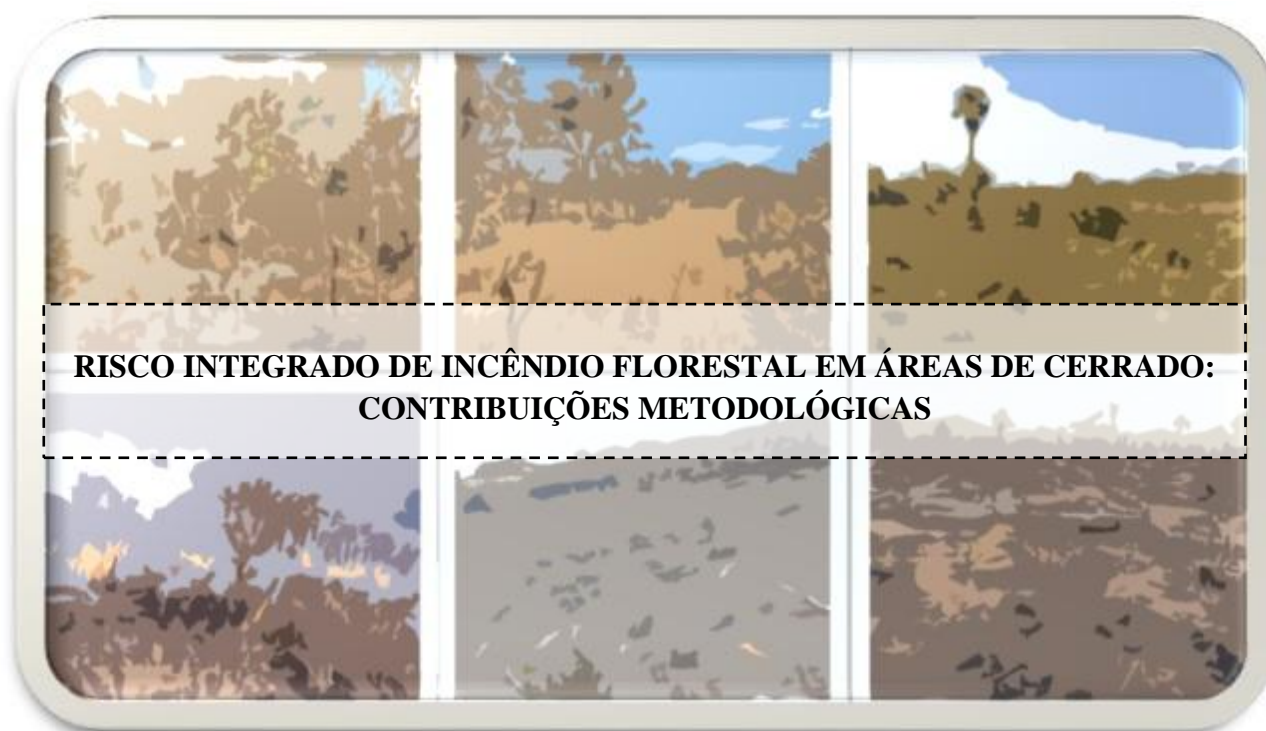


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

TATIANA DINIZ PRUDENTE



UBERLÂNDIA
2016

TATIANA DINIZ PRUDENTE

**RISCO INTEGRADO DE INCÊNDIO FLORESTAL EM ÁREAS DE CERRADO:
CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa

UBERLÂNDIA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P971r Prudente, Tatiana Diniz, 1984-
2016 Risco integrado de incêndio florestal em áreas de Cerrado :
contribuições metodológicas / Tatiana Diniz Prudente. - 2016.
130 f. : il.

Orientador: Roberto Rosa.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Cerrados - Aspectos ambientais - Teses. 3.
Mapeamento florestal - Teses. 4. Incêndios florestais - Prevenção e
controle - Teses. I. Rosa, Roberto. II. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

TATIANA DINIZ PRUDENTE

“RISCO INTEGRADO DE INCÊNDIO FLORESTAL EM ÁREAS DE CERRADO: CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS”.



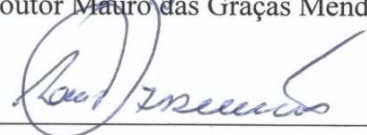
Prof. Doutor Roberto Rosa (Orientador) - UFU



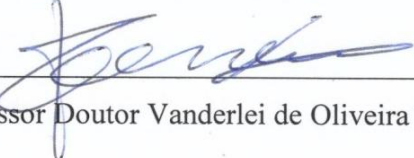
Professor Doutor João Donizete Lima – UFG – Catalão - GO



Professor Doutor Mauro das Graças Mendonça - UFTM



Professor Doutor Washington Luiz Assunção – UFU



Professor Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira – UFU

Data: 11 / 03 de 2016

Resultado: Aprovado com Distinção

Aos meus pais,
familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado aos que, de alguma forma, contribuíram para que esta tese fosse realizada. Por essa razão, desejo expressar meu apreço e sinceros agradecimentos:

Aos meus pais Hélio e Maria Aparecida, e irmãs Mariana e Luciana, que sempre me apoiaram e incentivaram de forma incondicional. Obrigada por me mostrarem sempre a importância da educação e também por terem despendido de forma sólida a formação familiar.

Ao Vitor Sergio de Almeida por seu amor, carinho, paciência e tranquilidade. Obrigada por ser tão positivo e estimular o meu crescimento. Obrigada por seus sábios ensinamentos e pela revisão ortográfica do texto. Você foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Dr. Roberto Rosa, que com maestria e competência orientou essa pesquisa, sempre indicando as melhores decisões em todos os momentos e, principalmente, nos de maior dificuldade. Sempre acessível, recebeu com muita empatia as minhas percepções e isso foi um grande estímulo, que permitiu vencer as inseguranças desse processo.

Aos professores Dra. Jussara dos Santos Rosendo e Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira, que propiciaram excelentes sugestões e contribuições durante o Exame de Qualificação e em todas as fases de desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores Dr. João Donizete Lima, Dr. Mauro das Graças Mendonça e Dr. Washington Luiz Assunção, que gentilmente aceitaram o convite para compor a banca examinadora dessa tese.

Às amigas da Geografia – Beatriz Florêncio, Carla Rodrigues, Caroline Moraes, Daniela Marques, Djane Araújo, Lisiane Mendes, Maria Luiza Ferreira, Mirna Karla Amorim, Patrícia Soares, Priscila Geórgia – pela preciosa ajuda e companhia. De modo espontâneo, propiciaram uma importante troca de informações, experiências, materiais e revisão bibliográfica. Presentes nos bons momentos de descontração, elas também participaram das aflições oriundas no decorrer dessa trajetória acadêmica.

Às companheiras de moradia – Aline Roldão, Camila Lira e Lidiaine Maria – pelo tranquilo convívio e pela troca de experiências. Diante dos vários momentos de companheirismo, vocês se tornaram grandes amigas. Em especial a Aline Roldão, também companheira de curso, pela ajuda com o tratamento dos dados climatológicos.

Aos colegas de trabalho da Divisão de Informações e Atendimento ao Acadêmico da Universidade Federal de Uberlândia, em especial a Maria José Custódio e a Ana Luisa de Oliveira, que habitualmente destinaram palavras e gestos de carinho e apoio.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia, que (in)diretamente contribuíram e ou direcionaram essa pesquisa.

“[...] Aprendamos com o Cerrado que após a
queimada a vida se refaz; que o torto é belo, que o
pequeno tem raízes profundas, que um veio de
água é vida, que o fruto aparentemente feio é
saboroso e inigualável [...]”

Cleuton César Ripol de Freitas

RESUMO

O Cerrado possui características climáticas que oferecem condições extremamente propícias a sucessivas ocorrências de incêndios, o que causam sérios prejuízos ambientais, sociais e econômicos. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo elaborar uma metodologia para modelagem do risco de incêndio florestal em áreas de Cerrado, a partir de um índice estrutural e outro dinâmico, com isso propiciar o desenvolvimento de uma cartografia mensal de risco integrado de incêndio. Para o desenvolvimento e aplicação da metodologia foi escolhido como área de estudo o município de São Valério, situado na Mesorregião Oriental do Tocantins. Tal escolha foi devido a presença de várias fitofisionomias de Cerrado, extensas áreas de pastagem e também ocorrência recorrentes de incêndios. Exalta-se que todos os dados utilizados na metodologia proposta são oriundos de sensoriamento remoto. O risco estrutural de incêndio baseia-se na combinação de fatores que não variam num curto espaço de tempo, sendo considerados, nesse estudo, os seguintes fatores: distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas. Já o risco dinâmico tem como objetivo a detecção das alterações nas variáveis capazes de provocar mudanças na inflamabilidade dos combustíveis florestais, sendo suscitados, nessa pesquisa, os fatores: precipitação, deficiência hídrica e NDVI. Foi gerado, para cada fator, um mapa de suscetibilidade ao fogo, com classes variando entre alta, moderada e baixa. Foram consideradas como áreas de alta suscetibilidade ao fogo as que apresentaram as seguintes condições: próximas a estradas e áreas urbanas; ocupadas com as categorias de uso da terra e cobertura vegetal Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa e Pastagem Cultivada; altitudes até 600 m; declividades acima de 40%; orientação das encostas voltadas para o norte, nordeste e noroeste; precipitação mensal inferior a 25 mm; deficiência hídrica mensal superior a 80 mm; e valores de NDVI entre 0,00 – 0,25. Os mapas de suscetibilidade ao fogo foram associados a partir de análise multicritério em ambiente SIG, utilizando técnica de combinação linear ponderada, assim gerando os mapas de risco estrutural e risco dinâmico de incêndio florestal. Em seguida, o risco estrutural e o dinâmico foram agregados, gerando mapas mensais de risco integrado de incêndio. Os resultados mostraram que a metodologia proposta possibilita uma análise espacial e temporal, o que consequentemente facilita a elaboração e formulação de ações estratégicas de prevenção nas áreas críticas, indubitavelmente propiciando uma maior efetividade das medidas tomadas e otimizando os recursos materiais destinados a tal intervenção.

Palavras-chave: Cerrado. Risco de incêndio florestal. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The Cerrado has climatic conditions that offer extremely favorable conditions to successive occurrences of fires, which cause serious environmental, social and economic losses. Therefore, this research had as objective to develop a methodology for modeling of forest fire risk in Cerrado areas, from a structural index and other dynamic thereby foster the development of a monthly mapping of integrated risk of fire. For the development and application of the methodology was chosen as the study area the municipality of São Valério, located in the Mesoregion of Eastern Tocantins. This choice was made due to the presence of several phytophysiognomies of Cerrado, large areas of pasture and also recurrent occurrences of fires. It's necessary to highlight that all data used in the proposed methodology are from remote sensing. The structural fire hazard is based on the combination of factors that don't vary in a short period of time, being considered, in this study, the following factors: distance from roads and urban areas, land use and native vegetation cover, hypsometry, slope and orientation from the slopes. The dynamic risk has as an objective detecting changes in the variables capable of causing changes in the flammability of forest fuels, being raised, in this research, the factors: precipitation, water deficit and NDVI. Was generated, for each factor a fire susceptibility map, with classes ranging from high, moderate and low. It was possible to consider as high susceptibility to fire those areas which showed the following conditions: near roads and urban areas; occupied by the categories of landuse and vegetation cover Park Savanna, Grassy-Woody Savanna and Cultivated Pasture; altitudes up to 600 m; slopes over 40%; orientation of slopes facing north, northeast and northwest; monthly precipitation less than 25 mm; monthly water deficit over 80 mm; and NDVI values between 0.00 to 0.25. The fire susceptibility maps were associated from a multi-criteria analysis in a GIS environment, using a weighted linear combination technique, thus generating the structural risk maps and dynamic forest fire risk. Then, the structural and dynamic risks were added, generating monthly maps of integrated fire risk. The results showed that the proposed methodology enables a spatial and temporal analysis, which in turn facilitates the development and formulation of strategic prevention actions in the critical areas, undoubtedly providing greater effectiveness of the measures taken and optimizing material resources to such intervention.

Keywords: Cerrado. Forest fire risk. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de São Valério - TO	19
Figura 2 - Tipos de incêndios florestais	21
Figura 3 - Influência da inclinação e exposição do terreno na propagação dos incêndios	30
Figura 4 - Distribuição do bioma Cerrado no Brasil	32
Figura 5 - Fitofisionomias do Cerrado	32
Figura 6 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa.....	64
Figura 7 - Mapa dos incêndios florestais ocorridos no município de São Valério - TO em 2007	66
Figura 8 - Mapa dos incêndios florestais ocorridos no município de São Valério - TO em 2011	67
Figura 9 - Incêndio em área ocupada por Savana Parque (Sp) no município de São Valério - TO	71
Figura 10 - Aceiro em estrada vicinal no município de São Valério - TO.....	76
Figura 11 - Fluxograma com as etapas de elaboração do risco estrutural de incêndio	81
Figura 12 - Fatores que compõem o risco estrutural de incêndio florestal	82
Figura 13 - Trechos de estradas e área urbana presentes no município de São Valério - TO	83
Figura 14 - Mapa das estradas e áreas urbanas do município de São Valério - TO	84
Figura 15 - Mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa do município de São Valério - TO	86
Figura 16 - Mapa de hipsometria do município de São Valério - TO.....	88
Figura 17 - Mapa de declividade do município de São Valério - TO	90
Figura 18 - Mapa de orientação das encostas do município de São Valério - TO	92
Figura 19 - Mapas de Suscetibilidade ao fogo para os fatores preponderante ao risco estrutural de incêndio florestal para o município de São Valério - TO.....	93
Figura 20 - Mapa de risco estrutural de incêndio florestal do município de São Valério - TO	95
Figura 21 - Fluxograma com as etapas de elaboração do risco dinâmico de incêndio.....	101
Figura 22 - Fatores que compõem o risco dinâmico de incêndio florestal.....	102
Figura 23 - Mapas de risco dinâmico de incêndio florestal do município de São Valério - TO	107
Figura 24 - Fluxograma com as etapas de elaboração do risco integrado de incêndio	111
Figura 25 - Mapas de risco integrado de incêndio florestal do município de São Valério - TO.....	112
Figura 26 - Sobreposição dos focos de calor com os mapas de risco integrado de incêndio florestal do município de São Valério – TO.....	115
Figura 27 - Sobreposição dos incêndios florestais detectados em imagens Landsat com os mapas de risco integrado de incêndio florestal do município de São Valério – TO	117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Climograma da Estação do Peixe (1980-2014)	54
Gráfico 2 - Velocidade média do vento da Estação do Peixe (1980-2014).....	55
Gráfico 3 - Umidade relativa do ar média da Estação do Peixe (1980-2014)	55
Gráfico 4 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica para Estação do Peixe.....	58
Gráfico 5 - Distribuição percentual dos incêndios ocorridos em 2007	68
Gráfico 6 - Distribuição percentual dos incêndios ocorridos em 2011	69
Gráfico 7 - Distribuição percentual dos incêndios por classes de uso em 2007.....	70
Gráfico 8 - Distribuição percentual dos incêndios por classes de uso em 2011.....	70
Gráfico 9 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2007	72
Gráfico 10 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2011	73
Gráfico 11 - Área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa.....	85
Gráfico 12 - Área ocupada pelas classes de hipsometria	87
Gráfico 13 - Área ocupada pelas classes de declividade.....	89
Gráfico 14 - Área ocupada pelas classes de orientação das encostas.....	91
Gráfico 15 - Área ocupada pelas classes de risco estrutural de incêndio florestal	94
Gráfico 16 – Totais pluviométricos mensais em 2011	103
Gráfico 17 - Área ocupada pelas classes de precipitação em 2011	103
Gráfico 18 – Totais mensais de deficiência hídrica em 2011.....	104
Gráfico 19 - Área ocupada pelas classes de deficiência hídrica em 2011	105
Gráfico 20 - Área ocupada pelas classes de NDVI em 2011	106
Gráfico 21 - Área ocupada pelas classes de risco dinâmico de incêndio florestal	108
Gráfico 22 - Área ocupada pelas classes de risco integrado de incêndio florestal	113
Gráfico 23 - Distribuição dos focos de calor por classe de risco integrado de incêndio.....	116
Gráfico 24 - Distribuição percentual das áreas atingidas por incêndios florestais em relação às classes de risco integrado de incêndio.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características das fitofisionomias do Cerrado.....	33
Quadro 2 - Média do início e fim da estação seca na Estação do Peixe (1980-2014).....	60
Quadro 3 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conteúdo de umidade do combustível vivo (folhagem)	26
Tabela 2 - Umidade relativa do ar (%) da Estação do Peixe em agosto e setembro de 2011.....	56
Tabela 3 – Variáveis do balanço hídrico da Estação do Peixe – TO, médias mensais do período de 1980 a 2014.....	57
Tabela 4 - Distribuição dos períodos secos e chuvosos da Estação do Peixe (1980-2014)	59
Tabela 5 - Incêndios ocorridos em São Valério - TO em 2007.....	68
Tabela 6 - Incêndios ocorridos em São Valério - TO em 2011.....	68
Tabela 7 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa atingidas pelos incêndios	69
Tabela 8 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2007	71
Tabela 9 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2011	71
Tabela 10 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de distância das estradas e áreas urbanas	77
Tabela 11 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de uso da terra e cobertura vegetal nativa.....	78
Tabela 12 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de hipsometria	79
Tabela 13 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de declividade.....	79
Tabela 14 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de orientação das encostas.....	79
Tabela 15 - Área ocupada pelas classes de distância das estradas e áreas urbanas.....	83
Tabela 16 - Área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa.....	85
Tabela 17 - Área ocupada pelas classes de hipsometria.....	87
Tabela 18 - Área ocupada pelas classes de declividade	89
Tabela 19 - Área ocupada pelas classes de orientação das encostas	91
Tabela 20 - Área ocupada pelas classes de risco estrutural de incêndio florestal	94
Tabela 21 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de precipitação.....	99
Tabela 22 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de deficiência hídrica	100
Tabela 23 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de NDVI	100
Tabela 24 - Área ocupada pelas classes de precipitação em 2011	103
Tabela 25 - Área ocupada pelas classes de deficiência hídrica em 2011	104
Tabela 26 - Área ocupada pelas classes de NDVI em 2011	105
Tabela 27 - Área ocupada pelas classes de risco dinâmico de incêndio florestal	108
Tabela 28 - Área ocupada pelas classes de risco integrado de incêndio florestal	113

LISTA DE SIGLAS

AGRITEMPO	Sistema de Monitoramento Agrometeorológico
AM/FM	<i>Automated Mapping/Facilities Management</i>
AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CAD	Capacidade de água disponível no solo
CADD	<i>Computer-Aided Drafting and Design</i>
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CERES	<i>Clouds & Earths Radiant Energy System</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DSG	Divisão do Serviço Geográfico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVISAT	<i>Environmental Satellite</i>
ERTS	<i>Earth Resources Technological Satellite</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellites</i>
GPS	<i>Global Position System/ Sistema de Posicionamento Global</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IV	Índice de Vegetação
IVP	Infravermelho próximo
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LIS	<i>Land Information Systems</i>
LSI	<i>Lightning Imaging Sensor</i>

MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PDI	Processamento Digital de Imagens
PNCV	Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros
PR	<i>Precipitation Radar</i>
PREVFOGO	Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
PROARCO	Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
RIF	Risco de Incêndio Florestal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SISFOGO	Sistema Nacional de Informações Sobre Fogo
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TMI	<i>TRMM Microwave Imager</i>
TO	Tocantins
TRMM	<i>Tropical Rain Meteorological Mission</i>
USFS	<i>United States Forest Service</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VIRS	<i>Visible and Infrared Scanner</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Localização e caracterização da área de estudo	18
2 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL	21
2.1 Incêndios florestais: conceitos e legislação.....	21
2.2 Influência dos fatores ambientais sobre o comportamento dos incêndios florestais.....	25
2.2.1 Tipo de material combustível	25
2.2.2 Condições climáticas.....	27
2.2.3 Relevo ou topografia do terreno.....	30
2.3 O bioma Cerrado e incêndios florestais	31
2.4 Risco de incêndio florestal	41
2.5 Sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise multicritério como suporte na análise do risco de incêndio florestal	43
2.5.1 Sensoriamento remoto.....	43
2.5.2 Geoprocessamento	47
2.5.3 Análise multicritério.....	50
3 ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO VALÉRIO	51
3.1 Procedimentos metodológicos.....	51
3.2 Resultados e discussões.....	53
4 ANÁLISE DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS EM 2007 E 2011 NO MUNICÍPIO DE SÃO VALÉRIO	62
4.1 Procedimentos metodológicos.....	63
4.2 Resultados e discussões.....	65
5 RISCO ESTRUTURAL DE INCÊNDIO FLORESTAL	75
5.1 Procedimentos metodológicos.....	75
5.2 Resultados e discussões.....	82
6 RISCO DINÂMICO DE INCÊNDIO FLORESTAL	97
6.1 Procedimentos metodológicos.....	98
6.2 Resultados e discussões.....	102
7 RISCO INTEGRADO DE INCÊNDIO FLORESTAL.....	110
7.1 Procedimentos metodológicos.....	110
7.2 Resultados e discussões.....	111
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
REFERÊNCIAS	122

1 INTRODUÇÃO

Incêndios florestais têm destruído grandes extensões territoriais de cobertura vegetal. No Brasil, o clima seco durante o inverno favorece a ocorrência de incêndios em várias regiões, principalmente no Cerrado.

