

Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1991 a 2011

Spatiotemporal assessment of forest fires occurred in the Serra da Canastra National Park between 1991 and 2011

Gustavo Puga Lemes¹
Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi²
Olívia Bueno Costa^{3(*)}
Fabrício Assis Leal⁴

Resumo

Este trabalho envolveu uma análise espaço-temporal dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional Serra da Canastra (PNSC) no estado de Minas Gerais. Imagens do satélite *Landsat-5*, sensor TM adquiridas entre 1991 a 2011 foram utilizadas para o estudo. As imagens foram corrigidas geométrica e radiometricamente, e em seguida foram transformadas em imagens frações da Análise de Componentes Principais (ACP), o que removeu a correlação entre as bandas e aumentou a discriminação das áreas queimadas. As novas imagens frações da ACP foram analisadas espectralmente e em seguida utilizadas como dados de entrada numa classificação por árvore de decisão, utilizando as frações ACP3, ACP4 e ACP5, que apresentaram as melhores respostas para a discriminação das cicatrizes dos incêndios florestais na vegetação do Cerrado. A classificação desenvolvida mostrou excelente acurácia global, aproximadamente 93%, coeficiente Kappa de 92% e ainda 0% e 18% para erros de omissão e comissão, respectivamente. Os anos mais afetados pelos incêndios florestais foram 1991, 1997, 2001, 2007 e 2010, com cerca de 80% da área total do parque atingido pelo fogo. Em 2010, um total de 157 mil hectares foram queimados e em 2000 uma área de 140 mil hectares foi queimada em um único incêndio. Houve um aumento das áreas atingidas pelo fogo em todo o parque no período de estudo, bem como um aumento da recorrência

1 Graduando em Engenharia Florestal na Universidade de Brasília, UnB; Departamento de Engenharia Florestal, UnB; Endereço: *Campus* Universitário Darcy Ribeiro, Asa norte, CEP:70904-970, Brasília-DF, Brasil; Email: gustavopugalemes@gmail.com

2 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, UnB; Endereço: *Campus* Darcy Ribeiro, Asa norte, CEP:70904-970, Brasília-DF, Brasil; Email: ematricardi@gmail.com

3 MSc.; Engenheira Florestal; Doutoranda em Ciências Florestais do Departamento de Engenharia Florestal, UnB; Endereço: *Campus* Darcy Ribeiro, Asa norte, CEP:70904-970, Brasília-DF, Brasil; Email: costa.ob@gmail.com (*) Autor para correspondência.

4 MSc.; Engenheiro Florestal; Doutorando em Ciências Florestais do Departamento de Engenharia Florestal, UnB; Endereço: *Campus* Darcy Ribeiro, Asa norte, CEP:70904-970, Brasília-DF, Brasil; Email: fabricaoassisleal@gmail.com

dos incêndios. Estes são os principais indicadores de que várias medidas políticas e institucionais devem ser tomadas nos próximos anos para evitar maiores prejuízos ambientais no Parque Nacional Serra da Canastra.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; cicatrizes de incêndios; Cerrado; Unidades de Conservação.

Abstract

This study involved a spatiotemporal analysis of forest fires in the Serra da Canastra National Park (SCNP) located in the State of Minas Gerais, Brazil. The analysis was based on remotely sensed data acquired between 1991 and 2011. Landsat5 TM imagery was geometric and radiometric corrected and then transformed by applying Principal Component Analysis (PCA), which removed correlation between bands, increasing the discrimination of burned areas. The derived PC3, PC4, and PC5 were used as input for a decision tree classification technique, which showed better performance to detect forest fire scars. This classification technique showed overall accuracy of approximately 93%, Kappa's index of 92% and yet 0% and 18% of omission and commission accuracies, respectively. The results show that forest fires mostly occurred in 1991, 1997, 2001, 2007, and 2010 within the Serra da Canastra National Park, which burned approximately 80% of it. A total of 157000 and 140000 hectares were burned in 2010 and 2000, respectively. Forest fires events and recurrent fires increased during the period of analysis. This is a crucial indicator that institutional and political measures must be enforced in the coming years to avoid further environmental issues in this protected area.

Key words: Remote Sensing; Fire scars; Cerrado; Protected areas.

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). Além de resultar em significativos danos ecológicos, sociais, humanos e em grandes investimentos econômicos para minimizar os danos causados (BIANCHINI et al., 2005; GABBAN et al., 2008). 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., 2002). Apesar de ser considerado como agente negativo, em alguns aspectos ele se torna positivo. As espécies vegetais co evoluíram e dependem dele para a rebrota ou quebra de dormência de sementes. O fogo pode ainda ocasionar um desbaste natural de gramíneas, as cascas das árvores, por sua vez, são mais

espessas e resistem a altas temperaturas, dentre outras importantes relações ecológicas.

Em compensação, segundo IBAMA (2007b) a alta frequência de queimadas está além do que a vegetação nativa consegue suportar, acarretando sérios problemas na conservação ambiental. Neste contexto, incêndio Florestal, de acordo com IBAMA (2000), 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 causado intencionalmente, pode estar relacionado a interesses econômicos, satisfação pessoal e perturbações mentais (piromaníacos) (RODRIGUES et al., 2009).

Um incêndio florestal gera diversos prejuízos, segundo Soares e Batista (2004) 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. Prudente (2010) afirma que o fogo favorece a dominância de espécies oportunistas.

No Brasil grande parte das Unidades de Conservação (UC) vem sendo atingidas por incêndios florestais, sendo esta uma das principais preocupações na gestão e manejo

das UC, principalmente as do bioma cerrado. Os incêndios proporcionam uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade e manutenção de processos ecológicos (PRUDENTE, 2010). As principais causas de incêndios em UC 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 (MEDEIROS, 2002).

A melhor alternativa para evitar os danos dos incêndios florestais utilizada pelos órgãos responsáveis pela proteção dos recursos naturais é a adoção de técnicas e medidas de prevenção (BATISTA, 2004). Tais medidas incluem 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, estão entre as atividades do manejo das UC.

Algumas ações devem ser tomadas para minimizar a ocorrência de incêndios de causa antrópica, dentre elas a educação sobre risco de incêndio e danos causados, a aplicação de leis rigorosas e a redução dos riscos no período de incêndios florestais (LIU, 2007). Para redução dos riscos deve-se construir aceiros, realizar desbaste, retirar o material combustível, proibir o livre acesso às áreas de alto risco e monitorar a área, sempre visando a proteção de um patrimônio natural.

Acrescido a isso, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) possui dados de monitoramento de áreas queimadas e focos de incêndios em uma base de dados ampla das UC num espaço temporal. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza gratuitamente imagens de satélites para estudos de qualquer

finalidade e que tem demonstrado muita eficiência nos estudos do comportamento do fogo, monitoramento e elaboração de mapas de riscos em áreas inacessíveis ou de grande extensão, facilitando o estudo. A maior parte das pesquisas no Parque Nacional Serra da Canastra (PNSC) foram baseadas em Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROIs) e focos de calor detectados pelo satélite NOAA-AVHRR, a maior parte dados de baixa resolução espacial quando comparado com dados do satélite *Landsat-5* (TM).

