



Estimativa do Risco de Incêndios Florestais com Base em Fitofisionomias e Fatores Climáticos

Marcos Felipe Oliveira de Carvalho¹, Manoel Ferreira Cardoso¹ & Bruno Natali de Almeida²

Recebido em 30/06/2015 – Aceito em 04/03/2016

RESUMO – A determinação da propensão da vegetação à queima é de grande interesse no estudo da dinâmica da cobertura do solo e no manejo de áreas de preservação ambiental. No presente trabalho, aplicamos relações entre condições atmosféricas e o risco de fogo observadas na Floresta Nacional de Lorena, São Paulo, para estimar o grau de susceptibilidade à ocorrência de fogo em três classes principais de vegetação definidas para uma região de estudo que cobre trechos dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, e inclui unidades de conservação federais e outras áreas de interesse ambiental. A aplicação do método resultou em mapas mensais de susceptibilidade ao fogo, para os anos de 2011 e 2012, em função de variáveis ambientais como precipitação, umidade relativa e temperatura do ar. Os resultados apresentam um aumento na susceptibilidade entre os meses de junho e novembro em 2011, e entre os meses de agosto e novembro em 2012, compatível com condições de menor umidade, e corroborado por um aumento no número de focos de calor detectados por satélites no mesmo período. Acreditamos que o método e os resultados aqui apresentados tenham implicações importantes para o manejo das unidades de conservação dentro da região de estudo. Nestas áreas, é desejável que a ocorrência do fogo seja controlada, e métodos que auxiliem no acompanhamento do seu risco dentro das unidades de conservação e seu entorno, desenvolvidos com informações específicas para estas áreas, e que sejam de fácil aplicação são de grande interesse e importância.

Palavras-chave: Dados climáticos; estimativas de flammabilidade; Flona de Lorena; fogo na vegetação.

ABSTRACT – Estimation of fire susceptibility is of great interest for the study of the dynamics of land cover and management of conservation areas. Here, we applied relationships between atmospheric conditions and fire risk observed at the Floresta Nacional de Lorena (Lorena National Forest), in the Brazilian state of São Paulo, to estimate the degree of susceptibility to fire for three main vegetation classes (low, medium and high biomass density) in a study region that covers portions of the Brazilian states of Minas Gerais, Rio de Janeiro and São Paulo, and includes federal parks and other areas with conservational interests. The application of this method resulted in monthly maps of susceptibility to fire, for the years 2011 and 2012, based on precipitation, relative humidity and air temperature. The results show increase of fire susceptibility from June to November in 2011, and from August to November in 2012, in line with dry conditions, and satellite fire detections for these periods. We believe that the method and results presented have important implications for the management of the conservation areas in the study region. Fire control in these areas is important, and methods that help to monitor its risk, developed with information from these specific areas and that are easy to apply are of great importance.

Keywords: Climatic data; flammability estimation; Lorena National Forest, wildfire.

Afiliação

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Brasil.

² Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Brasil.

E-mails

marcos.carvalho@inpe.br, manoel.cardoso@inpe.br, bruno.natali@posgrad.ufla.br

RESUMEN – La determinación de la propensión de la quema de vegetación es de gran interés para el estudio de la dinámica de la cobertura del suelo y manejo de áreas de conservación. En este artículo aplicamos las relaciones entre las condiciones climáticas y el riesgo de incendio visto en la Floresta Nacional de Lorena, São Paulo, para estimar el grado de susceptibilidad al fuego en tres clases principales de vegetación de un área de estudio que abarca partes de los estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro y São Paulo, e incluye áreas protegidas federales y otras áreas de interés ambiental. La aplicación del método resultó en mapas mensuales de susceptibilidad a incendios, para los años 2011 y 2012, de acuerdo con las variables ambientales, como la precipitación, la humedad relativa y la temperatura del aire. Los resultados muestran un aumento en la susceptibilidad entre los meses de junio y noviembre de 2011, y entre agosto y noviembre de 2012, compatible con menor humedad, y apoyados por un aumento en las detecciones de píxeles calientes por satélites en el mismo período. Creemos que el método y los resultados presentados aquí tienen implicaciones importantes para el manejo de áreas protegidas dentro del área de estudio. En estas áreas, es deseable el control de la aparición del fuego, y los métodos que ayudan en el control de su riesgo dentro de las áreas protegidas y su entorno, desarrollado con información específica para estas áreas y que son fáciles de aplicar, son de gran importancia.

Palabras clave: Datos climáticos; estimaciones de inflamabilidad; Flona de Lorena; fuego en la vegetación.

Introdução

Incêndios florestais são um dos principais distúrbios que afetam os ecossistemas terrestres, podendo causar modificações da vegetação, perdas na fauna regional, alterações nas características do solo e mudanças no microclima local (Bowen *et al.* 2009, Cardoso *et al.* 2008, Oliveira 2002). Sua ocorrência está ligada tanto a fatores naturais (raios e longos períodos de seca) como a ação humana (preparação do terreno para pastagens e agricultura, desflorestamento e ignição acidental) (Cardoso *et al.* 2003, Cochrane 2003). Em unidades de conservação, particularmente, estes incêndios têm consequências ainda mais alarmantes, uma vez que coloca em risco o trabalho de conservação dos ambientes naturais, a preservação de espécies ameaçadas e endêmicas e a garantia de variabilidade genética, entre outros transtornos (Medeiros & Fiedler 2004).

As condições climáticas influenciam de forma bastante significativa esse cenário, podendo favorecer ou inibir a propagação do fogo após a ignição inicial. Entre as variáveis mais relevantes, podemos citar a baixa umidade da vegetação como o principal fator determinante da vulnerabilidade do material combustível à ocorrência de fogo, estando diretamente relacionada com a temperatura (T) e a umidade relativa do ar (UR) (Alves 2009). Desta forma, conhecer as condições climáticas é um dos primeiros passos para se estimar a inflamabilidade da vegetação em uma determinada área.

Métodos capazes de estimar o grau de inflamabilidade são de grande interesse em pesquisas sobre a dinâmica da vegetação e suas relações com outros componentes dos ecossistemas terrestres, bem como para o desenvolvimento de planos de manejo para áreas protegidas. Dentre esses métodos, destacamos aqueles que realizam essa estimativa por meios indiretos, sem a necessidade de coleta de material combustível para medir a umidade da vegetação, utilizando para isso sensoriamento remoto para calcular os índices de vegetação, ou dados climáticos e pluviométricos medidos em estações meteorológicas (Carvalho 2013).

Almeida (2012), utilizando um método indireto, através da medição de variáveis climáticas com um aparelho portátil, estudou a relação entre T, UR, precipitação (P) e o risco de fogo nos diferentes tipos de vegetação encontrados na Floresta Nacional (Flona) de Lorena, São Paulo, e constatou que, em condições de seca, uma vegetação mais densa (de maior porte e mais biomassa) resiste mais a se tornar inflamável do que uma vegetação menos densa (de menor porte e menos biomassa). Ao longo de seu experimento, de abril a outubro de 2012, Almeida (2012) verificou que a UR e T próximas a formações mais densas indicaram que a vegetação se manteve úmida mesmo em períodos mais secos, enquanto a UR e T próximas a formações menos densas indicaram maior suscetibilidade ao fogo.

No presente trabalho, tendo como base as constatações feitas por Almeida (2012) para a vegetação da Flona de Lorena, aplicamos a relação entre condições atmosféricas e as características fisionômicas em diferentes formações vegetais para estimar a flamabilidade da vegetação em uma área com forte interesse em conservação ambiental.

Metodologia

Área de estudo

A região onde este trabalho foi desenvolvido apresenta uma área de aproximadamente 22.000km², e cobre trechos dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. A região está posicionada entre os paralelos 22° 5' 19.73" Sul à 23° 19' 46.79" Sul, e 44° 22' 44.40" Oeste à 45° 48' 55.66" Oeste, e foi escolhida por conter a Flona de Lorena em seu centro e abranger outras áreas de interesse ambiental. Além da Flona, a região de estudo inclui outras seis unidades de conservação federais (Área de Proteção Ambiental – APA – Serra da Mantiqueira, APA Bacia do Rio Paraíba, APA de Cairuçu, Floresta Nacional – Flona – de Passa Quatro, Parque Nacional – PARNA – Itatiaia e PARNA Serra da Bocaina) e onze estaduais (APA Campos do Jordão, APA Fernão Dias, APA Sapucaí Mirim, APA Silveiras, APA Tamaios, Área sob Proteção Especial – ASPE – Itatinga, ASPE Roseira Velha, Parque Estadual – PES – Campos do Jordão, PES Serra do Mar, PES Serra do Papagaio e Reserva Ecológica – RESEC – de Juatinga) (Figura 1).

