

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/3: 555-567
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

CLASSIFICAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS ATRAVÉS DE MINERAÇÃO DE DADOS E GEOBIA

Fire Susceptibility Classification Through Data Mining and GEOBIA

**Gustavo Mota de Sousa^{1,2}, Manoel do Couto Fernandes²
& Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa³**

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ
Instituto de Agronomia – Departamento de Geociências
BR-465, Km 7 – 23890-000 – Seropédica/RJ, Brasil
gustavoms@ufrj.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Departamento de Geografia – Laboratório de Cartografia (GEOCART)
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – 21941-916 – Cidade Universitária/RJ, Brasil
manoel.fernandes@ufrj.br

³ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ
Departamento de Engenharia Elétrica – Laboratório de Visão Computacional (LVC)
Rua Marquês de São Vicente, 225 – 22453-900 – Gávea/RJ, Brasil
gilson@ele.puc-rio.br

Recebido em 10 de Outubro, 2014/ Aceito em 19 de Janeiro, 2015
Received on October 10, 2014/ Accepted on January 19, 2015

RESUMO

Os incêndios florestais são decorrentes de diversas ações em que o homem é o principal agente deflagrador, além dos fatores de ignição de origem natural. O espalhamento do fogo é potencializado por diversas variáveis relacionadas à própria paisagem, que devem ser consideradas na definição de meios de controle eficientes de incêndios. O objetivo desse trabalho é contribuir metodologicamente na construção de um mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de conceitos geoecológicos auxiliados por técnicas de mineração de dados e análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA). A área de estudo definida é parte da região do Planalto do Itatiaia que possui diversos registros históricos de incêndios florestais decorrentes de práticas de origem criminosa. A metodologia utilizou dados diversos da paisagem, extraídos de imagens do sensor AVNIR-2/ALOS, Modelos Digitais de Elevação (MDE) e dados de áreas queimadas (Relatório de Ocorrência de Incêndio – ROI) adquiridas em campo através da equipe de brigadistas do Parque Nacional do Itatiaia. Os métodos aplicados foram baseados na utilização de pacotes de *software* livres como o modelo 6S, WEKA e InterIMAGE, visando construir um método de custo reduzido e com maior possibilidade de ser replicado em outras unidades de conservação. As etapas metodológicas realizadas foram: correção geométrica e atmosférica da imagem AVNIR-2; cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que foi associado à variável de combustibilidade; construção do mapa de cobertura da terra; extração de dados de exposição à radiação solar, declividade e forma das encostas a partir do MDE da área de estudo e; aquisição de amostras de variáveis características de susceptibilidade ao fogo, neste estudo chamadas de variáveis geoecológicas, visando a mineração de dados. A mineração de dados gerou quatro árvores de decisão que representam a conjugação

das variáveis geológicas que possibilitam a classificação, baseada em objetos, da susceptibilidade. A segmentação foi realizada sobre uma imagem NDVI através do sistema InterIMAGE, diferentes valores de parâmetros de segmentação foram usados e para cada segmentação foi obtido um resultado distinto de classificação. Os resultados tomaram o ano da imagem (2009) como base para o estudo e as áreas queimadas foram divididas em períodos anteriores (2008 e 2009), para calibração do modelo, e posteriores (2010 a 2012), para validação da metodologia.

Palavras chaves: Incêndios Florestais, Cartografia Geoecológica, Segmentação.

ABSTRACT

Forest fires result from numerous causes, usually triggered by human agents. Nevertheless, the landscape has several characteristics that can ease fire generation and spread, which are important indicators for the prevention and combat of forest fires. The goal of this paper is to contribute methodologically to the field of forest fire susceptibility mapping through the application of knowledge models built with conceptual support from Geoecology, Data Mining and GEOBIA techniques. The study area is located in Brazil, more specifically in a protected area known as the Itatiaia National Park, an Atlantic Forest reminiscent area between the states of Rio de Janeiro and Minas Gerais. Multiple data sources were used in the development of the methodology: AVNIR-2/ALOS imagery; Digital Elevation Models (DEM); and burned area reports acquired in situ from 2008 to 2012. Geoecological variables were analyzed by means of data mining techniques, which results supported the generation of decision trees for susceptibility classification. The devised methodology was constructed using free software tools such as 6S model, WEKA and InterIMAGE. The main methodological steps performed were: geometric and atmospheric correction of the AVNIR-2 image; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) computation; construction of a land cover map; geomorphological data extraction from the DEM; and execution of the data mining procedure. Data mining generated four decision trees, which subsidize object-based classification of fire susceptibility. Segmentation was performed over a NDVI raster, though the InterIMAGE system. Different segmentation parameter values were investigated, and for each segmentation result a different classification was obtained. Burned area records from the years 2008 and 2009 were used to calibrate the model, and data from 2010 to 2012 were used for testing. The results show that the susceptibility mapping produced is highly correlated with the actual forest fires that occurred in the Park.

Keywords: Wildfires, Geoecological Cartography, Segmentation.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são vistos como um dos principais desafios aos gestores das diversas Unidades de Conservação (UC) existentes no Brasil. Essa problemática é decorrente de inúmeras práticas em que o homem é o principal agente deflagrador, devido a diversos interesses que vão desde a necessidade de ocupar a terra, até a realização de práticas criminosas. Além disso, existem fatores observados na própria paisagem, conhecidos como variáveis ambientais, que influenciam o espalhamento do fogo e merecem atenção tendo em vista a otimização do combate por equipes especializadas.