Por outro lado, os *softwares* de geoprocessamento tem evoluído muito nos últimos anos, a correção e manipulação das imagens se tornou facilitada, assim como a classificação e elaboração dos mapas. As correções e testes de fórmulas e técnicas de classificação das imagens foram aperfeiçoados e possuem pequenas margens de erro. Modelos matemáticos e algoritmos são gerados para cada área em específico de acordo com suas peculiaridades, esses são utilizados para validar e classificar as imagens no sensoriamento remoto.

Dentre eles, a Análise por Componentes Principais (ACP), apresenta-se como um método estatístico que pode ser usado facilmente para fazer correlações entre bandas de imagens de satélite (SOUZA et al., 2007). O método consegue remover a correlação existente entre as bandas, aumentando a capacidade dos classificadores digitais de discriminar as feições de interesse na superfície da terra, inclusive as cicatrizes causadas por incêndios florestais na vegetação. 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).

Neste contexto, o presente estudo espaço-temporal de incêndios florestais buscou avaliar e entender melhor o comportamento e ocorrência do fogo entre 1991 e 2011 no Parque Nacional Serra da Canastra (PNSC), localizado no estado de Minas Gerais. Os resultados possibilitam a definição de áreas de maiores ou menores riscos de incêndio, e possivelmente o melhor entendimento entre a relação do meio biótico e abiótico como regime de queima. Portanto, os dados gerados com esta pesquisa servem de base para estudos secundários da relação do fogo com a vegetação, elaboração de mapas de risco, estudos de causas e combate aos incêndios. Pode auxiliar também a elaboração e implementação de planos de manejo e gestão do Parque, especialmente para definição de estratégias de combate ao fogo pelos administradores do Parque Nacional Serra da Canastra (PNSC).

Material e Métodos

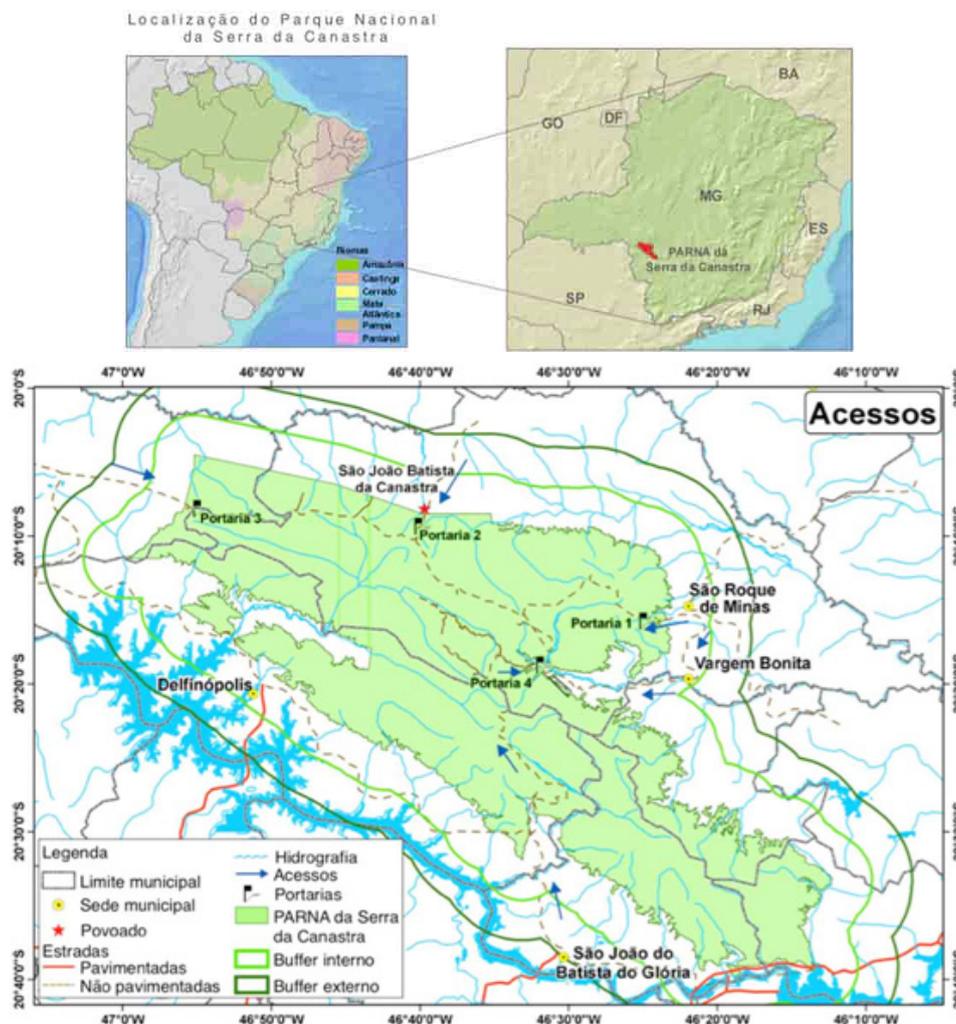
O Parque Nacional Serra da Canastra (Figura 1) localiza-se a sudeste do estado de Minas Gerais, criado em 3 de abril de 1972, sob o Decreto de Lei nº 70.355, compreendendo parte dos municípios São Roque de Minas, Sacramento, Delfinópolis, São João Batista da Glória, Capitólio e Vargem Bonita, numa área de aproximadamente 200.000 hectares. O total de 71.525 hectares (Chapadão da Canastra) está sob a jurisdição do IBAMA, enquanto o restante ainda não regularizado, é constituído por propriedades privadas (Chapadão da Babilônia) (MEDEIROS; FIEDLER, 2004).

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 em torno de 22°C. A pluviosidade anual está entre 1.000 e 1.500 mm (COUTO 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 (2007a), 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.

O parque é conhecido pela diversidade de espécies vegetais e alto grau de endemismo. Possui influência dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, a maior parte é composta por formações campestres, englobando campo limpo, campo sujo e rupestre. Há ainda formações de cerrado *sensu stricto*, que compreende cerrado denso, ralo e rupestre, e formações de matas de galerias associadas a cursos d'água (IBAMA, 2007a).

Figura 1 - Localização e limites do Parque Nacional Serra da Canastra



Fonte: IBAMA (2007).

Nota: Figura inferior; rotas de acesso, limites municipal, sedes, povoados, estradas, hidrografia, portarias, limites do parque e limites da zona de amortecimento.

neste trabalho foram obtidas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a realização do estudo, imagens do satélite *Landsat 5 TM*, foram adquiridas nos anos de 1991 a 2011, compreendendo os meses de agosto a outubro. Segundo Medeiros et al. (2004), as ações antrópicas ocorrem predominantemente na época da seca do

ano, período onde também ocorrem os principais incêndios florestais.