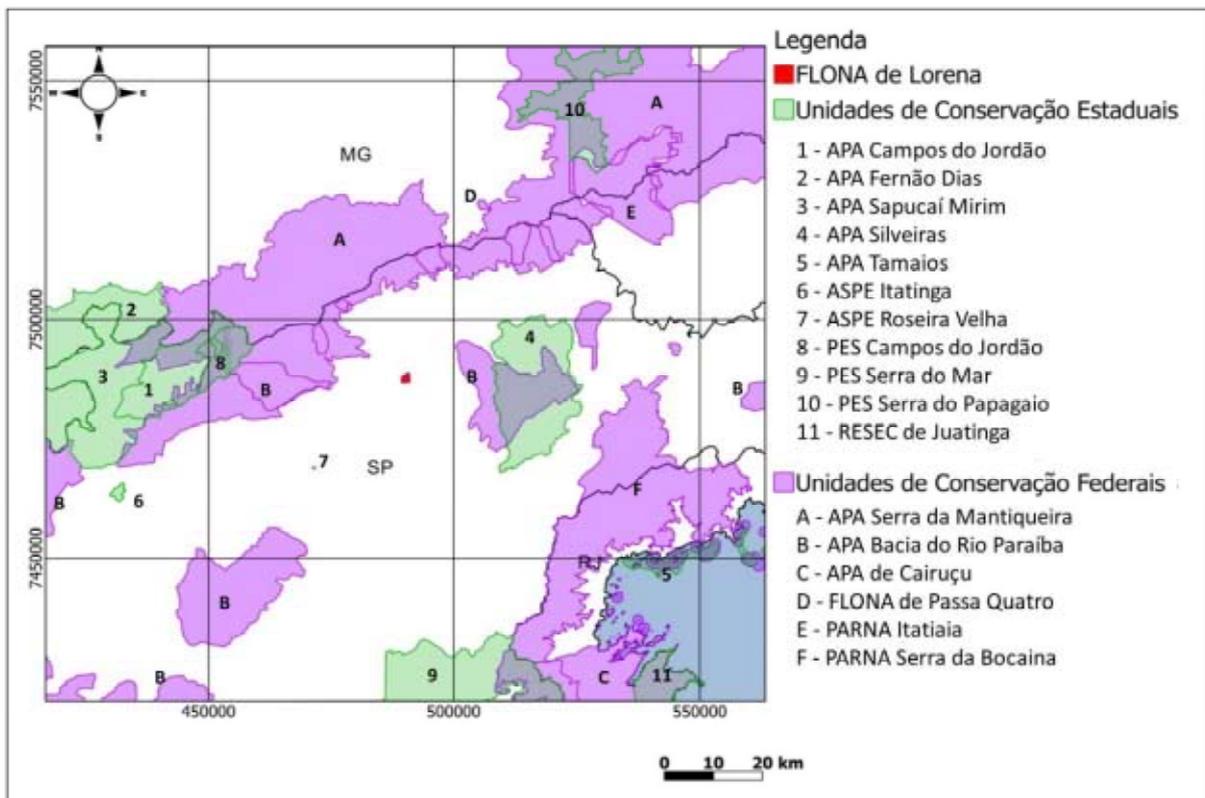


Figura 1 – Área de estudo. Mapa da área de estudo destacando a localização da Flona de Lorena (em vermelho) e de outras unidades de conservação estaduais (em verde), e das Unidades de Conservação Federais (em roxo). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

Classificação da cobertura do solo

A área de estudo foi analisada com base nos tipos principais de vegetação observados por Almeida (2012) na Flona de Lorena: vegetação arbórea, vegetação em regeneração, vegetação de várzea e área de reflorestamento. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite que foram reclassificadas segundo estes tipos principais de cobertura do solo. A principal fonte de informação foram as imagens coletadas pelo satélite ResourceSat-1, obtidas com o sensor óptico Liss 3, com resolução espacial de 23,5m e área imageada de 141km. O sensor opera com 4 comprimentos de onda (verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) e fornece informações relacionadas a vegetação e espécies vegetais (Brasil 2014a), sendo bastante utilizado em estudos sobre agricultura e florestas (Corazza 2011, Jaiswal *et al.* 2002, Santos 2009). Foram selecionadas as cenas 332/94 obtida em 01/07/2012, e 333/94 obtida em 06/07/2012 e escolhidas por apresentarem menor cobertura de nuvens e serem compatíveis com o período de estudo na Flona de Lorena.

Com o programa SPRING (Camara 1996), as cenas foram registradas e classificadas utilizando a área da Flona de Lorena como base para aquisição de amostras de pixels, através do método de Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança (Maxver), com 99% de aceitação (Silva 2013). As classes de vegetação foram definidas relacionando a descrição feita por Almeida (2012), o mapa de cobertura do solo apresentado pelo mesmo, e as imagens do satélite ResourceSat-1. Deste modo, foram agrupados os tipos principais de vegetação dentro da Flona de Lorena em três classes: vegetação de alta densidade, vegetação de média e vegetação de baixa densidade. Além destes, foram adicionadas outros tipos de cobertura de interesse, e no final do processo cada cena apresentou 6 classes: água, área urbana, solo exposto, vegetação de alta densidade, vegetação de média densidade, vegetação de baixa densidade, e áreas que não puderam ser classificadas (Figura 2).

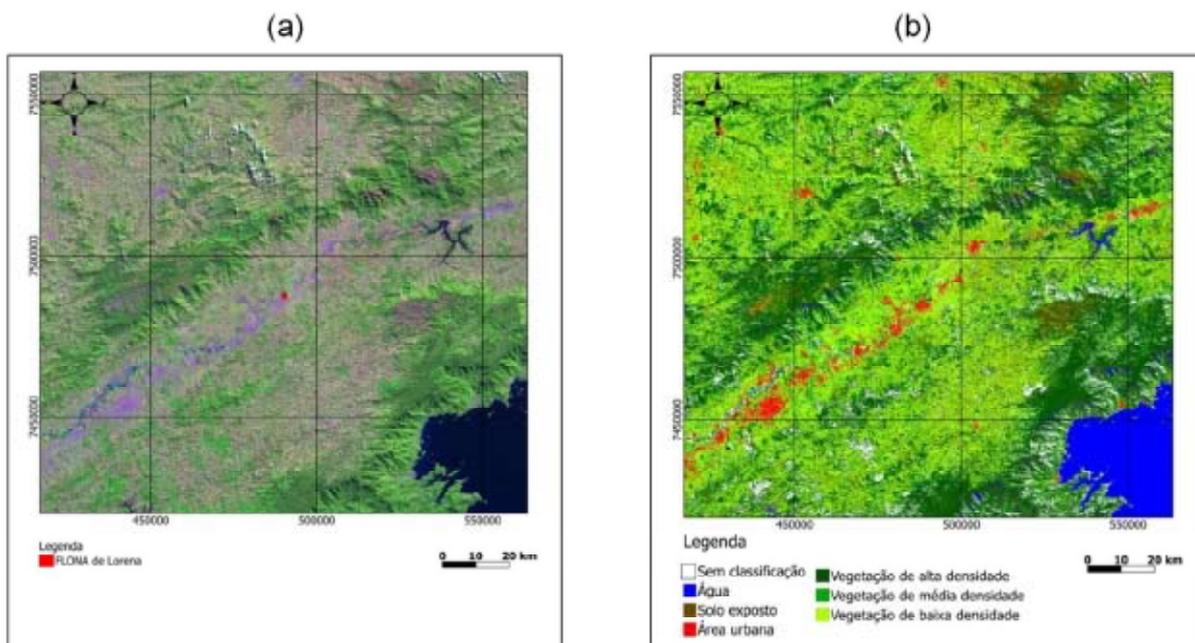


Figura 2 – Classificação da cobertura do solo. (a) Mosaico e recorte das cenas 332/94 e 333/94, do satélite ResourceSat-1 utilizadas para classificar a cobertura do solo da área de estudo, destacando a localização da Flona de Lorena (em vermelho). (b) Área de estudo após o processo de classificação pelo método de Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança (MaxVer), com o software SPRING. Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

Dados ambientais

Focos de queimadas

Os dados sobre ocorrência de focos de queimadas foram obtidos no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que disponibiliza dados sobre ocorrência de focos de queimadas e incêndios florestais detectados por satélites de órbita polar e geoestacionários, com opções de pesquisa por região de interesse, satélites, período de ocorrência, e conversão de dados para uso em Sistemas de Informações Geográficas. Em geral, para que um foco de calor seja detectado pelos satélites polares, a queimada deve ter ao menos 30m de extensão por 1m de largura, porém, como cada elemento da imagem (pixel) desses satélites tem 1km², esse foco será registrado como tendo 1km². Para os satélites geoestacionários, a queima precisa ter o dobro do tamanho, e como cada pixel desses satélites tem 4km x 4km, essa mesma queima será registrada como tendo 16km². Assim, pode-se ter várias queimadas representadas como um único foco, bem como uma mesma queimada, se registrada por mais de um satélite, representada como 2 ou mais focos. A margem de erro na localização dos focos é de aproximadamente 400m, com desvio padrão de aproximadamente 3km (Brasil 2014b). Para este trabalho foram utilizados focos de calor detectados entre janeiro de 2011 e dezembro de 2012, com os satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18, NOAA-19, NASA TERRA e AQUA e satélites geoestacionários GOES-12, GOES-13 e MSG-2.

