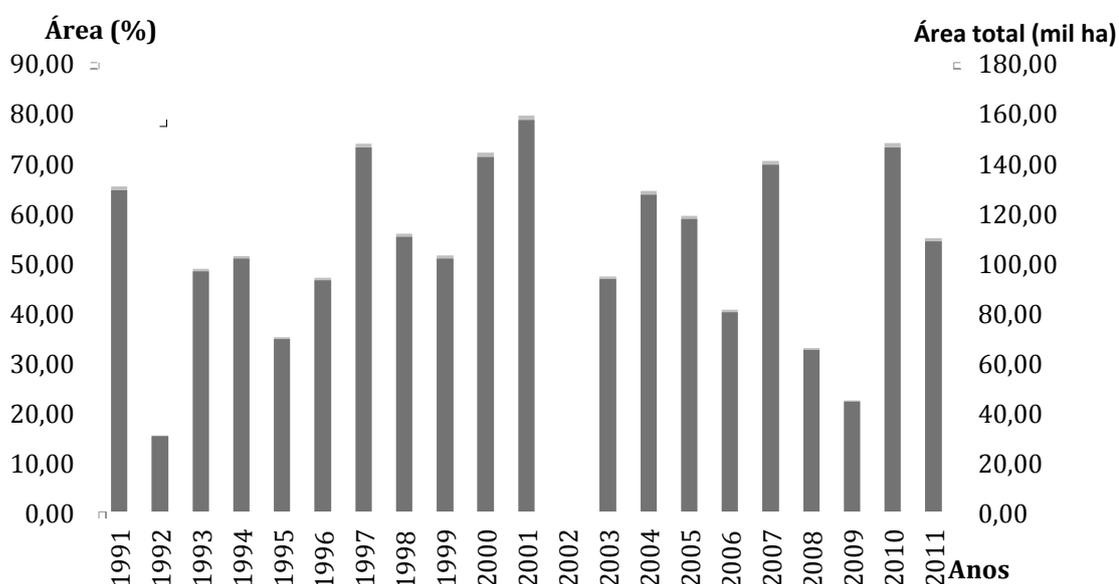


Figura 14: Área total queimada e a porcentagem queimada para cada ano analisado, com linha de tendência dos dados no Parque Nacional Serra da Canastra.

O parque sofre forte pressão do fogo durante as épocas de seca, anos como 1991, 1997, 2001, 2007 e 2010 tiveram as maiores áreas queimadas, com aproximadamente quase 80% da área total do parque. O ano de 2001 foi o pior ano

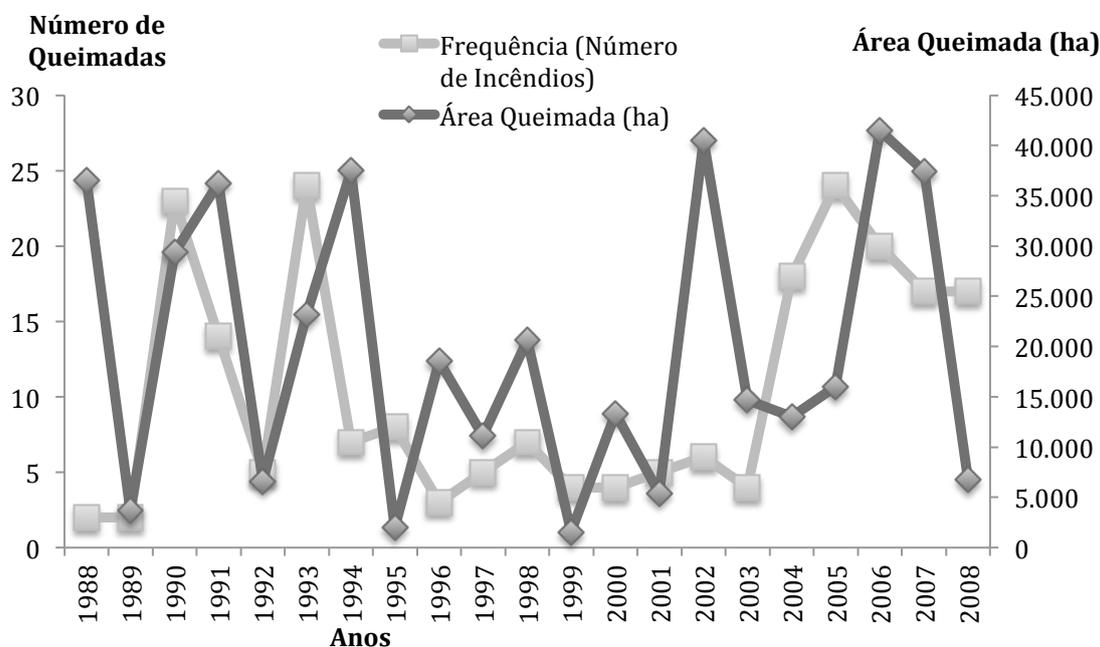
com aproximadamente 157 mil hectares queimados, cerca de 79% da área. Os anos de 1992 e 2009 tiveram os menores valores com 30 mil hectares (15,3%) e 44 mil hectares (22,3%) respectivamente. Houve um aumento dos incêndios do ano de 1992 até o ano 2001, depois tende a baixar mas mantendo-se um pouco acima do anos iniciais até 2011. A Tabela 11 a seguir indica os valores corretos encontrados da área queimada e sua porcentagem, assim como presença e sombras de nuvens em algumas imagens. Para uma área total analisada de 197.757 hectares.

Tabela 11: Área queimada, porcentagem da área queimada e presença de nuvens para cada imagem estudada no Parque Nacional Serra da Canastra.

Ano	Área Queimada (ha)	Área Queimada (%)	Presença de Nuvens (ha)
1991	128802,88	65,13	565,15
1992	30233,84	15,29	
1993	96172,94	48,63	
1994	101293,60	51,22	
1995	69171,62	34,98	
1996	92675,97	46,86	
1997	145918,87	73,79	
1998	110136,21	55,69	
1999	101493,99	51,32	
2000	142195,93	71,90	
2001	157030,00	79,41	
2002			
2003	93237,44	47,15	
2004	126992,24	64,22	2976,05
2005	117261,88	59,30	
2006	79941,92	40,42	
2007	139026,31	70,30	
2008	64937,85	32,84	
2009	44060,83	22,28	
2010	145997,68	73,83	
2011	108299,22	54,76	

Magalhães *et al.*, (2012) estudou os ROI's (Relatórios de Ocorrências de Incêndios) do PNSC de 1988 até 2008, Figura 15. Foi registrado 219 ocorrências, totalizando 415.572,50 ha de área queimada, com 19.789,17 ha de média por ano. Os anos de 1990, 1993, e a partir de 2004 encontram-se os maiores valores para a frequência de incêndios com máximo de 24 ocorrências em 1993 e 2005. Já para valores de área queimada se sobressaem os anos 1988, 1991, 1994, 2002, 2006 e 2007, com destaque para os anos de 2002 com 40.515 ha e 2006 com 41.478 ha. As

causas observadas ainda por Magalhães *et al.*, (2012) foram incendiários (73% das causas) como primeira, seguida por raios (12,41%), queimada para limpeza de pastagens (9,31%) e por ultimo causas não identificadas (16,89%).



Fonte: MAGALHÃES *et al.*, (2012).

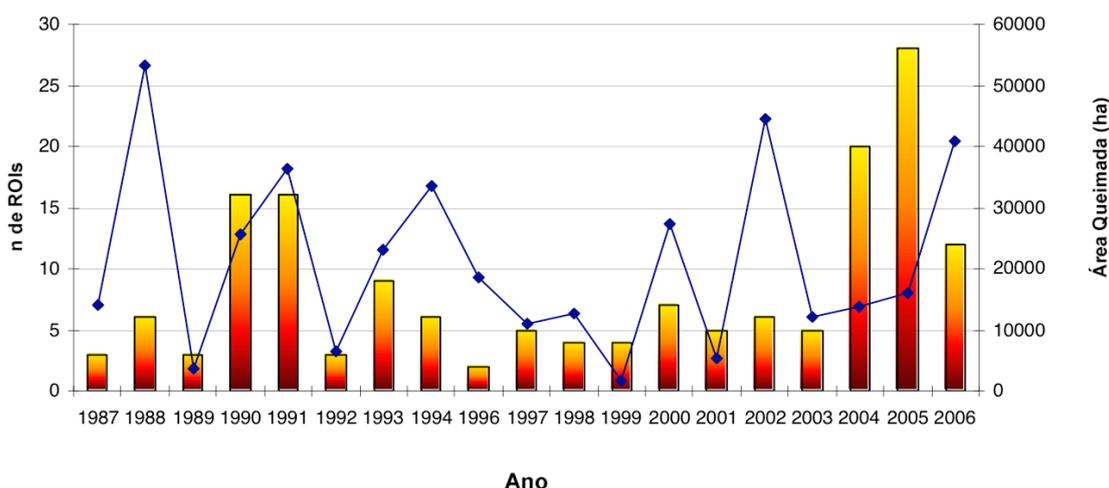
Figura 15: Área queimada e número de queimadas dos ano 1988 até 2008, para toda a área do PNSC.

Para os anos 1991 e 2007 também foram encontrados altos valores de área queimada, houve uma tendência de aumento de 1995 até 2002 mantendo-se um pouco acima até 2008, foi uma tendência parecida com a observada na presente pesquisa, porém algumas queimadas não coincidem corretamente em alguns anos. A construção de ROIs numa área grande como o parque é trabalhosa e pode gerar alguns erros, além de possuir áreas inacessíveis, alguns pequenos incêndios podem passar despercebidos, já outros relatórios não contemplam toda área do Parque como observado no trabalho de Medeiros *et al.*, (2004).

Nos anos de 1992 e 1998 também foi observado por Magalhães *et al.*, (2012) menores índices de queimadas no PNSC, porém para os anos de 1995 e 1999 foi observado por Magalhães *et al.*, (2012) uma área queimada de mil hectares, e no presente trabalho realizado foi encontrado um valor de 69 e 101 mil hectares respectivamente. Há um possível erro no registro dos ROIs por Magalhães *et al.*, (2012) pois Medeiros *et al.*, (2004) e Ibama (2007) não possuem informações para o

ano de 1995, e em torno de mil hectares para Medeiros *et al.*, (2004) analisando apenas o Chapadão da Canastra no ano de 1999, e próximo a 10 mil hectares quando analisado por Ibama (2007) para o ano de 1999.

Durante um levantamento e monitoramento do Prev-fogo e estudos de manejo do PNSC feito por Ibama (2007), observou através de ROIs e focos de calor pelo satélite NOAA-12 os seguintes dados da Figura 16. Para os anos 2002 e 2006 houve maior intensidade de focos de calor registrados pela passagem noturna do satélite NOAA, enquanto para a área calculada através dos relatos de incêndios (ROIs), 1991, 1992 queimaram em torno de 35.000 ha, em 2004 por volta de 40.000 ha, e em 2005 a maior área queimada com mais de 55.000 ha. Os focos de calor com maiores concentrações foram observados na região regularizada do parque.



Fonte: IBAMA (2007).

Figura 16: Número de Registros de Ocorrência de Incêndios e área queimada (ha), por ano, no Parque Nacional Serra da Canastra.

No ano de 1991 foi observado um aumento na área queimada assim como encontrado na pesquisa. Os anos de 2004 e 2005 também se sobressaíram juntos no gráfico de ambos trabalhos. O comportamento do gráfico de quedas e subidas manteve-se bastante semelhante para a maioria dos anos, porém a área queimada encontrada nesta pesquisa foi consideravelmente superior ao encontrado nas análises de ROIs tanto por Ibama (2007) e Magalhães *et al.*, (2012).

O controle por imagem de satélite se torna mais eficiente para abranger e estudar uma área extensa e acidentada. Satélites como o NOAA para captação de focos de calor, possuem grande credibilidade quanto a captação das queimadas, no entanto sua resolução espacial é baixa tornando pequenos incêndios imperceptíveis.

A análise de ROIs sempre será subestimada, pois é praticamente impossível registrar todos os incêndios ocorridos na área. Já para o presente trabalho houve uma superestimativa, algumas feições altamente parecidas com queimadas foram consideradas queimadas durante a classificação.

Segundo Quintano *et al.*, (2011) a variedade dos alvos incluída na resposta espectral que compõe cada *pixel* dependerá da resolução espacial de cada sensor, sensores com alta resolução tem uma maior probabilidade de serem formados pela resposta de alvos únicos ou puros. Imagens de *Landsat* são utilizadas para a validação da classificação e análise de acurácia por matriz de confusão, como observado por Quintano *et al.*, (2011), devido sua boa resolução e confiabilidade. A região não regularizada torna difícil o monitoramento e registro de incêndios através do ROIs, mesmo sendo uma região com menores índices de incêndios, como mostrado por Ibama (2007) detectando focos de calores. Nessas áreas, pequenos incêndios são frequentes devido a presença de propriedades rurais, estradas, cursos de água e um terreno acidentado dificultando a propagação do fogo, certamente pequenos incêndios não podem ser contemplados pelas imagens NOAA detectando focos de calor.