A área de estudo está localizada entre duas cenas do satélite *Landsat 5* sensor TM, envolvendo as órbitas (*Path*) 219 e 220, no ponto (*row*) 74. A Tabela 1 apresenta as datas das imagens utilizadas no trabalho. Não havia imagens disponíveis no período desejado da análise para o ano de 2002.

Tabela 1- 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/outubro	23/outubro
1992	28/julho	06/agosto
1993	19/outubro	12/outubro
1994	20/setembro	24/maio
1995	10/novembro	31/agosto
1996	08/agosto	20/outubro
1997	30/outubro	23/outubro
1998	15/setembro	06/julho
1999	02/setembro	27/setembro
2000	22/outubro	15/outubro
2001	07/setembro	15/agosto
2002	-	-
2003	15/outubro	22/setembro
2004	14/agosto	24/setembro
2005	05/novembro	13/outubro
2006	05/setembro	14/setembro
2007	24/setembro	17/setembro
2008	25/agosto	18/agosto
2009	13/setembro	20/julho
2010	31/agosto	24/agosto
2011	03/setembro	28/setembro

Fonte: Autores (2013).

Foram utilizados os *softwares* ENVI 4.5 e ArcGis 9.3 para o processamento das imagens e construção de dados e mapas, respectivamente, a Figura 2 exemplifica cada etapa. Inicialmente, as bandas de cada cena das imagens do satélite foram empilhadas em um arquivo multibandas. 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 alagada, variando de roxo escuro para lilás/rosa. Nas bandas 4 e 5 (infravermelho Próximo e Médio) tem características de sensibilidade a presença de água na vegetação. Já no infravermelho distante, a reflexão é sensível as características morfológicas do terreno, comumente se relacionando com a umidade ou seca de algumas áreas.

Correções geométricas e radiométricas também foram efetuadas. O georreferenciamento foi feito utilizando o *software* ArcGis 9.3 com o auxílio de mapas vetoriais do limite do PNSC e da hidrografia da região corrigidos geometricamente, utilizados neste estudo como bases cartográficas. A projeção utilizada no estudo foi UTM, Datum SAD 69. Para a correção radiométrica, utilizou-se o *software* ENVI 4.5, em que os valores dos números digitais dos *pixels* foram convertidos para reflectância no topo da atmosfera.

Após as correções das imagens, com auxílio do mapa vetorial do PNSC, fez-se o recorte da região de interesse afim de reduzir o tempo de processamento das imagens, envolvendo apenas a área de estudo.

Figura 2 - Fluxograma das etapas de processamento das imagens *Landsat 5* (TM) para classificação automática de áreas afetadas por incêndios florestais

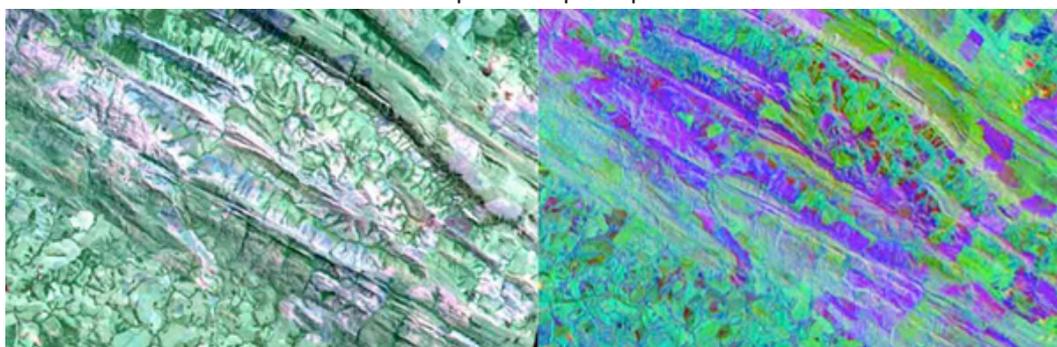


Fonte: Gustavo Puga (2013).

As imagens corrigidas foram então transformadas pela Análise de Componentes Principais (ACP), que contribuiu para reduzir a semelhança espectral entre alvos como corpos d'água,

sombras de relevo e nuvens, e áreas sem cobertura vegetal. A ACP aplica uma equação a cada *pixel* da imagem, atribuindo um novo número digital, facilitando a discriminação dos alvos (Figura 3).

Figura 3 - Diferença visual da imagem com bandas do *Landsat-5* TM e as frações de imagens derivadas da análise de componente principal



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Segundo França et al. (2007), as cicatrizes do fogo na vegetação do Cerrado podem ser encontradas em quatro formas ou estágios:

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.

Início das primeiras rebrotas, com solo ainda exposto. Depende do tipo de cerrado, da capacidade do solo e condições climáticas. Até mesmo na época da seca há rebrota. Duração de semanas.

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.

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.

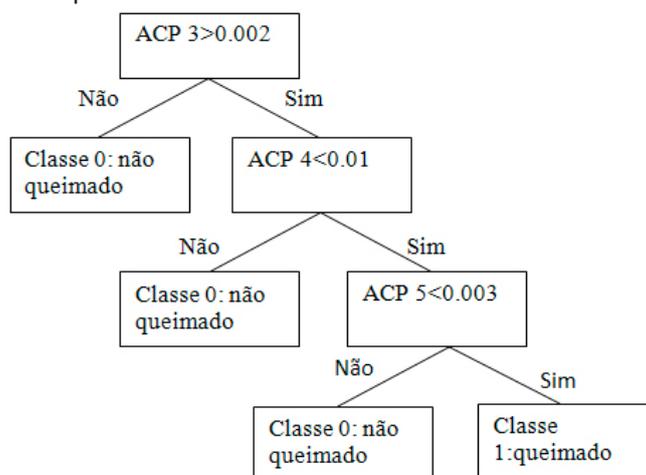
De acordo com as formas definidas por França et al. (2007), no Parque Nacional Serra da Canastra foram identificadas

principalmente focos nas formas 1,2 e de alguma forma o 4. A forma 3, quando vista em um outro ano, foi considerada área não queimada pois no ano anterior já havia sido contabilizada.

Após essas análises foi feita uma avaliação espectral utilizando a ferramenta de perfil horizontal das frações das imagens derivadas da Análise dos Componentes Principais (ACP), possibilitando assim o reconhecimento espectral de amplitude de comprimento de onda para cada alvo objeto deste estudo.

A partir da delimitação da amplitude dos valores de cada componente da ACP nas feições de vegetação afetada pelo fogo, foi aplicada a técnica de árvore de decisão para classificação das cicatrizes dos incêndios florestais nas imagens. Esta técnica tem por objetivo separar as áreas de interesse (no presente estudo, as áreas queimadas) do restante das classes observadas. Trata-se, portanto, de um sistema binário com respostas de sim ou não (Figura 4), que quando satisfaz todas as etapas da árvore de decisão, o *pixel* acaba se agrupando a classe de interesse (área queimada).