Dados climáticos

Para este estudo, foram selecionadas variáveis meteorológicas diretamente relacionadas a condições de flamabilidade e potencial de espalhamento de fogo na vegetação, incluindo UR, T e P, obtidas através do BDMEP do InMet. Foram utilizados os dados mensais das quatro estações presentes na área de estudo (Campos do Jordão, Taubaté, São Lourenço e Resende), no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012. Assumiu-se, para cada mês, a média dos valores entre as estações como valor representativo de cada variável sobre toda a região de estudo. Os dados foram então convertidos em imagens GeoTiff, para uso em Sistemas de Informações Geográficas.

Cálculo de susceptibilidade ao fogo

O cálculo da susceptibilidade da vegetação ao fogo apresentado neste estudo está baseado principalmente no fato de que, após a ignição inicial, são necessárias algumas condições ambientais favoráveis para a manutenção e espalhamento do fogo. Estas condições incluem principalmente as características físicas da vegetação e suas condições de umidade, e que estão diretamente relacionadas à temperatura, umidade relativa da atmosfera e regime de chuvas. Conforme as observações de Almeida (2012) na Flona de Lorena, e outros estudos como Onigemo (2007), uma formação vegetal de porte maior, com dossel mais fechado e maior biomassa apresenta maior capacidade de reter umidade. Formações vegetais de porte menor, com dossel aberto ou ausente, e menor biomassa, apresentam em geral menor capacidade de reter umidade e são, portanto, mais influenciáveis pelas características climáticas ao seu redor (Onigemo 2007). Na Flona de Lorena em 2012, a vegetação arbórea apresentou maior capacidade de resistir ao período de seca antes de se tornar susceptível ao fogo, enquanto as gramíneas apresentaram maior susceptibilidade logo no início do período seco.

A partir dos gráficos de evolução temporal da umidade relativa do ar próxima a vegetação apresentados por Almeida (2012), para cada tipo de vegetação definido por ele na Flona de Lorena, encontramos o momento (dia e mês) em que, devido à baixa umidade próximo às plantas, a vegetação estava mais sujeita à ocorrência de queimadas, e o momento em que, devido

à alta umidade próximo às plantas, a vegetação estava menos sujeita à ocorrência de queimadas. Dentro da evolução temporal apresentado por Almeida (2012), entre junho e outubro de 2012, a vegetação de menor porte (gramíneas) apresentou baixa susceptibilidade ao fogo até o mês de julho, e maior susceptibilidade ao fogo em agosto. A vegetação de maior porte (vegetação arbórea) indicava estar menos susceptível até o mês de junho e mais susceptível em setembro. Para a vegetação de média densidade (vegetação em regeneração e vegetação de reflorestamento), o período que indicava menor susceptibilidade ao fogo se estendeu até junho, e o período que indicava maior susceptibilidade foi em agosto para a vegetação em regeneração, e setembro para a vegetação de reflorestamento. Conhecendo estes dois momentos (de baixa e alta susceptibilidade), os valores de T e UR do mês em que ocorreram, e a P do mês anterior, foi possível estimar valores que indicavam os limites entre alta, média ou baixa susceptibilidade à ocorrência de fogo, para cada uma das três classes de vegetação definidas para este trabalho (Tabela 1).

Para a determinação do índice de susceptibilidade (IS) abaixo, os termos de sua equação foram selecionados com base em conceitos simples e empíricos sobre o efeito de cada variável de interesse sobre a dinâmica do fogo na vegetação. Por exemplo, valores maiores de susceptibilidade ao fogo foram relacionados a valores menores de precipitação (P) e de umidade relativa do ar (UR), e a valores maiores de temperatura (T). Os efeitos diretos da precipitação e umidade relativa do ar sobre o potencial de fogo foram considerados como mais pronunciados do que os efeitos da temperatura do ar, conforme pode ser visualizado através da seguinte expressão simplificada:

$$IS \approx \left(\frac{1}{P} + \frac{1}{UR} \right) + \frac{T}{k} \quad ; \text{onde } k \text{ é uma constante maior que um.}$$

Com base nestas hipóteses, o índice de susceptibilidade foi definido como a soma das variáveis escolhidas e do respectivo peso que cada uma teria na ocorrência do fogo (Equação 1). Conforme representado, foi atribuído peso maior para a P e UR do que para T que foi dividida por 10^4 . Também, considerou-se a precipitação do mês anterior ao mês avaliado, com base no fato de que a retirada de umidade do solo pelas plantas pode perdurar por semanas após os eventos de precipitação. A quantidade de um centésimo foi somada aos valores de P e UR com o simples objetivo de evitar divisões por zero, ou valores excessivamente grandes em casos de P ou UR próximos a zero. Convém ressaltar que o índice IS é utilizado aqui como uma escala crescente para a avaliação objetiva da susceptibilidade ao fogo, e que suas unidades não apresentam um sentido físico bem definido. Desta forma, o índice é apresentado aqui sem esta especificação:

$$IS = \frac{1}{Pa+0,01} + \frac{1}{UR+0,01} + \frac{T}{10^4} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

Pa: a precipitação do mês anterior ao mês avaliado, medida em mm.

UR: a umidade relativa média do mês avaliado, medida em %

T: a temperatura compensada média do mês avaliado, medida em °C

O mapeamento da susceptibilidade IS foi realizado com o uso do software Qgis (QGIS user guide 2014) versão 2.4, onde cada variável foi convertida previamente em uma camada GeoTiff.

Tabela 1 – Escala do Índice de Susceptibilidade por classe de vegetação.

Vegetação de	Baixa susceptibilidade	Média susceptibilidade	Alta susceptibilidade
baixa densidade	$IS \leq 0,0235$	$0,0236 < IS < 0,0421$	$IS \geq 0,0422$
média densidade	$IS \leq 0,0263$	$0,0264 < IS < 0,0602$	$IS \geq 0,0603$
alta densidade	$IS \leq 0,0263$	$0,0264 < IS < 0,1447$	$IS \geq 0,1448$

Resultados

A aplicação da equação para o índice IS descrita acima gerou mapas para cada mês dos anos de 2011 (Figuras 3 a 5) e 2012 (Figuras 7 a 9) que mostram o potencial de ocorrência de fogo para o mês avaliado em três níveis: baixa, média e alta susceptibilidade ao fogo. Além do IS, os mapas mostram também os focos de queimadas registrados no Banco de Queimadas do INPE. As Figuras 6 e 10 mostram os mesmos mapas apresentados anteriormente, porém agrupados por ano, para destacar a evolução temporal das condições da vegetação em relação ao potencial de ocorrência de fogo.

A Figura 3 mostra os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2011. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa susceptibilidade ao fogo (verde) nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril e os círculos mostram os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas do INPE para este período. A Figura 4 mostra os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de maio, junho, julho e agosto de 2011. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa susceptibilidade ao fogo (verde) no mês de maio; média e alta susceptibilidade ao fogo (laranja e vermelho, respectivamente) nos meses de junho e julho; e alta susceptibilidade ao fogo no mês de agosto (vermelho) e os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do INPE.

A Figura 5 mostra os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2011. Os mapas mostram a região de estudo apresentando média e alta susceptibilidade ao fogo (laranja e vermelho, respectivamente) nos meses de setembro e outubro; baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente) no mês de novembro; e baixa susceptibilidade ao fogo no mês de dezembro (verde), e os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do INPE. Na Figura 6 são exibidos os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo do ano de 2011, e demonstra a evolução mensal da susceptibilidade da vegetação da área de estudo ao fogo e a evolução no número de focos ao longo dos meses do ano.