Ainda que em alguns biomas brasileiros, em especial no Cerrado, muitas espécies dependem do fogo para reprodução e crescimento, várias pesquisas indicam que a alta frequência de queimadas está acima do limite de suporte dos ambientes naturais. Tal conclusão se caracteriza como um risco à conservação de áreas nativas, com algumas sérias implicações, como: perda de viabilidade de populações e extinções locais de espécies endêmicas (IBAMA, 2007).

Dessa forma, apesar do fogo ser um agente importante para o Cerrado, ele não é extensivo as inúmeras formações vegetais desse bioma. Logo, a elevada ocorrência de incêndios pode ocasionar danos ainda não mensuráveis aos ambientes naturais. Assim, verifica-se a gravidade da ocorrência de fogo sem supervisão no Cerrado e o risco de comprometimento dessas áreas, consequentemente tendo perdas irreversíveis em diversidades biológicas e também prejuízos sociais e econômicos.

O IBAMA (2000) definiu incêndio florestal como sendo o fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser provocado pelo homem (intencional ou negligência) ou por uma causa natural, como o ocasionado por raios.

Para ocorrência de incêndios florestais são necessárias a existência de condições climáticas propícias, combustível vegetal e fonte de ignição. Ressalta-se que a modelagem de risco de incêndio florestal é fator fundamental para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e adoção de ações efetivas no combate aos incêndios florestais, visando a redução dos prejuízos sociais, econômicos e ambientais.

Existem várias técnicas de modelagem do risco de incêndio em ambientes naturais, desde modelos matemáticos puros (baseados em equações determinísticas) à técnicas de inteligência computacional. Os modelos mais eficientes incluem informações em um contexto espacial e integram técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (BONAZOUNTAS et al., 2005).

Nessa pesquisa optou-se por trabalhar com a modelagem de risco de incêndio florestal utilizando o método integrado ou avançado, incluindo fatores estruturais e dinâmicos. Um risco estrutural de incêndio define as áreas que possuem características mais propícias e vulneráveis à ocorrência e propagação de incêndios, enquanto que o risco dinâmico de

incêndio tem como desígnio a identificação de pequenas e constantes variações nas condições de inflamabilidade dos combustíveis florestais ao longo do período de estiagem.

Assim, essa pesquisa tem como principal objetivo elaborar uma metodologia para modelagem do risco de incêndio florestal em áreas de Cerrado, a partir de um índice estrutural e outro dinâmico para desenvolvimento de uma cartografia mensal de risco integrado de incêndio.

Dentre os objetivos específicos, tem-se:

- a) identificar os fatores preponderantes à ignição ou propagação do fogo em áreas de Cerrado;
- b) analisar incêndios florestais ocorridos na área de estudo;
- c) elaborar mapas temáticos da área de estudo relacionados com os fatores preponderantes ao risco de incêndio florestal: distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas;
- d) elaborar mapas de risco estrutural e risco dinâmico de incêndio florestal, a partir de análise multicritério em ambiente SIG, utilizando técnica de combinação linear ponderada;
- e) modelar o risco de incêndio florestal associando o índice estrutural e o dinâmico para desenvolvimento de uma cartografia mensal de risco integrado de incêndio.

Como área de estudo – e aplicação dessa metodologia – foi escolhido o município de São Valério, localizado no Estado do Tocantins. Tal escolha foi devido a presença de várias fitofisionomias de Cerrado, extensas áreas de pastagem e também ocorrência recorrentes de incêndios.

Estudos com foco no desenvolvimento de metodologias de risco de incêndio florestal específicas para o Cerrado possuem grande relevância, uma vez que essas áreas possuem características climáticas, que oferecem condições extremamente propícias a sucessivas ocorrências de incêndios, o que causam sérios prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

A partir das informações levantadas por meio desses tipos de instrumentos metodológicos, podem-se tomar medidas preventivas, tais como: restrição de acesso aos locais de risco, construção de aceiros preventivos, alocação de recursos em pontos estratégicos, entre outras medidas.

A tese foi estruturada da seguinte forma: **Introdução** – apresenta uma abordagem sobre a temática da pesquisa, indicam os objetivos (geral e específicos), a estruturação da tese e a localização e caracterização da área de estudo; **Fundamentação Conceitual** – contempla a revisão de literatura referente aos temas: incêndios florestais, Cerrado, risco de incêndio, sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise multicritério; **Análise Climatológica do**

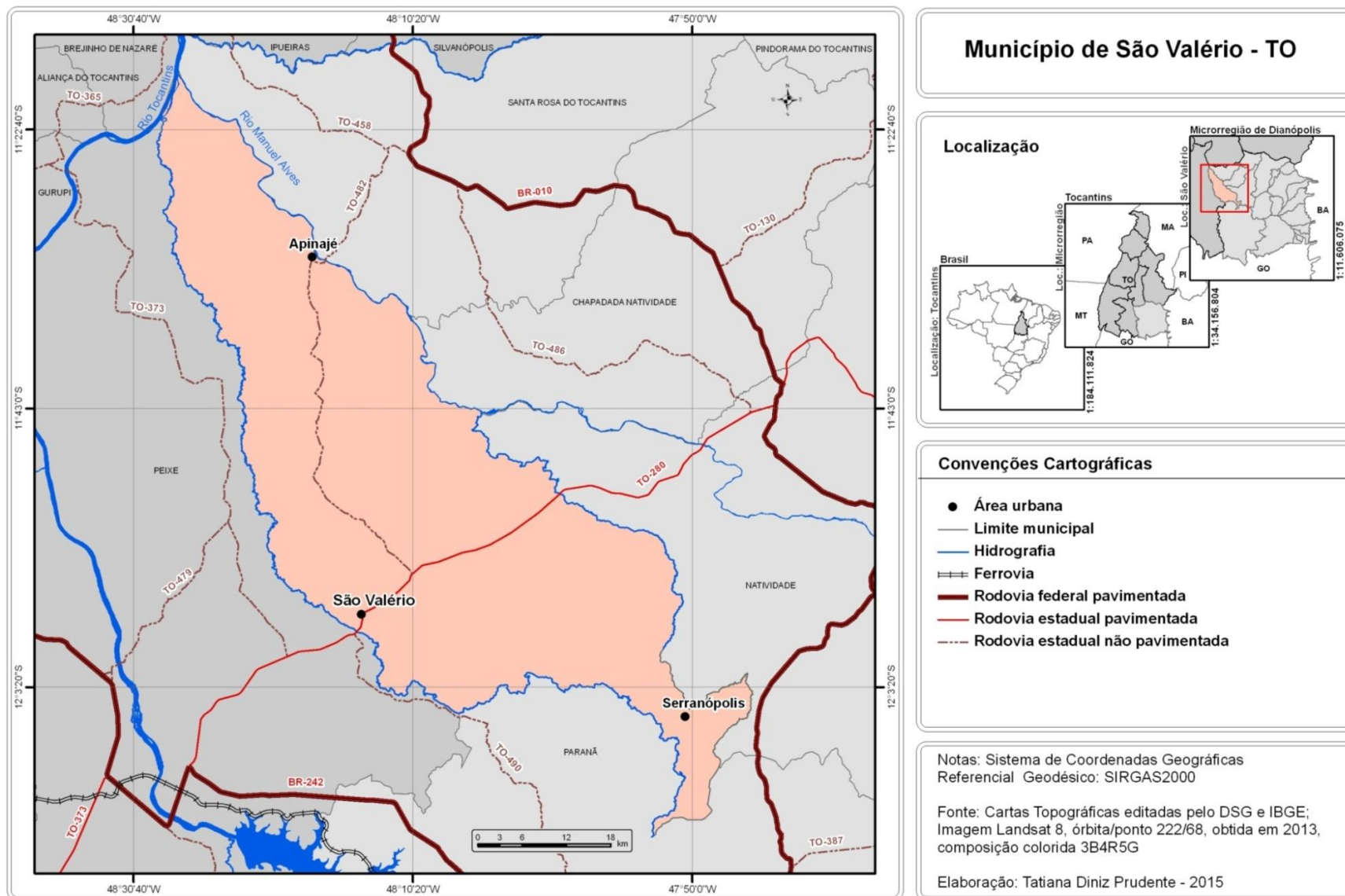
município de São Valério – apresenta e analisa dados climáticos da área de estudo, com a finalidade de servir como base na definição dos parâmetros e pesos do risco dinâmico; **Análise dos Incêndios Florestais ocorridos entre 2007 e 2011 no município de São Valério** – analisa os incêndios ocorridos na área de estudo com objetivo de obter informações sobre as condições de ocorrência de incêndio em áreas de Cerrado; **Risco Estrutural de Incêndio Florestal** – são expostos os procedimentos metodológicos e os resultados referentes ao risco de incêndio considerando fatores estruturais (distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas); **Risco Dinâmico de Incêndio Florestal** – estão contidos os procedimentos metodológicos e resultados referentes ao risco de incêndio considerando fatores dinâmicos (precipitação, deficiência hídrica e NDVI); **Risco Integrado de Incêndio Florestal** – são apresentados os procedimentos metodológicos e resultados referentes a integração do risco estrutural com o dinâmico; **Considerações Finais** – apresenta uma apreciação dos resultados obtidos e da metodologia proposta mostrando suas fragilidades e potencialidades e indicações para pesquisas futuras; **Referências** – trata-se da exposição das referências bibliográficas, de órgãos institucionais, documentos eletrônicos, entre outros, que foram consultados e citados na pesquisa.

1.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o município de São Valério, situado na Mesorregião Oriental do Estado do Tocantins, apresentando uma extensão de 2.519,59 km². Está localizado entre as coordenadas geográficas 11° 18' 30" e 12° 14' 53" de latitude sul e 47° 45' 46" e 48° 30' 50" de longitude a oeste de Greenwich (Figura 1).

Foi elevado à categoria de município com a denominação de São Valério da Natividade, pela Lei Estadual nº 10.420, de primeiro de janeiro de 1988, na ocasião foi desmembrado do município de Natividade. Em 14 de dezembro de 2007, pela Lei Estadual nº 1.865, foi alterada a toponímia para São Valério.

Figura 1 - Localização do município de São Valério - TO



O município possui dois distritos. Apinajé, que está localizado a 60 km da sede, às margens do rio Manuel Alves. O outro é chamado oficialmente de Serranópolis, também conhecido como Serrinha, localizado a 55 km da sede, próximo à BR-010.

Os solos predominantes no município são Latossolo Amarelo distrófico, Latossolo Amarelo ácrico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Gleissolo Háptico Tb distrófico, Plintossolo Pétrico concrecionário e Neossolo Litólico distrófico (IBGE, 2007).

A hidrografia do município integra a bacia do rio Tocantins. No município, os principais afluentes são o rio São Valério, que possui uma extensão importante de várzeas com potencialidade para agricultura irrigada; o rio Manuel Alves; o rio São Pedro e o rio Riachão.

O município está inserido nos domínios do bioma Cerrado e apresenta várias fitofisionomias, como: vereda, campo cerrado, campo sujo, campo limpo e cerrado sentido restrito.

A área de estudo apresenta clima tropical caracterizada por duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa. Os meses mais chuvosos são novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. E os meses que apresentam maior deficiência hídrica são junho, julho, agosto e setembro. Neste período, o clima seco favorece a ocorrência de incêndios.

O acesso à sede do município é feito pela rodovia TO-280, que interliga a sede municipal aos municípios de Peixe e Natividade. Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população de São Valério, em 2010, era de 4.383 habitantes, sendo a densidade demográfica de 1,74 hab/km².

A economia do município é baseada predominantemente no setor de serviços e na agropecuária. Na agricultura, destaca-se a produção de soja, arroz de sequeiro, milho, mandioca, cana de açúcar e banana. Entretanto, expõe-se que há o predomínio da pecuária em detrimento da agricultura.

Diante do exposto, nota-se que São Valério, no Estado do Tocantins, possui características importantes e típicas do Cerrado, assim sendo, torna-se plausível usar tal município como área representativa desse bioma com o intuito de desenvolver e aplicar uma metodologia de risco de incêndio florestal.

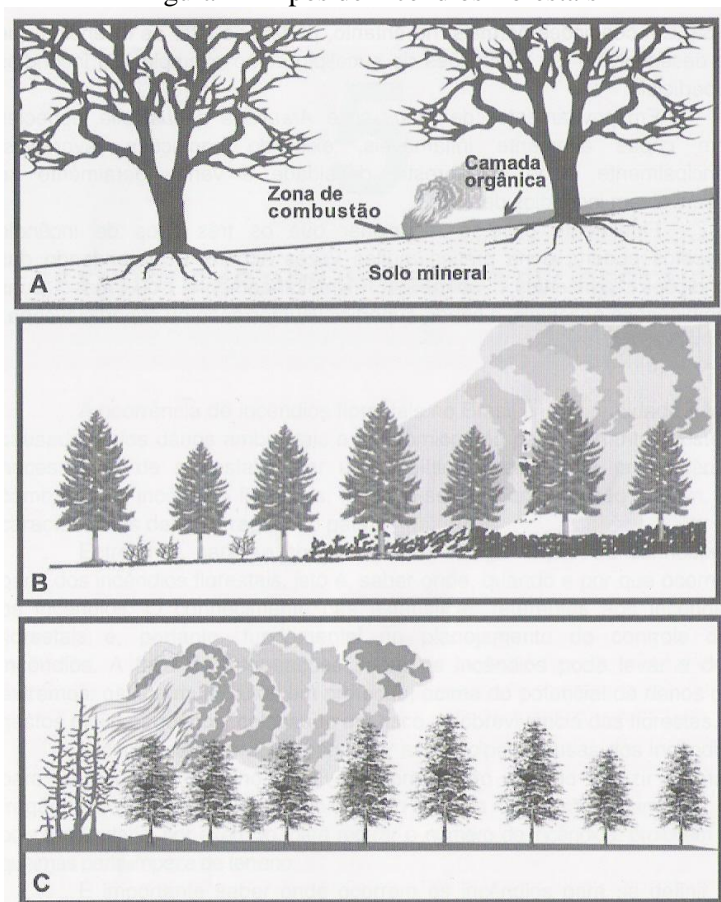
2 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

2.1 Incêndios florestais: conceitos e legislação

Incêndio florestal pode ser definido como uma combustão não controlada que se propaga livremente, consumindo os combustíveis naturais de uma floresta, tais como: serrapilheira, gramíneas, folhas, troncos e galhos mortos e até mesmo a vegetação viva, dependendo da intensidade. A principal característica de um incêndio florestal é não estar confinado e se propagar livremente. Trata-se de um fogo que queima livremente, respondendo às variações do ambiente. Devido às diferentes combinações dos combustíveis naturais, clima e topografia, esse fogo pode permanecer somente como um pequeno ponto de combustão lenta ou pode rapidamente se desenvolver num fogo de grandes proporções. Nos dois casos, eles estão respondendo livremente ao ambiente local (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

Os incêndios são classificados em razão do estrato do combustível afetado. Há três tipos de incêndios: de superfície ou superficial, subterrâneo e de copas (Figura 2).

Figura 2 - Tipos de incêndios florestais



A: incêndio subterrâneo; B: incêndio superficial; C: incêndio de copa

Fonte: Soares e Batista (2007).

De maneira geral, os incêndios superficiais propagam-se na superfície do solo, queimando restos vegetais não decompostos com até dois metros de altura. Esses incêndios possuem propagação rápida, abundância de chamas e liberação intensa do calor. Os subterrâneos propagam-se lentamente através das camadas de húmus ou turfas existentes sobre o solo mineral, apresentam pouca fumaça, sendo, portanto, difícil de detecção e combate. Os incêndios de copas caracterizam-se pela propagação do fogo através das copas das árvores. Geralmente, eles ocorrem a partir dos incêndios superficiais e são propagados rapidamente e têm grande poder de destruição (MACEDO; SARDINHA, 1993).

Em qualquer incêndio florestal é necessário que haja três manifestações: combustível para queimar, oxigênio para manter as chamas e calor para iniciar e continuar o processo de queima. Essa inter-relação entre os três elementos básicos da combustão é conhecida como “triângulo do fogo”. A ausência ou redução abaixo de certos níveis de qualquer um dos seus componentes do triângulo do fogo inviabiliza o processo da combustão (SOARES; BATISTA, 2007).

Nesse sentido, o princípio básico do combate aos incêndios é remover um ou mais desses elementos, da maneira mais rápida e eficiente possível. O combustível pode ser removido por meio de três medidas: a construção de um aceiro; da redução temporária dos níveis de oxigênio no local, que é conseguido com o uso de abafadores ou aplicação de terra; e do resfriamento do calor com água (SOARES; BATISTA, 2007).

Os incêndios florestais são tratados em diversas leis, tanto em nível regional como nacional, há aquelas que preveem penalidades para as ações que gerem um incêndio e também aquelas que definem normas para o uso do fogo controlado.

A Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, estabelece penas para quem provocar incêndio em mata ou floresta ou fabricar, vender, transportar ou soltar balões que possam provocar incêndios nas florestas e demais formas de vegetação, em áreas urbanas ou qualquer tipo de assentamento humano.

O decreto nº 2.661, de oito de julho de 1998, estabelece normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais. O artigo 1º define que:

É vetado o emprego do fogo:

I - nas florestas e demais formas de vegetação

II - para queima pura e simples, assim entendida aquela não carbonizável de:

a) aparas de madeira e resíduos florestais produzidos por serrarias e madeireiras, como forma de descarte desses materiais;

b) material lenhoso, quando seu aproveitamento for economicamente viável;

III - numa faixa de:

- a) quinze metros dos limites das faixas de segurança das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica;
 - b) cem metros ao redor da área de domínio de subestação de energia elétrica;
 - c) vinte e cinco metros ao redor da área de domínio de estações de telecomunicações;
 - d) cinquenta metros a partir de aceiro, que deve ser preparado, mantido limpo e não cultivado, de dez metros de largura ao redor das Unidades de Conservação;
 - e) quinze metros de cada lado de rodovias estaduais e federais e de ferrovias, medidos a partir da faixa de domínio;
- IV - no limite da linha que simultaneamente corresponda:
- a) à área definida pela circunferência de raio igual a seis mil metros, tendo como ponto de referência o centro geométrico da pista de pouso e decolagem de aeródromos públicos;
 - b) à área cuja linha perimetral é definida a partir da linha que delimita a área patrimonial de aeródromo público, dela distanciando no mínimo dois mil metros, externamente, em qualquer de seus pontos.

A Portaria do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) nº 94-N, de nove de julho de 1998, regulamenta a sistemática da queima controlada. E a Portaria MMA nº 345, de 15 de setembro de 1999, dispõe sobre a emissão de autorizações para o emprego do fogo como método despalhador e facilitador do corte de cana de açúcar.

O Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008, que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente e estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, define que:

- Art. 58. Fazer uso de fogo em áreas agropastoris sem autorização do órgão competente ou em desacordo com a obtida:
 Multa de R\$ 1.000,00 (mil reais), por hectare ou fração.
- Art. 59. Fabricar, vender, transportar ou soltar balões que possam provocar incêndios nas florestas e demais formas de vegetação, em áreas urbanas ou qualquer tipo de assentamento humano:
 Multa de R\$ 1.000,00 (mil reais) a R\$ 10.000,00 (dez mil reais), por unidade.

O Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) apresenta um capítulo específico (Capítulo IX – “Da proibição do uso de fogo e do controle dos incêndios”) sobre controle e prevenção dos incêndios florestais. Esse trecho expõe que:

- Art. 38. É proibido o uso de fogo na vegetação, exceto nas seguintes situações:
- I - em locais ou regiões cujas peculiaridades justifiquem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, mediante prévia aprovação do órgão estadual ambiental competente do Sisnama, para cada imóvel rural ou de forma regionalizada, que estabelecerá os critérios de monitoramento e controle;
 - II - emprego da queima controlada em Unidades de Conservação, em conformidade com o respectivo plano de manejo e mediante prévia aprovação do órgão gestor da Unidade de Conservação, visando ao manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo;
 - III - atividades de pesquisa científica vinculada a projeto de pesquisa devidamente aprovado pelos órgãos competentes e realizada por instituição de pesquisa reconhecida, mediante prévia aprovação do órgão ambiental competente do Sisnama.