A elaboração de mapeamentos de risco de incêndios é de suma importância para o planejamento das UCs tendo em vista que esse conhecimento favorece a obtenção de recursos e possibilita ações de combate mais rápidas e eficientes. Essa necessidade vai além dos limites da UC porque é necessário também o controle de queimadas nas proximidades, o que

é observado por meio das chamadas “zonas de amortecimento” que visam aumentar a proteção das áreas protegidas.

Esse tipo de mapeamento é elaborado por meio de modelos de análise, que são construídos visando indicar a representação da paisagem em relação aos incêndios florestais, definidos a partir da observação dos conceitos e técnicas baseados no entendimento do fenômeno em questão.

Dentre as técnicas utilizadas neste trabalho é destacado o uso das geotecnologias através do geoprocessamento; análise de imagens baseada em objetos geográficos (Geographic Object-Based Image Analysis – GEOBIA); mineração de dados e; modelagem do conhecimento. Esse conjunto de técnicas torna possível a construção de um modelo de análise geológica por meio do conhecimento relacionado à susceptibilidade à ocorrência de incêndios.

Para apoiar a construção do modelo de conhecimento foram utilizados os sistemas InterIMAGE (COSTA *et al.*, 2008), WEKA

(WITTEN & FRANK, 2005) e o modelo 6S (VERMOTE *et al.*, 1997). Estes pacotes de *software* foram adotados com o propósito da utilização de sistemas livres, capazes de permitir a concreta disseminação (e reprodução) das experiências realizadas.

O trabalho foi desenvolvido no Parque Nacional do Itatiaia (PNI). Este parque faz parte do Mosaico de Unidades de Conservação da Mantiqueira que é localizado no bioma Mata Atlântica e, apresenta os incêndios florestais como uma das principais problemáticas em relação à manutenção das funções ecológicas. É importante ressaltar que a administração do PNI deu total apoio à realização deste trabalho através da cessão de dados de campo, com destaque para as áreas queimadas identificadas pelos Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI) identificados no período entre 2008 a 2012, imagens do sensor AVNIR-2/ALOS (2009) e a base cartográfica em escala 1:50.000.

A partir da problemática em foco, ou seja, a ocorrência de incêndios, surge a necessidade de buscar métodos de construção de modelos que possibilitem a geração de respostas rápidas a este fenômeno. Como visto anteriormente, uma série de geotecnologias auxiliam diretamente a construção deste modelo, mas ainda existem algumas questões a serem analisadas para refinar a utilização destas geotecnologias, como o tamanho de objeto a ser utilizados em técnicas de GEOBIA e mineração de dados, a partir das características dos dados de entrada. Neste sentido, o objetivo do trabalho visa identificar as dimensões ideais de objetos para identificação da Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios (SOI) através de técnicas de GEOBIA e mineração de dados, com o auxílio de múltiplos dados da paisagem, como imagens orbitais de média resolução espacial e dados topográficos.

2. REVISÃO TEÓRICA

O modelo de conhecimento aplicado ao estudo da susceptibilidade à ocorrência de incêndios é concebido através de conceitos e técnicas que facilitam a identificação do fenômeno. Sendo assim, a revisão teórica é dividida em base conceitual e base operacional, no intuito de facilitar o entendimento da metodologia proposta.

2.1. Base conceitual

A base conceitual é fundamentada no conceito de Geoecologia (segundo a escola alemã) ou Ecologia da Paisagem (de acordo com a escola americana), definida como uma disciplina que realiza a interface entre a geografia e a ecologia, através de uma estrutura multi e interdisciplinar. A Geoecologia foi tratada pela primeira vez pelo geógrafo alemão Carl Troll (1939), que buscando colaboração estreita entre geógrafos e ecólogos a definiu como a união entre a Geografia e a Ecologia. TURNER (1989) entende que na análise geocológica da paisagem é fundamental entender a estrutura, funcionalidade e dinâmica das variáveis bióticas, abióticas e humanas.

A análise dos conceitos apontados por geógrafos e biólogos permitem estabelecer que os seus elementos comuns são as relações e inter-relacionamentos existentes em, ou entre domínios de paisagens, suas qualificações e quantificações, incluindo as causas e efeitos das ações antrópicas, dentro de um espaço geográfico limitado e em ciclos ecológicos e temporais determinados (MENEZES, 2000).

A extensão da geoecologia às ações antrópicas, interações e relacionamentos sociais cria grande complexidade no que se refere às interações com o meio físico e biológico, pelas próprias características comportamentais destes fenômenos, de modelagem difícil face aos demais, associadas a elementos por vezes imprevisíveis na sua atuação sobre o ambiente.

A Cartografia Geoecológica fornece produtos que fomentam a análise geocológica. Ela é definida como “representação de dados ou informações oriundas de processos analíticos, mostrando através dos inter-relacionamentos entre os elementos da paisagem, as consequências imediatas ou futuras sobre o meio ambiente definido pelo recorte espacial da paisagem estudada” (MENEZES, 2000). SOUSA *et al.* (2010) completam que a Cartografia Geoecológica realiza o mapeamento de fenômenos e elementos da paisagem a partir de uma grande quantidade de informações, subsídios de grande importância para a análise geocológica.

Os cenários de avaliação são inter-relacionados e possuem trocas de elementos entre si, como ocorre dentro dos estudos geocológicos.