Na Figura 7 estão os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2012. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa susceptibilidade ao fogo (verde) nos meses de janeiro e fevereiro; baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente) no mês de março; e baixa susceptibilidade ao fogo (verde) no mês de abril e os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas do INPE. Na Figura 8 estão os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de maio, junho, julho e agosto de 2012. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente) no mês de maio; baixa susceptibilidade ao fogo (verde) nos meses de junho e julho; e média e alta susceptibilidade ao fogo (laranja e vermelho, respectivamente) no mês de agosto e os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas do INPE.

A Figura 9 mostra os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012. Os mapas mostram a região de estudo apresentando alta susceptibilidade ao fogo (vermelho) no mês de setembro; baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente) no mês de outubro; média susceptibilidade ao fogo (laranja) no

mês de novembro; e baixa susceptibilidade ao fogo (verde) no mês de dezembro, e os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas do INPE. Por fim, a Figura 10 apresenta os mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo do ano de 2012, e mostra a evolução mensal da susceptibilidade da vegetação da área de estudo ao fogo e a evolução no número de focos ao longo dos meses do ano.

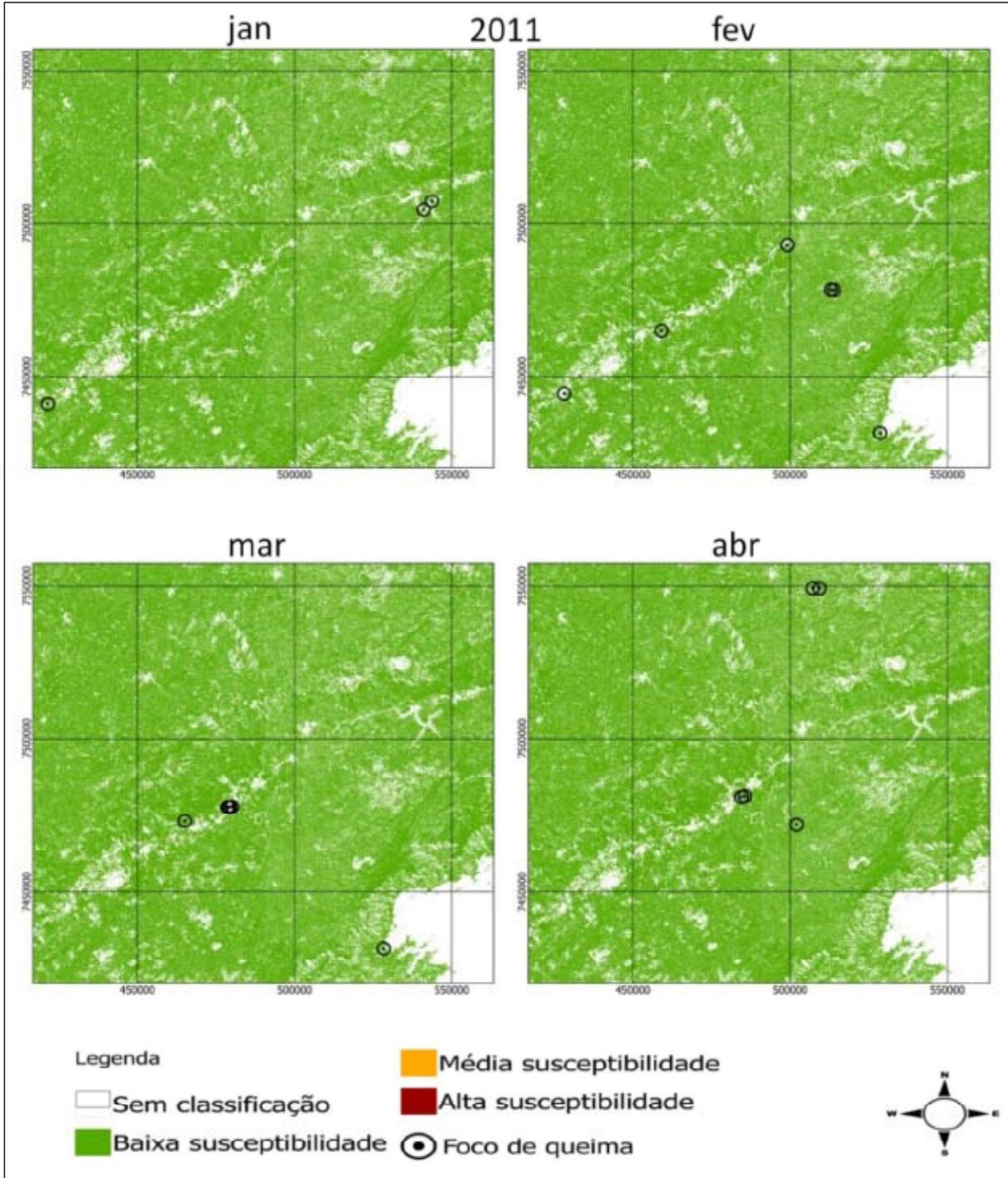


Figura 3 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2011. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa susceptibilidade ao fogo (verde), nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

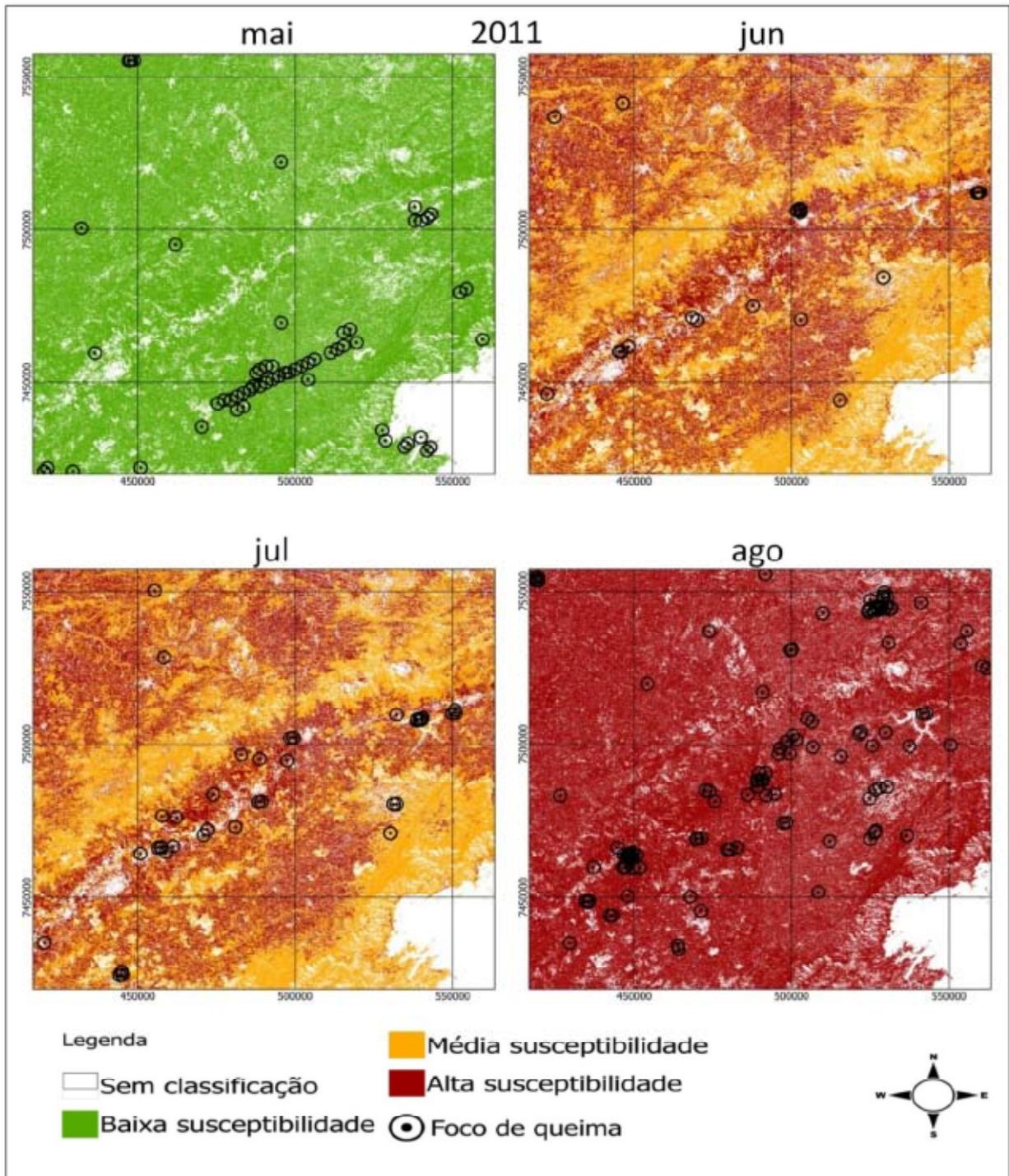


Figura 4 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de maio, junho, julho e agosto de 2011. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa susceptibilidade ao fogo (verde), no mês de maio; média e alta susceptibilidade ao fogo (laranja e vermelho, respectivamente), nos meses de junho e julho; e alta susceptibilidade ao fogo no mês de agosto (vermelho). Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