Art. 39. Os órgãos ambientais do Sisnama, bem como todo e qualquer órgão público ou privado responsável pela gestão de áreas com vegetação nativa ou plantios florestais, deverão elaborar, atualizar e implantar planos de contingência para o combate aos incêndios florestais.

Art. 40. O Governo Federal deverá estabelecer uma Política Nacional de Manejo e Controle de Queimadas, Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, que promova a articulação institucional com vistas na substituição do uso do fogo no meio rural, no controle de queimadas, na prevenção e no combate aos incêndios florestais e no manejo do fogo em áreas naturais protegidas.

É importante salientar que em dez de abril de 1989, o Governo Federal sancionou o Decreto nº 97.635, criando o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais – Prevfogo. Ele foi revogado pelo Decreto 2.661, de oito de julho de 1998, porém a dimensão e a complexidade dos problemas causados pelos incêndios florestais fizeram com que o Prevfogo fosse elevado ao nível de Centro Especializado – por meio da Portaria nº 85, de 19 de julho de 2001. Além disso, o Regimento Interno, aprovado pela Portaria nº 230, de 14 de maio de 2002, define claramente o papel desse centro. Atualmente, o Prevfogo tem como missão promover, apoiar, coordenar e executar atividades de educação, pesquisa, monitoramento, controle de queimadas, prevenção e combate aos incêndios florestais no Brasil, avaliando seus efeitos sobre os ecossistemas, a saúde pública e a atmosfera (IBAMA, 2015).

O Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, Prevfogo, é um Centro Especializado, dentro da estrutura do Ibama, responsável pela política de prevenção e combate aos incêndios florestais em todo o território nacional, incluindo atividades relacionadas com campanhas educativas, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas, monitoramento e pesquisa. Também são atribuições do Prevfogo atender aos pedidos de informação sobre o uso do fogo em atividades agrosilvipastoris recebidas por meio da “Linha Verde” do Ibama, do Ministério do Meio Ambiente, das unidades de conservação gerenciadas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e de particulares preocupados com a problemática das queimadas e dos incêndios florestais (IBAMA, 2015).

Um dos serviços disponibilizados pelo Prevfogo é o Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (Sisfogo). Trata-se de uma ferramenta automatizada disponível na internet para a gestão dos alertas e registros dos incêndios florestais, das queimadas controladas e dos recursos humanos e materiais no país. É alimentado pelas diversas instituições que atuam no controle de queimadas, prevenção e combate aos incêndios florestais e permite consulta pública de suas informações (IBAMA, 2015).

Soares e Batista (2007) chamaram atenção para o fato de que existe uma legislação forte e bem atualizada sobre a questão dos incêndios e queimadas. Entretanto, é necessário um trabalho de educação ambiental eficiente e de fluxo contínuo para que essa legislação seja conhecida e implementada em toda sua extensão. Contudo, a aplicação da legislação, principalmente nos casos de processo judicial, nem sempre é fácil. Os procedimentos para responsabilizar um incendiário são: descobrir a causa do incêndio, em seguida, deve-se estabelecer a identidade da pessoa responsável pelo fogo e, finalmente, deve-se provar legalmente o envolvimento da pessoa no incêndio.

2.2 Influência dos fatores ambientais sobre o comportamento dos incêndios florestais

Diversas características do ambiente têm forte influência sobre o início, a propagação e a intensidade dos incêndios florestais. Os fatores mais relacionados com os incêndios são: material combustível, condições climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

Esses fatores influem de forma diferente na ocorrência de incêndios florestais de acordo com a região e época do ano. Dessa forma, eles devem ser analisados de acordo com a sua distribuição espacial, o que pode ser feito de forma mais eficiente utilizando-se um SIG.

2.2.1 Tipo de material combustível

O material combustível, por ser um dos componentes do triângulo do fogo, é básico e indispensável para ocorrência e propagação dos incêndios florestais. Enfatiza-se que não poderá haver fogo se não houver combustível para queimar (SOARES; BATISTA, 2007).

Nesse sentido, material combustível florestal pode ser definido como qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz de entrar em ignição e queimar. Os materiais combustíveis ocorrem em inúmeras combinações de tipo, quantidade, tamanho, forma, posição, arranjo e teor de umidade (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

Dentre as características dos combustíveis que mais influenciam a ignição e a propagação dos incêndios destacam-se: quantidade, umidade, inflamabilidade, continuidade e compactação (RIGOLOT, 1990).

A quantidade de combustível pode ser estimada diretamente em pequenas áreas, mas é inviável em áreas maiores. Uma das alternativas estudadas tem sido a estimativa indireta com

o uso de imagens de sensores orbitais, tanto por meio de índices de vegetação como pelo mapeamento do uso da terra e dos tipos de vegetação (PEREIRA JÚNIOR, 2002).

A umidade do material combustível é geralmente expressa em termos de porcentagem de água contida no mesmo, em relação ao seu peso seco (SOARES, BATISTA, 2007). O conteúdo de umidade é a mais importante propriedade que controla a inflamabilidade dos combustíveis vivos e mortos. Ela é o reflexo do clima e das condições atmosféricas e pode variar rapidamente. Na tabela 1, são apresentadas as variações da umidade em função dos estágios de desenvolvimento da vegetação.

Tabela 1 - Conteúdo de umidade do combustível vivo (folhagem)	
Estágio de desenvolvimento da vegetação	Umidade (%)
Brotação nova, no início do ciclo de crescimento	300
Folhagem em maturação, ainda crescendo com vigor	200
Folhagem madura, completado o novo estágio de crescimento	100
Entrando em dormência, começando a amarelar	50
Completamente seca (considerada material combustível)	< 30

Fonte: Soares, Batista e Nunes (2008).

Os combustíveis vivos e mortos têm diferentes mecanismos de retenção de água e de respostas às variações do clima, sendo que o conteúdo de umidade do material vivo é mais estável do que do material morto. Desse modo, o material morto é mais seco e responde mais rapidamente às variações meteorológicas, sendo, portanto, o principal responsável pela propagação dos incêndios. O conteúdo de umidade do material morto pode apresentar uma grande variação, raramente descendo abaixo de 2%, mas podendo exceder 200% após longos períodos de precipitação. Já nos combustíveis verdes é um pouco menos variável, geralmente situando-se entre 75 e 150%. A variação da umidade na vegetação viva é devida principalmente aos estágios estacionais de crescimento (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

A inflamabilidade está associada às características – estrutura, teor de umidade, composição mineral, presença de substâncias inflamáveis e estado fisiológico – do combustível (RIGOLOT, 1990). Normalmente, à medida que aumenta a proporção de combustível fino morto – folhas, acículas e pequenos ramos – aumenta a inflamabilidade do material combustível. Isto ocorre porque, quanto mais fina a partícula de combustível, mais rápida é a troca de calor e umidade entre o combustível e o ambiente (BATISTA, 2000).

Segundo Torres (1979), as partes da vegetação de florestas podem ser classificadas da seguinte forma: combustíveis ligeiros (ervas, folhas, acículas e ramos); combustíveis pesados (troncos, galhos e raízes) e combustíveis verdes (plantas vivas como folhagem). Essa classificação é importante em relação à rapidez do processo de combustão, que diminui do primeiro para o último.

O tipo de cobertura florestal influencia o comportamento do fogo de várias formas, pois a variação na cobertura vegetal implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e condições climáticas. As propriedades dos combustíveis variam consideravelmente com o tipo de floresta. E as variações no combustível podem causar mudanças pronunciadas no comportamento do fogo. Sendo assim, uma floresta densa e fechada proporciona um microclima mais ameno e os combustíveis apresentam um conteúdo de umidade maior e mais estável do que uma floresta rala ou aberta. Desse modo, pode-se afirmar que o fogo se propaga com mais facilidade na floresta aberta do que na densa (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

Dessa forma, uma floresta aberta ou rala permite a penetração mais livre dos raios solares e do vento, produzindo aumentos na temperatura do combustível e na taxa de evaporação. Isto contribui para o maior potencial de propagação do fogo (SOARES; BATISTA, 2007). Assim sendo, a incidência do fogo está diretamente relacionada com as características do estrato rasteiro, uma vez que esta é a fonte de combustível predominante no Cerrado (EITEN, 1994).

2.2.2 Condições climáticas

A frequência e distribuição dos incêndios florestais estão intensamente relacionados às condições climáticas. Elementos como temperatura, umidade relativa, vento e precipitação têm efeitos característicos sobre o comportamento do fogo.

Soares e Batista (2007) consideraram que a temperatura do ar influi (in)diretamente na combustão e propagação dos incêndios. Diretamente porque a quantidade de calor necessária para elevar o combustível à temperatura de ignição depende da própria temperatura inicial do combustível e também da temperatura do ar em volta do mesmo. Indiretamente, devido a sua influência sobre outros fatores que controlam a propagação do fogo, como: vento, umidade do combustível e estabilidade atmosférica.

Considerando-se que é praticamente impossível medir a temperatura dos combustíveis durante um incêndio florestal, vale a pena citar algumas regras gerais das inter-relações entre

combustíveis e temperatura do ar. Tais normas estão expostas em sintonia com Soares e Batista (2007, p.52)

- a) os combustíveis finos são mais fácil e rapidamente aquecidos pela temperatura do ar e pela insolação direta;
- b) durante a parte mais quente do dia, os combustíveis das encostas voltados para o norte e oeste apresentam temperaturas mais altas do que os das faces sul e leste;
- c) combustíveis maiores respondem mais lentamente do que os finos aos efeitos da temperatura do ar e à insolação direta;
- d) combustíveis maiores apresentam menor temperatura do que os finos durante o dia, ocorrendo o inverso à noite;
- e) dos combustíveis expostos diretamente à radiação solar, os superficiais geralmente apresentam maior temperatura do que os aéreos.

As precipitações são importantes porque ao manter o material florestal úmido, dificultam ou mesmo tornam impossível o início e a propagação do fogo. Existe uma forte correlação entre incêndios e prolongados períodos de seca, visto que, nos períodos de seca prolongada, o material cede umidade ao ambiente, tornando as condições extremamente favoráveis às ocorrências de incêndios. Na avaliação do efeito da precipitação, deve-se considerar não apenas a quantidade de chuvas que cai, mas também a sua distribuição estacional. Se a distribuição das chuvas em um determinado local é uniforme durante todo o ano, sem uma estação seca definida, o potencial de ocorrência e propagação dos incêndios é menor do que um local onde a estação chuvosa está concentrada em alguns meses, com longos períodos de estiagem durante os outros meses. Assim, a distribuição da precipitação é fator fundamental na definição do início, término e duração da estação de perigo do fogo (SOARES, 1985).

Nesse sentido, ressalta-se que a umidade atmosférica é um dos fatores mais importantes na propagação dos incêndios florestais. Existe uma troca contínua de vapor d'água entre a atmosfera e o combustível depositado no piso da floresta. O material seco absorve umidade de uma atmosfera úmida e libera água quando o ar está seco, sendo que a quantidade de vapor d'água (umidade) que o material morto pode absorver do ar e, em seguida, reter dependem basicamente da umidade desse ar. A umidade atmosférica é também um elemento importante na avaliação do grau de dificuldade de combate aos incêndios. Quando a umidade relativa do ar diminui a níveis inferiores a 30%, torna-se extremamente difícil combater um incêndio (BATISTA, 1984).

“Umidade” é o termo usado para descrever a quantidade de vapor d'água contida na atmosfera. A quantidade de vapor d'água no ar é um importante fator que influencia a taxa de evaporação e evapotranspiração. A atmosfera recebe umidade da superfície terrestre – através da evaporação da água do solo nu – das superfícies aquáticas e da transpiração das plantas. A

taxa de evaporação ou de evapotranspiração em uma dada área acontece por dois principais fatores. Um é a disponibilidade de umidade na superfície onde há evaporação e o outro é a capacidade da atmosfera de vaporizar a água, remover ou transportar o vapor para cima (AYOADE, 2002).

Conforme Varejão-Silva (2006), o termo “evapotranspiração” é empregado para exprimir a transferência de vapor d’água para a atmosfera proveniente de superfícies vegetadas. A evapotranspiração engloba a evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e a transpiração resultante da atividade biológica dos seres vivos que o habitam.

Já a expressão evapotranspiração potencial (ETP), segundo Camargo e Camargo (2000), representa a chuva necessária e pode ser definida como o processo de perda de água – por meio de uma superfície natural gramada, padrão, sem restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração – para a atmosfera. E a evapotranspiração real (ETR) constituída pela perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal.

Outra maneira de estimar a umidade do material combustível é analisar a deficiência hídrica, que, de acordo com Embrapa (2003), é o resultado (negativo) do balanço hídrico em que o total de água que entra no sistema via precipitação é menor que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração via plantas.

O vento é um dos fatores principais na facilidade de queimadas, uma vez que ele afeta a taxa de evaporação e de suprimento de oxigênio durante a queima do combustível. O grau de secagem do combustível é acelerado por meio do transporte da alta concentração de vapor de água na camada próximo às superfícies dos materiais para fora das superfícies evaporativas. Ao mesmo tempo, o oxigênio consumido pelo fogo é renovado pelo vento turbulento, resultando em aumento da chama do fogo. O vento impele as chamas a conduzir o calor para as partículas adjacentes de combustível, acelerando o grau de propagação em povoamentos de árvores. Os ventos fortes podem aumentar a disseminação do incêndio, transportando fagulhas e pedaços de madeiras em chamas a maiores distâncias, o que transforma o fogo em incêndios perigosos e de controle difícil (LIU, 2007).

O vento é talvez o elemento de maior importância na forma e direção de propagação da maioria dos incêndios, ele é marcante na transferência de calor por radiação e convecção. Em terrenos montanhosos, tanto o vento como o relevo influem no padrão inicial e direção da propagação. No período imediatamente após a ignição, o vento pode se transformar no fator dominante, mas à medida que a intensidade do fogo aumenta, o relevo assume o caráter dominante, especialmente em áreas de declive acentuado (SOARES; BATISTA, 2007).

2.2.3 Relevo ou topografia do terreno

Outro fator a ser considerado é a topografia que condiciona os ventos e, conseqüentemente, a propagação do fogo. O relevo exerce grande influência sobre o clima e, em menor escala, sobre a vegetação e, por conseguinte, sobre o material combustível das diversas regiões terrestres, assim criando uma tendência do fogo de se propagar mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives (RIBEIRO et al., 2008).

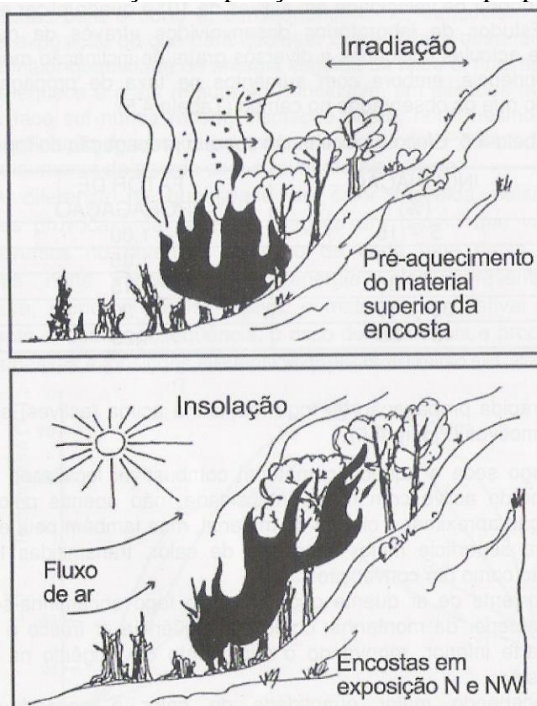
Segundo Soares e Batista (2007), um incêndio se propagado, por exemplo, em um aclive acentuado se assemelha a um incêndio propagado no plano, sob efeito de forte vento. A medida que o grau de inclinação aumenta, a velocidade de propagação também aumenta.

A rápida propagação do fogo montanha acima (aclives) se explica por vários motivos, de acordo com Soares e Batista (2007, p.57)

- a) o fogo seca e aquece o material combustível localizado na parte superior do aclive com maior intensidade, não apenas pelo fato da inclinação aproximar a chama do material, mas também pela exposição de uma superfície maior às ondas de calor, transmitidas tanto por radiação como por convecção;
- b) a corrente de ar quente originada pelo fogo encaminha-se para a parte superior da montanha; como consequência, o ar fresco é aspirado pela parte inferior, renovando o suprimento de oxigênio na zona de combustão;
- c) recebendo maior quantidade de calor e secando-se mais rapidamente, o material combustível da parte superior entra em combustão mais violentamente, causando uma propagação mais intensa do fogo.

Na figura 3 está representada a influência da inclinação e exposição do terreno na propagação dos incêndios.

Figura 3 - Influência da inclinação e exposição do terreno na propagação dos incêndios



Fonte: Soares e Batista (2007) adaptado de Goldammer (1982).

A exposição, ou direção do lado da montanha em relação aos pontos cardeais, apresenta também um efeito direto na possibilidade de ocorrência de um incêndio. No Hemisfério Sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte e, conseqüentemente, transmitem mais calor para essa exposição do que para qualquer outra. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia seguida da leste e, finalmente, a que menos se aquece é a sul (SOARES; BATISTA, 2007).

Ainda segundo o autor supracitado, altas elevações na superfície da terra apresentam ar rarefeito e temperaturas mais baixas, de acordo com as leis naturais, como o gradiente adiabático. Tanto as elevações acima do nível do mar, como as elevações relativas de regiões vizinhas, apresentam efeitos sobre o comportamento do fogo. Baixas elevações têm a tendência de apresentar estações de risco de incêndios mais longas do que as altas elevações.

Como o comportamento do fogo é fortemente influenciado pelo clima e pelo material combustível, a importância da topografia sobre a propagação dos incêndios torna-se evidente (SOARES, 1985).

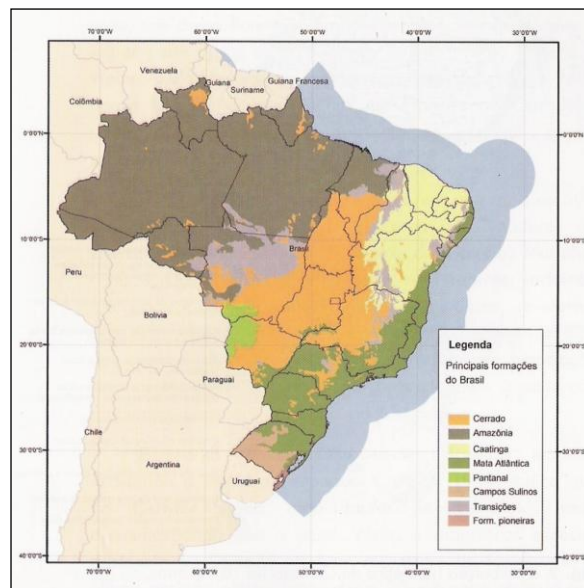
2.3 O bioma Cerrado e incêndios florestais

“Cerrado” é uma palavra de origem espanhola e significa “fechado”. Esse termo busca traduzir a característica geral da vegetação arbustivo-herbácea densa, que ocorre na formação savânica. O termo “Cerrado” tem sido comumente utilizado em três acepções. A mais abrangente delas faz referência ao bioma predominante no Brasil Central, ou seja, a área correspondente ao Bioma Cerrado. A segunda acepção, o cerrado sentido amplo (*lato sensu*) diz respeito às formações savânicas e campestres do bioma, sendo definido pela composição florística e fisionomia da vegetação. E, por fim, o cerrado sentido restrito (*stricto sensu*) corresponde à formação savânica definida pela composição florística, fisionomia e considerando, ainda, a estrutura quanto às formas de crescimento dominantes (RIBEIRO; WALTER, 1998).

A área core do Cerrado está localizada basicamente no Planalto Central do Brasil e é o segundo maior bioma do país em área, ficando atrás apenas do bioma amazônico. Abrange áreas contínuas dos estados de Goiás, Tocantins e do Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo e também ocorre em áreas disjuntas ao norte, nos estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e ao sul em pequenas ilhas no Paraná (SANO; ALMEIDA, 1998).

De acordo com PROBIO (2012), o Cerrado possui uma área de 205,9 milhões de hectares, sendo que apenas 0,85% são integralmente protegidos na forma de unidades de conservação – por exemplo, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Parque Nacional das Emas no estado de Goiás. O Cerrado se limita com quase todos os biomas brasileiros, Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição do bioma Cerrado no Brasil



Fonte: IBGE (1993) apud Aguiar e Camargo (2004).