Os conceitos de risco e susceptibilidade são os norteadores deste estudo e, diante disso, o risco é definido como a percepção que a sociedade possui do perigo de uma ameaça possível para o sujeito. Já a susceptibilidade é observada como a forma de medir o risco através de variáveis existentes na paisagem.

A construção de modelos da paisagem é facilitado pela utilização do Geoprocessamento, que possibilita a construção de mapas provenientes de outros mapas agregados por análise espacial, além de outras informações que oferecem suporte ao produto final (BONHAM-CARTER, 1994; MEIRELLES, 1997). Neste contexto, a Cartografia Geoecológica realiza a interface entre os fenômenos e elementos da paisagem provenientes de diversas fontes, possibilitando a geração dos mapas geoecológicos e a realização das análises propriamente ditas.

LANG & BLASCHKE (2009) ressaltam que os métodos de processamento de informações geográficas são adequados para apoiar as mais diferentes tarefas de planejamento, no que se refere à detecção da situação real e de uma flexível combinação de diferentes camadas de dados. Além disso, os autores mencionam que essas tecnologias podem considerar diferentes escalas e, em razão disso, contemplar particularidades do espaço natural, não obstante, como relações paisagísticas amplas. A harmonização e integração desses conjuntos de dados é um dos desafios atuais também no planejamento da paisagem.

2.2. Base operacional

O Sensoriamento Remoto apresentou diversos avanços, como apontado por BLASCHKE *et al.* (2007), que vão desde o desenvolvimento de satélites com sensores com resoluções espaciais, espectrais e temporais cada vez maiores, e o desenvolvimento de algoritmos com novas concepções metodológicas para a interpretação de imagens. Isso é importante quando se trata de produzir mapas temáticos utilizando técnicas de modelagem do conhecimento relacionados ao controle do uso e cobertura da terra (CRUZ *et al.*, 2007; CINTRA *et al.*, 2010), expansões urbanas (PINHO, 2005; NOVACK, 2009; RIBEIRO, 2010), identificação

de estágios sucessionais de vegetação (VICENS *et al.*, 2009; ROSÁRIO *et al.*, 2009) e estudos geomorfológicos (CAMARGO, 2008); que possam apoiar e agilizar os processos de tomada de decisão em diversas esferas públicas.

A modelagem do conhecimento é realizada com o apoio de sistemas que, de acordo com FEITOSA *et al.* (2005), permitam que se insira o conhecimento do foto-intérprete em um ambiente computacional que emule a sua capacidade de combinar dados de diferentes fontes e formatos na análise de imagens de sensores remotos. Esses sistemas permitem a extração automática de informações de imagens de Sensoriamento Remoto, o que facilita e torna esse processo mais dinâmico para as inúmeras temáticas existentes nas ciências ambientais. A abordagem baseada em conhecimento tem como objetivo a identificação de objetos que têm uma existência concreta no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura, padrão e contexto na imagem analisada (PINHO, 2005).

Dentre as abordagens de classificação existentes, a análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA) é a que fornece a melhor infraestrutura conceitual para se representar em termos computacionais o conhecimento de um especialista humano para a interpretação automática de imagens de Sensoriamento Remoto (NOVACK, 2009).

RIBEIRO (2010) resalta que essa abordagem de classificação necessita da experiência do intérprete em todo o processo de análise dos dados. Como o funcionamento destes sistemas baseia-se na introdução do conhecimento do analista a respeito da cena, sendo uma formalização da visão de um determinado indivíduo sobre uma imagem específica, o resultado do modelo de classificação passa a ser um reflexo do conhecimento (incluindo informações coletadas a priori sobre a área a ser classificada) e da capacidade de compreensão do analista (fortemente influenciada por sua formação profissional e experiência) a respeito de uma determinada área de estudo ou especialidade da pesquisa em questão.

O principal sistema conhecido e utilizado no Brasil é o eCognition, que foi criado,

prioritariamente, para atender à demanda de classificação de imagens de alta resolução espacial, através da abordagem baseada em objetos. Este software comercial apresenta um ambiente para a classificação de objetos de imagem, gerados através de um processo de segmentação hierárquica (em diferentes níveis de escala). Além disso, o software possui funções interativas, com que permitem ao usuário explorar e definir os melhores descritores e regras a serem usados na classificação. Os modelos desenvolvidos podem contemplar regras booleanas e/ou fuzzy, e estabelecer relações de hereditariedade entre classes de níveis (escalas) diferentes (ROSÁRIO *et al.*, 2009). Além disso, as versões atuais contam com funcionalidades para mineração de dados.

Outro sistema baseado em objetos que vem sendo disseminado no Brasil, e foi utilizado neste trabalho, é o InterIMAGE (COSTA *et al.*, 2008), um software gratuito e de código aberto. O InterIMAGE é baseado no sistema GEOAIDA, desenvolvido pelo TNT – Instituto para Tecnologia da Informação da Universidade de Hannover, na Alemanha; que herdou as características funcionais básicas daquele sistema, mas que apresenta uma nova interface gráfica desenvolvida pelo Laboratório de Visão Computacional (LVC) do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pelas divisões de Processamento de Imagens (DPI) e de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O InterIMAGE implementa uma estratégia específica de interpretação de imagens, baseada e guiada por uma descrição hierárquica do processo de interpretação, estruturada em uma rede semântica (COSTA *et al.*, 2008). A rede semântica é representada por “nós” que possuem operadores associados que são chamados de holísticos, pois se tratam de operadores que realizam a identificação de objetos correspondentes aos conceitos representados pelos nós da rede semântica.