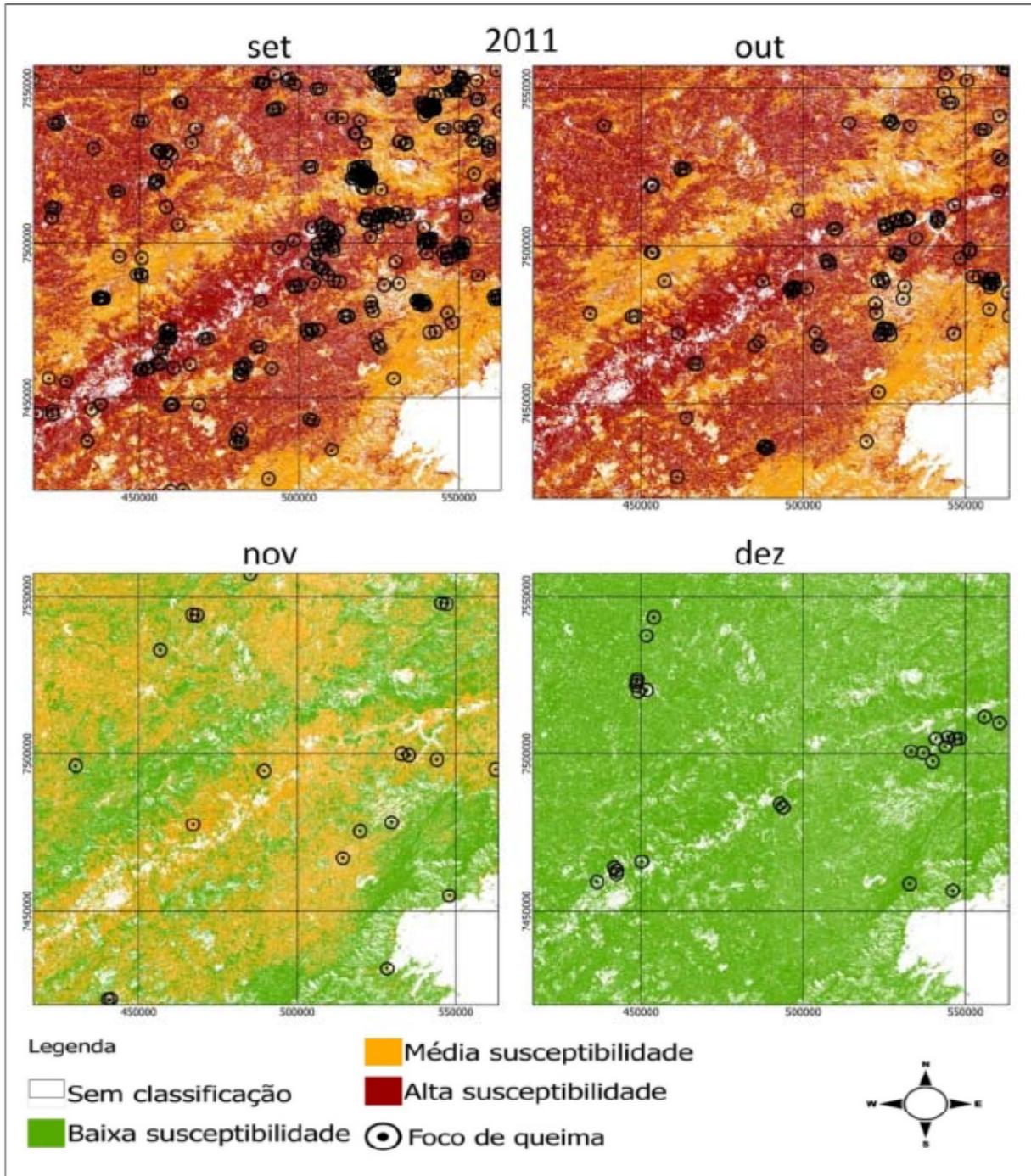


Figura 5 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2011. Os mapas mostram a região de estudo apresentando média e alta susceptibilidade ao fogo (laranja e vermelho, respectivamente), nos meses de setembro e outubro; baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente), no mês de novembro; e baixa susceptibilidade ao fogo no mês de dezembro (verde). Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

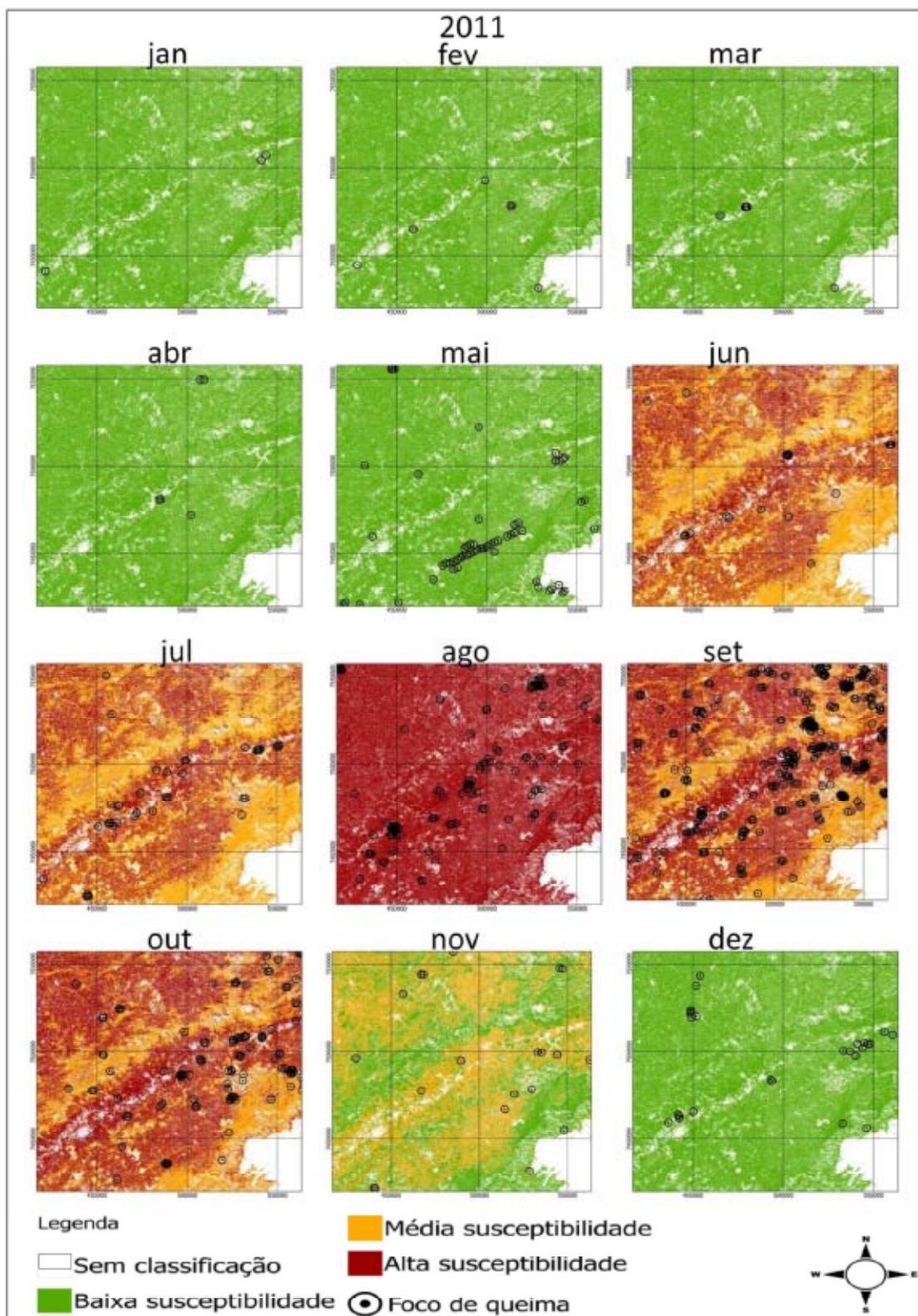


Figura 6 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo do ano de 2011. A figura demonstra a evolução mensal da susceptibilidade da vegetação da área de estudo ao fogo e as detecções de focos de calor ao longo dos meses do ano de 2011. Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