Através da presente pesquisa foi calculado a maior área queimada para cada ano, obtida através do maior polígono encontrado, assim como o número de ocorrências (número de polígonos) e a média queimada para cada ano. Esses dados encontram-se nas Figuras 17 e 18.

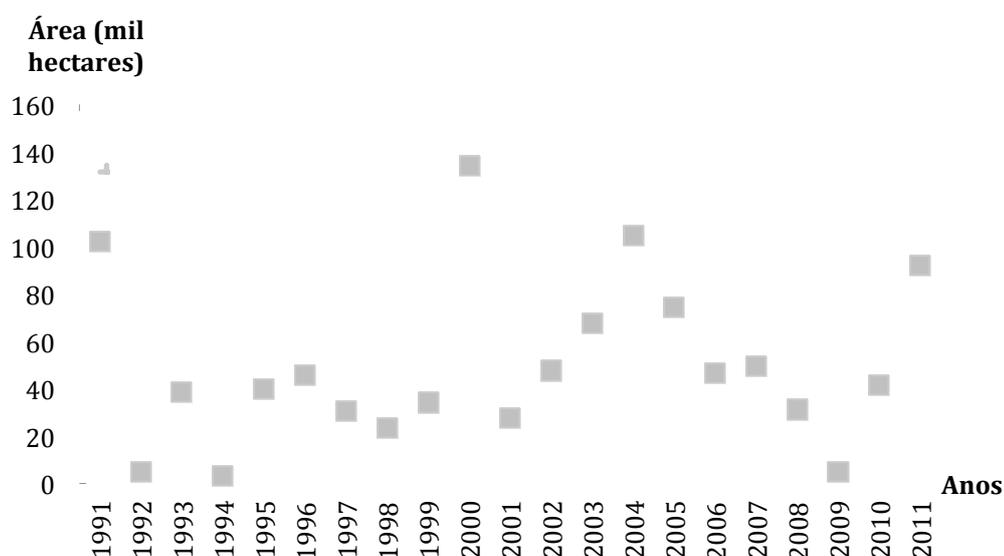


Figura 17: Maior área queimada para cada ano (máximos), no Parque Nacional Serra da Canastra.

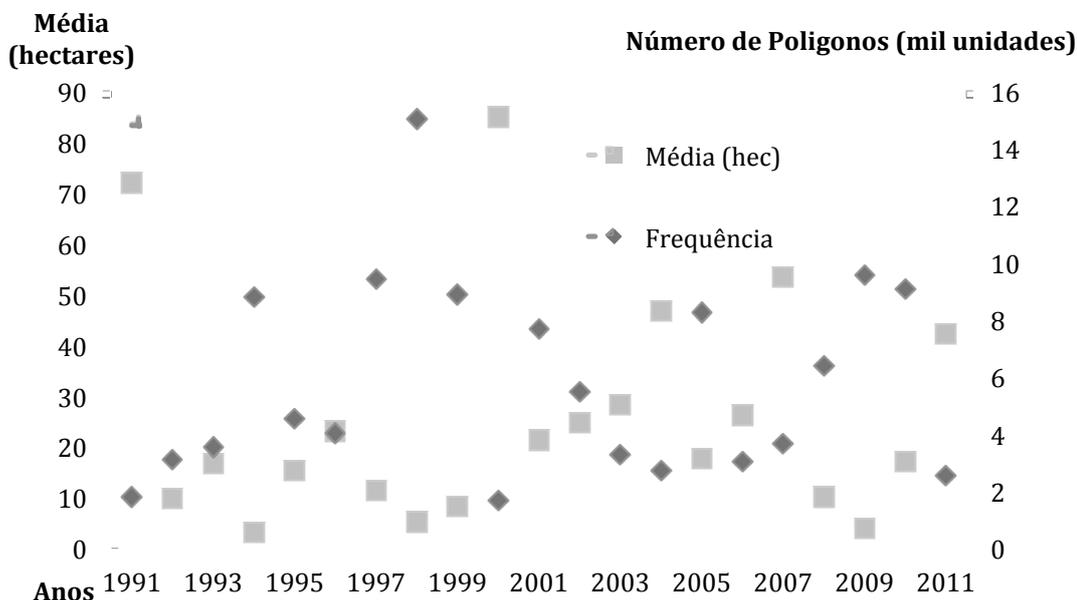


Figura 18: Média das áreas e frequência de queimadas por ano no Parque Nacional Serra da Canastra.

Para os anos que apresentaram uma alta média e baixos valores de frequência, isso pode indicar que houve grandes incêndios, provavelmente mais severos e duradouros. Se comparado essa avaliação da média/frequência com área total queimada para os anos de 1991, 2000, 2004, 2007 e 2011, todos foram considerados anos de elevada área total queimada indicando a contribuição de grandes incêndios, exceto em 2011 onde se observou uma área total queimada relativamente média. A contabilidade de pequenos e médios incêndios causados em 2011 causou estragos semelhantes (em área total queimada) aos dos anos 1991, 2000, 2004 e 2007.

Em Silva (2011) para uma área menor o número de polígonos encontrados foi abaixo de 6 mil unidades, indicando uma boa classificação das cicatrizes de fogo, pois quanto mais nós são adicionados à árvore de decisão mais classes são geradas e mais fica dividido tanto em áreas não queimadas como algumas manchas dentro das queimadas, indicando para o software como sendo uma nova queimada, porém maior é a precisão e identificação das queimadas pela classificação, otimizando a discriminação de dados semelhantes.

O ano de 2000 e 2004 apresentaram a maior mancha queimada detectada pela pesquisa. Em 1994, 1998, 2001, 2005 e 2009 surgiu uma área total queimada

aproximadamente mediana porém, baixas médias e altas frequências indicando incêndios menores e mais rápidos. Ambos o incêndios de pequeno porte e/ou grande porte são importantes para causar incêndios em grandes proporções para toda a área, como é o caso dos anos 1991 e 2001.

7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a junção das imagens das duas órbitas, com a técnica de *mosaic to new raster*, algumas imagens foram bastante complicadas devido ao fato de algumas terem mais classes que outras, por causa da presença de nuvens ou sazonalidade das imagens necessitando de uma melhor classificação pela árvore de decisão. Algumas classificações apresentaram a mesma cor para área queimada de uma imagem e área não queimada da outra imagem, isso gerou dificuldades nas elaborações dos mapas da área queimada (em anexo), porém através de seu *GRIDCORE* (Valor atribuído a cada polígono durante a classificação), pode-se estimar a área com maior precisão, visto que para cada imagem e classe era conhecido o *GRIDCORE*.

A comunicação entre os *softwares ENVI e ArcGis* também trouxe algumas complicações, pois a comunicação entre eles deve ser exata e demanda muito conhecimento dos *softwares* para o formato correto da imagem, para sua classificação, junção, recorte, análise das áreas, e interpolação dos resultados. Porém, foi solucionada com a gravação das imagens classificadas como arquivo formato *ERDAS*, assim seus atributos puderam ser abertos pelo *ArcMap (ArcGis)*.

Com a análise visual dos mapas gerados (em anexo), não houve diferenças significativas entre a quantidade de área queimada na região regularizada e na região não regularizada, evidenciando a falta de cuidados tanto por parte dos proprietários como por parte do plano de manejo do Parque, visto que para algumas pesquisa a área de maior ataque do fogo é a região regularizada.

A intensidade do fogo observada na pesquisa ataca de forma equivalente ambas as áreas, porém devido ao terreno mais plano, e com menores ocorrências de cursos de água e afloramentos rochosos as áreas queimadas possuem maiores extensões e menos complicações para sua propagação, causando maiores estragos.

Porém em muitas imagens na região do Chapadão da Babilônia (região não regularizada) houve a presença de grandes incêndios (em anexo) contornando cursos

de água, matas de galerias, afloramentos rochosos, e aceiros criados por proprietários e pela administração do parque, devido ao terreno acidentado sua propagação nessa área é mais rápida.

7.4. ANÁLISE DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO E TESTE DE ACURÁCIA

A classificação se mostrou bem satisfatória e com resultados bastante confiáveis, as áreas queimadas foram bem distinguíveis do restante da paisagem, mesmo com grandes dificuldades devido a presença de pequenas propriedades realizando tratos em pastagens, solo exposto, exposição de rochas, sombras de relevos, sombras de nuvens, e terreno acidentado nas bordas da chapada. A transformação ACP juntamente com a classificação por árvore de decisão se mostraram eficientes para classificação de queimadas. As duas imagens (Figura 19) demonstram a classificação da imagem e seus resultados visuais.

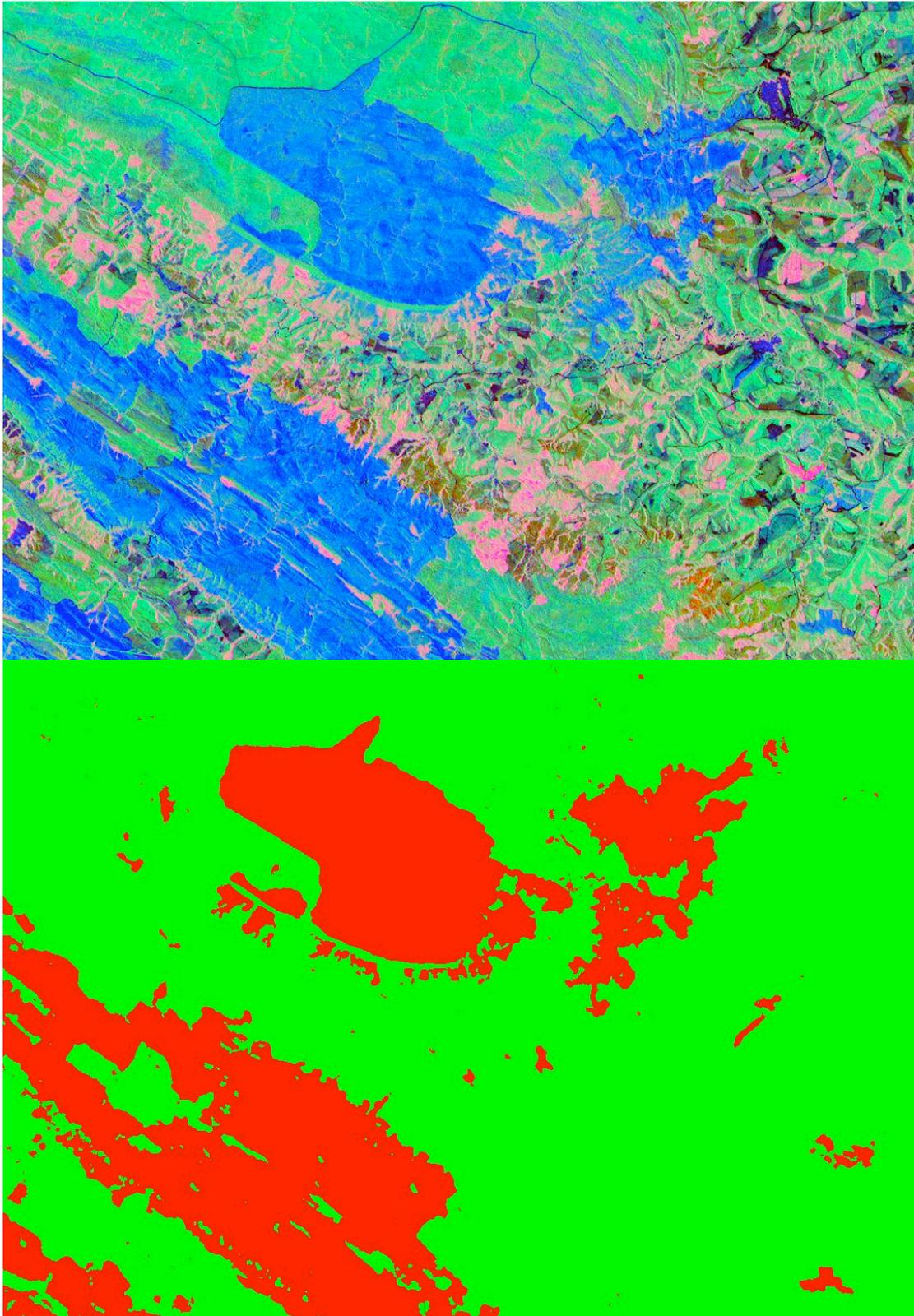


Figura 19: Acurácia do método, confiança visual entre áreas queimadas e áreas classificadas.