O objetivo da mineração de dados é extrair conhecimento de grandes volumes de dados, a partir da procura por padrões consistentes, que representam classes particulares de objetos. Os primeiros pacotes de *software* para mineração de

dados surgiram em meados da década de 1990, em ambiente acadêmico. Na atualidade, já existem algumas dezenas de ferramentas comerciais para mineração de dados, identificadas pelo termo inglês *data mining*, desenvolvidas por empresas como SAS (Enterprise Miner), IBM (Intelligent Miner) e aplicadas a diversas funções (SOUZA, 2012).

Neste trabalho foi utilizado o sistema WEKA, um software neozelandês que possui funcionalidades para a mineração de dados, e que permite a seleção de técnicas para classificação de padrões em um banco de dados.

Na aplicação da mineração de dados devem-se considerar dois conceitos importantes: as tarefas e as técnicas adotadas durante o processo. Uma tarefa consiste na especificação do que se quer buscar no conjunto de dados. Como exemplos, pode-se citar: regras de associação, padrões sequenciais, análise de *outliers*, classificação e predição, análise de *clusters* (ou agrupamentos). Uma técnica, no âmbito da mineração de dados, consiste em um método específico que garanta como descobrir os padrões de interesse de uma aplicação particular. Dentre as principais técnicas utilizadas em mineração de dados, pode-se citar: técnicas estatísticas; técnicas de aprendizado de máquina; e técnicas baseadas em crescimento-poda-validação.

O modelo classificatório proveniente da mineração de dados pode ser representado de diferentes formas, entre elas destaca-se a árvore de decisão, que é uma estrutura hierárquica que indica regras de decisão cuja representatividade e o desempenho final depende da seleção de amostras e descritores representativos das classes do problema a ser resolvido.

3. ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) foi a primeira Unidade de Conservação (UC) criada no Brasil. A data de instalação remete a junho de 1937 através da criação da Estação Biológica do Itatiaia através do Decreto nº 1.713, assinado pelo ex-presidente Getúlio Vargas com uma área original de 11.943 ha. Em 1982, o decreto nº 87.586 ampliou a área do Parque para aproximadamente 30.000 ha que é a sua extensão atual (Figura 1).

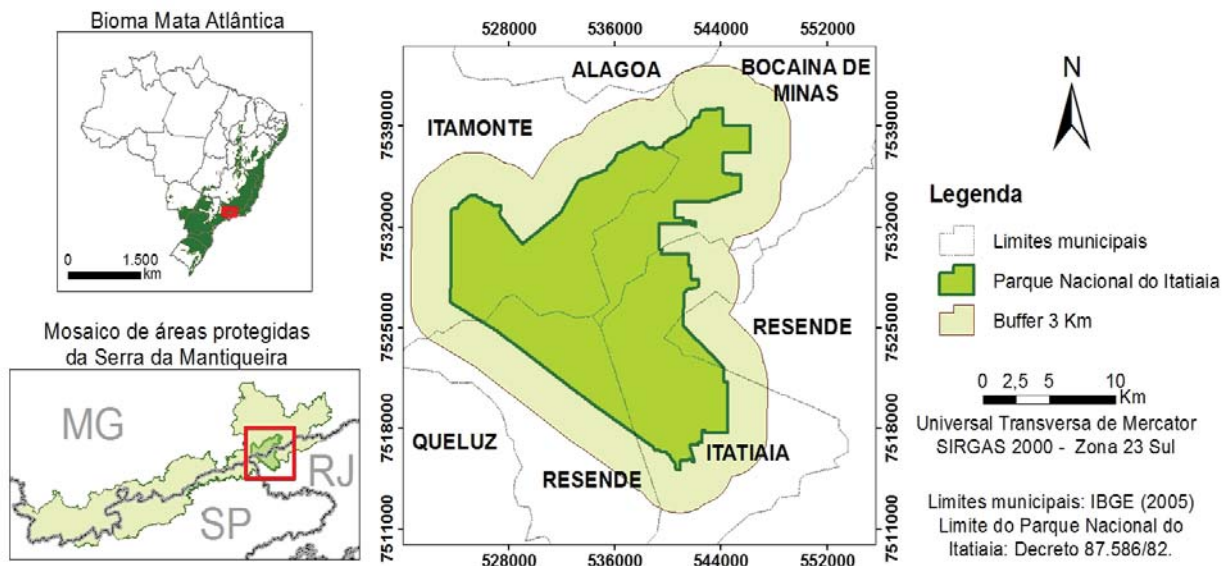


Fig. 1 - Localização do Parque Nacional do Itatiaia (Adaptado de TOMZHINSKI, 2012).

O PNI localiza-se no mosaico da Serra da Mantiqueira entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais e faz parte da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Abrange os municípios de Alagoa (MG), Bocaina de Minas (MG), Itamonte (MG), Itatiaia (RJ) e Resende (RJ). O nome Itatiaia é de origem tupi-guarani, significando “pedra cheia de pontas”, referindo-se à forma das montanhas como o Pico das Agulhas Negras, que possui o ponto mais alto do Parque com 2791,55 metros, e o Maciço das Prateleiras que são localizados na região de planalto do Parque.