Figura 4 - Árvore de decisão e algoritmos utilizados para a classificação de cicatrizes de incêndios no período de 1991 a 2011



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Após a classificação de cada imagem, foi aplicado um filtro do tipo majoritário, envolvendo janelas de 5x5 pixels, com objetivo de eliminar *pixels* isolados que representam ruídos de classificação. As imagens classificadas de cada ano foram sobrepostas para criar uma imagem classificada agrupando todos os anos, de forma a representar as áreas de recorrência de incêndios florestais. Por fim, todas as imagens classificadas foram convertidas para o formato vetorial (polígono), mantendo a classificação original contida nas imagens.

As áreas dos polígonos foram então calculadas, incluindo também a frequência anual de incêndios (números de polígonos), a avaliação do tamanho das áreas queimadas em cada ano e a área média queimada por ano. Utilizando a ferramenta de avaliação de agrupamentos (*high/low clustering tool*) do ArcGIS, foi possível estimar o nível de concentração das áreas atingidas pelo fogo e a distribuição espacial da recorrência dos incêndios florestais.

A avaliação da acurácia do mapeamento de incêndios do PNSC foi feita com a elaboração de uma matriz de confusão. A matriz de confusão foi baseada num estudo entre a imagem transformada pela ACP e a imagem classificada. Para sua elaboração 100 pontos foram aleatorizados em toda a área de estudo e analisados visualmente, observando os que se enquadravam corretamente como áreas queimadas e os classificados erroneamente. Com isso, a acurácia global, acurácia do usuário (erros de comissão) e acurácia do produtor (erros de omissão) foram estimadas. Por fim, com base nos dados da matriz de confusão, foi estimado o coeficiente *Kappa* da classificação das áreas atingidas por fogo na área de estudo.

3. Resultados e Discussão

Observou-se que as variações na assinatura espectral das cicatrizes do fogo foram melhor discriminadas nas bandas ACP3, ACP4 e ACP5. Para a maioria dos casos, o valores da ACP3 aumenta ao passar por uma área queimada, ACP4 diminui e ACP5 aumenta. Ao passar por manchas de nuvens e sombras a componente ACP3 aumenta em grandes proporções, e o ACP4 e ACP5 diminuem consideravelmente. Para a definição de valores limites observados para áreas atingidas pelo fogo, utilizou-se de três componentes da ACP, sendo: $ACP3 > 0,002$ $ACP4 < 0,01$; $ACP5 < 0,003$. Porém esses valores foram reajustados para cada imagem *Landsat* utilizada, dado as variações sazonais da vegetação, em que os valores observados assumiram, em alguns casos, valores negativos dos componentes da ACP. A variação sazonal da vegetação nas imagens foi minimizada com a aquisição de imagens *Landsat* em datas mais próximas.

Algumas áreas apresentaram-se mais difíceis para detecção, são elas: os incêndios ocorridos em anos anteriores ao da aquisição da imagens, com dificuldade para regeneração; incêndios ocorridos antes da aquisição da imagem, com rápida regeneração da vegetação e grande semelhança com a assinatura espectral da vegetação não queimada. Além disso, fumaças geradas pelos incêndios na área de estudo diminuem muito a qualidade das imagens, muitas vezes causando perda de informação de algumas áreas de interesse no estudo.

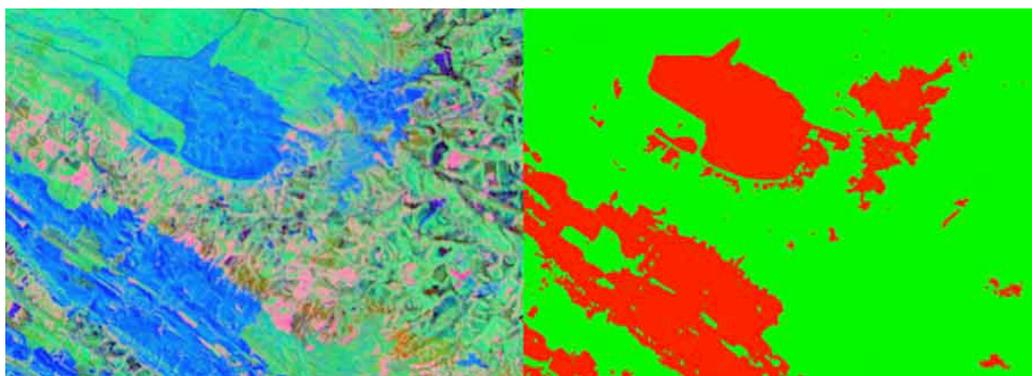
Com base em análises das imagens *Landsat 5 (TM)* que recobrem o Parque Nacional Serra da Canastra, foi possível observar que o Parque possui um terreno acidentado em algumas regiões, com

exposições de solo e rocha, além de diversos trechos de água com matas de galeria e estradas que moldam a direção e propagação dos incêndios florestais. Contudo, a técnica desenvolvida no presente estudo se mostrou eficiente na detecção das cicatrizes do fogo na vegetação, conseguindo diferenciar as áreas afetadas e não afetadas pelo fogo. Na maioria dos casos, os solos expostos e/ou

afloramentos rochosos foram facilmente diferenciados, porém em algumas áreas essa diferenciação se tornou mais complicada, necessitando de mais nós na Árvore de Decisão para sua correta classificação.

A transformação pela ACP associada a classificação por Árvore de Decisão se mostraram eficientes para classificação de queimadas (Figura 5).

Figura 5 - Eficiência da classificação com imagens da ACP e Árvore de Decisão na detecção de áreas afetadas por incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra, onde as áreas de tons rosa ou roxos foram classificadas como áreas não queimadas por se tratarem de solos e rochas expostos, ou rochas em presença de umidade. Nestes casos, as reflectâncias nas imagens multiespectrais são semelhantes dificultando a sua diferenciação. Porém, são facilmente diferenciadas utilizando a transformação das bandas pela ACP, onde a cor azul representam as áreas atingidas pelos incêndios florestais.



Fonte: Gustavo Puga (2013).

A partir dos resultados da matriz de confusão (Tabela 2), foi calculada a Acurácia global, com resultado de 93,98 % e coeficiente *Kappa* 92,2%, considerada uma

ótima classificação. De modo geral houve uma superestimativa em 17,9 % (erros de comissão) das áreas queimadas e não foi observado nenhum erro de omissão do classificador.