Na Figura 19 as áreas de tons rosa ou roxos foram classificadas como áreas não queimadas devido se tratarem de solos e rochas expostos, ou rochas em presença

de umidade, a reflectância entre esses locais é muito parecida, porém após a transformação das bandas em CPs pode-se diferenciar com grande nitidez essas regiões, indicando a áreas azuladas como áreas queimadas.

Foi calculado através da matriz de confusão a acurácia global, erros de comissão e omissão, acurácia global do produtor e acurácia global do usuário. As Tabelas 12, 13, 14 e 15 indicam para cada classe seus respectivos valores para cada acurácia calculada. De modo geral houve uma superestimativa em 17,97 % das áreas queimadas, no entanto atendeu 0 % de erros de omissão. Acurácia global calculada foi de 93,98 % e número *Kappa* 92,15 %, considerada uma classificação excelente (0,8 – 1,0), de acordo com Oliveira *et al.*, (2010) *apud* Nahas *et al.*, (2009).

Tabela 12: Matriz de confusão calculada por número de *pixels* analisados (A.G. 0,9398 /*Kappa* 0,9215).

Verdade de Campo Classe	Número de <i>Pixels</i>		
	Classificação		
	Não Queimado	Queimado	Total
Não Queimado	8565716	0	8565716
Queimado	758652	3294804	4053456
Total	4220898	3294804	12619172

Tabela 13: Matriz de confusão calculada em porcentagem (A.G. 0,9398/*Kappa* 0,9215).

Verdade de Campo Classe	Porcentagem		
	Classificação		
	Não Queimado	Queimado	Total
Não Queimado	82,03	0	67,88
Queimado	17,97	100	32,12
Total	100,00	100,00	100,00

Tabela 14: Erros de comissão e omissão.

Classe	Comissão (porcentagem)	Omissão (Porcentagem)
Não Queimado	0.00	31.18
Queimado	18.72	0.00

Tabela 15: Acurácia global do produtor e usuário.

Classe	Produtor (percentagem)	Usuário (percentagem)
Não Queimado	27.24	100.00
Queimado	100.00	81.28

Não foram registrados erros de omissão das regiões queimadas. Como os dados deram superestimados, nenhum incêndio deixou de ser detectado, porém foi observado erros de 18% de comissão, com base na imagem em ACP tomada como realidade.

7.5. MAPA DE RECORRÊNCIA DOS INCÊNDIOS NO PARQUE NACIONAL SERRA DA CANASTRA

As Figuras 20 e 21 ilustram os mapas de recorrência de incêndios. Foram elaborados dois mapas devido a grande escala de tempo na pesquisa. O primeiro enquadra os anos 1991 a 2000, onde foram encontrados relativamente menores valores para área total. O segundo período compreende de 2001 a 2011, neste segundo observa-se um aumento de áreas de recorrência e de risco.

Houve um aumento da recorrência de incêndio na região não-regularizada (Chapadão da Babilônia), onde possui uma maior concentração de recorrência de incêndio de 6 a 8 vezes na mesma área, em comparação ao observado no primeiro mapa. Para a região regularizada houve também um aumento prevalecendo 4 incidências de incêndios em 10 anos, enquanto no primeiro mapa cerca de nenhum incêndio foi observado.

Ambos os mapas possuem uma avaliação temporal de 10 anos, visto que não há imagens para 2002. A comparação entre esses mapas revela um comportamento diferente da década de 90 para as últimas década estudadas, um aumento considerável de recorrência em toda área do parque, tanto da região não regularizada como a região regularizada. Indicando forte influência tanto do entorno como no interior do parque por pressões antrópicas principalmente pedreiras e propriedades rurais.

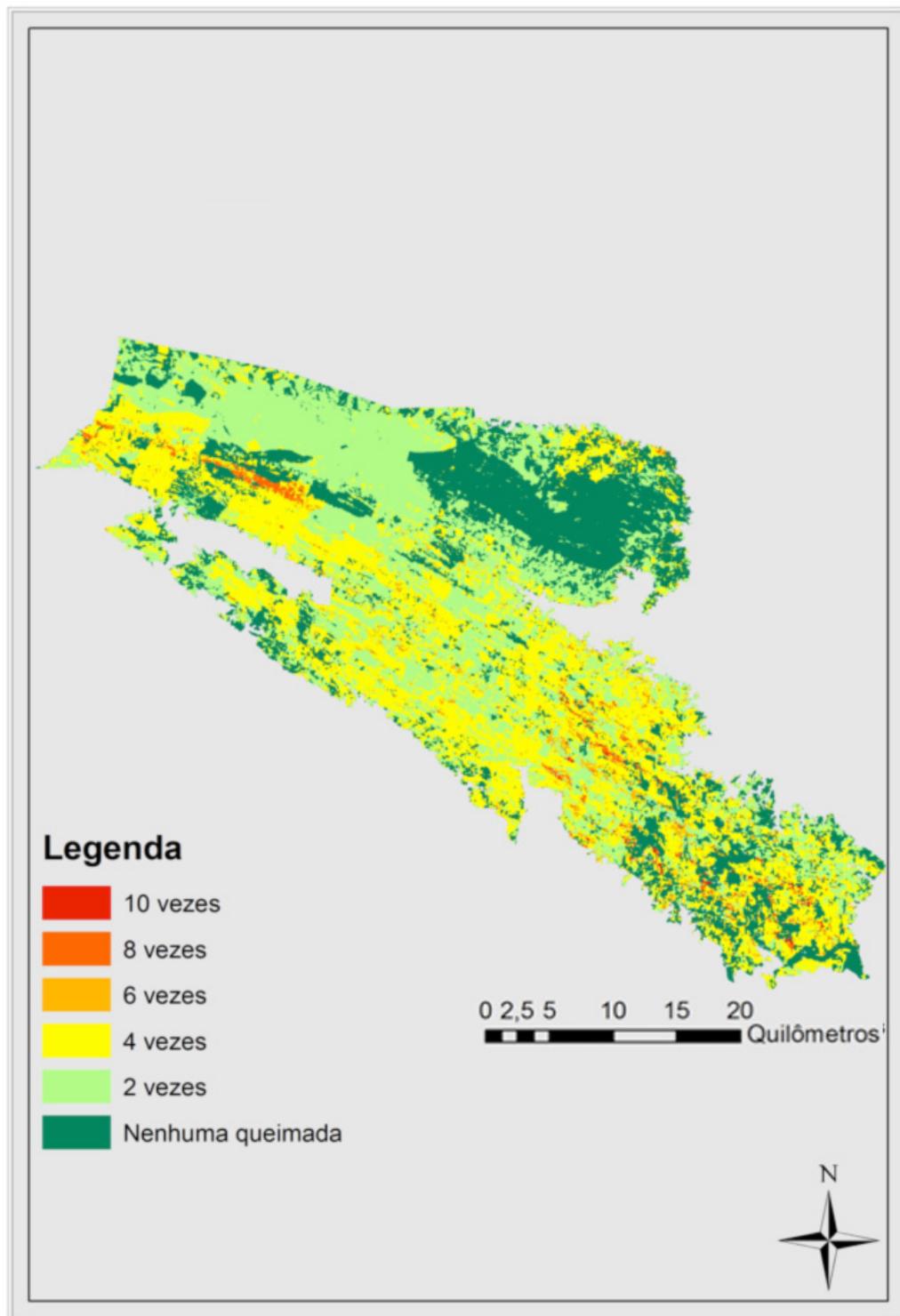


Figura 20: Recorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra para os anos de 1991-2000.

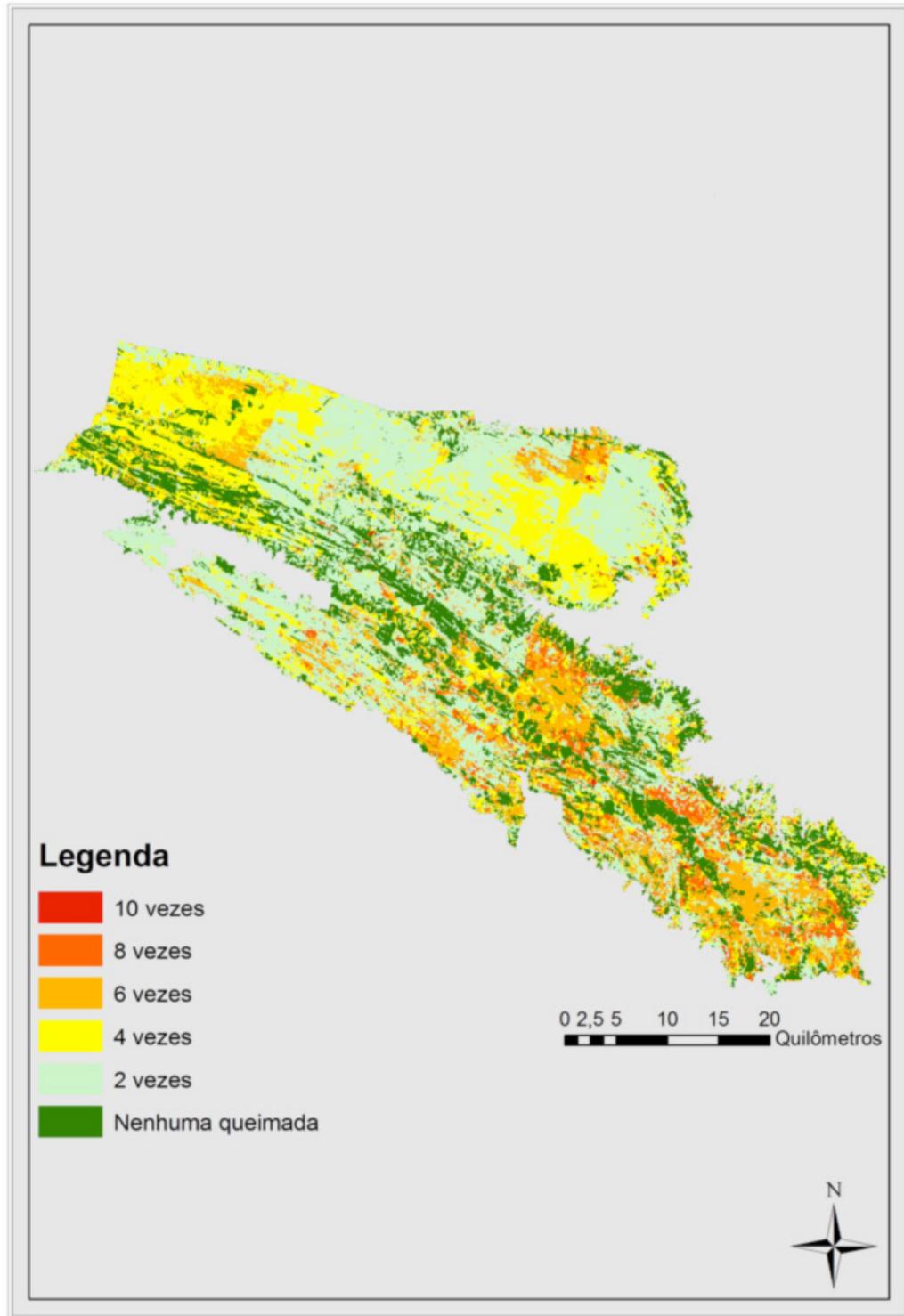


Figura 21: Recorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra para os anos de 2001-2011.

8. REVISITANDO AS QUESTÕES DE PESQUISA

Onde, quando e em que frequência ocorrem incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra-MG? Mapas em anexo, frequência também calculada para cada ano.

Quais os fatores que mais influenciam sua ocorrência? Presença de propriedades rurais e pedreiras no entorno e dentro dos limites do parque. Grandes incêndios indica presença de incendiários.

Existe algum padrão para ocorrência de incêndios? Sim a maioria se inicia ao redor do parque e acaba tomando partes centrais, a ocorrência de incêndios em um local num ano, desfavorece sua ocorrência novamente no próximo ano.

Existe alguma interação com atividades antrópicas ao redor ou dentro do parque com a ocorrência dos incêndios? Sim tanto ao redor como dentro do parque na parque não regularizada.

Houve um aumento dos incêndios? Sim, de acordo com os mapas em anexo, pode-se notar um aumento da área total, tanto em anos de grandes queimadas, como se comparado anos de poucas queimadas. Houve também um aumento da recorrência de incêndios da primeira década pra segunda analisada.

9. CONCLUSÕES

A técnica de classificação utilizada foi testada e confirmada sua acurácia, o mapeamento dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional Serra da Canastra dará maior suporte para realização de pesquisas relacionadas aos fatores e risco de incêndio na área, e elaboração de um plano de combate e manejo do fogo.