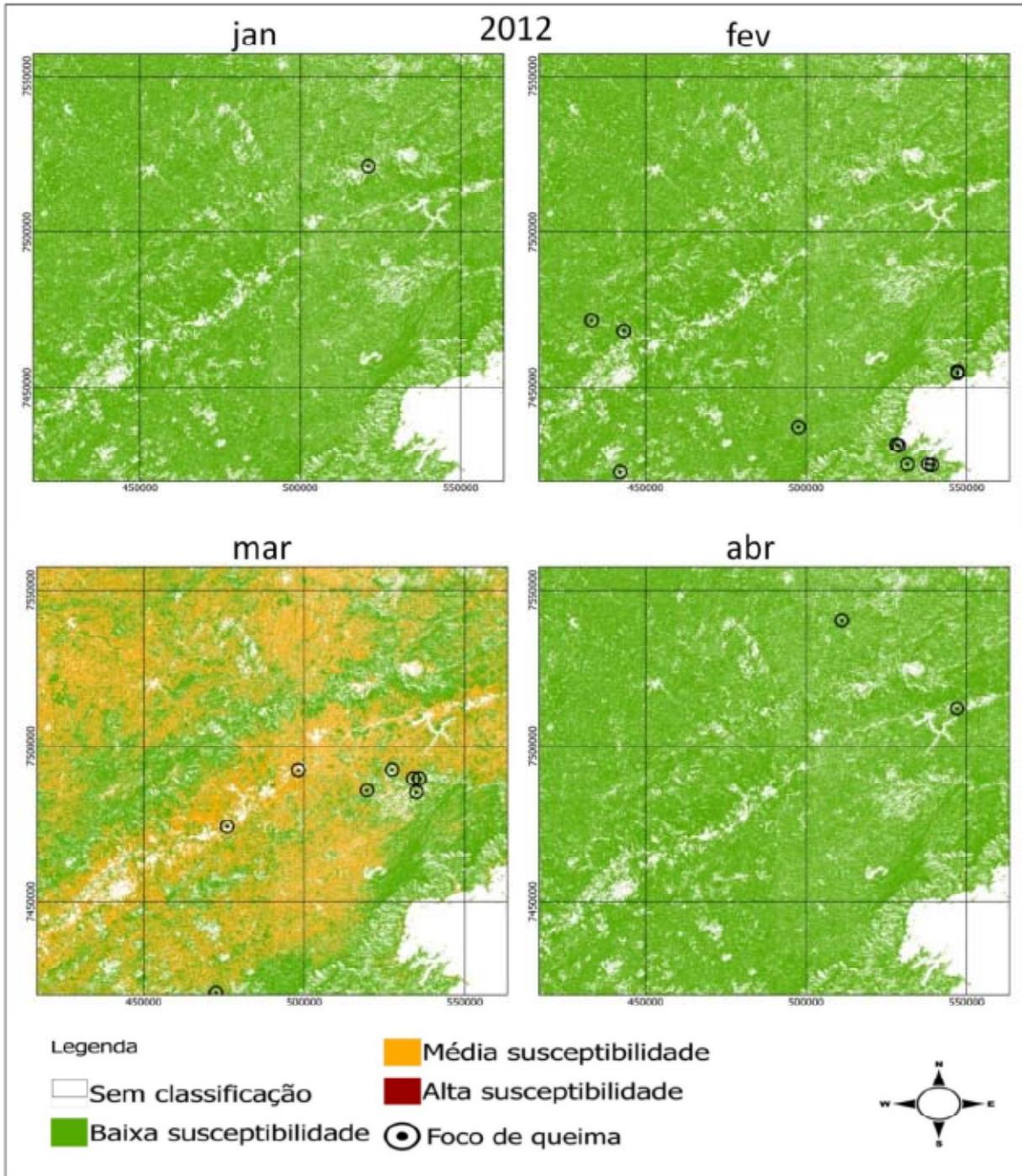


Figura 7 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2012. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa susceptibilidade ao fogo (verde), nos meses de janeiro e fevereiro; baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente), no mês de março; e baixa susceptibilidade ao fogo (verde) no mês de abril. Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

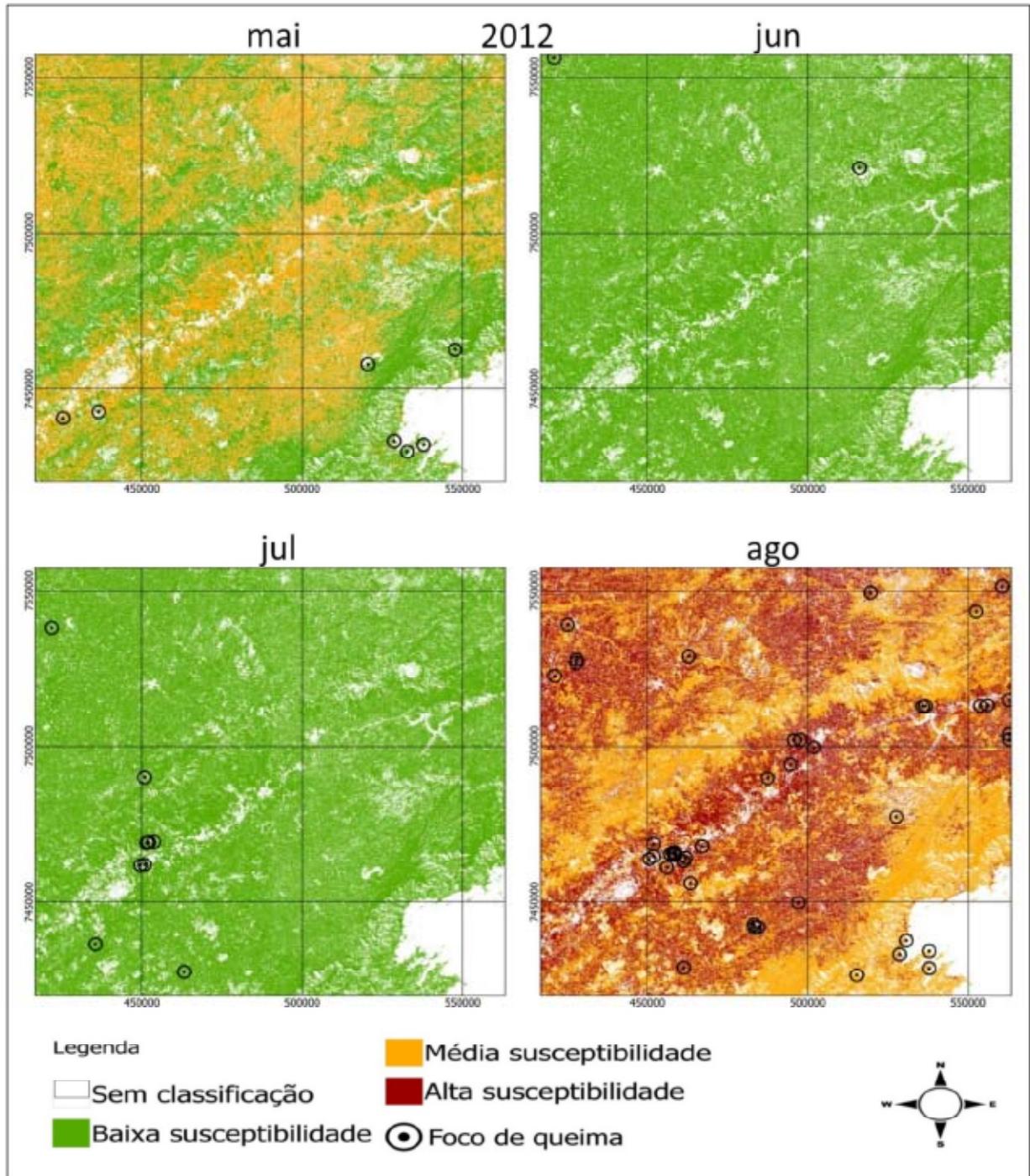


Figura 8 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de maio, junho, julho e agosto de 2012. Os mapas mostram a região de estudo apresentando baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente), no mês de maio; baixa susceptibilidade ao fogo (verde), nos meses de junho e julho; e média e alta susceptibilidade ao fogo (laranja e vermelho, respectivamente) no mês de agosto. Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