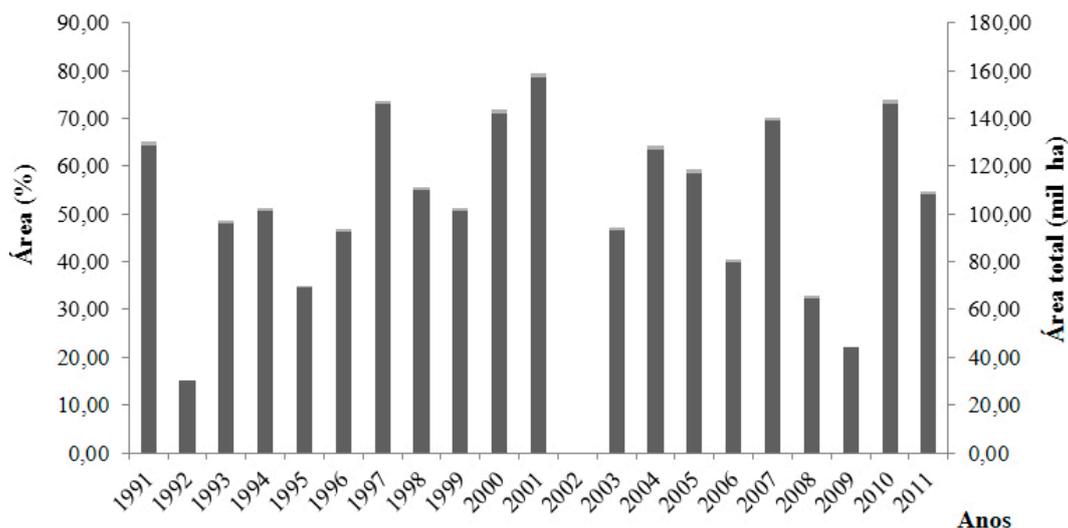
Tabela 2 - Matriz de confusão calculada em porcentagem

Checagem Visual	Classificação por Árvore de Decisão		
	Não queimado (%)	Queimado (%)	Total (%)
Não Queimado (%)	82.0	0.0	67.9
Queimado (%)	17.9	100.0	32.1
Total (%)	100.0	100.0	100.0

Fonte: Gustavo Puga (2013).

A partir da classificação das imagens foram obtidos o total em área de incêndios para cada ano e a porcentagem de área queimada em relação a área total do parque (Figura 6).

Figura 6 - Área total queimada e a porcentagem queimada para cada ano estudado no Parque Nacional Serra da Canastra



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Os resultados deste estudo indicam também que o Parque sofreu forte pressão do fogo durante as épocas da seca nos anos de 1991, 1997, 2001, 2007 e 2010, quando foram observadas as maiores áreas queimadas, com aproximadamente 80% da área total do Parque. O ano de 2001 apresentou maior área queimada, aproximadamente 157 mil hectares, cerca de 79% da área. Os anos de 1992 e 2009 apresentaram os menores valores, com 30 mil hectares (15,3%) e 44 mil hectares (22,3%), respectivamente.

Magalhães et al. (2012) também encontraram altos valores de área queimada no PNSC nos anos 1991 e 2007, e uma tendência de aumento semelhante a observada na figura 6. Do mesmo modo, tais autores observaram os menores índices de queimadas em 1992 e 1998 na área de estudo.

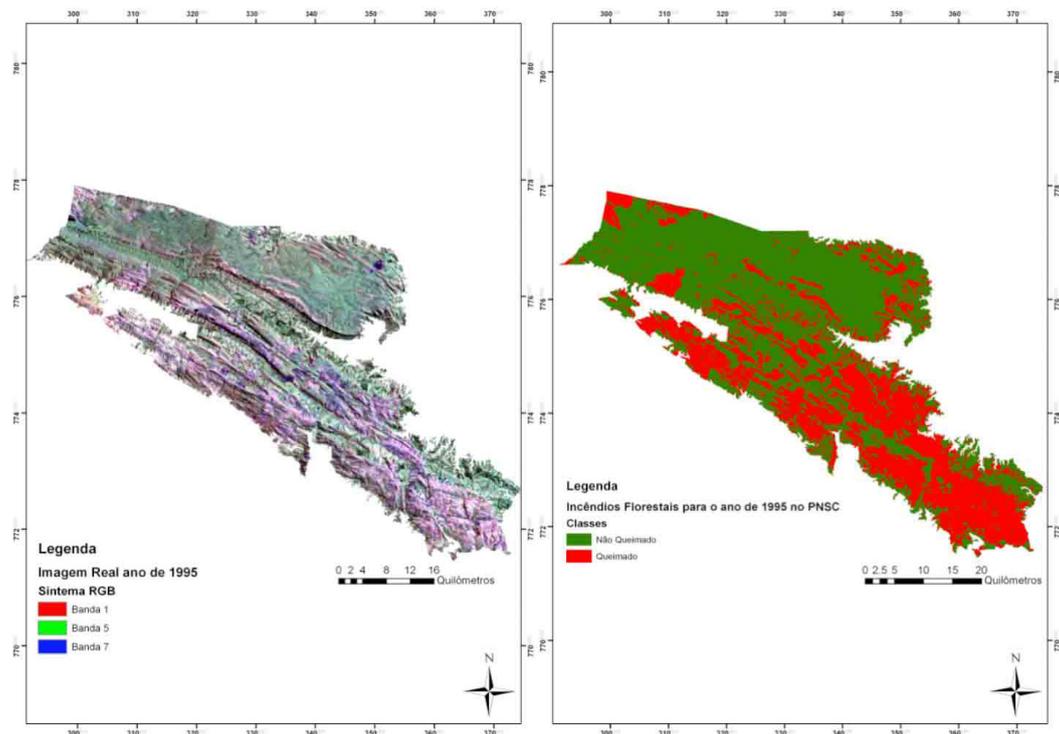
Jesus et al. (2011) usando imagens *Landsat TM* analisaram os incêndios florestais de forma visual no ano de 2007 e encontraram cerca de 62 mil (31%) hectares queimados no PNSC. No presente estudo foi detectado praticamente o dobro dessa área para o ano 2007, enquanto Magalhães et al. (2012) mapearam cerca de 37 mil hectares de áreas queimadas. Essa subestimação na área queimada deve-se principalmente a classificação visual, que não é capaz de identificar todas as cicatrizes de incêndios na imagem.

Porém, para os anos de 1995 e 1999 foi observado por Magalhães et al. (2012) uma área queimada de cerca de mil hectares, e no presente trabalho foi encontrado uma área de 69 e 101 mil hectares, respectivamente. As figuras 7 e 8 mostram a localização das

áreas atingidas pelo fogo para os anos de 1995 e 1999. Há um possível erro no registro dos ROIs por Magalhães et al. (2012), pois Medeiros et al. (2004) e IBAMA (2007a) não possuem informações para o ano de