Apesar de outros estudos anteriores apresentarem uma menor incidência de incêndios na região não regularizada do parque, na presente pesquisa verificou-se praticamente a mesma intensidade de ocorrência para ambas as áreas. Houve também um aumento da recorrência de incêndios da década de 90 para as últimas décadas avaliadas, assim como maiores recorrências para a região não regularizada. Foram observadas áreas queimadas superiores aos estudos comparados. Este estudo dará maiores suporte ao plano de combate e manejo do fogo no PNSC.

Obteve-se um maior entendimento do comportamento do fogo, e seu regime no PNSC. As imagens da área são de difícil manuseio devido ao terreno com exposições de solo e rochas, com presença de propriedades, e se encontrarem em duas órbitas. Obteve-se um entendimento imprescindível ao estudo das relações do fogo com o cerrado. Aplicando-se ainda grandes conhecimentos para elaboração do mapa de risco, conscientização da população e manejo do Parque.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, K., M., A., DA & NÓBREGA, R., S. Uso De Dados Climáticos Para Análise Espacial De Risco De Incêndio Florestal. **Mercator**, v. 10, n. 22, p. 209-219, Fortaleza, mai./ago, 2011.

ANDERSON, L., O., *et al.* Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**. - 445 VOL. 35(4) 2005: 445 – 456. 2005.

BATISTA, A., C. Mapas de risco: uma alternativa para planejamento de controle de incêndios florestais. Curso de Engenharia Florestal – **Revista Florestal** 30(1/2): 45-54. 2004.

BATISTA, A.C. Detecção de incêndios florestais por satellite. **Revista Floresta** 34, , 237-241, Curitiba, Pr. Mai/Ago, 2004.

BIANCHINI, GERMÁN, *et al.* Wildland Fire Risk Maps using S2F2M. *JCS&T*. Vols. 5, N.º 4 MEyC-Spain, 2005.

BOTELHO, H. & A. SALGUEIRO. Aspectos Meteorológicos e Topográficos Com Influencia no Comportamento do Fogo”. **In A técnica do Fogo Controlado** (Ed.), pp. 27-33. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1990.

BUNTING, S. Os Efeitos do Fogo nos Ecossistemas. **In A técnica do Fogo Controlado** (Ed.), pp. 35-45. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1990.

CARVALHO, PAULO ALEXANDRE C. F. Modelação do risco de incêndio florestal com redes neuronais artificiais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho. 173f. **Tese (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica)** – Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2005.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, 2000.

CIPRIANI, H. N.; PEREIRA, J., A.; SILVA, R., A.; FREITAS, S., G. & OLIVEIRA, T., (2011). *Fire Risk Map for the Serra de São Domingos Municipal Park, Poços de Caldas, MG*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 77-83, jan./mar, 2011.

COSTA, L. M. *et al.* (2010). **Classificação de queimadas na fitofisionomia do Pantanal Mato-grossense utilizando um algoritmo não paramétrico – Support Vector Machine (SVM)**. Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.744 -753

CROSTA, A.P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. **IG /UNICAMP**. 170p. Campinas – SP, 1992.

FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A.; MORAIS, A. R. Exatidão na classificação de fragmentos de matas em imagem do satélite Cbers-CCD, no município de Lavras, MG. Florianópolis - **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p. 887-894. 2007.

FRANÇA, H.; SETZER, A.W. AVHRR analysis of a savanna site through a fire season in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, 22 (13): 2449-2461. 2001.

FRANÇA *et al.* (2007). **O Fogo no Parque Nacional das Emas**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 40 p. : il. color ; 29,70cm. (Série Biodiversidade, v. 27) ISBN 85-7738-041-6.

GABBAN, A, SAN-MIGUEL-AYANZ, J E VIEGAS, DOMINGOS X. A comparative analysis of the use of NOAA-AVHRR NDVI and FWI data for forest fire risk assessment. **International Journal of Remote Sensing**. Taylor & Francis, Vols. 29, N.º 19. 2008.

GRANEMANN, D., C., & CARNEIRO, G., L. Monitoramento De Focos De Incêndio E Áreas Queimadas Com A Utilização De Imagens De Sensoriamento Remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia** ISSN 2176-7270. V. 1, No. 1, Pág. 55. Dez/2009.

IBAMA. **Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Disponível em: <<http://br.geocities.com/ibamapr/prevfogo.htm>>. 2000.

IBAMA. **Parque Nacional da Serra da Canastra: Plano de Manejo**. 828p. Brasília, Ministério do Meio Ambiente/IBAMA, 2005.

IBAMA. **Relatório de Ocorrência de Incêndios em Unidades de Conservação Federais 2006**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>>. Brasília, 2007.

IBAMA. **Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional Serra da Canastra**. MMA. Prevfogo. São Roque de Minas – MG. Abril, 2007.

JUNIOR, A., F., C., *et al.* Integração De Parâmetros Morfométricos E Imagem Aster Para A Delimitação Das Fitofisionomias Da Serra Da Canastra, Parque Nacional Da Serra Da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - v. 11, nº 1, 2010.

LIBONATI, RENATA *et al.* Assinatura Espectral de Áreas Queimadas em Produtos MODIS. **Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa (CGUL)** Campo Grande, Ed.C8, 1749-016, Lisboa, Portugal, 2006.

LIU, W. T. H. (2007). **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP. 881 p. 2007.

LORENZANO, T. G. (2002). **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

MAGALHÃES *et al.* Avaliação dos Incêndios Florestais Ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra - Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 135-141, jan./mar. 2012.

MATRICARDI, E. A. T., D. L. SKOLE, M. A. COCHRANE, M. PEDLOWSKI, W. CHOMENTOWSKI, L. FERNANDES. *Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery*. **Remote Sensing of Environment** 114: 1117-1129, 2010.

MEDEIROS, M.B. Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas, em campo sujo. **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)**. p. 122. Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MIRANDA, H.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MIRANDA, A. The fire factor. In: Oliveira, P.S.; Marquis (ed.) **The cerrados of Brazil**. New York, Columbia University Press, p.51-68. 2002.

MORGAN, P. Objetivos do Fogo controlado nos Estados Unidos. In **A técnica do Fogo Controlado**. (Ed.). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 13-17. 1990.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2. ed.: Editora Edgard Blücher Ltda, 308 p. São Paulo, 1998.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Edgard Blucher, 3ª edição revista e ampliada. São Paulo, 2008.

OLIVEIRA *et al.* Aplicação do Classificador Support Vector Machine (SVM) no Mapeamento de Áreas Queimadas no Pantanal Mato-Grossense por Imagens Landsat TM. **Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.725 -734. Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010.

PEREIRA, M. C. ; Setzer, A. W. Spectral Characteristics Of Fire Scars In Landsat-5/Tm Images Of Amazonia. INT. **JOURNAL REMOTE SENSING**, EUA, v. 14, n. 11, p. 2061-2078, 1993.

PRUDENTE, T., D., (2010). Geotecnologias Aplicadas Ao Mapeamento De Risco De Incêndio Florestal No Parque Nacional Da Chapada Dos Veadeiros e Área De Entorno. **Dissertação de Mestrado** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, MG - Instituto De Geografia, 2010.

RAMOS-NETO, M. B.,(2000) O Parque Nacional das Emas (GO) e o Fogo: Implicações para a Conservação Biológica. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2000.

REMMEL, T. K.; PERERA, A. H. *Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection*. **Forest Ecology and Management** 152:119-129, 2001.

RIBEIRO, L. *et al.* Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v. 38, n. 3, Curitiba, PR, 2008.

RIGOLOT, E. Combustíveis. In: REGO, F. C. & BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Trás-Os-Montes: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 1990. p.35-38.

RIVERA-LOMBARDI, R.J.; KRUG, T.; SANTOS, J.R. Permanência média de cicatrizes do fogo em diferentes tipos fisionômicos do cerrado brasileiro, utilizando

dados do sensor TM/Landsat. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p. 3269-3276 Goiânia, 2005.

ROBINOVE, C., J. *Computation with physiccals values from Landsat digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.48, p.781-784, 1982.

RODRIGUES, M., M., T. Integração das Variáveis de Natureza Social na Avaliação do Risco de Incêndio Florestal na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro. **Tese de Mestrado** em Gestão e Conservação da Natureza - Instituto Politécnico de Bragança - Bragança, Janeiro de 2009.

ROMERO, R., & NAKAJIMA, J., N. Espécies endêmicas do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. **Revista Brasil. Bot.**, V.22, n.2(suplemento), p.259-265, São Paulo, out, 1999.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. 104 p. Uberlândia: EDUFU, 1996.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, C. V. J. Avaliação Espaço-Temporal dos Incêndios Florestais no Distrito Federal entre 1999 e 2010. **Monografia** em Sensoriamento Remoto, Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2011.

SHIBA, M. H.; SANTOS, R. L.; QUINTANILHA, J. A.; KIM, H. Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. In: **12º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p. 4319-4326. Goiânia, 16-21/abril/2005.

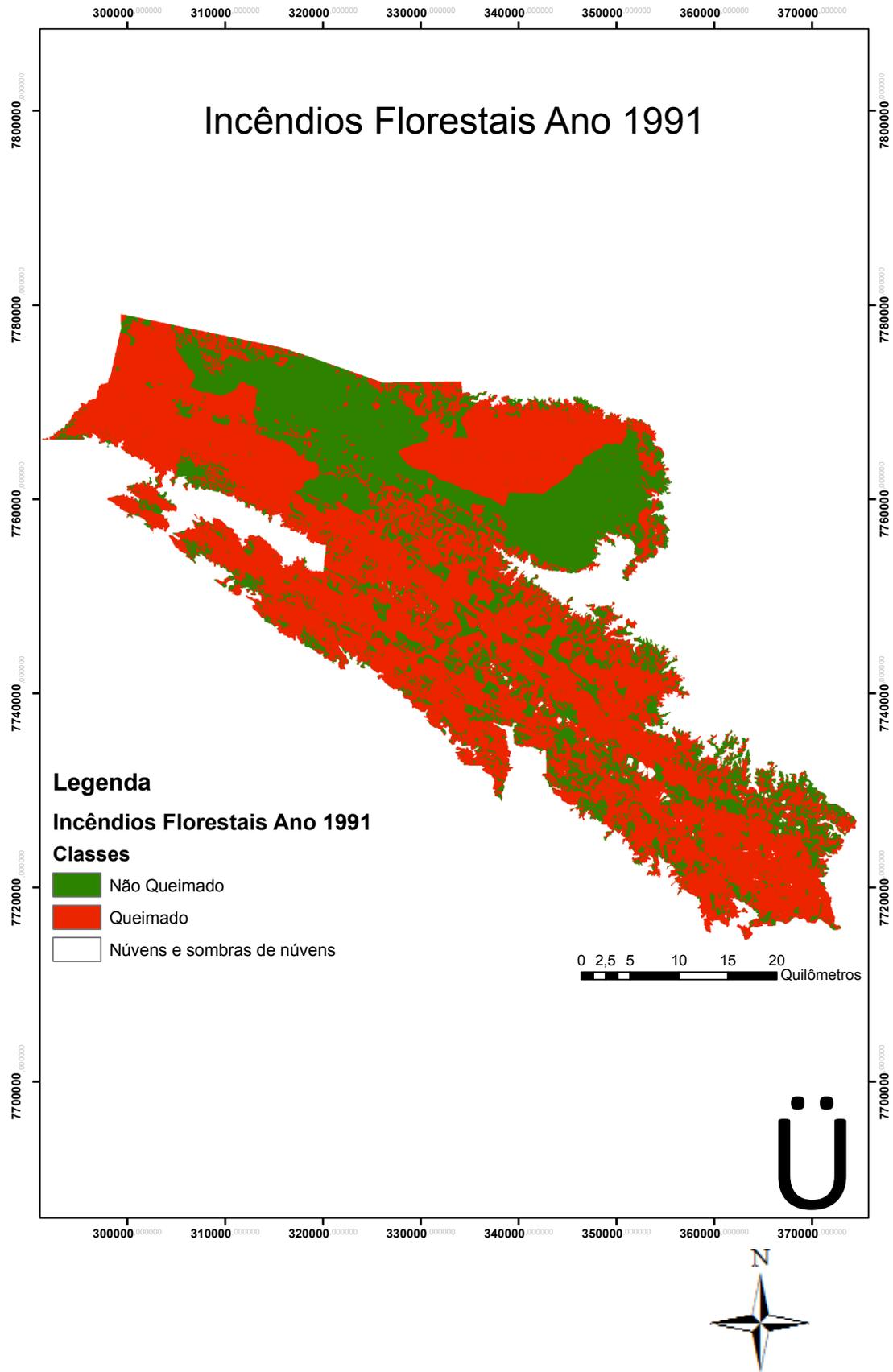
SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais - Controle, Efeitos e Uso do Fogo**. 250p. Curitiba: FUPEF, 2007.