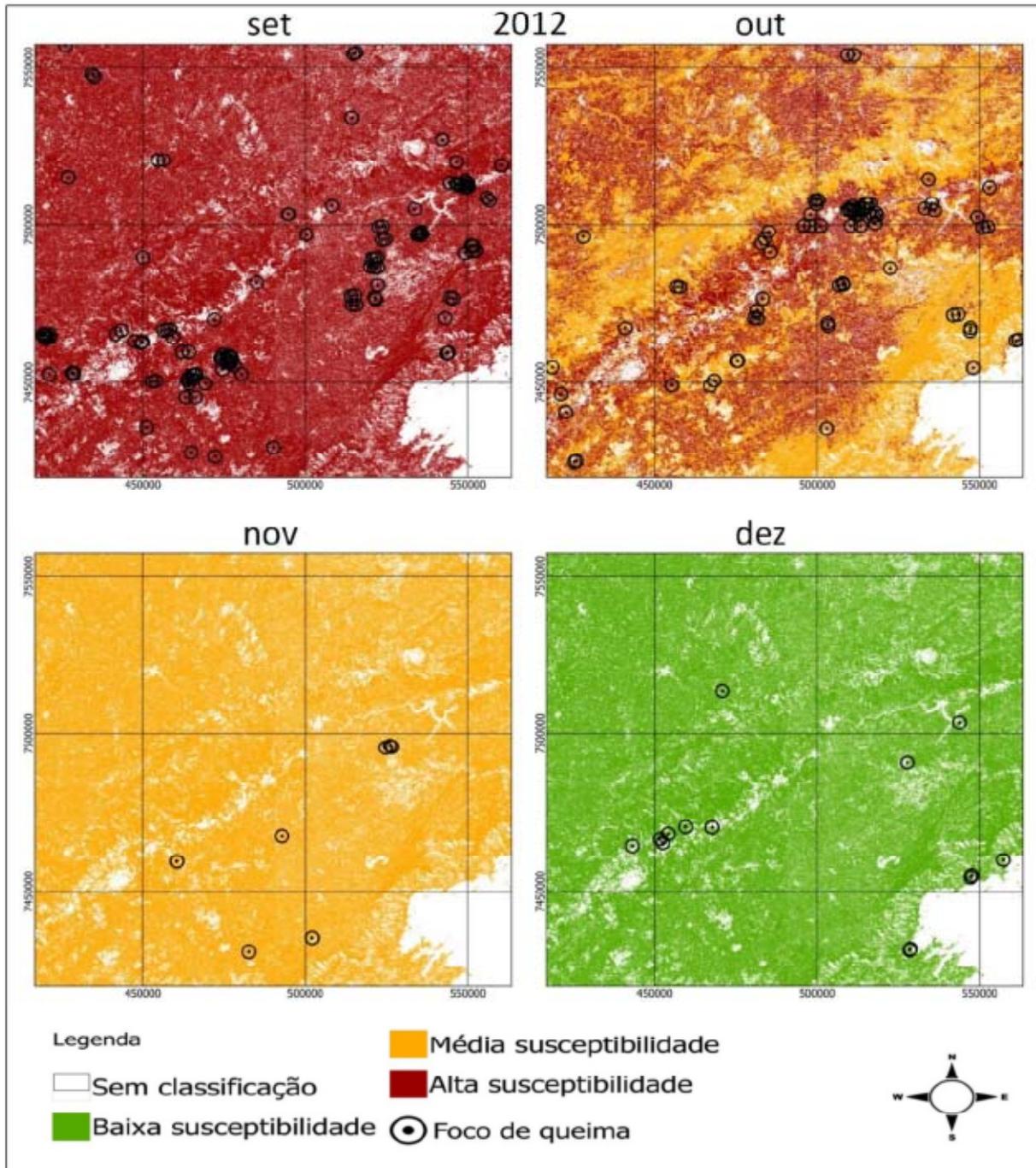


Figura 9 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo dos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012. Os mapas mostram a região de estudo apresentando alta susceptibilidade ao fogo (vermelho), no mês de setembro; baixa e média susceptibilidade ao fogo (verde e laranja, respectivamente), no mês de outubro; média susceptibilidade ao fogo (laranja) no mês de novembro; e baixa susceptibilidade ao fogo (verde) no mês de dezembro. Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

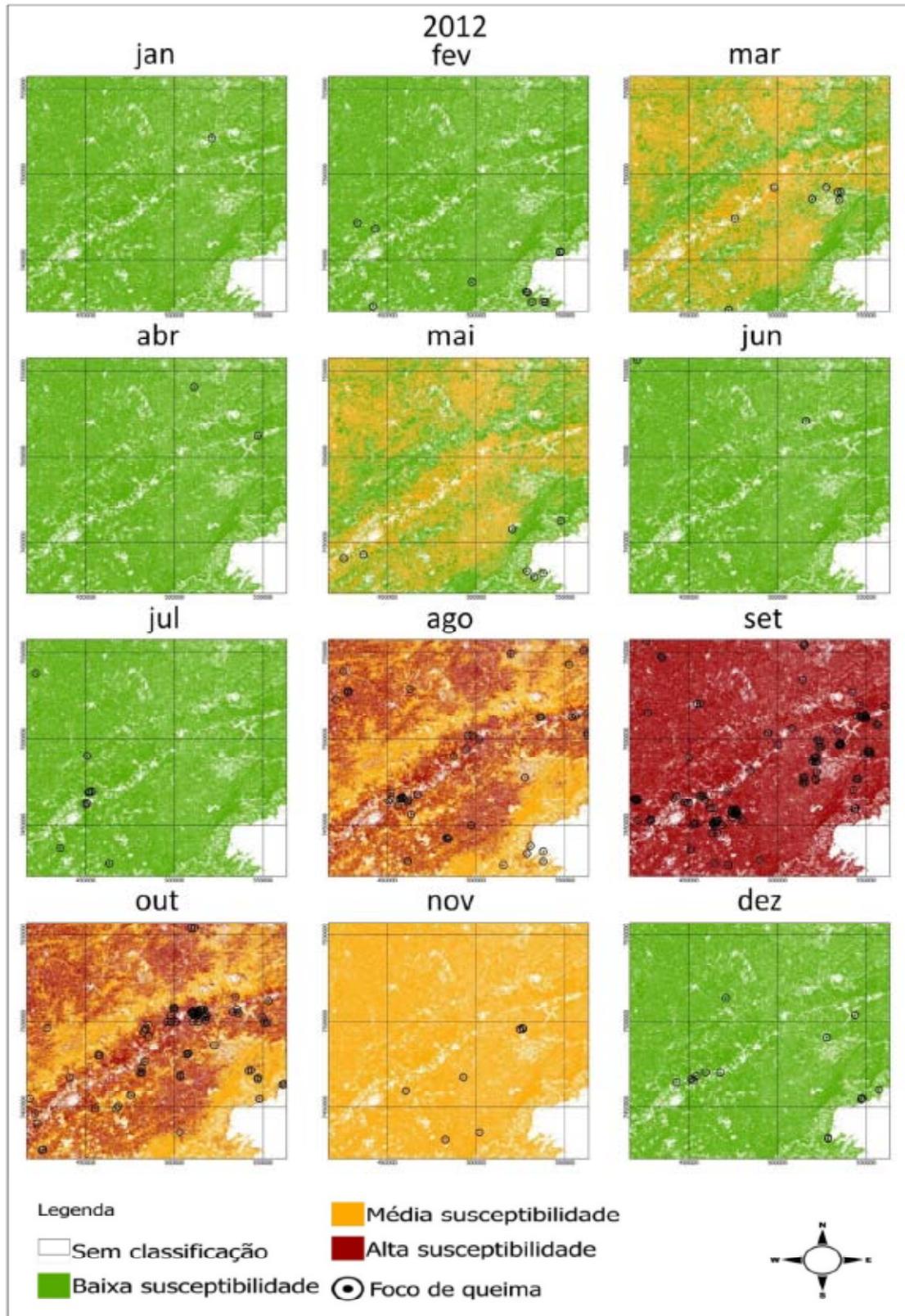


Figura 10 – Mapas de susceptibilidade à ocorrência de fogo do ano de 2012. A figura demonstra a evolução mensal da susceptibilidade da vegetação da área de estudo ao fogo e as detecções de focos de calor ao longo dos meses do ano de 2012. Os círculos representam os focos de queimadas registrados no Banco de Dados Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenadas espaciais baseadas no sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM).

Discussão e conclusões

Neste projeto foi apresentado um método capaz de estimar a susceptibilidade da vegetação ao fogo em uma região com forte interesse em conservação ambiental conforme descrito na Figura 1. O método foi desenvolvido com base em observações de campo feitas na Floresta Nacional de Lorena (Almeida 2012), que permitiram estimativas de risco de incêndios florestais para três fitofisionomias principais da região de estudo, em função de variáveis ambientais como precipitação, umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T). Usando a caracterização feita naquela unidade de conservação, a cobertura do solo de toda a região de estudo foi determinada com o auxílio de imagens de satélite. Com esta generalização e o uso de dados meteorológicos, os padrões observados por Almeida (2012) puderam ser extrapolados para toda a região de estudo nos anos de 2011 e 2012.