A vegetação do Bioma Cerrado apresenta uma diversidade de fisionomias, que englobam: formações florestais, formações savânicas e formações campestres (Figura 5). De acordo com Ribeiro e Walter (1998), a fisionomia “floresta” é caracterizada por áreas com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel, seja contínuo ou descontínuo. A fisionomia “savana”, por sua vez, se caracteriza por áreas com a presença de árvores e arbustos espalhados em um estrato graminoso, sem a presença de formação de um dossel contínuo. E, ainda, a fisionomia “campo” caracteriza aquelas áreas onde há a predominância de espécies herbáceas e algumas arbustivas.

Figura 5 - Fitofisionomias do Cerrado



Fonte: Ribeiro e Walter (2008).

Ribeiro e Walter (1998), consideraram que a identificação dos tipos fitofisionômicos constituintes do Bioma Cerrado é fundamentada basicamente pela fisionomia (forma), pelos fatores edáficos e pela composição florística da vegetação.

No quadro 1, apresentam-se as características dos principais tipos fisionômicos do Cerrado, definidos por Ribeiro e Walter (1998).

Quadro 1 - Características das fitofisionomias do Cerrado

FITOFISIONOMIAS DO CERRADO		
TIPO	CARACTERÍSTICAS	FORMAÇÃO
Mata Ciliar	Acompanha rios de médio e grande porte, em que a vegetação arbórea não forma galerias. Solos podem ser rasos – Cambissolos, Plintossolos ou Neossolos litólicos, profundos como os Latossolos e Argissolos, ou ainda serem Neossolos flúvicos. Árvores de altura entre 20 e 25 metros com cobertura arbórea de 50 a 90%.	Florestal
Mata de Galeria	Acompanha rios de pequeno porte e os córregos dos planaltos do Brasil central formando corredores fechados (galerias). Ocorre nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem. Solos geralmente são Cambissolos, Plintossolos, Argissolos, Gleissolos ou Neossolos Flúvicos. Altura média do estrato arbóreo varia entre 20 a 30 metros com cobertura de 70 a 95%.	Florestal
Mata Seca	Apresenta diferentes níveis de caducifolia durante a estação seca em função das condições químicas, físicas e principalmente da profundidade do solo. Podem ocorrer em solos desenvolvidos em rochas básicas de alta fertilidade (Nitossolos Vermelho e Chernossolo Ebânico ou Cambissolos) e em Latossolos Vermelho e Vermelho-Ácrico, de média fertilidade. Também em solos de origem calcária ocorre a Mata Seca Decídua em regiões mais acidentadas. Altura média do estrato arbóreo entre 15 e 25 metros com cobertura variante na estação seca menos de 50% e na estação chuvosa de 70 a 95%.	Florestal
Cerradão	Formação florestal com aspectos xeromórficos (condições de seca). Do ponto de vista fisionômico é uma floresta, mas floristicamente é mais similar a um cerrado. Dossel com cobertura arbórea que oscila entre 50 e 90% e altura média de 8 a 15 metros. Os solos em geral são profundos, bem drenados, de média e baixa fertilidade, ligeiramente ácidos, pertencentes às classes Latossolo Vermelho-Ácrico, Latossolo Vermelho-Amarelo-Ácrico ou Latossolo Vermelho. Também pode ocorrer em proporção menor Cambissolos.	Florestal

FITOFISIONOMIAS DO CERRADO		
TIPO	CARACTERÍSTICAS	FORMAÇÃO
Cerrado Sentido Restrito	Formação savânica com presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. Arbustos e subarbustos encontram-se espalhados. Os troncos das plantas em geral possuem cascas com cortiça grossa, fendida ou sulcada e as folhas são rígidas e coriáceas, caracterizando um aspecto de xeromorfismo. Entretanto, espécies arbóreas que possuem raízes profundas não sofrem restrição hídrica na estação seca, destacando-se desse quadro. Grande parte dos solos é das classes Latossolo Vermelho-Ácrico, Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico e Latossolo Vermelho que apesar das boas características físicas, são solos forte ou moderadamente ácidos (PH entre 4,5 2 5,5), com carência generalizada de nutrientes essenciais e altas taxas de alumínio. Apresenta ainda uma sub-divisão em função dos fatores físicos condicionantes em: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre.	Savânica
Parque Cerrado	Formação savânica presente em pequenas elevações do terreno denominadas “murunduns”. Apresenta árvores de altura média de 3 a 6 metros formando uma cobertura arbórea de 5 a 20%. Os solos são Gleissolos e mais drenados nos murunduns que nas áreas planas adjacentes. A flora é semelhante ao Cerrado sentido restrito, no entanto com melhor tolerância à saturação hídrica do perfil do solo.	Savânica
Palmeiral	Formação savânica formada pela presença de uma só espécie de palmeira arbórea. Em geral as palmeiras do Cerrado encontram-se em terrenos bem drenados, embora também ocorram em terrenos mal drenados onde ocorrem galerias que acompanham as linhas de drenagem. Em solos bem drenados ocorrem as espécies Macauba, Gueroal e Babaçual. Em solos mal drenados (brejos) os palmeirais se caracterizam pelo Buritizal que formam um dossel de 40 a 70% de cobertura arbórea e têm altura média entre 12 e 20 metros.	Savânica
Vereda	Caracterizada pela presença da palmeira arbórea <i>Mauritia flexuosa</i> (Buriti) emergente em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas e circundadas por Campo Limpo, geralmente úmidos e os buritis não formam um dossel. A altura média dos buritis varia de 12 a 15 metros. A ocorrência de vereda condiciona-se ao afloramento do lençol freático. Serve de refúgio, abrigo, fonte de alimento e local de reprodução da fauna terrestre e aquática do Cerrado.	Savânica

FITOFISIONOMIAS DO CERRADO		
TIPO	CARACTERÍSTICAS	FORMAÇÃO
Campo Sujo	Tipo fisionômico herbáceo-arbustivo, com arbustos e subarbustos esparsos cujas plantas são constituídas por indivíduos menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito. Ocorre em solos rasos como os Neossolos litólicos, Cambissolos ou Plintossolos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão, ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade (álco ou distrófico) como os Latossolos de textura média, e os Neossolos Quartzarenos. Quando o solo é bem drenado, caracteriza-se o Campo Sujo Seco e, quando o solo é pouco drenado, ocorre o Campo Sujo Úmido ou com Murundus.	Campestre
Campo Rupestre	Ocorre geralmente em Neossolos Litólicos ou nas frestas dos afloramentos rochosos. São solos ácidos, pobres em nutrientes e a disponibilidade de água é restrita. A fitofisionomia é herbáceo-arbustiva, com presença eventual de arvoretas pouco desenvolvidas de até 2 metros de altura. O ambiente propício é em altitudes superiores a 900 metros, em áreas onde há ventos constantes, dias quentes e noites frias. A composição florística varia em função do substrato (profundidade do solo, fertilidade, disponibilidade de água, etc.). Indivíduos lenhosos concentram-se nas fendas das rochas, enquanto que outras espécies podem crescer diretamente sobre as rochas, sem que haja solo, como é o caso de algumas Aráceas e Orquidáceas.	Campestre
Campo Limpo	Fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores. Ocorre em diversos ambientes de diferente topografia, variação no grau de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Entretanto, é encontrada com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nos olhos d'água, circundando as veredas e na borda das Matas de Galeria, geralmente em Neossolos Litólicos, Cambissolos ou Plintossolos. Quando ocorrem em áreas planas contíguas aos rios e inundadas periodicamente, também é chamado de “Campo de Várzea”, “Várzea” ou “Brejo”.	Campestre

Fonte: Sampaio (2007) adaptado de Ribeiro e Walter (1998).

Além do sistema de classificação de vegetação do Cerrado proposto por Ribeiro e Walter (1998), existe o Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira exposto pelo IBGE (2012), em que o Cerrado foi subdividido em quatro subgrupos de formação: Savana

Florestada (Sd), Savana Arborizada (Sa), Savana Parque (Sp) e Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg).

A Savana Florestada (Sd) é um subgrupo de formação com uma fisionomia típica e característica particulares, restrita das áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em clima tropical eminentemente estacional. A Sd apresenta sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos tortuosos com ramificação irregular, providas de macrofilos esclerófilos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódio. Ela não apresenta uma sinúsia nítida de caméfitos, e sim um relevo hemicríptofítico, de permeio com plantas lenhosas raquíticas e palmeiras anãs. Já a Savana Arborizada (Sa) é um subgrupo de formação natural e ou antrópico que se caracteriza por apresentar uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminóide, contínua (IBGE, 2012).

Ainda de acordo com IBGE (2012), Savana Parque (Sp) é um subgrupo de formação essencialmente constituído por um estrato graminóide, integrado por hemicriptófitos e geófitos de florística natural e ou antropizada, entremeado por nanofanerófitos isolados. E a Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) apresenta predominantemente gramados entremeados por plantas lenhosas raquíticas, que ocupam extensas áreas dominadas por hemicriptófitos e que, aos poucos, quando manejados através do fogo ou pastoreio, vão sendo substituídas por geófitos, que se distinguem por apresentar colmos subterrâneos, portanto, mais resistentes ao pisoteio do gado e ao fogo.

Nascimento (2002) considerou que uma das hipóteses da origem do Cerrado está na combinação da estacionalidade climática, o baixo nível nutricional dos solos e a ocorrência do fogo, sendo a variação desses fatores – no espaço e no tempo – os responsáveis pela diferenciação de vegetação.

O Cerrado destaca-se com relação à alta biodiversidade, dentre as razões destacam-se: a vasta extensão, aliada à posição geográfica central, compartilhando espécies com quatro outros biomas – Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal; sua heterogeneidade vegetal; e por conter trechos das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul, dos rios Tocantins, São Francisco e Prata (ALHO; MARTINS, 1995).

Cabe ressaltar que o Cerrado está incluído na atual lista de *hotspots*. Com uma flora considerada como uma das mais ricas dentre as savanas, esse bioma possui alto grau de endemismo, já que de suas 10 mil espécies de plantas, 44% são endêmicas, incluindo quase todas as gramíneas. O Cerrado e a Mata Atlântica são os ecossistemas brasileiros que mais sofreram alterações com a ocupação humana. Sendo que, atualmente, a destruição e a

fragmentação de habitats consistem na maior ameaça à integridade dessa região (PEREIRA JÚNIOR, 2002).

Partindo para um contexto histórico, pode-se dizer que a ocupação intensa do Cerrado teve início na década de 1960, com a construção de Brasília – Distrito Federal –, abertura de novas estradas e com os incentivos governamentais aplicados no setor agropecuário, que expandiram a ocupação da região com agricultura e pecuária.

A região do Cerrado é responsável por cerca de um terço da produção de grãos do país (soja, milho, sorgo, arroz, trigo, café), metade da produção de carnes e a maior parte de algodão, parte da qual se destina ao mercado externo. Dispõe de boa infraestrutura logística e um agronegócio bem organizado, gerando benefícios econômicos e sociais relevantes para a sociedade e para o país. Contudo, enormes desafios ainda precisam ser enfrentados para se atingir um desenvolvimento equilibrado (GOEDERT; WAGNER; BARCELLOS, 2008).

Assim, o Cerrado foi sendo devastado, no cotidiano, há diminutos resquícios de sua antiga cobertura vegetal. As transformações ocorridas no Cerrado causaram grandes danos ao ambiente, dentre eles a fragmentação de habitats, redução da biodiversidade, erosão e perda de solos, uso abusivo da água e alterações no regime de queimadas.

A ameaça à biodiversidade do Cerrado tem sua origem em questões fundamentais nacionais e internacionais, ligadas às políticas públicas e aos modelos econômicos vigentes. Historicamente, a expansão agropecuária, o extrativismo vegetal e o mineral no Cerrado são caracterizados por um modelo econômico predatório, com graves consequências para a conservação da natureza na região (PEREIRA JÚNIOR, 2002).

Por conseguinte, ressalta-se que o Cerrado é susceptível a incêndios especialmente durante a estação seca, pois é quando a camada rasteira, dominada por gramíneas, seca. A intensidade do fogo varia de acordo com: a quantidade de combustível acumulado na superfície do solo desde a última queimada, a produção primária da camada rasteira e a quantidade de serrapilheira produzida por arbustos e árvores (MIRANDA; SILVA; MIRANDA, 1996).

Na estação seca, que compreende o período de abril a outubro, são comuns os relatos de queimadas de origem antrópica e natural, que, juntamente com a sazonalidade das chuvas e com o solo pobre em nutrientes, contribuem com a existência do Cerrado no Brasil Central (NEVES; MIRANDA, 1996).

Segundo Pereira Júnior (2002), três condições simultâneas são necessárias para a ocorrência de incêndios em vegetação do Cerrado: disponibilidade de combustível vegetal,

condições meteorológicas propícias e existência de fonte de ignição. Assim, a “susceptibilidade ao fogo” é a possibilidade de atendimento a estas três condições.

Nesse sentido, dentre as causas mais comuns de incêndios florestais, podem-se citar: incêndios criminosos, focos de incêndios causados por cigarros, prática de fogueiras, balões, queima de lixo, queima de terreno para limpeza com fins agrícolas ou pecuários, raios. Alguns incêndios florestais têm causa acidentais, como os incêndios causados por fagulhas de máquinas e de grandes veículos ou pelo rompimento de cabos de eletricidade.

Desse modo, verifica-se que a maioria dos incêndios são provocados intencionalmente ou não, por atividades antrópicas, exceto as causadas por raios.

No que concerne ao fogo provocado pelo homem, consegue-se minimizar essas ações por meio de educação, leis rigorosas e outros meios, ou pela redução do período de risco de incêndios florestais, mediante a retirada prévia do material combustível e do uso de técnicas como: construção de estradas, aceiros, proibição de acesso público a áreas consideradas de risco. Dessa maneira, um plano de prevenção de incêndios florestais deve ser cuidadosamente elaborado de modo a proteger o patrimônio natural (LIU, 2007).

As queimadas no Cerrado são, em geral, de superfície, consumindo principalmente a vegetação do estrato herbáceo. A recuperação da vegetação é rápida com máximas de rebrotações distintas entre seus componentes que podem estar relacionadas a características fenológicas das espécies. Entretanto, queimadas frequentes podem significar empobrecimento do ecossistema como um todo quanto ao estoque de nutrientes essenciais e uma eventual redução de biomassa total, sobretudo, da camada arbórea e arbustiva (AGUIAR; CAMARGO, 2004).

De acordo com Ross (2005), apesar do fogo ser um agente importante para o Cerrado, ele não é extensivo a todas as formações vegetais desse bioma. Queimadas de grandes proporções, como as que são empregadas por fazendeiros, prejudicam a fauna de mamíferos como os tamanduás-bandeira, que são rapidamente incinerados devido à pelagem espessa e longa, muito inflamável. Consequentemente, o fogo também destrói as matas-galerias que protegem as drenagens. As queimadas de pequenas extensões são, no entanto, integradas ao ecossistema dos Cerrados. As gramíneas, na ausência de fogo, podem dominar a diversidade dos Cerrados e tornar as áreas impróprias para algumas espécies de fauna.

Ressalta-se que a completa supressão do fogo também acarreta efeitos ambientais no Cerrado, como a redução de biodiversidade e aumento da densidade de plantas lenhosa com alteração na composição florística e fisionômica da vegetação (PEREIRA JÚNIOR, 2002).

Pode-se dizer que o efeito de fogo na fisionomia afeta principalmente a camada arbustiva, especialmente os arbustos de caule fino e depende da densidade e altura das gramíneas da camada rasteira, porque quando elas secam, tornam-se a fonte principal de combustível. Se outro fogo não ocorre por alguns anos, a camada arbustiva reassume sua densidade normal, a qual depende do solo. Se o fogo ocorre – em média ou menos – duas vezes por década, a fisionomia básica do Cerrado não se altera. Assim, essa variação nas características do solo, ação de fogo e corte e recuperação produz um contínuo de formas do Cerrado (PINTO, 1994).

Deve-se salientar que o efeito dos incêndios sobre a vegetação depende basicamente da intensidade do fogo. Um incêndio de rápida propagação, ocorrendo em uma área onde existe grande quantidade de material combustível, provocará danos sensíveis mesmo em espécies resistentes ao fogo. Por outro lado, em uma queima controlada de baixa intensidade, os efeitos daninhos serão mínimos e, inclusive, alguns benefícios serão alcançados (SOARES; BATISTA, 2007).

A adaptação da vegetação ao fogo está relacionada a vários fatores, como: tipo de queimada, o regime de queima (frequência e época do ano) e também ao comportamento do fogo (velocidade de propagação, tempo de residência e a intensidade da frente do fogo, temperaturas do ar e do solo). Alterações nesses fatores podem resultar em danos severos na estrutura e na dinâmica da vegetação (WHELAN, 1995 apud AGUIAR; CAMARGO, 2004).

No entanto, o acúmulo anual de biomassa seca cria condições à queima, que qualquer descuido com o uso do fogo ou a queda de raios no início da estação chuvosa, acaba por produzir incêndios tremendamente desastrosos para o ecossistema e impossíveis de serem controlados pelo homem. Nesse caso, é preferível prevenir tais incêndios, realizando queimadas programadas em áreas limitadas e sucessivas cujos efeitos poderão ser até mesmo benéficos. Tudo depende de se saber manejar o fogo adequadamente, levando em conta uma série de fatores, como os objetivos do manejo, a direção do vento, as condições de umidade e temperatura do ar, a umidade da palha combustível e do solo, a época do ano, a frequência das queimadas (COUTINHO, 2012).

Nesse sentido, o manejo adequado do fogo em reservas de Cerrado pode constituir-se em eficiente meio para a preservação da flora e da fauna. Algumas práticas – como queimadas em rodízio, com parcelas pequenas e com regimes próprios – podem reduzir os riscos de grandes incêndios acidentais, o que pode permitir com que as plantas completem os respectivos ciclos biológicos, logo acelerando a ciclagem dos nutrientes minerais, aumentando a produtividade dos ecossistemas e propiciando alimentos – durante os meses de

seca – aos animais. Também, enfatiza-se que a adoção de tal medida leva a redução da mortalidade dos animais, uma vez que eles passam a ter áreas não queimadas onde podem se refugiar (COUTINHO, 2012).

Fatores como clima, vegetação, tipo de solo e a própria atividade humana criam condições divergentes a respeito da influência do fogo sobre a resposta do solo e microclima a longo prazo. A extensão da influência do fogo sobre as propriedades do solo depende da sua intensidade, da natureza da vegetação, do aumento da temperatura e da frequência de queimadas. Além disso, a duração do pulso de calor afeta a sobrevivência dos organismos, a quantidade de nutrientes e as propriedades físicas e químicas do solo (RAISON, 1979 apud NEVES; MIRANDA, 1996).

Um incêndio florestal pode acarretar várias consequências. Nesse caso, citam-se três. Primeiro, e talvez a mais óbvia, ele consome material lenhoso. Segundo, ele cria calor, que mata ou danifica a vegetação, mata ou causa lesões aos animais e danifica ou altera o solo. Terceiro, os constituintes minerais residuais do combustível podem causar diversos efeitos sobre a química do solo e a nutrição das plantas (SOARES; BATISTA, 2007).

A exposição da superfície do solo após a destruição da cobertura vegetal, principalmente em terrenos acidentados, depois de repetidos incêndios ou queimadas, pode provocar um acelerado escoamento superficial da água e, conseqüentemente, rápida erosão. Geralmente, esse é o mais sério e duradouro efeito do fogo sobre o solo. Vários autores confirmam que os incêndios florestais se constituem numa das principais causas de erosão, embora as práticas agrícolas inadequadas e a devastação florestal, que expõe o solo em áreas de relevo acidentado, possam causar resultados similares (SOARES; BATISTA, 2007).

Ainda de acordo com Soares e Batista (2007), conclusões definitivas acerca dos efeitos do fogo sobre o solo são difíceis, pois a produtividade dos solos depende de vários fatores, podendo ser influenciados de diversos modos pelo fogo. O escoamento superficial e a erosão, por exemplo, são geralmente acelerados pelo fogo, com o conseqüente arrastamento de nutrientes. Entretanto, sob certas condições, esses aspectos daninhos podem ser compensados pelo feito benéfico das cinzas no crescimento das plantas, que por sua vez recobrem o solo, reduzindo o escoamento superficial e a erosão.