Os incêndios florestais são o principal problema do PNI, foco de grande preocupação, e principal tema de diversas decisões administrativas. A área que mais sofre com incêndios de grande magnitude é o Planalto do Itatiaia (BRADE, 1956; RIBEIRO, 2001; TEIXEIRA, 2006). Tais eventos são provenientes de ações antrópicas no interior e entorno do parque, e já causaram a eliminação de espécies de fauna e flora modificando os ecossistemas e sua biodiversidade.

De acordo com TOMZHINSKI (2012), grande parte dos registros de incêndios encontram-se no entorno do PNI, numa área ampliada em 5 km dos seus limites. Os cinco maiores incêndios em área queimada concentraram-se dentro dos limites do Parque, na região de Planalto, causando inclusive fenômenos de requeima

(mesma área queimada mais de uma vez). Isso aconteceu na área queimada em 1988, o maior incêndio das últimas quatro décadas, registrado por sensoriamento remoto. Nos anos de 2001, 2007 e 2010 houve a requeima em áreas distintas dentro da área queimada de 1988.

Outros dados referentes a incêndios em áreas menores são registrados em campo, posteriormente ao combate do incêndio florestal, através de formulários preenchidos pelos brigadistas que integram informações sobre cada área queimada. Essas informações são inseridas no Relatório de Ocorrência de Incêndios (ROI) que possuem dados como os horários de início e término das diferentes fases do combate, os recursos materiais e humanos utilizados e as condições meteorológicas (ICMBio, 2010).

Os ROIs são registrados regularmente pelos brigadistas desde 2001, no entanto apenas a partir de 2008 é que as áreas atingidas passaram a ser sistematicamente perimetradas com a utilização de GNSS. Todos os dados registrados no ROI são repassados para o Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (SISFOGO), que é um sistema do PREVFOGO/IBAMA em que é permitido consultar bancos de dados geográficos com informações do ICMBio e do IBAMA. Além disso, essas informações são inseridas no processo de elaboração do Plano Operativo da UC que é atualizado anualmente.

Os dados adquiridos através dos ROIs foram divididos por períodos anuais para serem inseridos na metodologia da Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios de maneira que sejam observados cenários pretéritos e futuros dos incêndios florestais que aconteceram na área do Parque Nacional do Itatiaia e ampliação dos limites em 5 quilômetros. A Tabela 1 demonstra a diferença entre a quantidade de ROI e a área queimada em hectares durante cada ano registrado.

A Tabela 1 mostra que a quantidade de registros de incêndios não é proporcional ao tamanho das áreas queimadas. Esse é um indicativo da importância da delimitação das áreas queimadas através do uso do GNSS pelos brigadistas. Essa metodologia propicia a espacialização do fenômeno de maneira temporal e mostra uma grande concentração de pequenos incêndios nos limites do Parque, na região de Serra Negra, Vargem Grande e Fragária e, na

região da Parte Baixa do Parque, próxima a Rodovia Presidente Dutra em Itatiaia.

Neste trabalho os dados dos ROI foram divididos em dois períodos que consideram o ano de 2009 como base para a observação de cenários pretéritos para calibração do modelo aplicado com os dados dos anos de 2008 e 2009 e, também para a verificação de cenários futuros para validação baseados nos dados de ROI de 2010 a 2012 (Figura 2).

Tabela 1: Quantidade de ROI durante o período de 2008 a 2012

Ano	Quantidade de ROI	Área queimada (hectares)
2008	43	136,15
2009	23	61,42
2010	33	1325,04
2011	46	471,34
2012	29	85,85