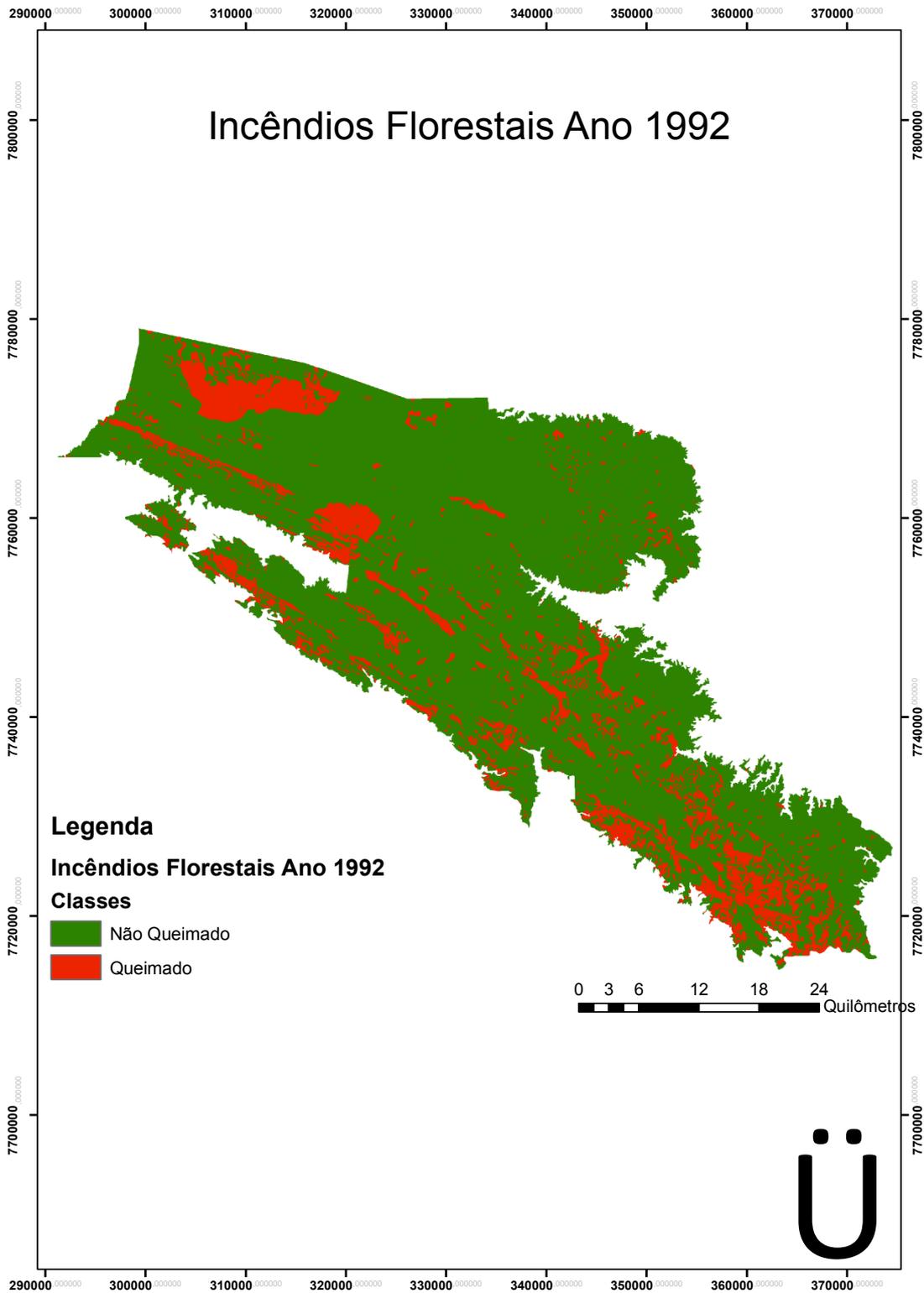
SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil. **Floresta**, v. 32, n. 2, p. 219-232. Curitiba, 2002.

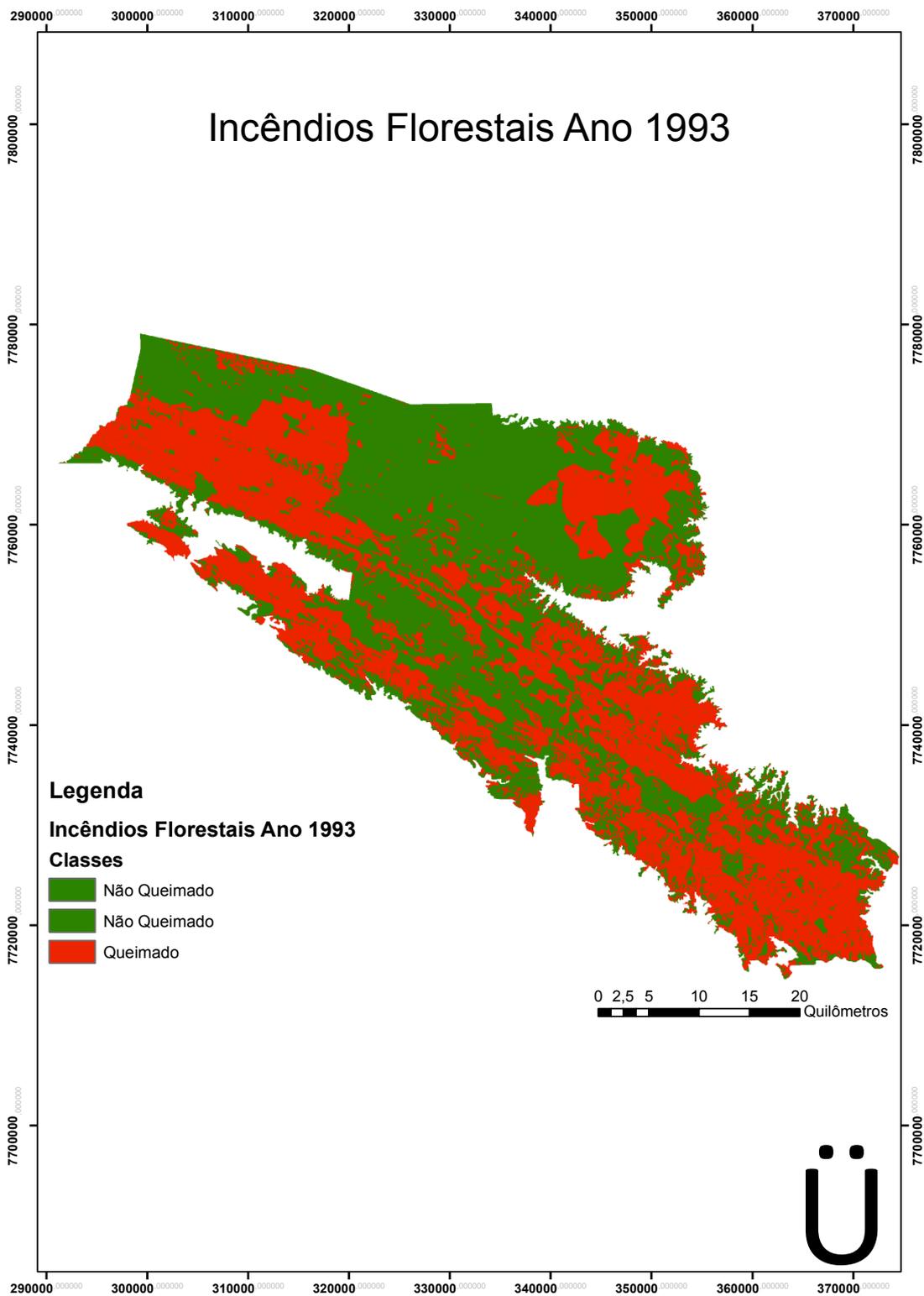
SOUZA, J., CARLOS, L. FIRESTONE, SILVA, L. M., & ROBERTS, D. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, 87(4), 494-506. 2003.

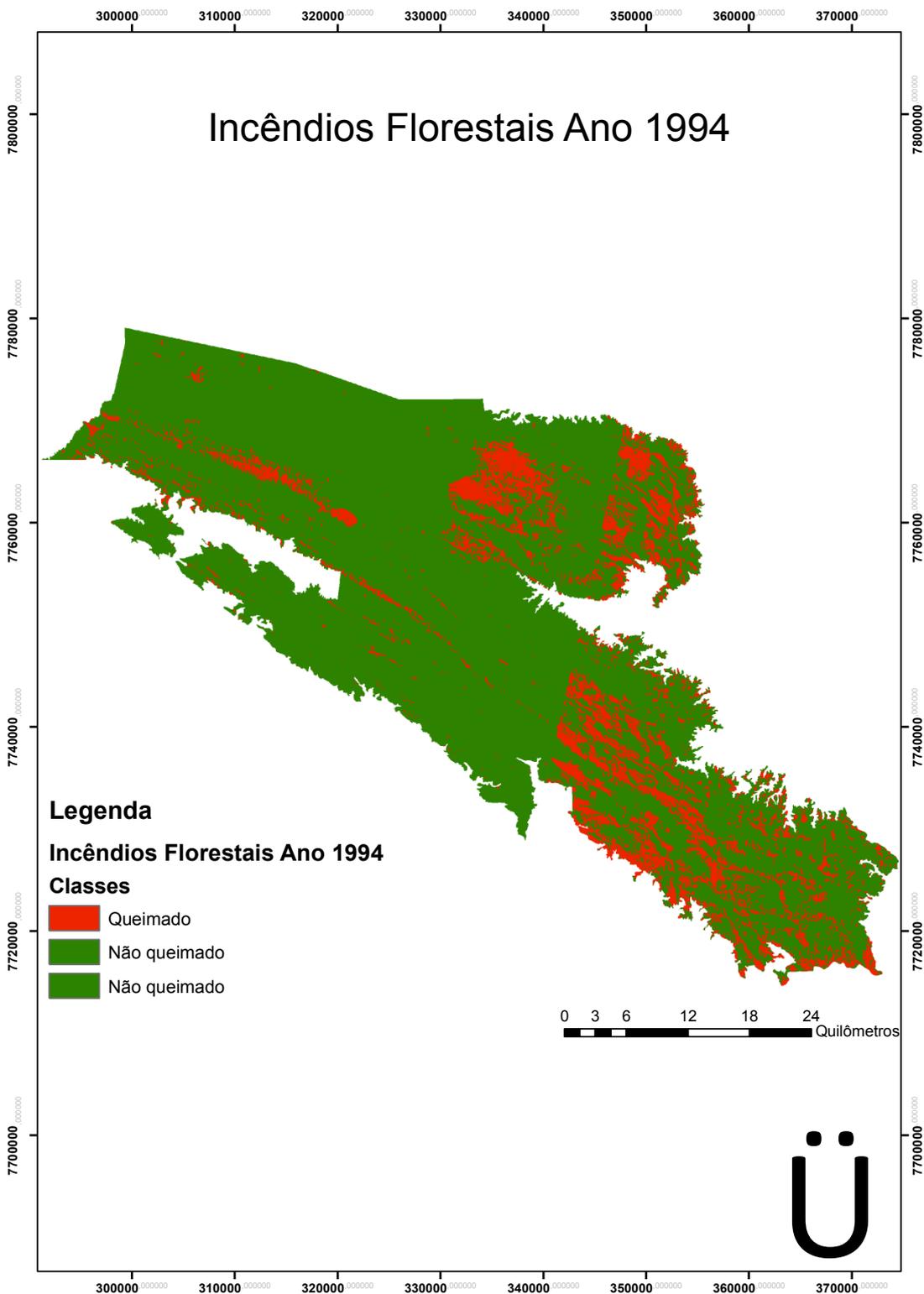
SOUZA, S. F.; ARAÚJO, M.S.B.; GALVÍNCIO, J.D. Mudanças do uso da terra no município de Serra Talhada-PE utilizando análise por componentes principais (ACP). **Revista de Geografia**, v. 24, n. 3. Recife, set/dez 2007.