Aguiar e Camargo (2004) destacam que um dos efeitos imediatos do fogo sobre o solo é a alteração do pH. Uma das diferenças observadas entre as queimadas de campo sujo e cerrado stricto sensu foi a maior variabilidade nos valores de pH, um dia depois da queima, em relação à distribuição das cinzas. O pH variou de 5,1 a 9,1 no cerrado stricto sensu depois da queima, enquanto no campo sujo, a variação foi de 5,0 a 7,8. Os maiores valores de pH

podem estar relacionados à contribuição das cinzas resultantes da combustão de caules e de ramos de árvores mortas.

De acordo com Coutinho (1990), em áreas de Cerrado, queimadas com intervalos de três anos estabelecem um equilíbrio entre entradas e saídas de nutrientes. Nesse caso, o fogo não afeta as propriedades nutricionais do solo.

Para alguns animais, a falta de abrigo após um incêndio pode representar uma ameaça maior do que as próprias chamas, pois eles ficam expostos aos olhos dos predadores. Por isto, em locais onde incêndios naturais ocorrem com frequência, parece que alguns animais dos Cerrados e das Savanas desenvolveram uma coloração camuflante (SOARES; BATISTA, 2007).

2.4 Risco de incêndio florestal

A computação de índices de risco de incêndio, potencial de incêndio, ou perigo de incêndio, constituem tentativas de quantificar a probabilidade de um fogo ocorrer e se propagar quando existe uma fonte de ignição (FREIRE; CARRÃO; CAETANO, 2002).

Os índices de risco de incêndio são classificados de acordo com os dados de entrada, sendo considerados dois tipos de métodos: estritamente meteorológico e potencial. O método meteorológico é agrupado da seguinte forma: não acumulativos e acumulativos. Os índices não acumulativos consideram apenas valores diários dos parâmetros. Tais índices têm como exemplos o Angstron e o Lourenço. E, os acumulativos que utilizam registros de dados anteriores, pode-se citar dentre os índices Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Logarítmico de Telitsyn. Em uma abordagem mais recente, o método potencial pode ser classificado de acordo com a sua escala temporal como: estruturais ou de longo prazo – derivados a partir de fatores que não variam rapidamente como a ocupação do solo e a topografia. Nesse tipo de abordagem, é necessária também uma base de registros históricos de incêndios em um período significativo, pois sua determinação é a partir de estudos de correlação; dinâmicos ou de curto prazo baseiam-se em parâmetros que variam de forma quase contínua como o estado da vegetação e as condições meteorológicas. Esse método tem finalidade de detectar as condições de inflamabilidade dos combustíveis florestais; e, por último, o método integrado ou avançado que incluem fatores estruturais e dinâmicas (FREIRE; CARRÃO; CAETANO, 2002).

Para Felgueiras (2005), a componente estrutural, ou de longo período, considera os fatores que influenciam ou potencializam o risco em função da sua reduzida variabilidade

com o decorrer do tempo, sendo influenciados por itens, como: a natureza da cobertura florestal, a morfologia do terreno, a exposição das vertentes, a altitude, as características climáticas e a própria densidade populacional. A componente dinâmica, ou de curto (ou mesmo de muito curto) período, está diretamente relacionada com as condições atmosféricas e, conseqüentemente, com o estado de secura dos combustíveis.

Nos últimos anos, tem-se observado o desenvolvimento de índices de risco por métodos integrados que combinam o mapa de combustíveis, variáveis meteorológicas e informações relacionadas com a biomassa, para detectar alterações na inflamabilidade dos combustíveis. Para isto, são integrados dados de satélite com redes de estações meteorológicas de alta densidade. Com esses dados, geram-se os Índices de Vegetação por Diferença Normalizado (NDVI), os quais fornecem informações do aspecto da vegetação usados para o cálculo da umidade do combustível (CARAPIÁ, 2006).

Ainda segundo Carapiá (2006), o desenvolvimento desses sistemas teve início, em 1942, nos Estados Unidos. Os trabalhos atuais, entretanto, baseiam-se no modelo de Rothermel (1972). A partir desses trabalhos, outros países – como Canadá, França, Espanha e Austrália – iniciaram as suas pesquisas sobre o assunto.

No Brasil, a adoção dos índices de risco de incêndios teve início em 1963, motivado pela ocorrência de um incêndio que atingiu uma área estimada em dois milhões de hectares, no Paraná. Devido à dificuldade de obtenção de informações básicas, inclusive variáveis meteorológicas, os índices sugeridos naquela oportunidade foram os de Angstron e Nesterov (SOARES, 1998).

Desde meados da década de 80 o INPE desenvolve e aprimora seu sistema operacional de detecção de queimadas em imagens de satélites baseado nos dados da faixa ótica-termal de 3.7 a 4 μm . Inicialmente, os focos eram obtidos nas imagens AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de um dos satélites da série NOAA (SETZER; PEREIRA; PEREIRA JÚNIOR, 1992). Em 2002 a detecção de queimadas passou a ser feita também nas imagens do satélite Geoestacionário "GOES Este" a cada três horas, e nas imagens MODIS dos novos satélites TERRA e AQUA da NASA, aumentando para pelo menos 16 as detecções diárias (SISMANOGLU; SETZER, 2004).

No Brasil existem outros programas de monitoramento de incêndios florestais por satélites e de estimativas de risco de fogo da vegetação, como a do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de abrangência geral e do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), específico do Paraná.

2.5 Sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise multicritério como suporte na análise do risco de incêndio florestal

2.5.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como sendo a

utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1998, p.2).

Durante a I e II Guerras Mundiais, as técnicas de sensoriamento remoto foram largamente utilizadas no planejamento de missões com fins militares. Contudo, até então, apenas fotografias aéreas obtidas à média e baixa altitude mereciam destaque (ROSA, 2005).

Em 1972, os Estados Unidos colocaram em órbita o primeiro satélite de sensoriamento remoto com finalidade civil, destinado à obtenção de dados de forma rápida, confiável e frequente dos alvos terrestres. A partir de então, inúmeros outros sistemas de obtenção de dados passivos ou ativos, orbitais ou sub-orbitais foram desenvolvidos e, atualmente, a grande quantidade de informações fornecidas por estes sensores nos permite conhecer melhor o nosso planeta, sendo ferramenta indispensável ao inventário, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. O sensoriamento pode ser orbital, nesse caso, informações obtidas por satélite ou sub-orbital, quando as informações são obtidas por aeronaves (ROSA, 2005).

Nesse contexto, o surgimento das imagens de satélite possibilitou, além da criação de um nível de percepção mais global, complementar as fotografias aéreas e os levantamentos de campo, com a obtenção de informações radiométricas digitais de grandes extensões da superfície terrestre (COUTINHO, 1997).

Segundo Florenzano (2002), as imagens obtidas por sensores remotos, qualquer que seja o seu processo de formação, registram a energia proveniente dos objetos da superfície observada. Independente da resolução e da escala, as imagens apresentam os elementos básicos de análise e interpretação, a partir dos quais se extraem informações de objetos, áreas, ou fenômenos. Esses elementos são: tonalidade ou cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização.

Rocha (2000) destacou que os sistemas de processamento ou tratamento de imagens são sistemas destinados à extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto. Sendo assim, essa extração pode ser qualitativa por meio da observação de imagens realçadas

pelo sistema, ou quantitativas via utilização de procedimento de classificação automática, cujas saídas são imagens temáticas e tabelas de área associadas a cada classe discriminada na imagem.

Atualmente, com o constante aprimoramento dos softwares de processamento digital de imagens, é possível realçar características espaciais e ou espectrais da imagem bruta, por meio de processos como classificação digital de imagens, correção geométrica, ortorretificação, filtragens, composições coloridas, variações de escala (zoom), edição vetorial sobre a imagem, análise e visualização do terreno, extração de Modelos Digitais do Terreno (MDT), correção atmosférica, análise de dados hiperespectrais e diversos outros processamentos, visando à extração da informação que se busca (ROCHA, 2000).

O sensoriamento remoto, por meio do uso de imagens orbitais, pode fornecer dados de cobertura do solo de grandes áreas, em intervalos regulares, com maior rapidez na coleta e análise de dados e com um custo menor se comparado com métodos convencionais (por exemplo, o uso de redes de guardas florestais ou levantamento de campo), e, principalmente, sendo uma tecnologia que permite monitorar mudanças ambientais (FERREIRA, 2004).

Dessa forma, as imagens de sensores orbitais podem ser utilizadas no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal nativa, de áreas queimadas, índices de vegetação, na detecção de focos de calor, entre outros produtos relacionados ao risco de incêndio florestal.

“A expressão uso da terra pode ser compreendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem” (LOCH, 1989, p.51). Baseado nessa afirmação, expõe-se que o estudo desse uso consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações (ROSA, 2009).

O mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal nativa é imprescindível para se analisar a forma pela qual determinado espaço está sendo ocupado, podendo servir para planejadores e legisladores, pois, ao verificar a utilização do solo em determinada área, pode-se elaborar uma melhor política de uso da terra para o desenvolvimento da região (PRUDENTE; ROSA, 2007).

A detecção de pontos de incidência de fogo via satélite é controlada por vários fatores, incluindo ângulos de visada dos sensores, iluminação, propriedades da superfície e subsuperfície, heterogeneidade de relevos, emissividade, cobertura de vegetação, umidade, condutividade e capacidade calorífica do solo e atenuações atmosféricas (LIU, 2007).

A detecção de incêndios florestais, por meio do sensoriamento remoto, iniciou-se no início da década de 1960, por entidades ligadas ao United States Forest Service (USFS), Serviço Florestal dos Estados Unidos, em um programa experimental que teve a duração de dez anos e desenvolveu estudos sobre imageadores biespectrais no infravermelho termal em aeronaves, tendo como foco testes sobre as características espectrais de queimadas e de sensores (FERREIRA, 2004).

Atualmente, as práticas utilizadas para monitoramento de queimadas empregam técnicas de sensoriamento remoto em plataformas orbitais, incluindo os satélites de alta a média resolução de 0,61m a 30 m e de baixa frequência temporal de 16 a 26 dias, tais como QuickBird, IKONOS, SPOT, CBERS e Landsat, que permitem detectar as fumaças e as áreas de queimadas ativas e recentes e os de baixa resolução espacial e alta frequência temporal, tais como ENVISAT, DMSP, NOAA e MODIS, que permitem a localização de focos de queimadas, e observar pontos de ignição ocorrida. Os satélites de alta a média resolução espacial têm a vantagem de detectar fumaças e o avanço do fogo e estimar as áreas queimadas. Entretanto, por causa das imagens que cobrem a mesma área, só serão disponíveis acima de 16 dias (LIU, 2007).

O sistema Landsat foi desenvolvido pela NASA com o objetivo de permitir aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva (ROSA, 2009). O Landsat foi colocado em órbita em 1972, com o nome de *Earth Resources Technological Satellite – 1*, sendo transformado, posteriormente, na série Landsat. As imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa foram do Landsat 5 e Landsat 8.

O Landsat 5 começou a operar em 1984 com os sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Multispectral Scanner System* (MSS), com, respectivamente, sete e quatro bandas em cada. A melhor resolução espacial obtida é de 30 m (ROCHA, 2000). O sensor MSS do satélite Landsat 5 deixou de enviar dados em 1995, e o sensor TM manteve-se ativo até novembro de 2011, atingindo a marca de 28 anos em operação. Posteriormente, o sensor MSS foi religado a bordo do satélite Landsat 5, coletando imagens apenas dos Estados Unidos, oferecendo continuidade aos trabalhos e produtos do Landsat (EMBRAPA, 2015).

O Landsat 8 entrou em órbita em 2013 e opera com os instrumentos *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O foco do sensor OLI é continuar os produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, a bordo das plataformas anteriores, além de incluir duas novas bandas espectrais, uma projetada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus (EMBRAPA, 2015).

Florenzano (2002) ressaltou que, como os ambientes da superfície terrestre sofrem mudanças, a data da imagem é uma informação extremamente importante, pois a imagem é uma representação de parte da superfície da Terra no momento da passagem do satélite. A data indica, por exemplo, se uma imagem é antiga ou recente, se foi tomada em época seca ou de chuva, no inverno ou verão, antes ou depois de um fenômeno como desmatamento, incêndios, deslizamento de encostas (terra), inundação.

Dados de sensoriamento remoto orbital estão sendo acrescentados aos índices de suscetibilidade ao fogo para auxiliar na estimativa da umidade de vegetação, tendo como principal vantagem a coleta de dados sobre extensões continentais em intervalos regulares de tempo, com melhor resolução espacial que os dados meteorológicos (PEREIRA JÚNIOR, 2002).

Estudo iniciados na década de 1970 mostraram forte correlação entre índices de vegetação obtidos de dados espectrais e parâmetros biofísicos da vegetação, como fitomassa foliar verde, índice de área foliar (TUCKER, 1979; TUCKER; SELERS, 1986). Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e relacionam a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo tanto quantitativamente quanto qualitativamente (BARBOSA, 2006). Sintetizando, são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al, 1996).

Ponzoni (2001) destaca que os índices de vegetação são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade.

Um dos índices de vegetação mais utilizado é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que foi introduzido para produzir um Índice de Vegetação (IV) espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo, utilizando primeiramente dados digitais do Landsat - MSS. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas (ROSA, 2009).

Na contemporaneidade, observa-se considerável crescimento na utilização de sensoriamento remoto para estimativa de precipitação pluvial, aumentando assim a quantidade de informações meteorológicas disponíveis para uma determinada região. Pode-se citar, como exemplo desse uso, os satélites da série GOES e o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

Os dados utilizados nessa pesquisa foram do satélite TRMM, esse satélite possui órbita oblíqua não heliossíncrona bastante baixa (inicialmente 350 km e desde 2001 cerca de 403 km), de forma que o período de translação é bastante curto (91 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altos. A órbita desse satélite foi calculada para se ter uma capacidade máxima de amostragem diurna e os dados são estimados a cada 3 horas com uma resolução espacial de 0,25° desde 50° N a 50° S. Os instrumentos a bordo do satélite TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor imageamento de relâmpagos (LSI) (SILVA; PRELA-PANTANO; CAMARGO, 2013).

Cabe enfatizar que os dados de sensoriamento remoto constituem um dos maiores mananciais de informações para os SIGs. A montagem da base de dados espaciais é realizada com cartas temáticas obtidas (in)diretamente por esse processo. As vantagens oferecidas pelo uso das informações de sensoriamento remoto para corrigir, atualizar e manter bases de dados para SIG é inquestionável. Os sistemas de gestão e monitoramento não sobrevivem sem um módulo de atualização periódica das informações, que pode ser implementado pelas técnicas de sensoriamento remoto (ROCHA, 2000).

Por conseguinte, pode-se afirmar que as imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacando os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem por meio do uso e da ocupação do espaço (FLORENZANO, 2002).

2.5.2 Geoprocessamento

“Geoprocessamento”, pelo significado do próprio nome (“geo” significa “terra” e “processar” tem o sentido de “executar, realizar, mudar”), processa informações sobre a superfície terrestre por meio – ou não – de ferramentas computacionais. Esses processos auxiliam o homem no monitoramento, administração e planejamento do espaço geográfico em que vive. Nesse sentido, os sistemas computacionais com esses propósitos são conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica - SIG (THOMÉ, 1998).

“O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação” (ROSA; BRITO, 1996, p.

7). Em seus estudos, Rocha (2000) definiu geoprocessamento como uma tecnologia transdisciplinar, que, por meio da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

Sendo assim, o termo geoprocessamento pode ser aplicado à cartografia digital, ao Processamento Digital de Imagens (PDI) e aos SIGs. A cartografia digital, conforme Rosa e Brito (1996), é a tecnologia destinada à captação, organização e desenho de mapas, enquanto que o PDI pode ser entendido como sendo o conjunto de procedimentos e técnicas destinadas à manipulação numérica de imagens, cujo intuito é corrigir distorções das mesmas e melhorar o poder de discriminação dos alvos. Já os sistemas de informações geográficas são sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referenciados espacialmente.

O geoprocessamento procura abstrair o mundo real, transferindo ordenadamente as suas informações para o sistema computacional. Essa transferência é feita sobre bases cartográficas, por meio de um sistema de referência apropriado (ROCHA, 2000).

De acordo com Rosa (2005, p. 81), o geoprocessamento envolve pelo menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial:

1. Técnicas para coleta de informação espacial (cartografia, sensoriamento remoto, GPS, topografia, levantamento de dados alfanuméricos);
2. Técnicas de armazenamento de informação espacial (bancos de dados – orientados a objetos, relacional, hierárquico, etc.);
3. Técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes, etc.);
4. Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS – Geographic Information Systems, LIS – Land Information Systems, AM/FM – Automated Mapping/Facilities Management, CADD – Computer-Aided Drafting and Design.

Silveira (2000) destacou que a revolução digital passou a permitir a análise da natureza de uma forma mais global. O raciocínio, decorrente de novas formas de análise, invade tanto o microcosmo biológico como o macrocosmo da biosfera. Auxiliado por essa nova capacidade cibernética, os sentidos humanos são potencializados por essas novas ferramentas e o raciocínio sobre os fenômenos ambientais tem potencial para ser em grande parte digital. O instrumento que melhor expressa essa espécie de matemática espacial é o Sistema de Informação Geográfica, pois qualquer dado que possua um componente espacial, uma localização determinável, pode ser manuseado, armazenado e analisado por um SIG.

Os SIGs possibilitam a geração de um banco de dados codificados espacialmente, promovendo ajustes e cruzamentos simultâneos de um grande número e variedade de informações, facilitando o acompanhamento e a evolução espaço-temporal dos diferentes temas de caráter geográfico. Ainda permite diagnosticar, avaliar e zonear áreas de forma mais rápida, adequada e eficiente, assim substituindo os métodos tradicionais normalmente mais morosos, onerosos e com alto grau de subjetividade (ROSA; BRITO, 1996).

É importante salientar que um SIG é utilizado mais corretamente como extensão do pensamento analítico. O sistema em si não possui respostas prontas. Assim como o campo do conhecimento da estatística, esse sistema é somente uma ferramenta auxiliar para descrever e inferir, devendo ser usado após o problema ambiental ter sido cuidadosamente delimitado, para daí se verificar as possibilidades de solução. De outra maneira, corre-se o risco de utilizar a tecnologia sem um objetivo definido (SILVEIRA, 2000).

O geoprocessamento tem se mostrado como importante aliado na prevenção e no combate aos incêndios florestais. Uma das suas várias aplicações é a integração de dados, tais como a vegetação, topografia e dados meteorológicos, para o monitoramento de risco.

Nas últimas décadas, várias aplicações de geoprocessamento foram desenvolvidas para facilitar a análise espacial do risco de incêndio. Deppe et. al (2004) desenvolveram um sistema de tomada de decisão para incêndios no Paraná. O sistema denominado FIRESIG, baseado em plataforma de SIG, é customizado para atender demandas e requerimentos específicos para atividades de monitoramento, prevenção e combate de incêndios. O FIRESIG oferece ferramentas para importação de dados; espacialização e visualização; análise de focos de calor; acesso a base de dados; determinação de estruturas de combate mais próximas aos incêndios; atualização de dados; definição de melhores rotas e saída de dados. Além dos dados e informações estáticos, as informações de focos de calor, índice de risco de incêndio e do estado da vegetação (índice de vegetação) são incorporadas ao sistema.

O sistema combina a habilidade de cruzar e compor informações em diferentes *layers* com a facilidade de gerar informações estratégicas. Sendo assim, aumenta a capacidade de identificar como falso alarme os focos de calor detectados pelas imagens NOAA/AVHRR. Por exemplo, comparando-se a informação da localização dos focos de calor com o estado de vegetação (NDVI), índice de Risco de Incêndio Florestal (RIF), rodovias e rede de drenagem, pode-se avaliar criteriosamente se um determinado foco de calor representa ou não um caso de incêndio (DEPPE et. al, 2004).

Em síntese, a utilização do geoprocessamento como ferramenta incorporada a sistemas de tomada de decisão é de grande valia no que diz respeito à prevenção e ao combate de incêndios florestais.

2.5.3 Análise multicritério

A análise multicritério é uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão que foram incorporadas aos SIGs. Essa integração foi considerada um avanço em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a determinação de áreas de risco e prioritárias. Nesse contexto, a análise multicritério é considerada um processo que combina e transforma dados espaciais (planos de informação de entrada) em mapas finais para a tomada de decisão, ressaltando-se que as regras de decisão definem as relações entre os dados de entrada e os mapas finais (MALCZEWSKI, 1999).

De acordo com Moura (2007), a análise multicritério é um procedimento metodológico de cruzamento de fatores amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos. O procedimento baseia-se no mapeamento de fatores por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples Média Ponderada, mas há pesquisadores que já utilizam a lógica Fuzzy para atribuir os pesos e notas.

Um dos métodos mais empregados na análise multicritério é a Combinação Linear Ponderada, aos quais os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983). O resultado é um mapa de prioridades que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001).