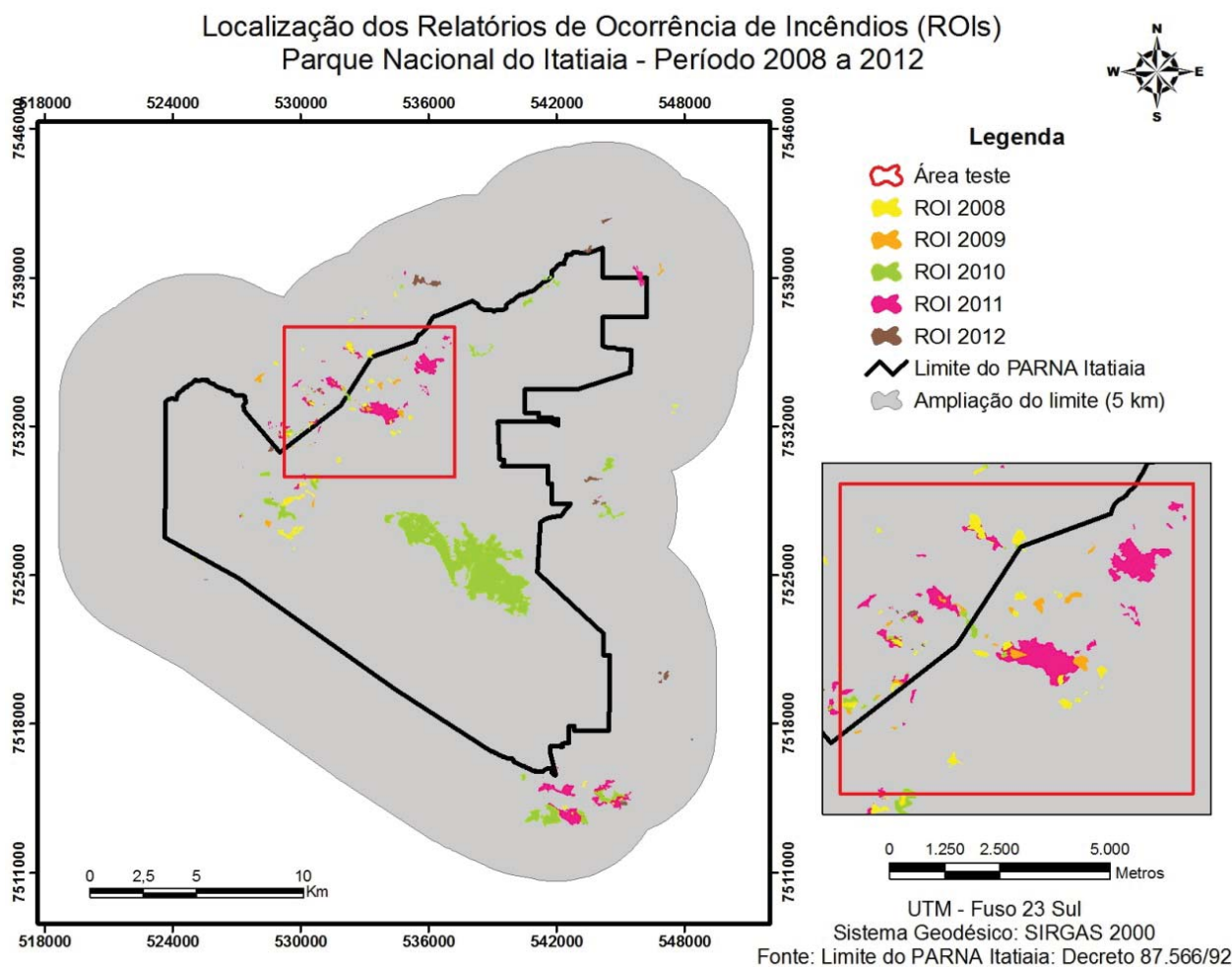


Fig 2 - Localização da área teste e áreas queimadas identificadas pelos ROIs.

Visando um maior detalhamento deste estudo, foi delimitada uma área teste que se concentra na parte alta do PNI, localizada no limite norte, conforme foi verificado na Fig. 2. Essa área teste foi determinada através da concentração de grande número de pequenas áreas queimadas que ocorrem nessa região que possui como destaque a região de Serra Negra com a entrada de gado realizada por moradores do entorno da UC.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A classificação por GEOBIA é utilizada em diversos ramos do conhecimento da área ambiental. Diante disso, é necessária

a compreensão sobre a criação dos objetos por meio dos processos de segmentação de imagens, que representam um desafio importante para a subsequente identificação das classes mapeadas. Os objetos podem ser identificados de diversas maneiras que variam de acordo com o conhecimento dos analistas de diferentes áreas. A interpretação das variáveis ambientais deve seguir o objetivo proposto para o mapeamento.

A metodologia busca verificar a susceptibilidade a partir de diferentes parâmetros de segmentação e por árvores de decisão geradas através de mineração de dados para a área teste do PNI. A metodologia está dividida em dados de entrada, métodos aplicados e resultados (Figura 3).

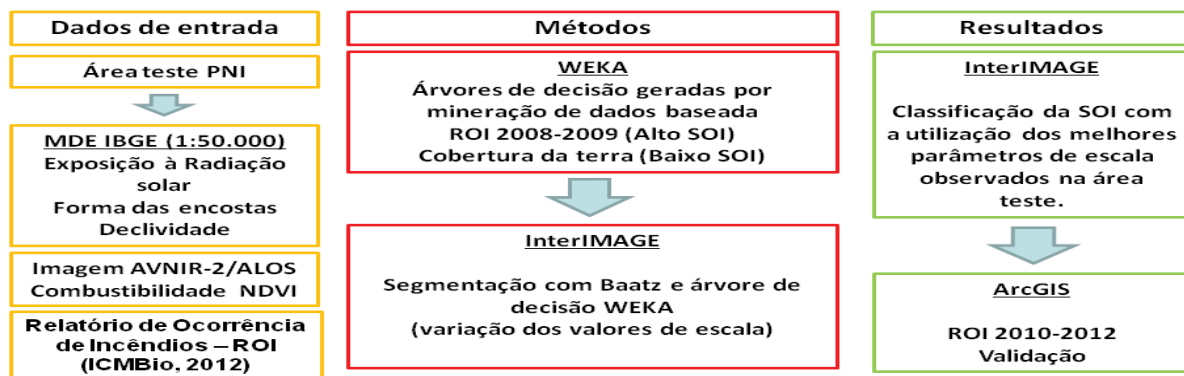


Fig. 3 - Fluxograma metodológico

A área teste foi definida para facilitar o processamento da classificação no InterIMAGE, mas prevendo a possibilidade de expansão para toda a área de estudo. A delimitação da área teste ocorreu diante dos 54 ROI referentes ao período de 2008 a 2009 e a extensão da imagem AVNIR-2 (1392 x 1028 pixels) que possibilitou a realização dos testes de segmentação.

Os dados de entrada são compostos por cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000 que permitiram a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir do qual foram extraídas as variáveis geológicas de exposição à radiação solar, forma das encostas e declividade.

A variável de combustibilidade foi extraída a partir do cálculo do NDVI, por *pixel*, sobre as bandas do vermelho e infravermelho próximo da imagem AVNIR-2/ALOS. A imagem passou por processos de correção atmosférica, através do modelo 6S (SOUSA & ANTUNES, 2013) e de ortorretificação (TOMZHINSKI, 2012), visando

retirar todas as influências da atmosfera e relevo existentes na área.