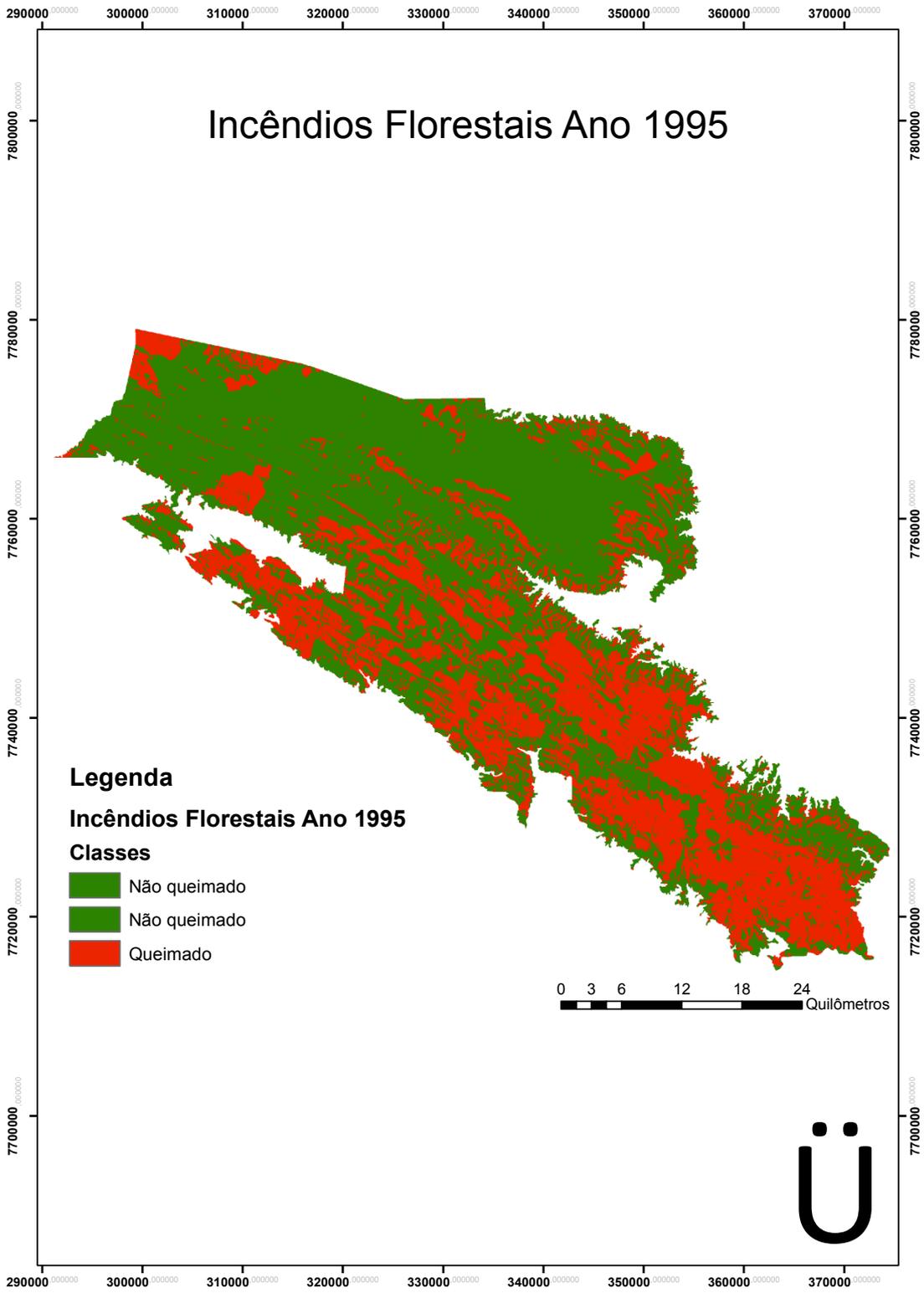
11. ANEXOS





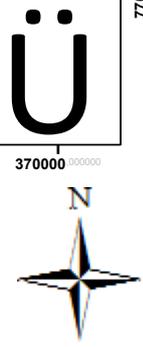
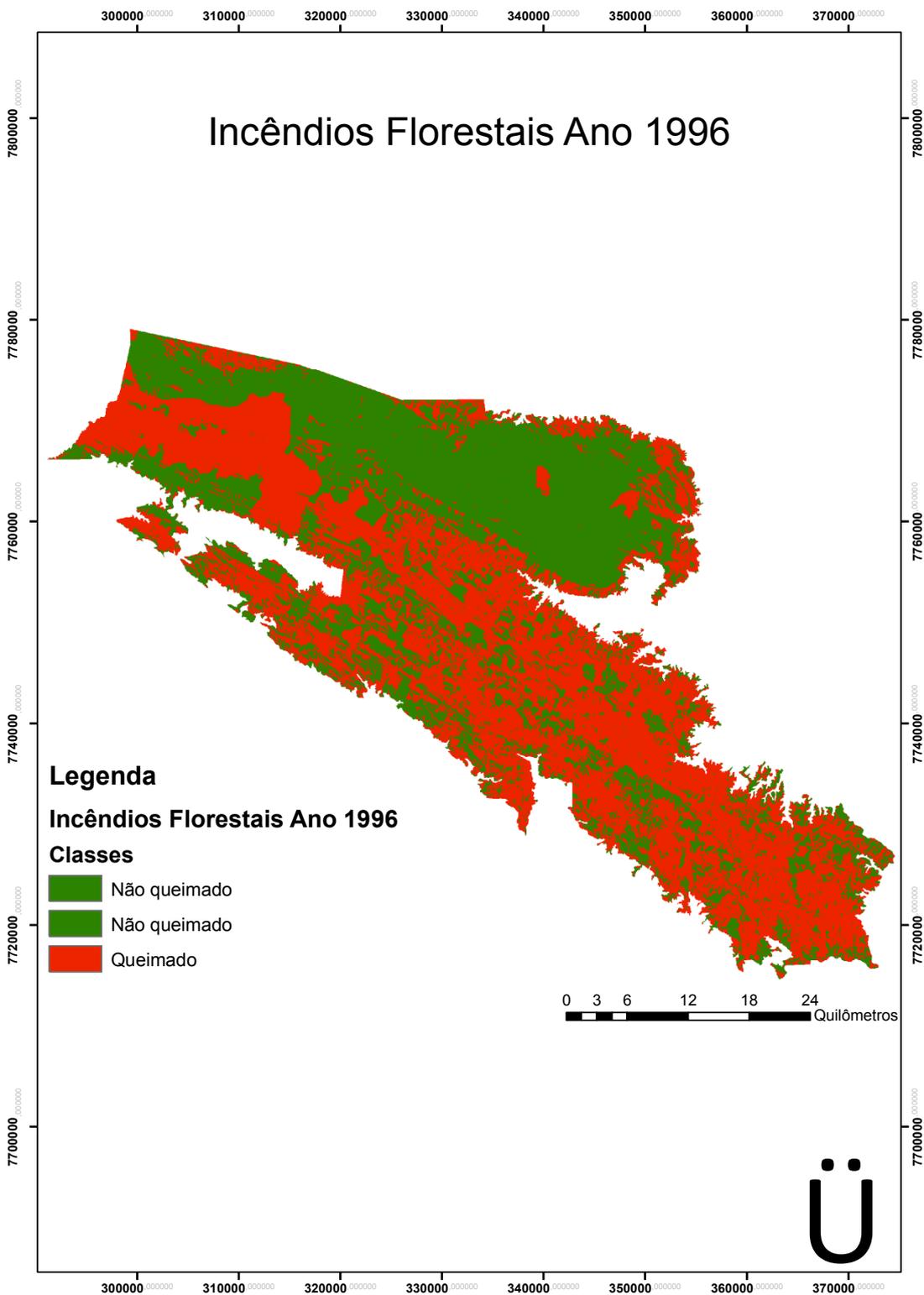