Para a definição de áreas de suscetibilidade ou de risco de incêndio, a análise multicritério vem sendo empregado por diversos autores. Silveira, Vettorazzi e Valente (2008) utilizaram análise multicritério para mapearem áreas de risco de incêndios florestais, na bacia do Rio Corumbataí – São Paulo. Chen, Blong e Jacobson (2001) utilizaram a análise multicritério como base para a seleção de locais para a queima prescrita e para a busca da redução do perigo de incêndio florestal em Sidney, na Austrália.

3 ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO VALÉRIO

A ocorrência dos incêndios florestais está relacionada às condições climáticas. Assim sendo, analisar a dinâmica da pluviosidade e da disponibilidade de água (excedente e déficit hídrico), bem como as características climáticas da área de estudo torna-se de fundamental importância.

Nesse capítulo, serão analisados os dados climáticos da área de estudo, com a finalidade de servir como base na definição dos parâmetros e pesos do risco dinâmico.

Foram selecionados para essa análise, dados de temperatura, precipitação, velocidade do vento e umidade relativa do ar da estação meteorológica do Peixe. A escolha dessa estação se deve ao fato da sua proximidade com o município de São Valério e por conter uma série histórica confiável de dados.

A estação meteorológica do Peixe faz parte da rede de estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localiza-se no município do Peixe, porção sul do Tocantins (TO), nas coordenadas 12,02° de latitude sul e 48,35° de longitude oeste, com altitude de 242,5 metros. Essa estação fica a 12 km da sede de São Valério e seus dados são representativos das condições termopluviométricas da área de estudo.

Essa análise foi feita utilizando balanço hídrico climatológico, que de acordo com Reichardt (1990), é uma primeira avaliação de uma região, onde se determina a contabilização de água de uma determinada camada do solo e se define os períodos secos (deficiência hídrica) e úmidos (excedente hídrico) de um determinado local.

O balanço hídrico pode ser um instrumento importante na prevenção de incêndios florestais, uma vez que estas ocorrências têm-se verificado, principalmente, no período de déficit hídrico, meses em que há reduzida concentração da chuva total anual.

3.1 Procedimentos metodológicos

Foram utilizados dados da temperatura média do ar, precipitações pluviométricas, velocidade do vento e umidade relativa do ar obtidos junto ao INMET, da estação meteorológica do Peixe durante o período de 1980 a 2014, ou seja, por 35 anos.

Os dados foram tratados e organizados em planilhas do *Microsoft Office Excel*, obtendo dessa maneira as médias mensais e anuais de cada fator. As médias mensais de temperatura e das precipitações foram utilizadas para o cálculo do balanço hídrico.

O mesmo foi feito com base na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), com capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm, como valor padrão. Como resultado do balanço hídrico foram adquiridos os valores dos excedentes e déficits hídricos de cada ano. Para facilitar os cálculos dos balanços hídricos foi utilizada uma planilha elaborada por Rollin e Sentelhas (1999).

Foi analisada a duração das estações seca e chuvosa da área, considerando a distribuição diária das precipitações ao longo do período de 1980 a 2014. A metodologia utilizada foi baseada em Assunção (2013), que estabeleceu parâmetros que facilitam a separação entre os períodos secos e úmidos e que determinam a duração de cada um deles. O autor desenvolveu a metodologia para área de Cerrado do Brasil Central.

Assunção (2013), leva em consideração o que foi definido em trabalhos anteriores, mais precisamente em Assunção e D’Almeida (2004); Assunção (2008); Oliveira e Assunção (2010) e Santos e Assunção (2011), que na análise da duração das estações seca e chuvosa deve-se levar em consideração a distribuição diária das precipitações ao longo do período de estudo. Considera como dia chuvoso aquele em que o volume das precipitações é superior a evapotranspiração (ETP) diária. Na determinação do início do período chuvoso, deve-se considerar a sequência dos dias de chuvas e os totais pluviométricos apresentados que, juntos, interrompem o período de estiagem. O mesmo acontece para o fim do período chuvoso e início da estação seca, a qual se mostra mais nítida quando as chuvas mais significativas tornam-se mais escassas e começa a configurar uma longa sequência de dias secos ou com precipitações muito baixas, geralmente inferiores a ETP diária ou desse pequeno período de dias.

A seguir, apresenta-se os critérios utilizados por Assunção (2013, p.5-7) para determinar a duração das estações seca e chuvosa na região dos Cerrados:

- a) Período chuvoso significa o fim do incremento do déficit hídrico no solo, o qual passa a ser reabastecido pelos excedentes hídricos (chuvas maiores que a ETP) e, à medida que os dias vão passando, o nível de água acumulado no solo atinge a capacidade de campo e a partir de então começa o registro de excedentes hídricos, importantes na manutenção de um complexo sistema fluvial na região responsável pelo grande potencial hidroelétrico regional.
- b) Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são todos considerados do período chuvoso. Quando houver o registro de déficit hídrico mensal este fato deve ser associado ao registro de um veranico (intervalo sem precipitações dentro da estação chuvosa) de média a forte intensidade.
- c) Os meses de junho, julho e agosto são todos considerados do período seco. Caso ocorra o registro de excedentes hídricos em qualquer um desses meses este fato pode ser associado ao fenômeno conhecido localmente como “invernico” (ocorrência de chuvas mais intensas dentro da estação seca geralmente de origem frontal).
- d) O período chuvoso tem início quando se verifica a ocorrência de uma chuva mais intensa (acima de 20 mm) ou um acumulado de 40 mm em um curto período de dias

(até 4 dias) e em seguida, as chuvas passam a ser mais frequentes e suficientes para repor a ETP acumulada e iniciar a reposição de água no solo.

e) Se houver chuvas bem distribuídas em setembro, não significa que este mês seja chuvoso. É preciso verificar se as precipitações em outubro (se houve uma interrupção ou um período superior a 12 dias sem chuva) foram suficientes para repor a ETP do mês ou se houve déficit hídrico.

f) Quando o mês de outubro apresentar-se úmido (com chuva igual ou superior a ETP mensal e bem distribuída) e em novembro verificar uma redução nos totais pluviométricos acumulados (porém superior a 60% da ETP mensal) a conclusão é de que a estação chuvosa teve seu início em outubro. Porém se observar nos primeiros dias de novembro uma grande sequência de dias sem precipitações (acima de 12 dias), a estação chuvosa só começa após o reinício das chuvas depois desse período de interrupção.

g) O fim do período chuvoso (ou o início da estação seca) fica caracterizado após uma sequência de 8 ou mais dias consecutivos sem ocorrência de precipitações ou com precipitações muito baixas nesse período e que nem atingem a metade da ETP diária. Após esse período as precipitações quando houver já não são tão frequentes e acima de tudo não são suficientes para repor os níveis de água no solo.

h) Se no mês de março ocorrer totais pluviométricos acumulados abaixo da ETP mensal e no mês de abril os acumulados ficarem acima de 80% da ETP mensal e com chuvas bem distribuídas ao longo do mês o que se observa e que as baixas precipitações em março devem-se a ocorrência do fenômeno veranico.

i) O mês de maio só é considerado úmido se em abril as chuvas foram abundantes e suficientes para repor a ETP mensal. Caso isso não ocorra, as chuvas mesmo abundantes no mês de maio passam a ser consideradas como chuvas isoladas.

j) Para efeito de análise considerou no presente trabalho, o início da estação seca, no dia imediatamente após a última chuva antes de uma sequência de 8 ou mais dias sem registro de chuvas ou com precipitações insignificantes (cujos acumulados diários geralmente fica abaixo da metade da ETP). Vale lembrar que como o solo está com o nível de água elevada os efeitos da estação seca como o “murchamento” e a cessão do crescimento vegetativa das culturas só se faz perceber após passar um período de alguns dias (8 a 10), sendo afetado em maior ou menor prazo em função da temperatura ambiente.

Para uma melhor visualização da delimitação da estação seca foi elaborado um quadro com adaptações de Assunção (2013). No quadro, os meses foram divididos em seis partes com cinco dias de duração (pêntadas) e a estação seca foi marcada com a cor vermelha.

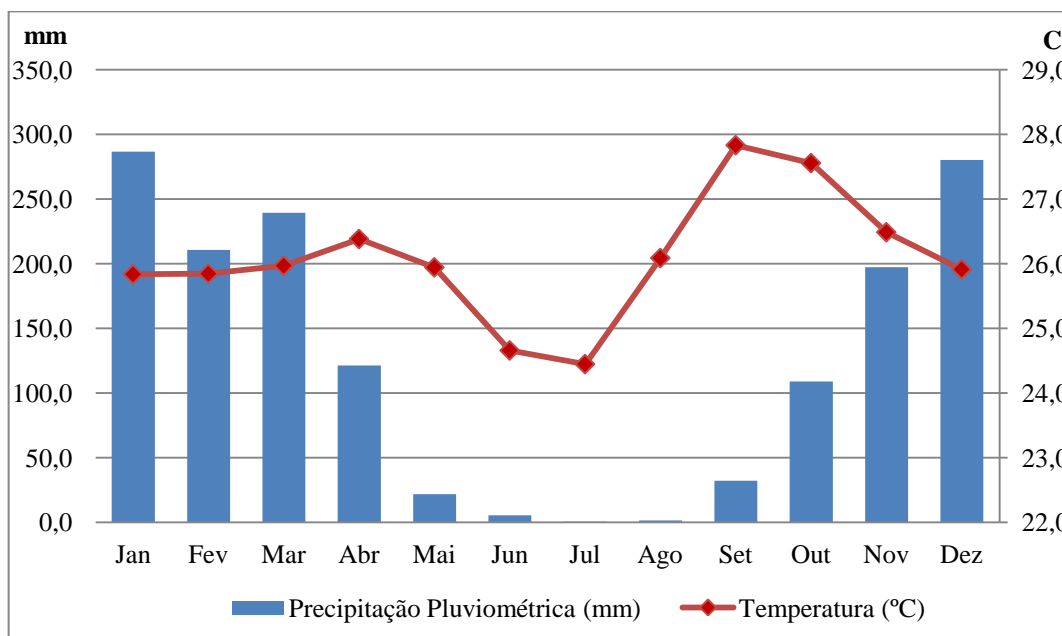
3.2 Resultados e discussões

A área localiza-se na bacia do rio Tocantins e possui níveis altimétricos baixos apresentando clima típico do Cerrado. Existem duas estações distintas, uma chuvosa e de grande excedente hídrico e outra marcada por deficiência hídrica.

Segundo a classificação climática proposta por Wilhelm Köppen, cuja sistemática se fundamenta nos regimes térmico e pluviométrico e na distribuição das associações vegetais (VIANELLO; ALVES, 1991), pode-se classificar a região de estudo como pertencente ao tipo climático Aw (Tropical de Savana, com inverno seco e verão chuvoso). Sendo que o “A” indica que o clima é tropical chuvoso e o “w” indica que as chuvas são concentradas no verão.

De modo a apresentar as características gerais do comportamento médio das temperaturas e das precipitações pluviométricas, o gráfico 1 ilustra o climograma dos dados da estação do Peixe.

Gráfico 1 - Climograma da Estação do Peixe (1980-2014)

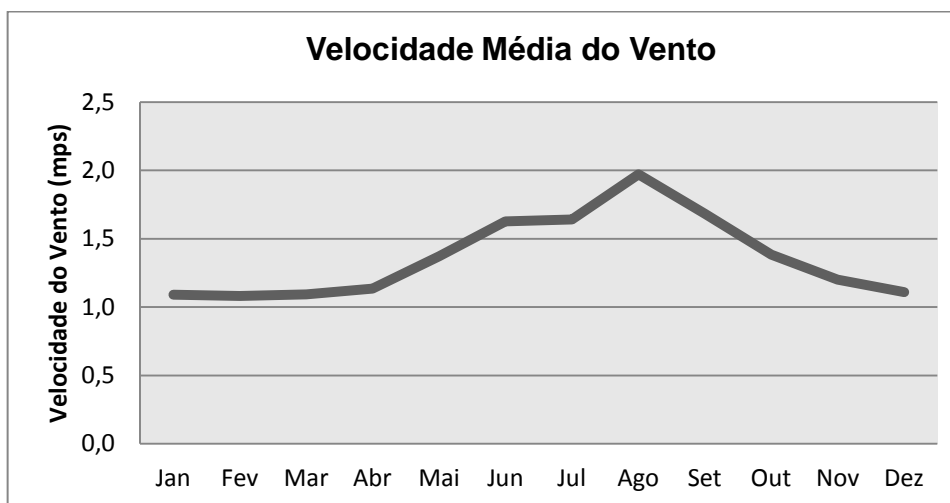


Fonte: INMET (2015).
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

As precipitações pluviométricas médias ficaram em torno de 1507,0 mm e a temperatura média foi de 26,1°C para o período de 1980 a 2014. Os meses com maiores registros de chuvas foram janeiro, dezembro e março, com médias mensais de 286,8 mm, 280,2 mm e 239,5 mm, respectivamente. Já os meses com menores registros pluviométricos foram julho (0,6 mm), agosto (1,5 mm) e junho (5,5 mm). Quanto às temperaturas, os meses com as médias mais elevadas foram setembro (27,8°C), outubro (27,6°C) e novembro (26,5°C) e os que registram as menores médias de temperatura foram junho (24,7°C) e julho (24,4°C).

A velocidade e a direção dos ventos também são muito importantes na propagação dos incêndios. Sendo que a velocidade modifica a taxa de propagação enquanto que a direção do vento indica a provável direção de propagação. O gráfico 2 apresenta a velocidade média do vento em metros por segundos (mps) para a Estação do Peixe para o período de 1980 a 2014.

Gráfico 2 - Velocidade média do vento da Estação do Peixe (1980-2014)

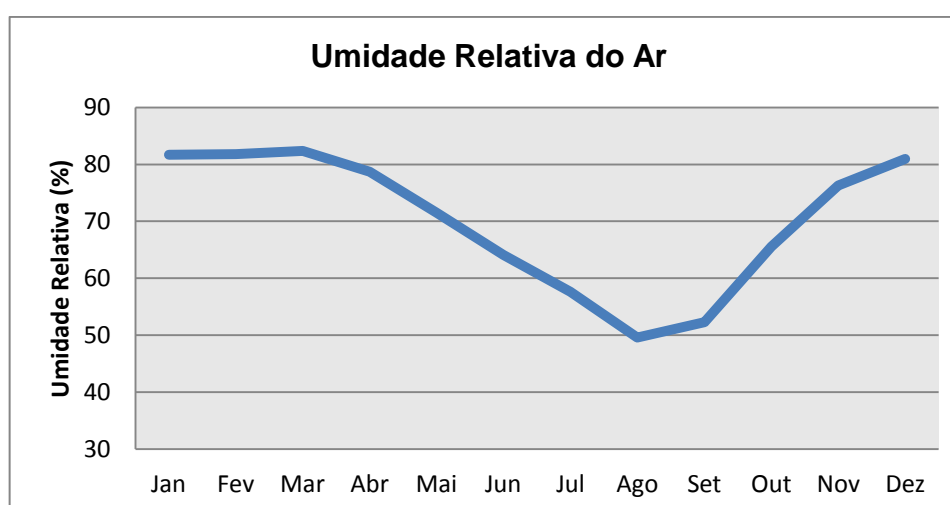


Fonte: INMET (2015).
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Os efeitos do vento em um incêndio florestal são extremamente complexos devido às variações da velocidade e direção. De forma geral, quanto maior a velocidade do vento, maior será a intensidade e velocidade de propagação do incêndio. Conforme se observa no gráfico anterior, os meses que apresentam a média de velocidade do vento maior são justamente os meses mais secos do ano e com maior suscetibilidade a incêndio.

A seguir, é apresentado no gráfico 3, a umidade relativa do ar média para a estação do Peixe, no período de 1980 a 2014.

Gráfico 3 - Umidade relativa do ar média da Estação do Peixe (1980-2014)



Fonte: INMET (2015).
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Nos meses mais secos do ano, principalmente em agosto e setembro, observa-se a baixa umidade relativa do ar com a média de 50% em agosto e 52% em setembro. Entretanto, quando se analisa os valores da umidade relativa do ar, nesses dois meses, ao longo do dia, observa-se valores bem abaixo da média. Para exemplificar, a tabela 2 apresenta os dados de umidade relativa do ar registrados diariamente em três horários de observação (09, 15 e 21 horas) em agosto e setembro de 2011.

Tabela 2 - Umidade relativa do ar (%) da Estação do Peixe em agosto e setembro de 2011

Horário				Horário			
Data	09	15	21	Data	09	15	21
1/8/2011	52	21	65	1/9/2011	46	16	49
2/8/2011	55	23	58	2/9/2011	27	19	45
3/8/2011	55	22	67	3/9/2011	32	15	50
4/8/2011	57	25	52	4/9/2011	37	19	48
5/8/2011	54	26	63	5/9/2011	23	16	45
6/8/2011	32	24	62	6/9/2011	24	11	51
7/8/2011	47	33	64	7/9/2011	39	14	48
8/8/2011	46	21	70	8/9/2011	39	13	48
9/8/2011	37	26	64	9/9/2011	37	14	52
10/8/2011	50	19	61	10/9/2011	33	16	46
11/8/2011	47	16	59	11/9/2011	35	15	49
12/8/2011	43	25	55	12/9/2011	38	13	45
13/8/2011	50	24	65	13/9/2011	27	19	41
14/8/2011	34	15	58	14/9/2011	29	16	53
15/8/2011	38	18	53	15/9/2011	28	20	50
16/8/2011	27	20	55	16/9/2011	32	19	47
17/8/2011	36	19	59	17/9/2011	37	22	44
18/8/2011	44	19	61	18/9/2011	41	25	50
19/8/2011	42	18	56	19/9/2011	34	25	50
20/8/2011	46	18	56	20/9/2011	34	21	48
21/8/2011	47	17	64	21/9/2011	28	18	51
22/8/2011	33	19	53	22/9/2011	34	13	51
23/8/2011	28	20	35	23/9/2011	27	19	41
24/8/2011	33	24	53	24/9/2011	30	18	48
25/8/2011	38	25	57	25/9/2011	33	19	49
26/8/2011	35	23	56	26/9/2011	29	23	49
27/8/2011	32	27	58	27/9/2011	37	28	37
28/8/2011	28	20	60	28/9/2011	37	27	53
29/8/2011	34	20	53	29/9/2011	58	28	49
30/8/2011	39	16	48	30/9/2011	68	30	50
31/8/2011	52	13	50				

Fonte: INMET (2015).

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Conforme se observa, as menores umidades relativas são registradas às 15 horas, com valores bem extremos, abaixo de 30%. É importante destacar que a umidade relativa do ar é um dos fatores mais importantes na propagação dos incêndios florestais, sendo também um elemento importante na avaliação do grau de dificuldade de combate aos incêndios. De acordo com Soares e Batista (2007), quando a umidade relativa do ar desce ao nível de 30% ou menos, torna-se extremamente difícil combater um incêndio.

A tabela 3 apresenta a média mensal dos dados da estação do Peixe, durante o período de 1980 a 2014, obtidos a partir do balanço hídrico.

Tabela 3 – Variáveis do balanço hídrico da Estação do Peixe – TO, médias mensais do período de 1980 a 2014

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	25,8	286,8	134,6	0,0	152,2
Fevereiro	25,8	210,8	120,1	0,0	90,8
Março	26,0	239,5	132,2	0,0	107,3
Abril	26,4	121,3	131,5	0,5	0,0
Maio	25,9	21,8	124,5	44,7	0,0
Junho	24,7	5,5	98,4	73,4	0,0
Julho	24,4	0,6	98,3	89,7	0,0
Agosto	26,1	1,5	126,0	121,1	0,0
Setembro	27,8	32,3	158,0	124,6	0,0
Outubro	27,6	109,1	162,0	52,8	0,0
Novembro	26,5	197,4	139,7	0,0	0,0
Dezembro	25,9	280,2	135,8	0,0	102,4

T = Temperatura do ar; P = Precipitação; ETP = Evapotranspiração Potencial; DEF = Deficiência Hídrica e EXC = Excedente Hídrico.

Fonte: INMET (2015).