Os ROI foram editados a partir da obtenção do centroide de cada área delimitada em campo com o objetivo de homogeneizar as amostras para a mineração de dados conforme processo ilustrado na Fig. 4, descrito a seguir.

As áreas (ROIs) foram adquiridas em formato vetorial (*shapefile*) e convertidas para formato *raster*. Inicialmente foram excluídas as áreas com duplicidade de registros e com pequenos tamanhos, delineadas em vermelho na Fig. 4a. A segunda etapa (Fig. 4b) foi o cálculo do centroide (ponto vermelho) de cada área, e a conclusão do processo foi a criação de um polígono a partir do centroide com ampliação de 25 metros, círculo amarelo indicado na Fig. 4c.

As amostras de ROI foram consideradas indicativas de alta susceptibilidade e foram inseridas em conjunto com amostras de áreas



Fig. 4 – Edição de área de ROI.

com características de baixa susceptibilidade, identificadas com o auxílio da imagem AVNIR-2/ALOS. Ambos os tipos de amostras foram processados pelo sistema InterIMAGE para extração dos valores de atributos considerados nas variáveis geológicas. Os atributos extraídos foram: amplitude; entropia; máximo valor do pixel; média; mínimo valor do pixel; moda; razão; desvio padrão; soma dos pixels; e variância.

Os atributos extraídos foram usados na obtenção de 4 árvores de decisão, elaboradas individualmente para cada variável geológica, no software WEKA. A classificação através de tais árvores de decisão se deu, inicialmente, de maneira individualizada em quatro projetos distintos elaborados no InterIMAGE. Os resultados dos projetos de interpretação do InterIMAGE foram posteriormente exportados para análise visual no software ArcGIS 10.1.

A análise visual realizada resultou na combinação dos resultados das 4 árvores de decisão visando a identificação da Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios (SOI) nas classes alta, média e baixa, visando a observação do tamanho dos segmentos (objetos) para melhor definição do mapa final. Para isso, usada a imagem (*raster*) do NDVI, calculado a partir da imagem AVNIR-2/ALOS, como entrada para o operador de segmentação do InterIMAGE baseado no algoritmo proposto em BAATZ & SCHAPE (2000). No processo foram usados diferentes valores para o parâmetro de escala deste operador.

As áreas sem vegetação foram classificadas em um mapa de cobertura da terra (COLARES *et al.*, 2013) e agrupadas como Áreas Não Susceptíveis à Ocorrência de Incêndios (ANSOI).

5. RESULTADOS

A área classificada indicou diferentes resultados para segmentações com valores do parâmetro de escala iguais a 5, 10 e 20. Os demais parâmetros de segmentação foram idênticos e corresponderam aos pesos da cor igual a 0.7; compacidade igual a 0.9. A redução do valor do parâmetro de escala gerou segmentos de tamanhos menores trazendo maior detalhamento para a classificação da susceptibilidade conforme a indicação da Fig. 5.

Conforme pode-se observar nos mapas da Fig. 5, os resultados da SOI foram sobrepostos às áreas queimadas (ROI) referentes ao período entre 2010 a 2012 que representam áreas posteriores ao levantamento de dados, para a validação do mapeamento. A sobreposição dos mapas mostra que o comportamento da susceptibilidade varia à medida que os segmentos são reduzidos trazendo um possível aumento de escala para análise dos dados. Quando os mapas da SOI são sobrepostos com as áreas queimadas observa-se que não é propriamente isto que ocorre. Para um melhor entendimento, a Tabela 2 apresenta a sobreposição dos resultados da classificação com as áreas queimadas utilizadas para validação do mapeamento.

Além dos resultados relacionados com as segmentações realizadas, a Tabela 2 também mostra o resultado de um método de combinação de variáveis que utiliza a classificação “pixel a pixel”, considerando o procedimento de álgebra de mapas, conforme aplicado por TOMZHINSKI (2012). Os resultados permitem identificar a classificação mais adequada para identificação das áreas queimadas. Percebe-se que a classificação por pixel apresentou resultados piores que as classificações que utilizaram a segmentação e árvore de decisão.

diante da experiência adquirida neste trabalho, é recomendável que possuam pequena extensão para que haja maior concentração dos atributos extraídos.

Para este tipo de análise também é importante ressaltar, que nem sempre o aumento da resolução espacial da análise pode representar em um maior acerto, visto que os objetos com maior tamanho demonstraram um maior acerto que os de menor. Assim, fica clara a importância de buscar o equilíbrio da busca pela maior resolução espacial e sua real necessidade. Neste sentido, o entendimento da transformação cartográfica cognitiva de generalização deve ser bem avaliada na busca da construção de modelos de análise cada vez mais consistentes.

O InterIMAGE apresentou-se capaz de realizar diferentes tarefas que envolveram a aquisição dos atributos para as amostras das variáveis e a inserção das árvores de decisão geradas pelo WEKA. Indica-se a realização da metodologia apresentada completamente no InterIMAGE, utilizando o operador de classificação supervisionada baseado em árvores de decisão Terra Aida C4.5, que possui a mesma lógica do J48 existente no WEKA.