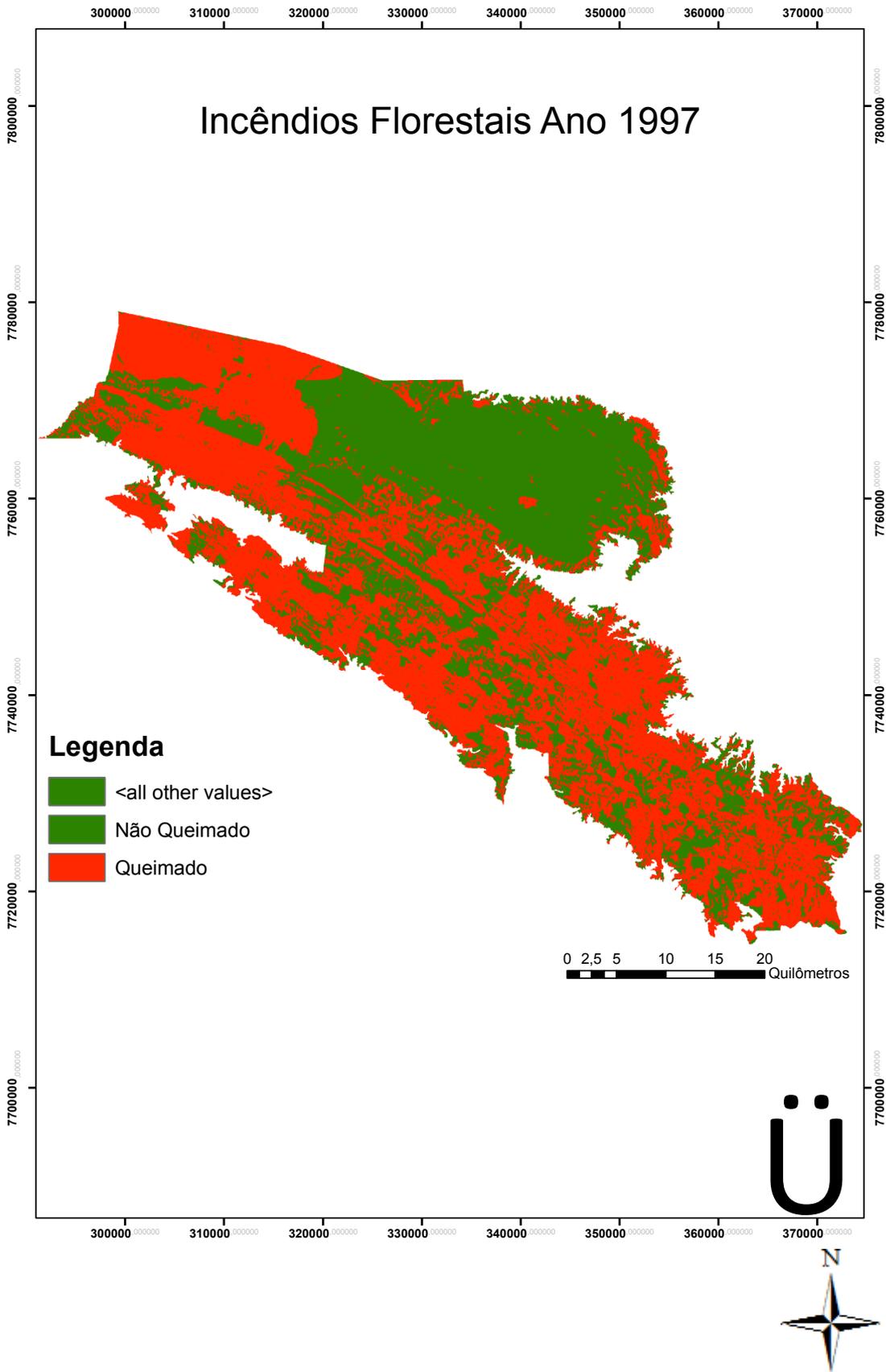


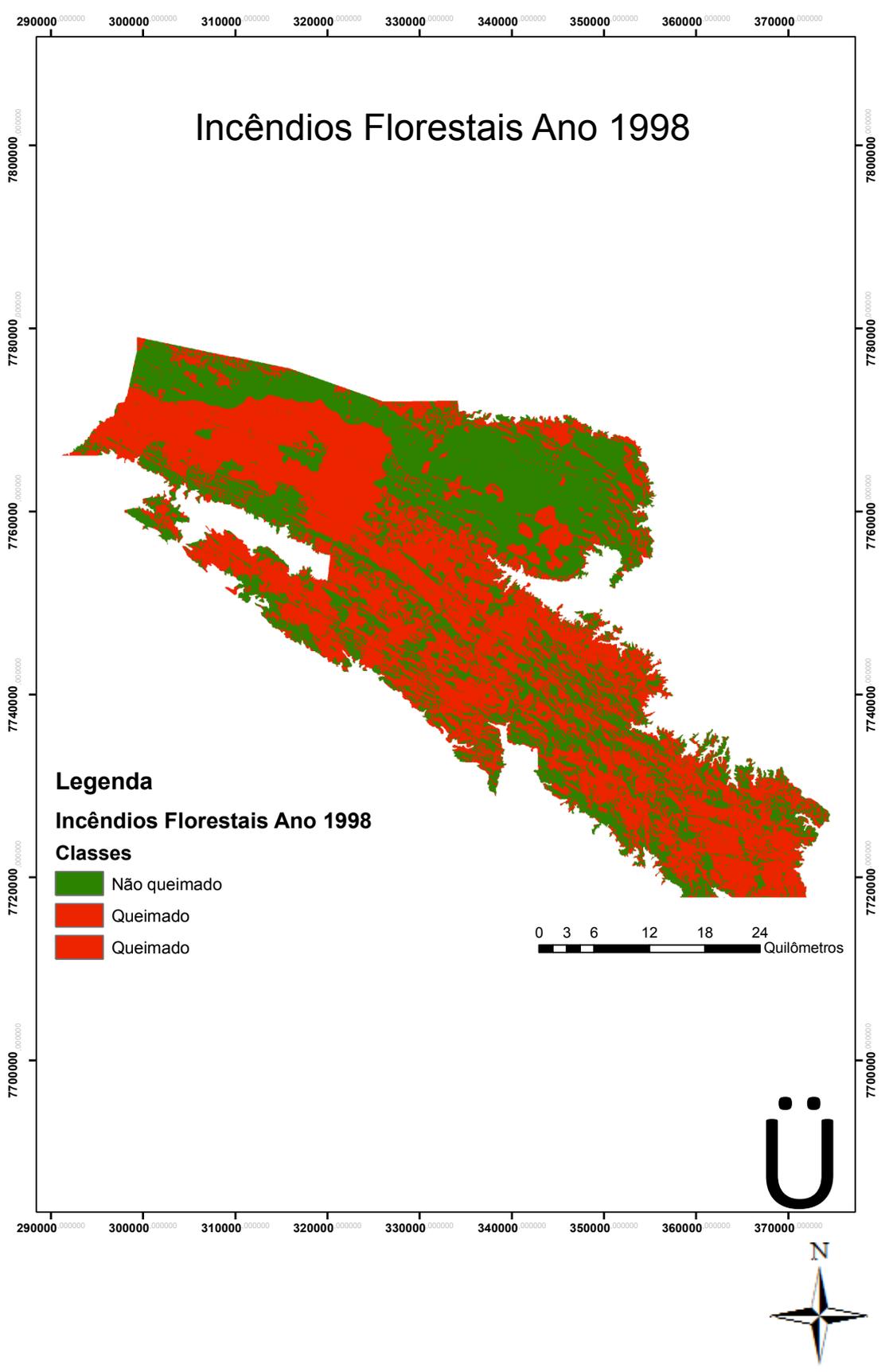


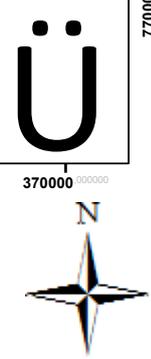
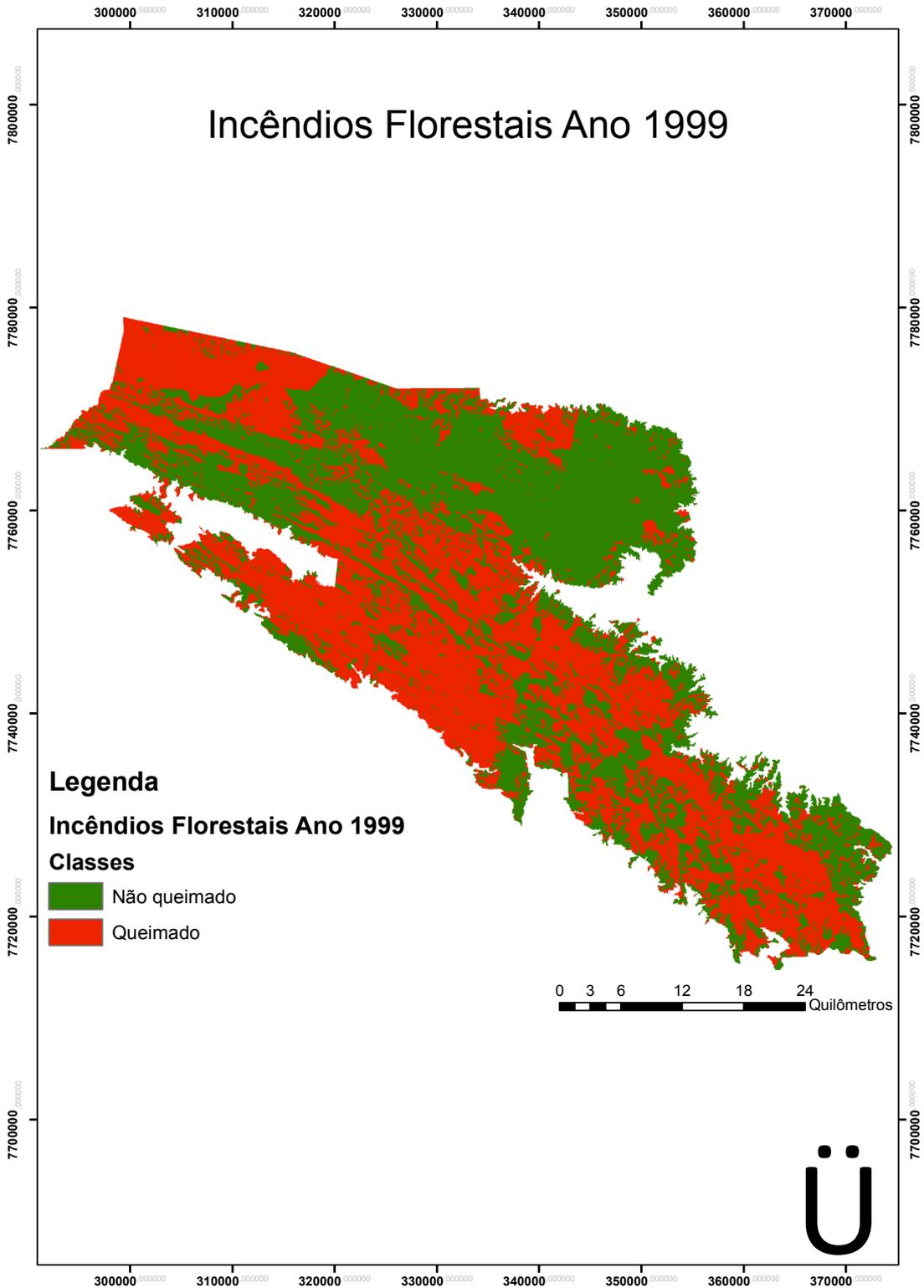
Ü

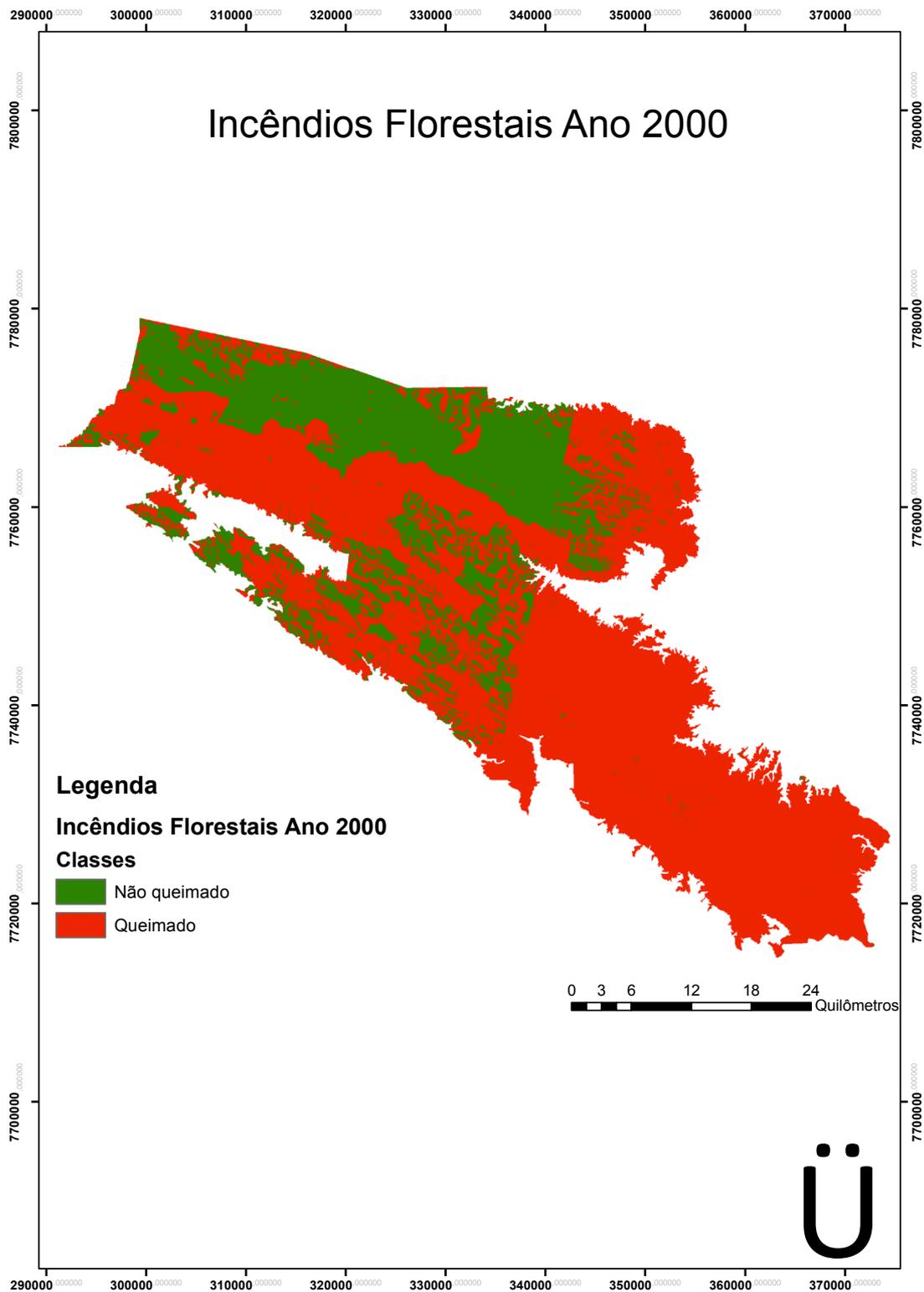


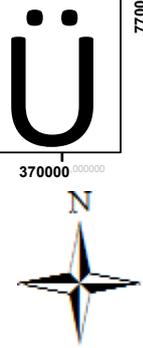
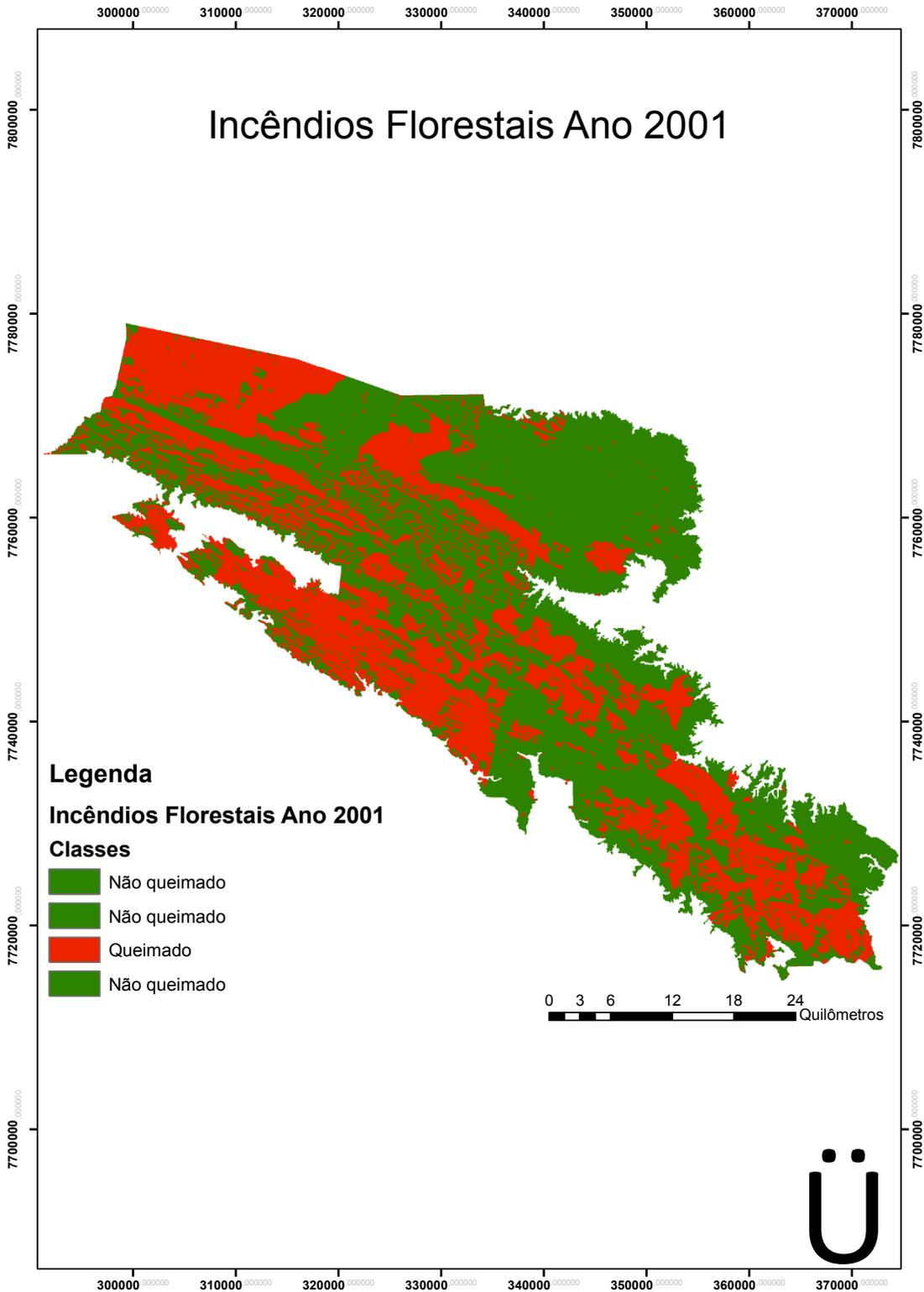