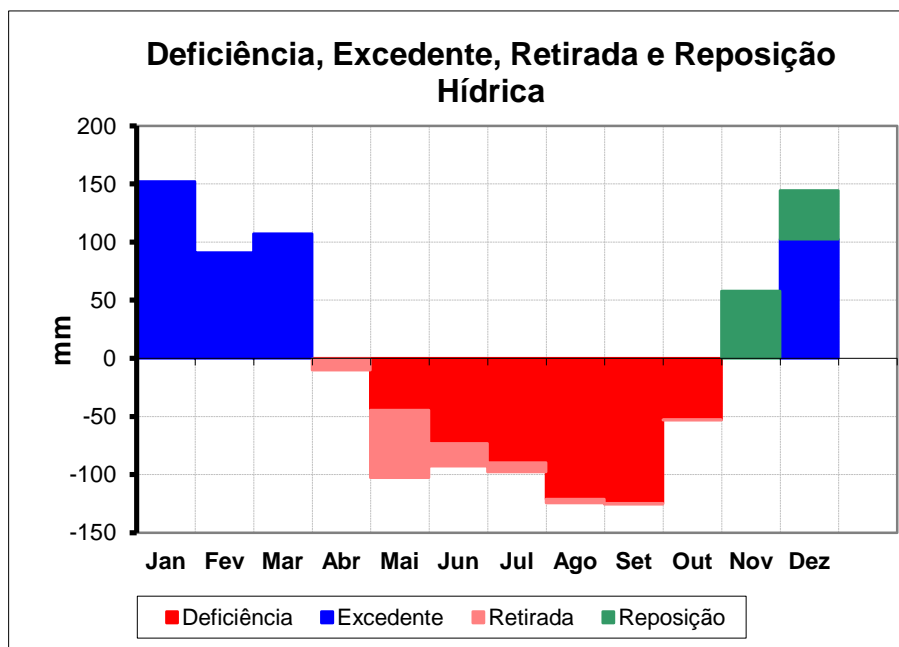
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Os meses que apresentam maior deficiência hídrica são junho, julho, agosto e setembro. Nessa época as condições climáticas estão propícias à ocorrência de incêndios florestais e o entendimento do comportamento climático pode servir como fonte de subsídio para um maior planejamento, a fim de minimizar os efeitos causados pelo fogo.

Em relação aos excedentes hídricos anuais, observa-se que o período de dezembro a março é responsável pela maior concentração dos totais anuais. Os meses de outubro e novembro, apesar de apresentarem bons índices pluviométricos, não apresentaram excedentes, em função de ocorrer nesse período a reposição de água no solo após o período da estação seca.

No gráfico 4 é apresentada a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica para Estação do Peixe no período de 35 anos (1980-2014).

Gráfico 4 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica para Estação do Peixe



Fonte: INMET (2015).
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

A partir do mês de abril, com a diminuição das chuvas na região, o déficit hídrico começa a aumentar e alcança o valor máximo em setembro (124,6 mm). Apesar do mês de outubro apresentar precipitação de 109,1 mm, suas chuvas não são suficientes para tornar este mês efetivamente úmido. A carência de umidade nos solos faz com que esse mês seja deficitário de água.

Pode-se notar também que em novembro e dezembro ocorre reposição hídrica e, considerando-se uma capacidade de água disponível de 100 mm, somente em dezembro começa a ocorrer excedente hídrico, o que persiste até março.

Assim, torna-se claro que a região apresenta duas estações distintas, uma chuvosa e com excedente hídrico e outra marcada por ausência de precipitação e deficiência hídrica. Os meses mais chuvosos são novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. E os meses que apresentam maior deficiência hídrica são junho, julho, agosto e setembro.

O balanço hídrico mostrou que a reposição hídrica ocorre nos meses de novembro e dezembro, o excedente hídrico ocorre de dezembro a março e o déficit hídrico ocorre de abril a outubro.

A tabela 4 apresenta a distribuição dos períodos secos e chuvosos da Estação do Peixe de 1980 a 2014.

Tabela 4 - Distribuição dos períodos secos e chuvosos da Estação do Peixe (1980-2014)

Estação Seca					Estação Chuvosa		
Ano	Período	Duração (n° dias)	Início (dia do ano)	Término (dia do ano)	Anos	Período	Duração (n° dias)
1980	21/03-30/10	223	81	304			
1981	06/04-02/10	180	96	275	1980/81	31/10-05/04	157
1982	21/04-19/09	152	111	262	1981/82	03/10-20/04	200
1983	10/04-03/10	177	100	276	1982/83	20/09-09/04	202
1984	29/04-25/10	179	120	299	1983/84	04/10-28/04	208
1985	17/04-01/10	168	107	274	1984/85	26/10-16/04	173
1986	24/04-10/10	170	114	283	1985/86	02/10-23/04	204
1987	06/04-11/11	219	96	315	1986/87	11/10-05/04	177
1988	29/04-13/10	168	120	287	1987/88	12/11-28/04	169
1989	19/04-09/10	174	109	282	1988/89	14/10-18/04	187
1990	06/04-18/10	196	96	291	1989/90	10/10-05/04	178
1991	27/04-02/11	189	117	306	1990/91	19/10-26/04	190
1992	23/04- 05/10	166	114	279	1991/92	03/11-22/04	172
1993	01/03-29/09	213	60	272	1992/93	06/10-28/02	146
1994	20/04-15/10	179	110	288	1993/94	30/09-19/04	202
1995	12/05-23/10	164	132	296	1994/95	16/10-11/05	208
1996	29/04-02/10	157	120	276	1995/96	24/10-28/04	188
1997	30/04-15/10	169	120	288	1996/97	03/10-29/04	209
1998	29/03-07/10	193	88	280	1997/98	16/10-28/03	164
1999	21/04-25/10	187	111	298	1998/99	08/10-20/04	195
2000	28/04-03/11	189	119	308	1999/00	26/10-27/04	185
2001	07/04-06/10	183	97	279	2000/01	04/11-06/04	154
2002	28/03-24/10	210	87	297	2001/02	07/10-27/03	172
2003	22/04-03/11	195	112	307	2002/03	25/10-21/04	179
2004	17/04-09/10	176	108	283	2003/04	04/11-16/04	165
2005	05/04-13/11	222	95	317	2004/05	10/10-04/04	177
2006	20/04-13/10	177	110	286	2005/06	14/11-19/04	157
2007	25/03-20/10	210	84	293	2006/07	14/10-24/03	162
2008	30/04-11/11	195	121	316	2007/08	21/10-29/04	192
2009	10/05-17/11	191	130	321	2008/09	12/11-09/05	179
2010	05/04-28/09	177	95	271	2009/10	18/11-04/04	138
2011	12/04-01/10	173	102	274	2010/11	29/09-11/04	195
2012	24/03-03/11	224	84	308	2011/12	02/10-23/03	174
2013	21/04-19/10	182	111	292	2012/13	04/11-20/04	168
2014	11/04-29/10	201	101	302	2013/14	20/10-10/04	173
Média		187	105	291	Média		179
Máxima		224			Máxima		208
Mínima		152			Mínima		138

Fonte: INMET (2015).
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

O quadro 2 apresenta a média do início e do encerramento da estação seca na área de estudo, no período de 1980 a 2014, de forma que os meses foram divididos em seis partes, com cinco dias de duração (pêntadas) e a estação seca foi marcada com a cor vermelha.

Quadro 2 - Média do início e fim da estação seca na Estação do Peixe (1980-2014)

Duração da estação seca (em pêntadas)- Estação do Peixe (TO)-1980-2014																																			Total de dias										
Meses	Março					Abril					Maio					Junho					Julho					Agosto					Setembro					Outubro					Novembro				
Pêntadas	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6				
1980																																										223			
1981																																										180			
1982																																										152			
1983																																										177			
1984																																										179			
1985																																										168			
1986																																										170			
1987																																										219			
1988																																										168			
1989																																										174			
1990																																										196			
1991																																										189			
1992																																										166			
1993																																										213			
1994																																										179			
1995																																										164			
1996																																										157			
1997																																										169			
1998																																										193			
1999																																										187			
2000																																										189			
2001																																										183			
2002																																										210			
2003																																										195			
2004																																										176			
2005																																										222			
2006																																										177			
2007																																										210			
2008																																										195			
2009																																										191			
2010																																										177			
2011																																													

Fonte: INMET (2015).
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

A duração da estação seca na área de estudo variou ao longo dos anos, e por mais que se tenha uma sazonalidade climática, essa não se apresenta de forma uniforme e regular. Ao analisar a tabela 4, percebe-se que a média do início da estação seca é dia 15 de abril – o dia 105 do ano – e a média do fim da estação seca é dia 18 de outubro – o dia 291 do ano. A duração média da estação seca é de 187 dias.

Com a espacialização da duração da estação seca no período de 1980 a 2014, delineados no quadro 2, é permitido uma análise pormenorizada destes 35 anos. Em 77% dos

anos analisados, o início da estação seca ocorreu em abril. Já em seis anos (17%) houve o registro de uma antecipação da estação seca para o mês de março.

O término da estação seca e início da estação chuvosa, em 69% dos anos analisados, ocorreu em outubro. O início tardio da estação chuvosa no mês de novembro foi observado em 23% dos anos analisados. Já a antecipação do período chuvoso para setembro foi registrada em 9%, dentro do período analisado.

Um fato importante a ser destacado é a sequência de dias sem ocorrência de precipitações ou com precipitações insignificantes (inferiores a ETP diária), pois é justamente nesse conjunto de dias secos que a região apresenta as condições mais propícias à ocorrência de incêndios.

4 ANÁLISE DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS EM 2007 E 2011 NO MUNICÍPIO DE SÃO VALÉRIO

Conhecer as características da área e as condições favoráveis à ocorrência de incêndio é primordial para o desenvolvimento da melhor metodologia de risco de incêndio. Assim, torna-se necessário uma análise dos incêndios ocorridos na área de estudo, tendo como objetivo a obtenção de informações sobre as condições de ocorrência de incêndio em áreas de Cerrado.

Foram analisados os incêndios florestais ocorridos entre março e setembro, de 2007 e 2011, no município de São Valério. A escolha desse período foi devido a ocorrência de incêndios de grande extensão na área de estudo e pela disponibilidade de imagens de satélite da referida demarcação temporal.

Primeiramente, analisou-se a distribuição espacial e temporal dos incêndios no município e, em seguida, identificou-se o uso da terra e cobertura vegetal nativa presente na área atingida pelos incêndios.

Posteriormente, analisaram-se os valores de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) do período anterior aos incêndios, a fim de verificar os valores de NDVI da vegetação suscetível ao fogo. Tal ação permitiu detectar a diminuição da umidade da vegetação que proporciona a condição para ocorrência de incêndios.

O risco de incêndio está relacionado com o estresse hídrico da vegetação. Esse estado é refletido numa série de mudanças fisiológicas que conseguem ser detectadas espectralmente a partir de segmentos temporais do NDVI.

Um dos índices de vegetação mais utilizados, o NDVI é obtido da fórmula $NDVI = (IP - V) / (IP + V)$, em que IP é a reflectância no pixel no infravermelho próximo e V é a reflectância no vermelho, com o valor do NDVI variando de -1,0 a +1,0 (TUCKER, 1979; TUCKER; SELERS, 1986).

Ressalta-se que o índice de vegetação corresponde ao número gerado pela combinação de bandas em sensoriamento remoto que podem estar relacionados com a quantidade e o tipo de vegetação existente no terreno (CORIOLANO, 2002).

Uma diminuição do NDVI significa o aumento do estresse hídrico na vegetação. Portanto, a variação do NDVI, antes de um fogo, tem permitido cartografar as áreas mais sensíveis para a ocorrência dos incêndios.

Assim, valores altos, ao redor de 0,5, indicam vegetação verde cobrindo densamente o solo, portanto com baixo risco de fogo. Já os valores baixos, em entorno de 0,1 representam uma vegetação cobrindo esparsamente o solo, ou vegetação senescente ou seca, ou seja, com maior risco de fogo. Por fim, valores entorno de zero ou negativos expressam a ausência de vegetação incluindo corpos d'água e solo nu (HOLBEN, 1986 apud PEREIRA JÚNIOR, 2002).

4.1 Procedimentos metodológicos

Todos os procedimentos cartográficos feitos na tese, tais como: elaboração da base cartográfica, sistematização dos dados, processamento digital de imagens, análises espaciais, análise multicritério e elaboração dos *layouts* dos mapas, foram realizados com auxílio do *software* ArcGIS¹.

Inicialmente, foi elaborada a base cartográfica da área de estudo contendo limites municipais, hidrografia e malha viária, a partir de dados vetoriais das cartas topográficas SC-22-Z-D-III (Santa Rosa), SC-22-Z-D-VI (Apinajé), SD-22-X-B-III (Bananal) e SC-23-Y-C-IV (Natividade), na escala 1:100.000, levantadas e editadas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), do Ministério do Exército e as cartas topográficas SC-23-Y-C-III (Rio da Conceição) e SD-23-V-A-I (Serranópolis), também na escala 1:100.000, levantadas e editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Enfatiza-se que essa base foi utilizada em todos os dados cartográficos dessa pesquisa.

A partir de imagens do satélite Landsat 5, órbita e ponto 222/68, composição 3B4R5G, foram identificados e mapeados os incêndios florestais ocorridos entre março a setembro, de 2007 e 2011, no município de São Valério.

Em seguida, utilizando as imagens de satélite do mesmo ano, porém com data anterior à ocorrência dos incêndios, foi identificado o uso da terra e cobertura vegetal nativa presente na área atingida pelos incêndios.

As classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa mapeadas estão relacionadas no quadro 3, de acordo com a legenda do Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira do IBGE (2012), sendo apresentado também, no quadro abaixo, uma comparação com a classificação proposta por Ribeiro e Walter (1998). Pormenorizando, a figura 6 ilustra uma amostra de cada classe.

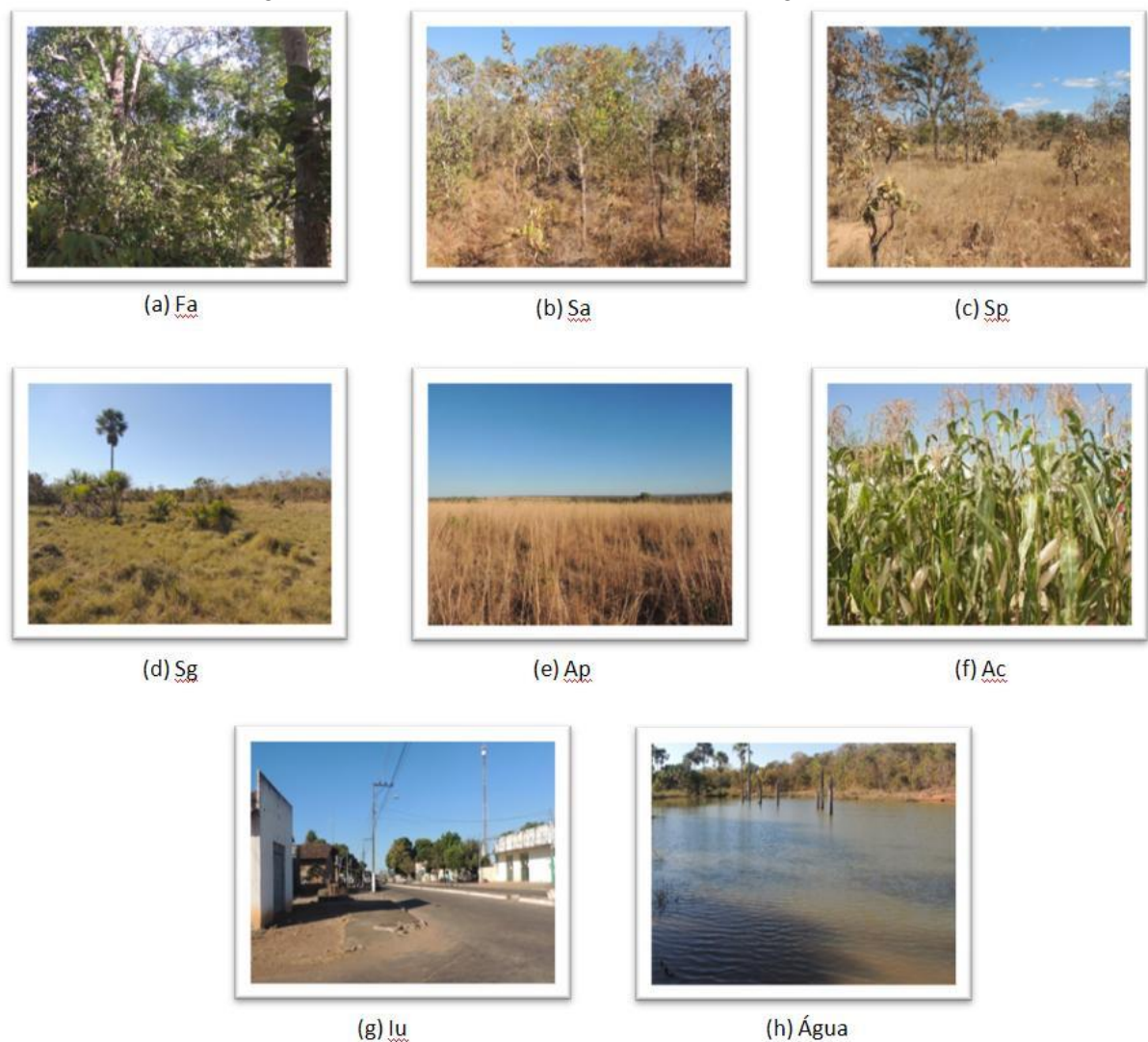
¹ Utilizou-se a licença do ArcGIS do Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto, do Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia.

Quadro 3 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa

Região Fitoecológica	Nível de Formação	Descrição (Ribeiro e Walter, 1998)	Classes
Floresta Estacional Semidecidual (F)	Aluvial	Mata-de-galeria Mata ciliar	Fa
Savana (S)	Arborizada	Cerrado Denso Cerrado Típico	Sa
	Parque	Cerrado Ralo Cerrado Rupestre Campo Sujo Campo Rupestre Vereda	Sp
	Gramíneo-lenhosa	Campo Limpo Campo Rupestre Vereda	Sg
Áreas Antrópicas	Agropecuária	Agricultura	Ac
		Pastagem Cultivada	Ap
	Outras áreas antrópicas	Influência Urbana	Iu
Água	-	Água	Água

Fonte: IBGE (2012) e Ribeiro e Walter (1998).

Figura 6 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa



Autor: ROSA, R., 2015.

Em seguida, analisaram-se os valores de NDVI do período anterior aos incêndios com o intuito de verificar os valores de NDVI da vegetação suscetível ao fogo.

Para a geração dos índices de vegetação (NDVI) foram utilizadas as bandas 3 e 4 referentes a região do vermelho (V) com intervalo espectral 0,63 - 0,69 μm e infravermelho próximo (IVP), com intervalo espectral 0,76 - 0,90 μm , correspondentes aos meses de março a setembro dos anos de 2007 e 2011.

Sendo que a relação de bandas é calculada pela equação abaixo:

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

Essa equação foi calculada utilizando a função *Raster Calculator* disponível na extensão *Spatial Analyst* do *software* ArcGIS.

Foram elaborados com auxílio do Excel, tabelas e gráficos, para melhor compreensão e visualização dos dados.

4.2 Resultados e discussões

Os incêndios mapeados de março a setembro de 2007 e 2011 estão apresentados nas figuras 7 e 8. As tabelas 5 e 6 apresentam a extensão dos incêndios ocorridos no município e os gráficos 5 e 6 apresentam a distribuição percentual.