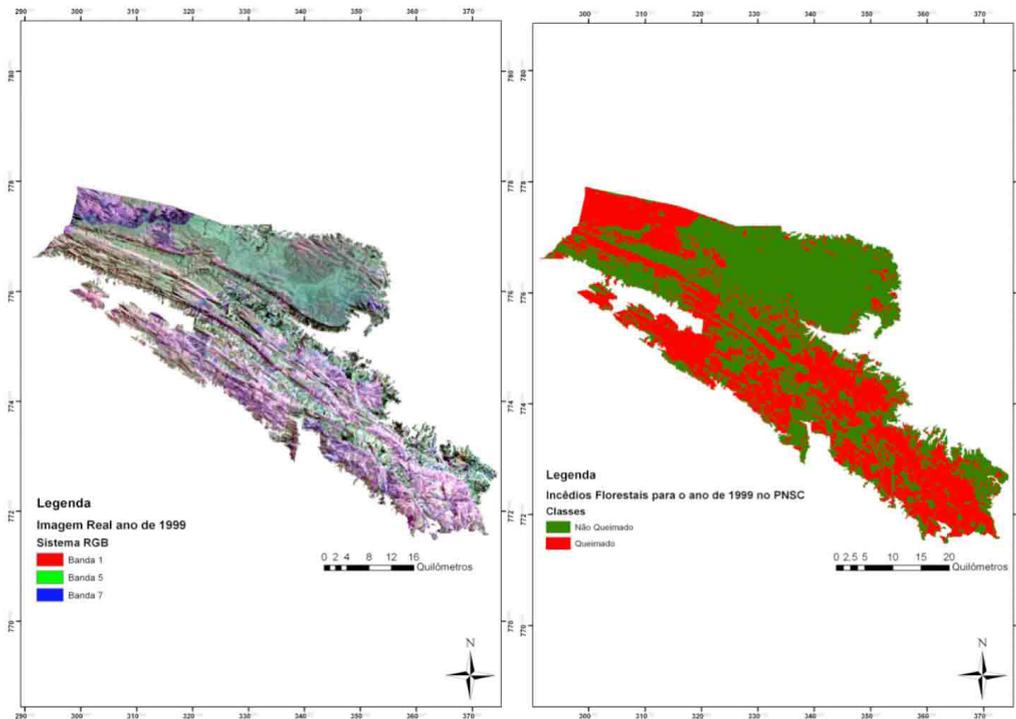
1995. Além disso, em 1999 Medeiros et al. (2004) encontraram mil hectares queimados analisando apenas o Chapadão da Canastra, no entanto IBAMA (2007a) encontrou valor próximo a dez mil hectares para o mesmo ano.

Figura 7 - Imagem *Landsat* sensor TM carregadas na forma RGB:1-5-7 para o ano de 1995, e classificação das áreas queimadas do PNSC para o ano de 1995



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Figura 8 - Imagem *Landsat* sensor TM carregadas na forma RGB:1-5-7 para o ano de 1999, e classificação das áreas queimadas do PNSC para o ano de 1999



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Magalhães et al. (2012) citam que os ROIs dos anos até 2001 referem-se somente a área do Chapadão da Canastra área regularizada, pois apenas em 2002 iniciou-se o combate aos incêndios das demais áreas do parque. A área afetada durante esses anos se restringe prioritariamente a parte não regularizada, que foi praticamente toda queimada (Figura 8 e 9).

Medeiros et al. (2004) ressaltam ainda que para a área não analisada (área não regularizada) foram possíveis apenas algumas inferências de acordo com informações de funcionários, moradores, e análise da vegetação, topografia, hidrografia e atividades econômicas ao entorno.

Segundo IBAMA (2007a) ao analisar ROIs da região, também observou um aumento da área queimada em 1991, os anos de 2004 e 2005 também se sobressaíram juntos no gráfico. 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 tanto nas análises de ROIs por IBAMA (2007a) quanto por Magalhães et al. (2012).

A análise de ROIs sempre será subestimada, pois é praticamente impossível registrar todos os incêndios ocorridos na área. Bontempo et al. (2011) concluíram que o

preenchimento do ROI envolve a participação de diversos colaboradores incluindo membros da equipe técnica e brigadistas, necessitando capacitação periódica devido a rotatividade dos cargos, assim como para preenchimento das informações necessárias há necessidade que haja recursos humanos, capacitação e equipamentos disponíveis, uma realidade que não ocorre na maior parte das UC.

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. Jesus et al. (2011) concluíram que os algoritmos de detecção de focos de calor adotados pelo INPE têm baixa acurácia no bioma Cerrado, e fornecem uma amostra limitada das queimadas na região.

A região não regularizada torna difícil o monitoramento e registro de incêndios através de ROI e focos de calor, mesmo sendo uma região com menores índices de incêndios, como mostrado por IBAMA (2007a) detectando focos de calor. 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. Nessa região houve um aumento da recorrência de incêndios e houve queimadas de mesma intensidade que no restante do parque.

Prudente e Rosa (2010) ao analisarem imagens *Landsat* TM observaram que 72,81% do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros foi tomado por incêndios no período entre junho a setembro de 2007.

Bretos e Júnior (2012) observaram no Parque Estadual do Jalapão, também com base em imagens *Landsat*, um percentagem de 91,20% atingido por incêndios florestais em 1998, e percentuais semelhantes para os outros anos analisados, utilizando a classificação análise orientada ao objeto - OBIA. Fiedler et al. (2006) encontraram valores próximos a 85% no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros para o ano de 2003, mesmo trabalhando com focos de calor e ROI. Mesquita et al. (2011), encontraram valores de 41,93% do Parque Nacional da Chapada Diamantina queimado, porém relataram grandes dificuldades devido a presença de nuvens. Já Pereira et al. (2009), para duas Áreas de Proteção Permanentes ao norte de Minas Gerais encontraram cerca de 7,85% da área queimada utilizando a técnica NDVI, para regiões com presença de veredas, florestas decíduais e florestas semidecíduais.

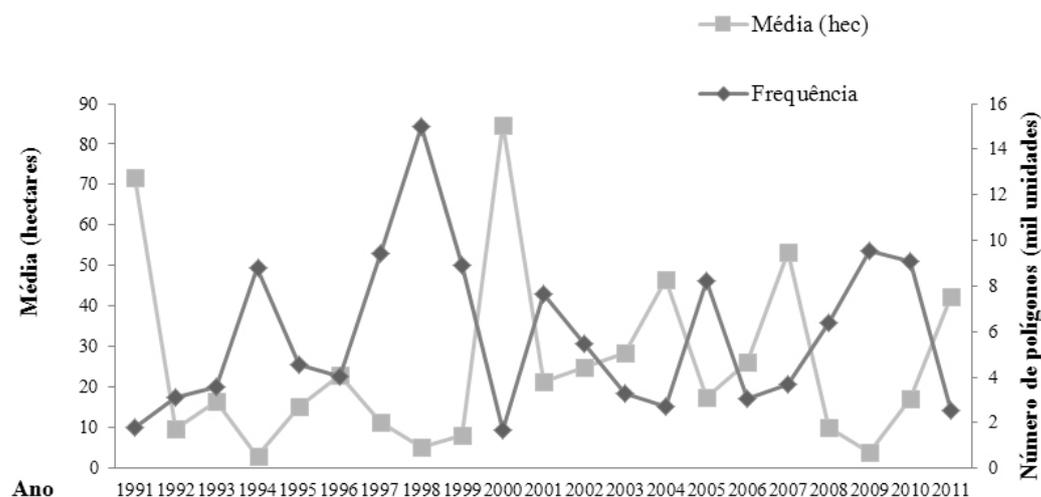
Ao analisar imagens *Landsat* TM e ETM do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros por interpretação visual, Tatagiba (2010) observou que entre 1999 e 2009, aproximadamente 60% e 78% da área daquele Parque foi queimada nos anos 2000 e 2007, respectivamente. Para alguns anos a autora observou uma relação entre área queimada no interior do parque e a área queimada de vegetação nativa e agropecuária fora do parque, indicando uma continuidade espacial entre os incêndios. Tatagiba (2010) observou ainda que a área queimada do entorno do parque foi superior a área queimada dentro do parque, porém, em termos relativos, o interior do parque apresentou maior percentual atingido pelo fogo em relação ao seu entorno, até mesmo nos anos de 2000 e 2007.