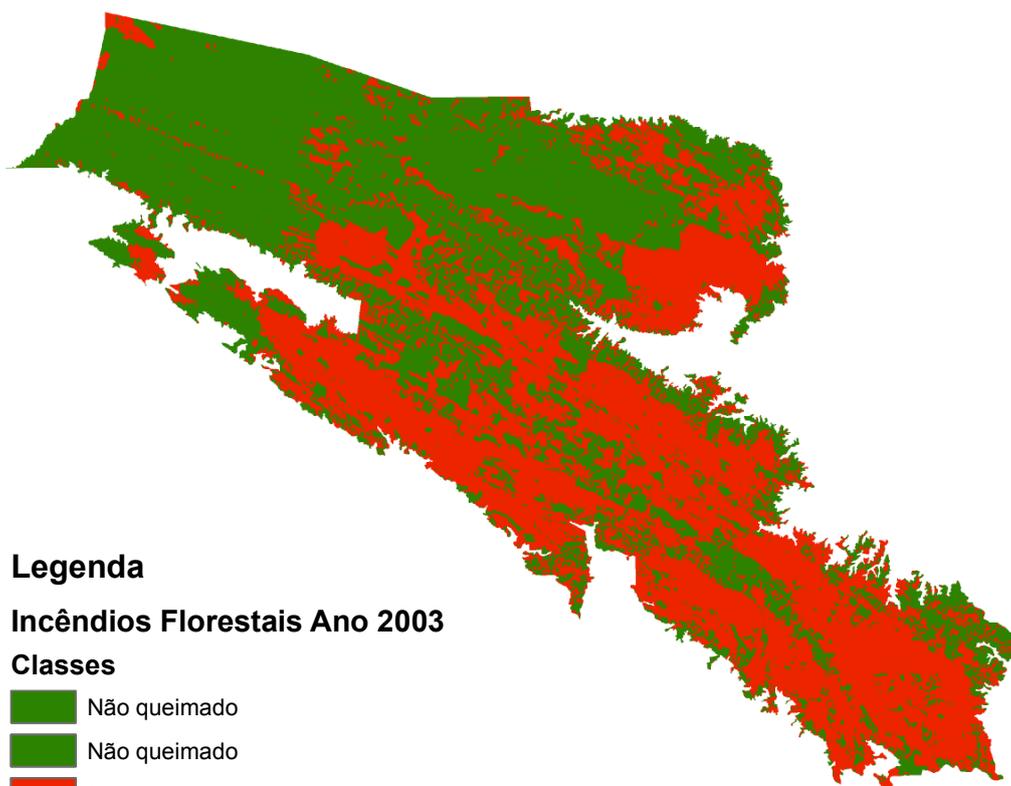








Incêndios Florestais Ano 2003



Legenda

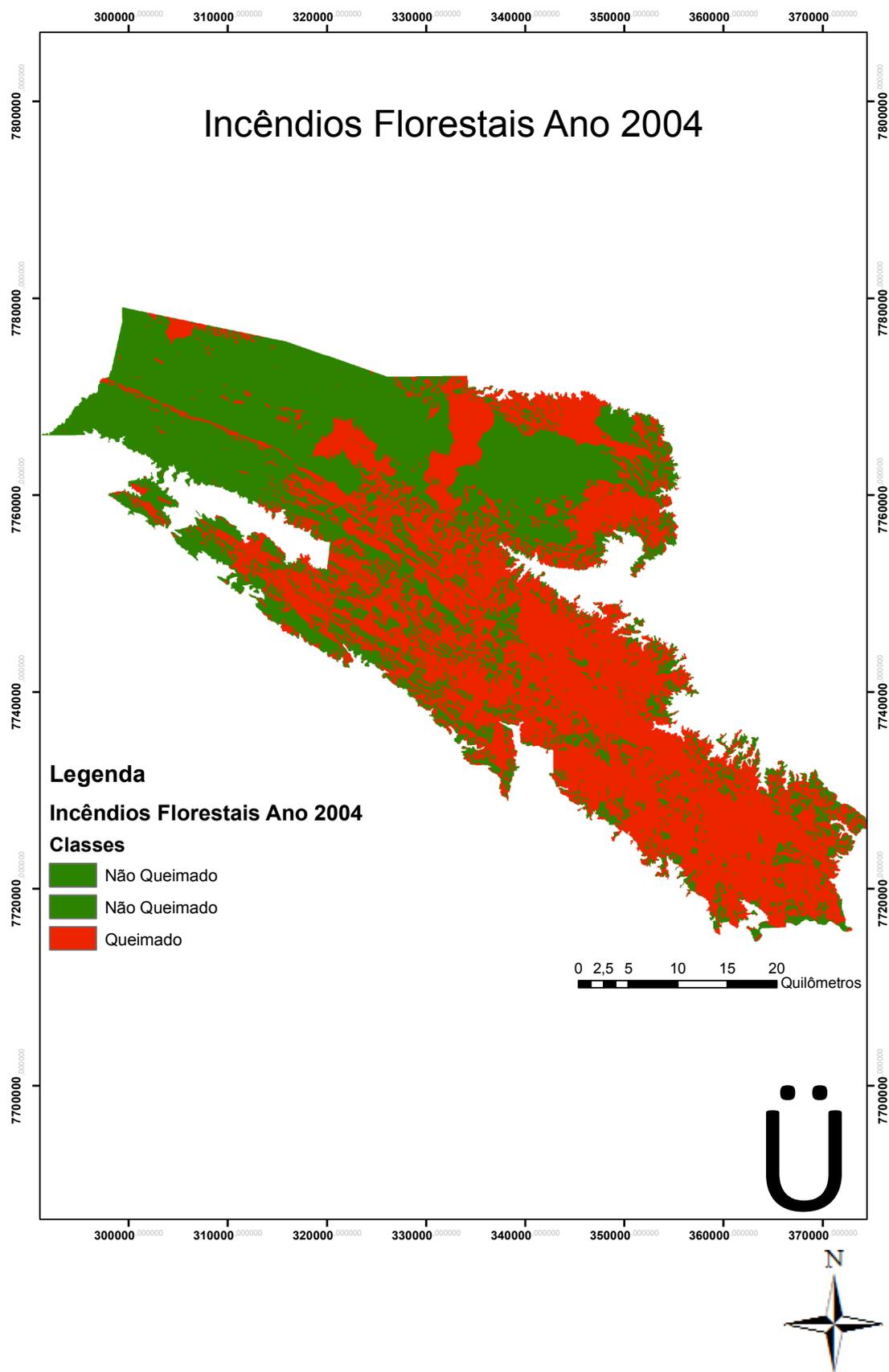
Incêndios Florestais Ano 2003

Classes

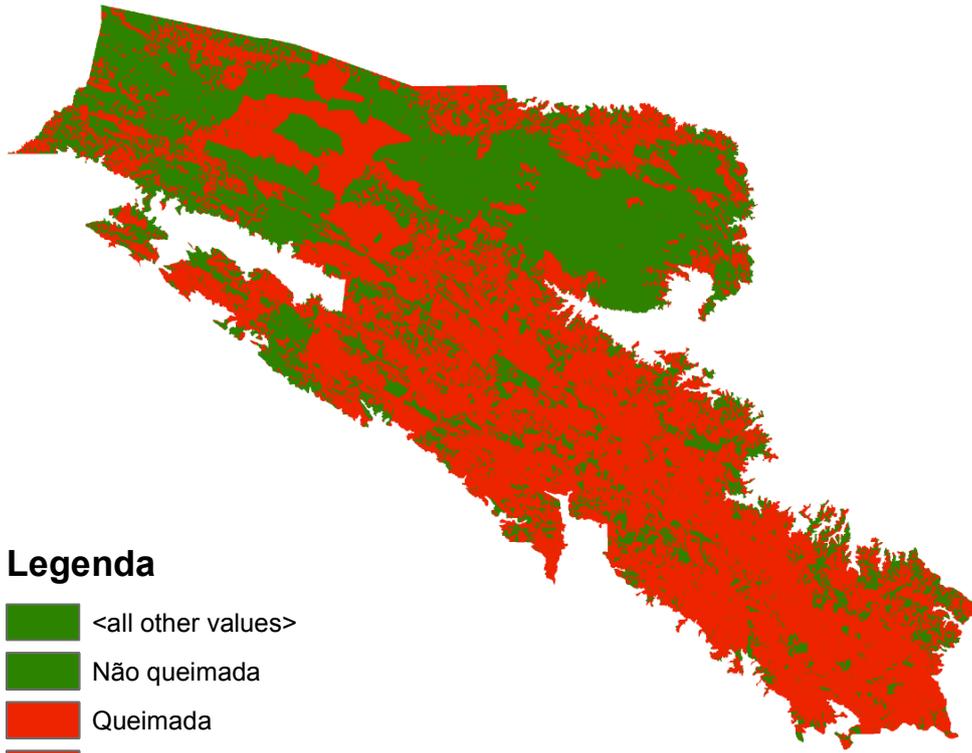
-  Não queimado
-  Não queimado
-  Queimado

0 3,75 7,5 15 22,5 30 Quilômetros





Incêndios Florestais Ano 2005



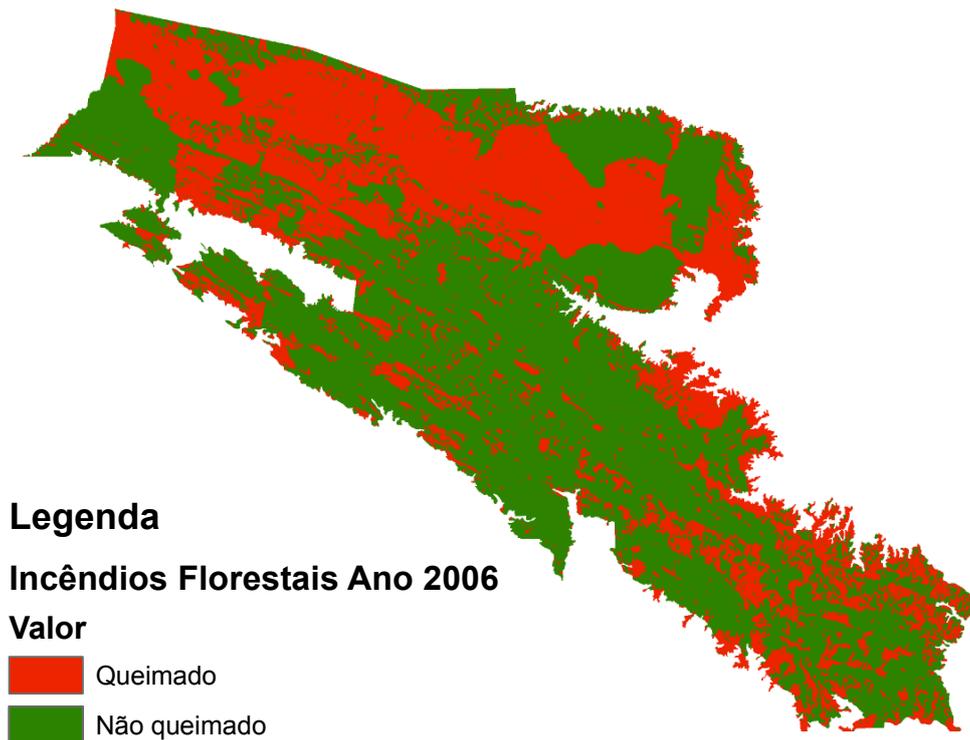
Legenda

-  <all other values>
-  Não queimada
-  Queimada
-  Queimada

0 4,5 9 18 27 36 Kilometro



Incêndios Florestais Ano 2006



Legenda

Incêndios Florestais Ano 2006

Valor

-  Queimado
-  Não queimado

0 3 6 12 18 24 Quilômetros

Ü