Os resultados demonstraram que o estudo é aplicável para outras UCs brasileiras devido a utilização de dados disponíveis de imagens de satélite e modelos topográficos além dos softwares livres WEKA e InterIMAGE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAATZ, M.; SCHAPE, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**. Beiträge zum AGITSymposium Salzburg. Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag. p. 12 – 23., 2000.

BLASCHKE, T.; GLÄSSER, C.; LANG, S. Processamento de imagens num Ambiente Integrado SIG/Sensoriamento Remoto – Tendências e Consequências. In.: BLASCHKE, T.; KUX, H.J.H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados – novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos. 2ª Ed., pp. 11 – 18., 2007.

BONHAM CARTER, G. F. **Geographic**

Information Systems for Geoscientists - Modelling with GIS. Kindlington: Pergamon Press., 398 p., 1994.

BRADE, A. C. **A flora do Parque Nacional do Itatiaia**. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, Nº 5. Itatiaia/RJ, 114p., 1956.

CAMARGO, F.F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/Terra**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos/SP., 171 p., 2008.

CINTRA, D. P. ; NOVACK, T. ; REGO, L. F. G. ; COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q. PIMAR Project - Monitoring the atlantic rainforest remnants and the urban growth of the Rio de Janeiro city (Brazil) through remote sensing. In: GEOBIA 2010, Ghent, Belgium, 2010. **Proceedings**, 2010.

COLARES, I.V.V.; NUNES, M.T.O.; SOUSA, G.M.; FERNANDES, M.C. Mapeamento da cobertura da terra do Parque Nacional do Itatiaia com a plataforma cognitiva InterIMAGE. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais**. P. 2329-2336., 2013.

COSTA, G.A.O.P.; PINHO, C.M.D.; FEITOSA, R.Q.; ALMEIDA, C.M.; KUX, H.J.H.; FONSECA, L.M.G.; OLIVEIRA, D. InterIMAGE: Uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. In: **Revista Brasileira de Cartografia – RBC**, nº 60/4, p.331-337, dez 2008.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B.; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E.; ARAÚJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007. **Anais**. São José dos Campos: INPE. p. 5691-5698., 2007.

FEITOSA, R.Q.; MATTOS, C.; SANTOS, R.V.; REGO, L.F.G.; PEREIRA, A.A.C. Impacto de técnicas baseadas em conhecimento na análise de imagens de média resolução para mapeamento

- do desflorestamento na Amazônia. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 4065-4072., 2005.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral, Coordenação Geral de Proteção Ambiental. Brasília, 87 p., 2010.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução: KUX, H.J.H. São Paulo: Oficina de Textos. 424 p., 2009.
- MEIRELLES, M.S.P. **Análise Integrada do Ambiente através de Geoprocessamento – Uma Proposta Metodológica para Elaboração de Zoneamentos**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, IGEO, Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 280p., 1997.
- MENEZES, P.M.L. **A interface Cartografia-Geoeologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analítico-integrativos**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 208 f., 2000.
- NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quickbird**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos., p. 214, 2009.
- PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 180 p., 2005.
- RIBEIRO, B. M. G. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 177 p., 2010.
- RIBEIRO, K. T. **Incêndio no Planalto do Itatiaia – Parecer Técnico sobre Uso Público do Planalto do Itatiaia imediatamente após o incêndio**. Itatiaia, 11p., 2001.
- ROSÁRIO, L. S.; CRUZ, C. B. M.; OLIVEIRA, L. M. T.; SANTOS, P. R. A. **Análise Orientada a Objeto no Mapeamento dos Estágios Sucessionais da Vegetação na Escala 1:25.000 – um Estudo de Caso da REBIO União, RJ**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. **Anais**. São José dos Campos: INPE. p. 7119-7126., 2009.
- SOUSA, G. M.; ANTUNES, M. A. H. **Correção atmosférica de imagens AVNIR-2/ALOS com o modelo 6S no Parque Nacional do Itatiaia**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 1885-1892, 2013.
- SOUSA, G.M.; COURA, P.H.F.; FERNANDES, M.C. **Cartografia geoeológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: Uma proposta metodológica**. In.: **Revista Brasileira de Cartografia – RBC**, nº 62 Edição Especial 1 – Geotecnologias, Julho, pp. 277-289., 2010.
- SOUZA, E.M.F.R. **Diferenças nas respostas espectrais de floresta em encosta por meio de imagem hiperespectral**. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia/IGEO/UFF, Niterói., 221 f., 2012.
- TEIXEIRA, L. N. **Perfil dos Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia e Entorno**. Monografia do Curso de Especialização em Gestão do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Associação Educacional Dom Bosco, Resende, RJ. 52p., 2006.
- TOMZHINSKI, G.W. **Análise Geoeológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGG/UFRJ. 137 f., 2012.
- TROLL, C. **Luftboldplan und ökologische bodenforschung**. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zer Berlin, p.p. 241-298., 1939.
- TURNER, M.G. **Landscape Ecology: Effect of Pattern on Process**. In: Annual Review of

Ecological Systems, vol. 10, nº 3, pp. 171-197., 1989.

VERMOTE, E.F.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J.L.; HERMAN, M.; MORCHETE, J.J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. In: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. Vol. 35. n 3, p. 675-686., 1997.

VICENS, R. S.; CRONEMBERGER, F. M.; CRUZ, C. B. M. Análise multi-resolução e

modelagem do conhecimento na diferenciação de fisionomias de florestas em remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. **Anais**. p. 4519-4526., 2009.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2nd. Ed., 525 p., 2005.