No presente estudo, o número de ocorrências (número de polígonos) do fogo

e a média queimada observadas para cada ano (Figura 9), obtida através do somatório das áreas queimadas dividido pelo número

de polígonos de fogo encontrados. A figura 10 indica o maior polígono obtido para cada ano, ou seja o maior incêndio observado para cada ano.

Figura 9 - Média das áreas e frequência dos incêndios por ano no Parque Nacional Serra da Canastra



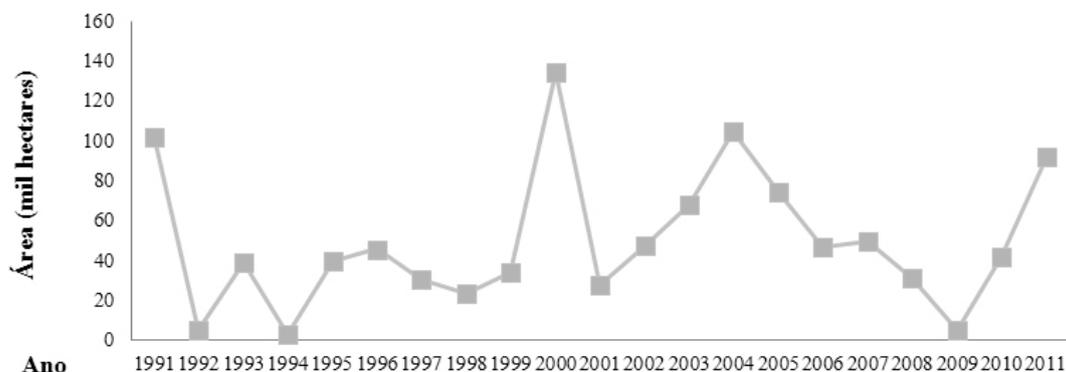
Fonte: Gustavo Puga (2013).

Para os anos que apresentaram uma alta média e baixos valores de frequência, isso pode indicar que houve grandes incêndios, provavelmente mais intensos e prolongados. Quando comparado essa avaliação da média/frequência com área total afetada pelo fogo nos anos de 1991, 2000, 2004, 2007 e 2011, todos apresentaram extensas áreas queimadas, indicando a ocorrência de grandes incêndios, exceto em 2011, que apresentou uma área total queimada média em relação aos demais anos. Entretanto, considerando o grande número de pequenos e médios incêndios ocorridos em

2011, a abrangência dos impactos do fogo na área do Parque foram semelhantes aos dos anos 1991, 2000, 2004 e 2007.

Em 1994, 1998, 2001, 2005, 2009 e 2010 foram observados áreas (polígonos) de tamanhos médios atingidas pelo fogo, porém com maiores frequências indicando incêndios menores e mais rápidos. Ambos os incêndios de pequeno porte ou grande porte são importantes, pois podem ser o princípio de incêndios de grandes proporções. Incêndios com tais características foram observados em 2001 e 1991.

Figura 10 - Maiores áreas atingidas por uma única frente de fogo em cada ano estudado no Parque Nacional Serra da Canastra



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Nos anos de 1991, 2000, 2004 e 2011 foram observadas as maiores áreas atingidas pelo fogo no PNSC por um único incêndio, todos acima de 92 mil hectares em cada um destes anos, indicando possivelmente ocasionados por incendiários. Em 1992, 1994 e 2009 foram observadas as menores áreas atingidas por um único incêndio florestal, todos inferiores a 6 mil hectares, que foram também anos relativamente de baixa área total queimada (rever Figura 6).

Com base na análise dos mapas gerados, não foi possível observar diferenças substanciais entre a quantidade de áreas queimadas nas regiões regularizadas e não regularizadas fundiariamente dentro da área de estudo. Tal fato indica que houve ineficiência na prevenção dos incêndios por parte dos moradores e do plano de manejo do referido Parque.

A intensidade dos incêndios observados na área atinge de forma equivalente ambas as áreas. Entretanto, a área da região regularizada é constituída por terrenos mais planos, com menores ocorrências de cursos de água e afloramentos rochosos. Com isso, as áreas queimadas possuem maiores extensões e menos obstáculos para sua propagação,

causando maiores danos. Por outro lado, em muitas imagens na região do Chapadão da Babilônia (região não regularizada) houve a presença de grandes incêndios contornando cursos de água, matas de galerias, afloramentos rochosos e aceiros, pois o terreno acentuado favorece a propagação mais rápida do fogo nestas áreas.

A figura 11 ilustra os mapas de recorrência de incêndios. O primeiro enquadra os anos 1991 a 2000, em que foram encontrados menores valores de recorrência para área total. O segundo período compreende de 2001 a 2011, onde se observa um aumento de áreas de recorrência do fogo.

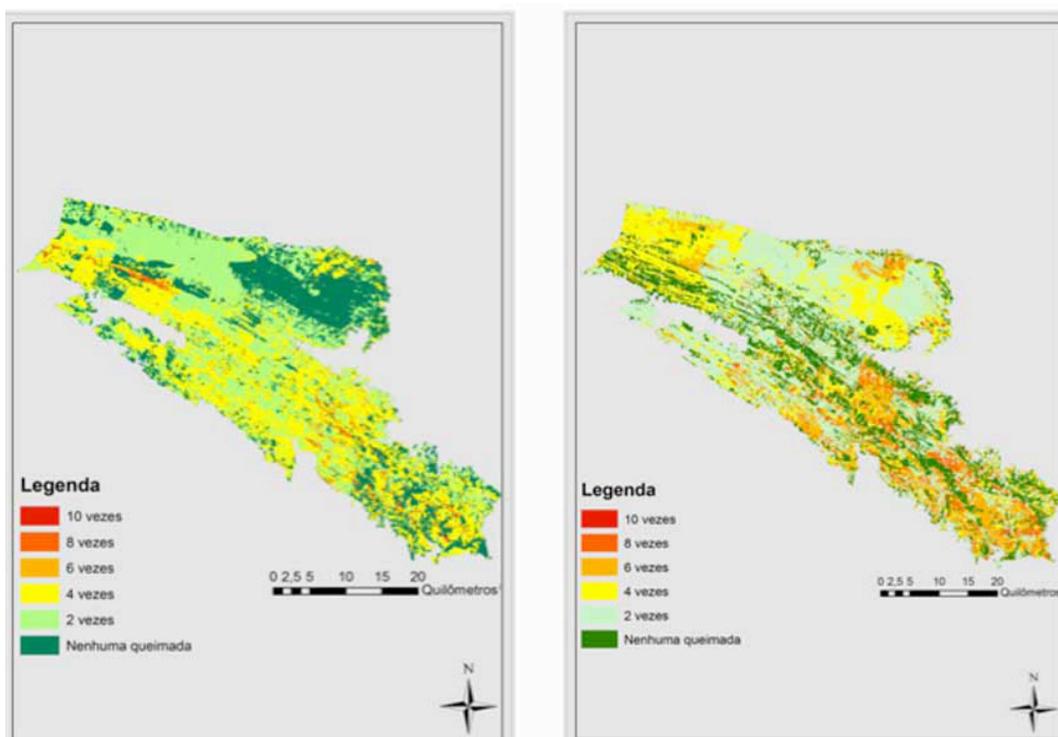
Houve um aumento na região não-regularizada (Chapadão da Babilônia), onde possui uma maior concentração de recorrência de incêndio de 6 a 8 vezes na mesma área, em comparação ao observado no primeiro mapa. Para a região regularizada houve também um aumento prevalecendo 2-4 incidências de incêndios em 10 anos, enquanto no primeiro mapa cerca de nenhum incêndio foi observado a leste.