Conforme exibido pelas Figuras 3 a 10, foi possível mapear a susceptibilidade a ocorrência de fogo e de acompanhar sua evolução temporal mensal para as áreas vegetadas da região de estudo. De forma geral, as áreas que foram mapeadas como sendo mais susceptíveis tiveram um número maior de focos de calor detectados por satélites, enquanto áreas mapeadas como sendo menos susceptíveis tiveram uma menor concentração de focos. Os resultados apresentam um aumento na susceptibilidade entre os meses de junho e novembro, em 2011, e entre os meses de agosto e novembro, em 2012. Nesses períodos também é possível observar o aumento no número de detecções de focos de calor. Estes padrões foram em geral compatíveis com o esperado, já que o período onde a vegetação da região estava mais susceptível, em ambos os anos, foi também o período de menor precipitação e UR.

Além do adensamento de focos de calor em regiões classificadas como de média e alta propensão ao fogo, foram verificados alguns padrões espaciais relativamente semelhantes entre as detecções de fogo por satélite e o entorno de regiões urbanas (Figura 2b). De forma geral, os locais de maior concentração de focos não coincidem com as áreas cobertas pelas unidades de conservação. Porém, mesmo estas mostram várias ocorrências de fogo, principalmente nos meses de pouca precipitação e umidade relativa do ar, entre agosto e outubro nos dois anos analisados. A princípio, não era esperado encontrar focos de queima dentro das unidades de proteção, mas conforme os mapas acima as condições ambientais que favorecem a flamabilidade podem ter um efeito substancial, e reforçam a necessidade de monitoramento do risco de fogo.

Um ponto interessante em neste estudo é que, apesar da generalização na utilização dos dados climáticos através da simples média dos dados climáticos sobre a região de estudo, ainda foi observado uma variabilidade temporal substancial, e uma precisão razoável nos padrões de IS. Conforme exibido, os padrões temporais e espaciais da ocorrência do fogo detectados pelos satélites e calculados por IS são semelhantes. Outro ponto importante a se notar é que aqui foram consideradas apenas as variáveis T, UR e P, não tendo sido incluídas variáveis ligadas à presença de fontes de ignição explicitamente na equação de IS. Em escala de tempo de semanas-meses, dentro da região estudada, uma grande parte do fogo na vegetação pode se iniciar por atividades humanas, como limpeza de pastos e preparação para a agricultura, que podem por descuido ou falta de planejamento acabar se descontrolando e atingindo outras áreas não pretendidas anteriormente. Esse tipo de ocorrência de fogo pode se dar em regiões onde o método proposto estima uma menor susceptibilidade da vegetação ao fogo, e ser uma possível causa de eventuais focos de calor detectados nestas áreas que foram mapeadas como sendo pouco susceptíveis. Com base nos resultados atuais, a forma de classificar a cobertura do solo, que diferencia a vegetação de áreas urbanas, solo exposto e água, onde a presença de fontes de ignição é nula, resolve a maior parte da questão da consideração explícita das fontes de ignição na equação 1.

É importante ressaltar que outros projetos com o objetivo de mapear a susceptibilidade da vegetação a ocorrência de fogo já se encontram operantes no Brasil. Um dos exemplos mais importantes é o Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais realizado pelo INPE há vários anos, relacionado ao Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e aos Incêndios Florestais

na Amazônia Legal (Proarco) e ao Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo). Estes programas têm abrangência nacional e um papel fundamental na prevenção e combate do fogo na vegetação. O método aqui apresentado deve ser visto como uma iniciativa complementar a estes outros projetos. No entanto ele tem implicações importantes para o manejo das unidades de conservação dentro da região de estudo, por oferecer uma maneira simples de se determinar a susceptibilidade ao fogo com base em características específicas das regiões de interesse e pelo nível de detalhamento espacial relativamente alto.

Agradecimentos

A Miguel von Behr e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pela oportunidade de realização de atividades com finalidade científica na Floresta Nacional de Lorena através do projeto “Estudo das relações entre a flamabilidade da vegetação e variáveis ambientais relevantes para o monitoramento do risco de fogo e conservação da Floresta Nacional de Lorena”, autorização SisBio 35704-1. Ao apoio financeiro do programa *European Commission Seventh Framework Programme* através dos projetos COMBINE (Processo 226520) e AMAZALERT (Processo 282664) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo 314016/2009-0), e ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE) pelo apoio institucional. Este trabalho é também parte dos desenvolvimentos do projeto “Dimensions US-BIOTA São Paulo: integrando disciplinas para a predição da biodiversidade da Floresta Atlântica no Brasil” financiado pela FAPESP (BIOTA, 2013/50297-0), NSF (DOB 1343578), e NASA, e da Componente Interações Biosfera-Atmosfera do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas (CNPq Processo 573797/2008-0 e FAPESP Processo 2008/57719-9), da Rede Brasileira de Pesquisa em Mudanças Climáticas (Rede CLIMA) e do Programa FAPESP em Mudanças Climáticas Globais.

Referências bibliográficas

- Almeida, B.N. 2012. **Estudo das condições ambientais relevantes para a determinação da flamabilidade da vegetação da Floresta Nacional de Lorena, São Paulo**. Monografia (Licenciatura em Biologia). Faculdades Integradas Teresa D’Ávila. Lorena. São Paulo. 47p.
- Alves, M.V.G.; Batista, A.C.; Soares R.V.; Koehler H.S. & Pereira J.F. 2009. Modelagem de umidade do material combustível, baseada em variáveis meteorológicas. **Floresta**, 39(1): 167-174.
- Bowman, D.M.J.S.; Balch, J.K.; Artaxo, P.; Bond, W.J.; Carlson, J.M.; Cochrane, M.A.; D’Antonio, C.M.; DeFries, R.S.; Doyle, J.C.; Harrison, S.P.; Johnston, F.H.; Keeley, J.E.; Krawchuk, M.A.; Kull, C.A.; Marston, J.B.; Moritz, M.A.; Prentice, I.C.; Roos, C.I.; Scott, A.C.; Swetnam, T.W.; Werf, G.R. van der. & Pyne, S.J. 2009. Fire in the Earth system. **Science**, 324(5926): 481-484.
- Brasil. Divisão de Geração de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ir-p6.html>>. Acesso em 20 de outubro de 2014.
- Brasil. Monitoramento de queimadas e incêndios. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/faq.php>>. Acesso em 20 de outubro de 2014.
- Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M. & Garrido, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, 20(3): 395-403.
- Cardoso, M.F.; Hurtt, G.C.; Moore III, B.; Nobre, C.A. & Prins, E.M. 2003. Projecting future fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, 9(5): 656-669.
- Cardoso, M.F.; Nobre, C.A.; Lapola, D.M.; Oyama, M.D. & Sampaio, G. 2008. Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics. **Global Ecology and Biogeography**, 17(2): 222-235.

Carvalho, M.F.O. **Estimativas de Flamabilidade da Vegetação**. Relatório final de Projeto de Iniciação Científica. 2013. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/09.01.17.04.37/doc/Marcos%20Felipe%20Oliveira%20de%20Carvalho.pdf?metadatarpository=&mirror=iconet.com.br/banon/2006/11.26.21.31>>. Acesso em 15 de dezembro de 2016.

Cochrane, M.A. 2003. Fire science for rainforests. **Nature**, 421, 913-919.

Corazza, R.; Cassol, H.L.G. & Kuplich, T.M. 2011. **Uso e cobertura da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós (PA) com suporte de imagens LISS III**. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba. PR.

Jaiswal, R.K.; Mukherjee, S.; Raju, K.D. & Saxena, R. 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 4(1): 1-10.

Medeiros, M.M.B.de. & Fiedler, N.C. 2004. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, 14(2): 157-168.

Oliveira, D.S.O. 2002. **Zoneamento de risco de incêndios em povoados florestais no norte de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. 124p

Onigemo, A.E. 2007. **Avaliação de índices de risco de incêndio em áreas com predominância de gramíneas cespitosas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. Tese parcial (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 141p

QGIS user guide: versão 2.2. Disponível em <http://docs.qgis.org/2.2/pdf/pt_BR/QGIS-2.2-UserGuide-pt_BR.pdf>. Acesso em 20 de outubro de 2014.

Santos, M.J.V. 2009. **Utilização de imagem Liss III para análise de espaços verdes em Lisboa**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica). Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação. Universidade Nova de Lisboa. Portugal. 128p.

Silva, A.M. 2013. **Tutorial do SPRING**. Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

Revista Biodiversidade Brasileira – BioBrasil. 2016, n. 2.

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/issue/view/44>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886