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 a última década estudada, um aumento considerável de recorrência em toda área do parque, tanto da região não regularizada

como a região regularizada, principalmente na porção Leste do PNSC. Isto indica forte influência tanto do entorno como no interior do parque por pressões antrópicas, principalmente pedreiras e propriedades rurais.

Figura 11 - Recorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra para os anos de 1991-2000 (à esquerda) e de 2001-2011 (à direita)



Fonte: Gustavo Puga (2013).

Conclusões

Com base nos resultados deste estudo, observou-se que a técnica de classificação por árvore de decisão e a transformação das imagens *Landsat 5* (TM) pela ACP apresentaram boa eficiência na detecção de incêndios florestais. Estes resultados acrescentam valiosas informações da distribuição espacial dos incêndios florestais aos registros dos incêndios ocorridos no

Parque Nacional Serra da Canastra no período de análise.

De modo geral, houve um aumento da reocorrência de incêndios florestais dos anos de 1991-2000 para os anos de 2001-2011, assim como o PNSC apresentou maiores reocorrências na região com situação fundiária não regularizada.

Em alguns anos (1991-1992, 2001-2003, 2010-2011) houve uma tendência de queima em grandes áreas do Parque, e nos anos seguintes as

áreas não atingidas pelo fogo sofreram maiores pressões dos incêndios florestais.

As menores ocorrências dos incêndios florestais foram nas regiões centrais do parque. Muitos incêndios foram contíguos a algumas áreas de agricultura ao redor do parque, ou incêndios em áreas nativas ao entorno, indicando alguma relação entre essas áreas.

Por fim, entende-se que é imprescindível a ampliação dos estudos entre as relações do fogo com o cerrado, bem como a utilização desses conhecimentos para a elaboração de mapas de risco e definição de estratégias para o manejo do fogo em Unidades de Conservação tais como o Parque Serra da Canastra (MG).

Referências

- ALVES, K. M. A.; DA NÓBREGA, R. S. Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 209-219, 2011.
- BATISTA, A.C. Detecção de incêndios florestais por satélite. **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, p.237-241, 2004.
- BIANCHINI, G., et al. Wildland fire risk maps using S2F2M. **Journal of Computer Science and Technology**, MEyC- Spain, v.5, n.4, 2005.
- BONTEMPO G. C.; et al. Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. **Biodiversidade Brasileira**, Ano I, n.2, p.247-263, 2011.
- BRETOS, A. L. K.; PEREIRA JÚNIOR, A. C. Análise temporal das queimadas no Parque Estadual do Jalapão, Tocantins, de 1997 a 2011. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE (SICINPE), 2012, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), 2012.p. 124.
- CIPRIANI, H. N.; PEREIRA, J. A.; SILVA, R. A.; FREITAS, S. G.; OLIVEIRA, T. Fire risk map for the Serra de São Domingos Municipal Park, Poços de Caldas, MG. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 77-83, 2011.
- COSTA, L., M.; ZEILHOFER, P.; RODRIGUES, W. S. Classificação de queimadas na fitofisionomia do Pantanal Mato-grossense utilizando um algoritmo não paramétrico – *Support Vector Machine*(SVM). In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres-MT. **Anais...** Cáceres: Embrapa Informática Agropecuária/ INPE, 2010. p.744 -753.
- FIEDLER, N. C.; MERLO, D. A.; de MEDEIROS, M. B. Ocorrência de Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.2, p.153-161, 2006.
- FRANÇA H.; RAMOS NETO, M. P.; SETZER, A. **O fogo no Parque Nacional das Emas**. Brasília: MMA - Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007.

GARBAN, A.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; VIEGAS, D. X. A comparative analysis of the use of NOAA-AVHRR NDVI and FWI data for forest fire risk assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.19, p.5677-5687, 2007.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional Serra da Canastra**. São Roque de Minas (MG): MMA-Prevfogo, 2007b.

_____. **Relatório de Ocorrência de Incêndios em Unidades de Conservação Federais 2006**. MMA-Prevfogo, 2007a. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>. Acesso em: 15 de jan. 2013.

_____. **Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. MMA-Prevfogo, 2000. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>. Acesso em: 15 de jan. 2013.

COUTO JUNIOR, A. F.; SOUZA, V. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E.S.; SANTANA, O. A.; FREITAS, L. F.; GOMES, R. A. T. Integração de parâmetros morfométricos e imagem Aster para a delimitação das fitofisionomias da Serrada Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n.1, 2010.

JESUS, S. C.; SETZER, A. W.; MORELLI, F. Validação de Focos de Queimadas no Cerrado em Imagens TM/*Landsat-5*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), 2011. p.8051.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007.

MAGALHÃES S. R.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra - Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 18, n.1, p.135-141, 2012.

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

MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G.; GONÇALVES, C. N.; BERLINCK, C. N.; LINTOMEN, B. S. Histórico dos Incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens *Landsat*. **Biodiversidade Brasileira**, DF, n.2, p.228-2246, 2011.

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

PEREIRA, A. A.; MORELLI, F.; CARVALHO, L. M. P.; PEREIRA, J. A.; BRAGA, A. O. Quantificação de áreas queimadas em unidades de conservação de Minas Gerais através do processamento de imagens TM *Landsat 5*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), p.6045-6052.

PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno**. 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2010.

PRUDENTE, T. D.; ROSA, R. Detecção de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Área de Entorno. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v.11, n.35, p. 209-221, 2010.

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**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza) - Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2009.

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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. p. 4319-4326.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais** - controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 2007.

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**, Recife, v.24, n.3, 2007.

TATAGIBA, M. M. A. **Estudo da dinâmica espacial e temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. 2010. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.