Figura 7 - Mapa dos incêndios florestais ocorridos no município de São Valério - TO em 2007

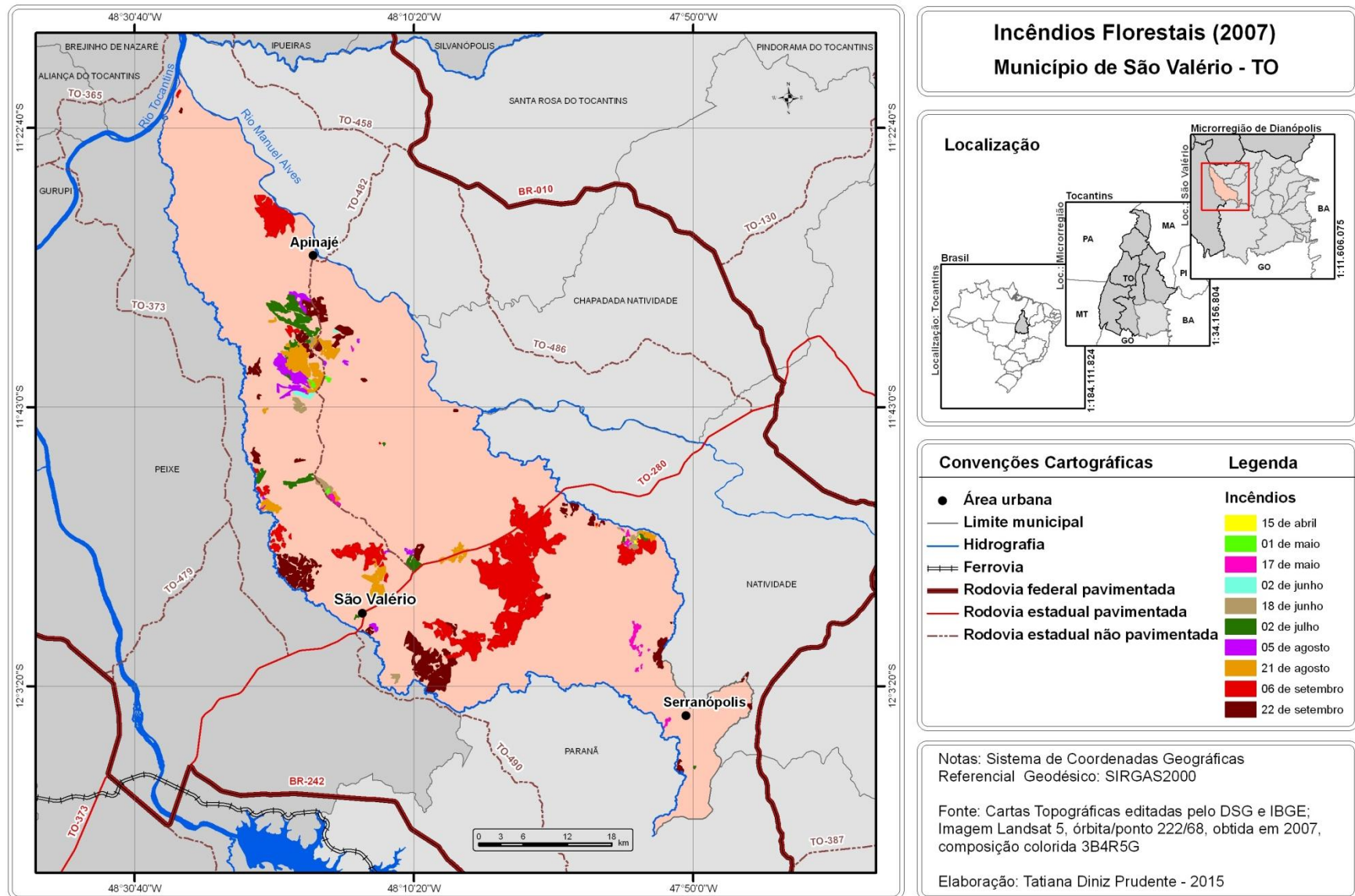


Figura 8 - Mapa dos incêndios florestais ocorridos no município de São Valério - TO em 2011

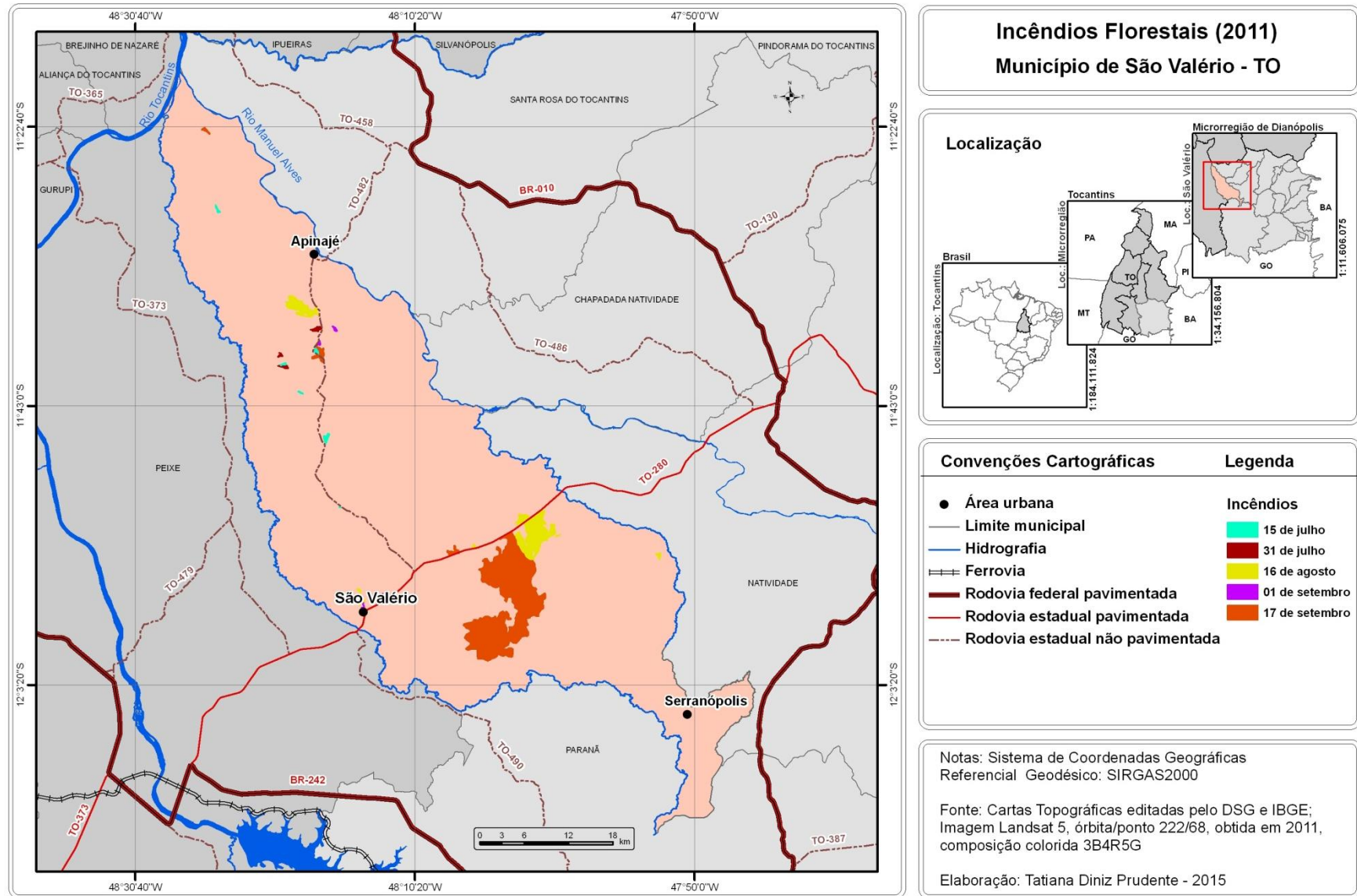


Tabela 5 - Incêndios ocorridos em São Valério - TO em 2007

Incêndio (dia/mês/ano)	Km ²	%
15/04/07	0,55	0,18
01/05/07	1,83	0,61
17/05/07	4,79	1,59
02/06/07	1,72	0,57
18/06/07	7,15	2,37
20/07/07	21,07	6,99
05/08/07	13,41	4,45
21/08/07	35,16	11,67
06/09/07	151,14	50,18
22/09/07	64,40	21,38
Total	301,22	100,00

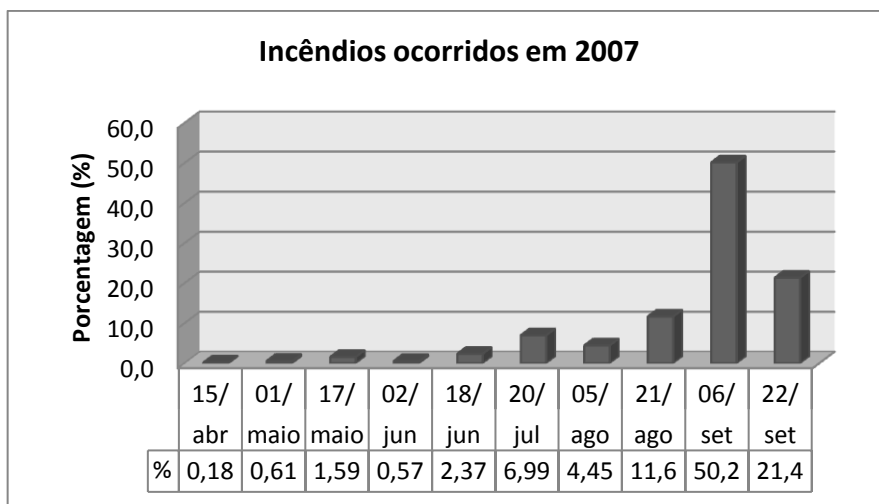
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Tabela 6 - Incêndios ocorridos em São Valério - TO em 2011

Incêndio (dia/mês/ano)	Km ²	%
15/07/11	1,78	1,52
31/07/11	1,22	1,04
16/08/11	24,97	21,35
01/09/11	1,24	1,06
17/09/11	87,76	75,03
Total	116,97	100,00

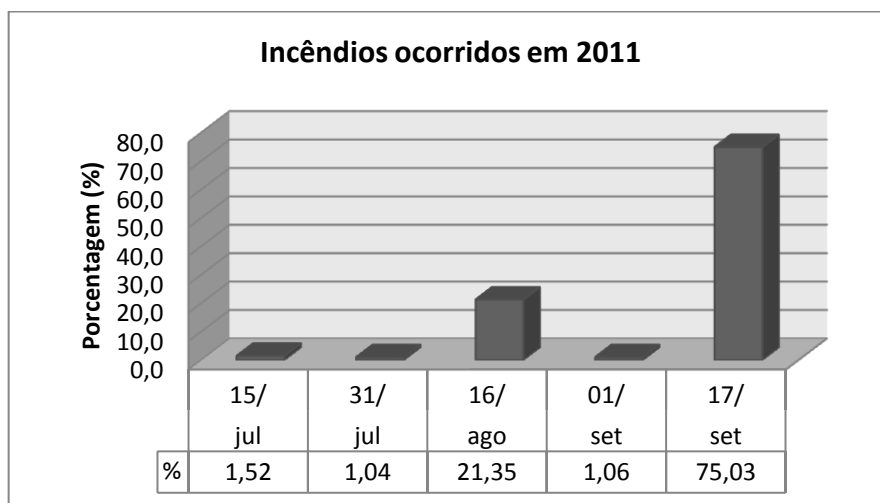
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 5 - Distribuição percentual dos incêndios ocorridos em 2007



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 6 - Distribuição percentual dos incêndios ocorridos em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Em 2007, ocorreram incêndios em 11,96% da extensão territorial do município, incidindo predominantemente em agosto e setembro, sendo que entre os dias 21 de agosto e seis de setembro foram queimadas uma extensão de 151,14 Km² e entre os dias sete de setembro e 22 de setembro, 64,40 Km² foram queimados. Já em 2011, aconteceram incêndios em 4,64% do município, também ocorrendo predominantemente em setembro, atingindo uma extensão de 87,76 Km², ou seja, 75,03% da área queimada no referido ano.

As maiores incidências de incêndios ocorreram no entorno das rodovias e estradas principais, visto que a ação humana é a principal fonte de ignição. Assim, a proximidade de indicadores de atividade antrópica é um bom instrumento para avaliação da suscetibilidade da vegetação ao fogo.

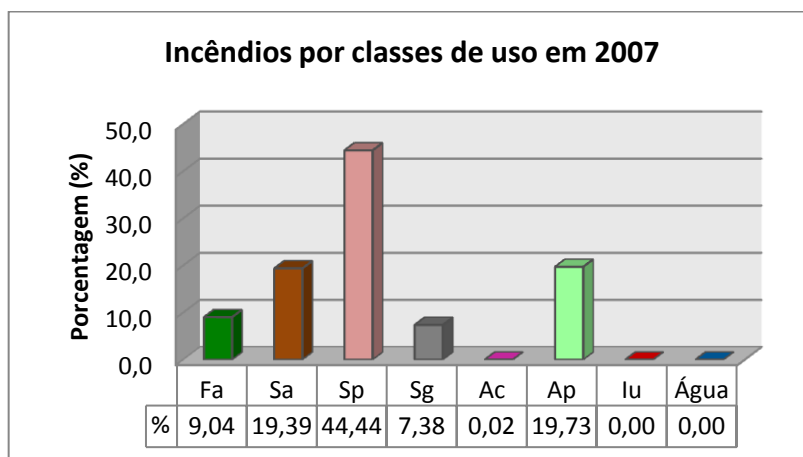
A tabela 7 mostra a área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa atingidas pelos incêndios, entre 2007 e 2011. E os gráficos 7 e 8 mostram a distribuição percentual.

Tabela 7 - Classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa atingidas pelos incêndios

Uso da terra e cobertura vegetal nativa	Incêndios 2007		Incêndios 2011	
	Km ²	%	Km ²	%
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	27,23	9,04	15,54	13,29
Savana Arborizada (Sa)	58,40	19,39	20,26	17,32
Savana Parque (Sp)	133,88	44,44	49,93	42,69
Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	22,24	7,38	6,58	5,63
Agricultura (Ac)	0,05	0,02	0,00	0,00
Pastagem Cultivada (Ap)	59,43	19,73	24,66	21,08
Área com Influência Urbana (Iu)	0,00	0,00	0,00	0,00
Água	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	301,22	100,00	116,97	100,00

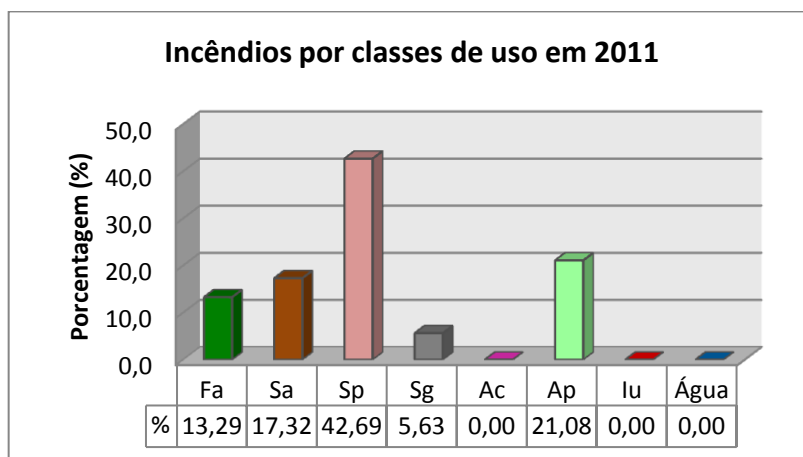
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 7 - Distribuição percentual dos incêndios por classes de uso em 2007



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 8 - Distribuição percentual dos incêndios por classes de uso em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Observando a tabela e gráficos acima, foi constatado que as classes mais atingidas por incêndios foram Savana Parque (Sp), Pastagem Cultivada (Ap) e Savana Arborizada (Sa). Esse resultado se deve ao fato que esses tipos de vegetação apresentam grande quantidade de estrato herbáceo e de gramíneas, que secos são a principal fonte de combustível.

Em trabalhos anteriores, Prudente e Rosa (2009), analisaram a distribuição de incêndios em relação ao uso da terra no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) e zona de amortecimento, os resultados encontrados mostraram que 51,21% dos incêndios no PNCV ocorreram em áreas ocupadas pela categoria Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e 41,42% aconteceram em áreas ocupadas pela categoria Savana Parque (Sp). Já na zona de amortecimento, 84,68% dos incêndios foram constituídos na categoria Savana Parque (Sp).

A figura 9 apresenta a fotografia de um incêndio ocorrido no município de São Valério, em setembro de 2013, em área ocupada pela classe Savana Parque (Sp).

Figura 9 - Incêndio em área ocupada por Savana Parque (Sp) no município de São Valério - TO



Autor: ROSA, R., 2015.

Em seguida, analisaram-se os valores de NDVI do período anterior a incêndios com a intenção de verificar os valores de NDVI da vegetação suscetível ao fogo (Tabelas 8 e 9 e Gráficos 9 e 10).

Tabela 8 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2007

Incêndio (dia/mês/ano)	NDVI Mínimo	NDVI Máximo	NDVI Média	Desvio Padrão	Nº de Pixel
15/04/07	0,29	0,63	0,47	0,05	618
01/05/07	0,17	0,55	0,34	0,05	2045
17/05/07	0,00	0,60	0,36	0,12	5325
02/06/07	0,09	0,56	0,26	0,07	1920
18/06/07	0,04	0,61	0,30	0,08	7975
20/07/07	-0,05	0,61	0,30	0,08	23441
05/08/07	-0,02	0,52	0,18	0,07	14907
21/08/07	-0,10	0,65	0,20	0,09	39111
06/09/07	-0,11	0,62	0,21	0,07	168023
22/09/07	-0,10	0,64	0,20	0,07	71633

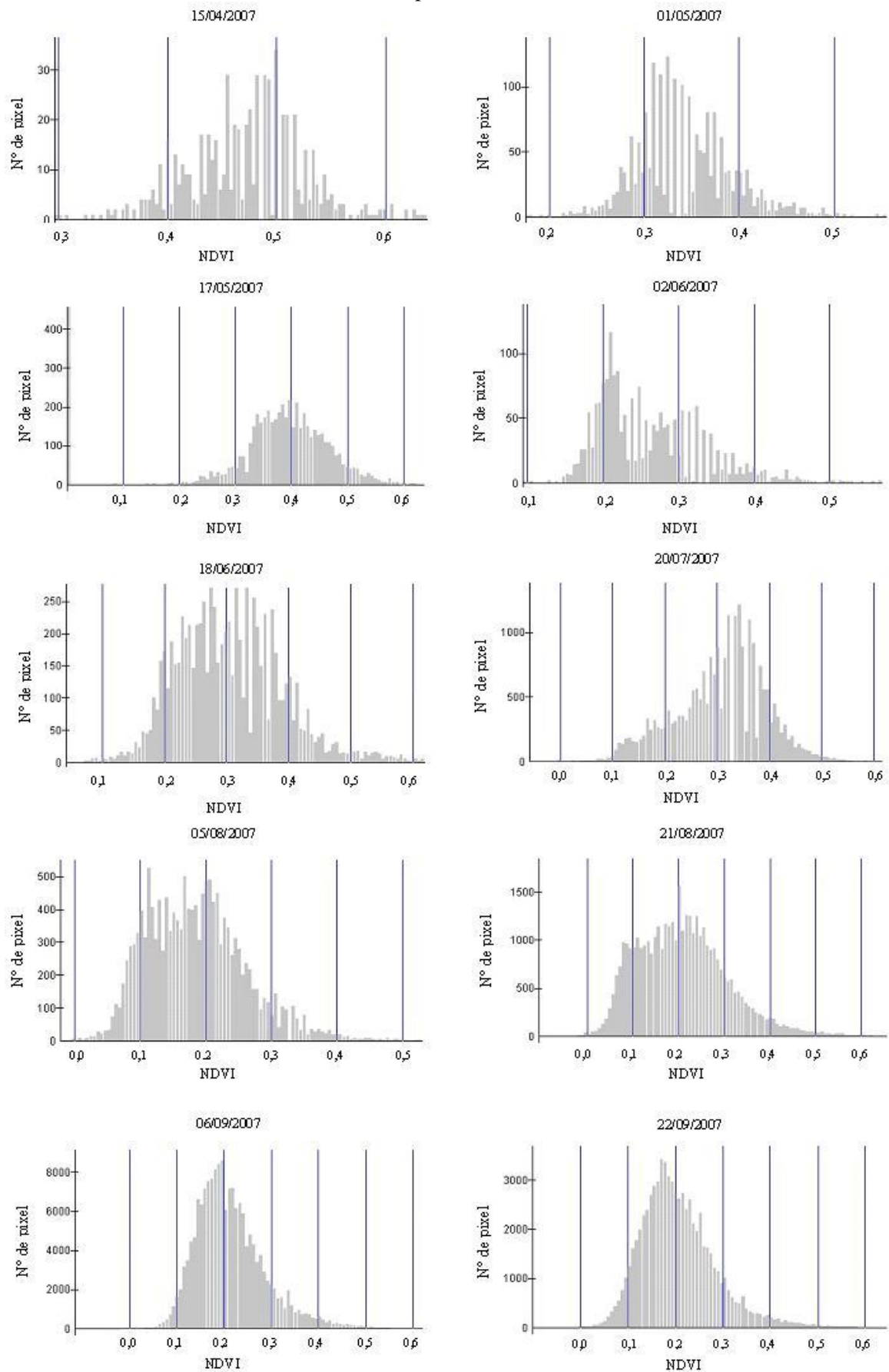
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Tabela 9 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2011

Incêndio (dia/mês/ano)	NDVI Mínimo	NDVI Máximo	NDVI Média	Desvio Padrão	Nº de Pixel
15/07/11	0,18	0,50	0,29	0,04	1970
31/07/11	0,07	0,64	0,30	0,07	1395
16/08/11	-0,01	0,64	0,25	0,06	27831
01/09/11	0,01	0,52	0,23	0,07	1341
17/09/11	-0,25	0,64	0,20	0,07	97891

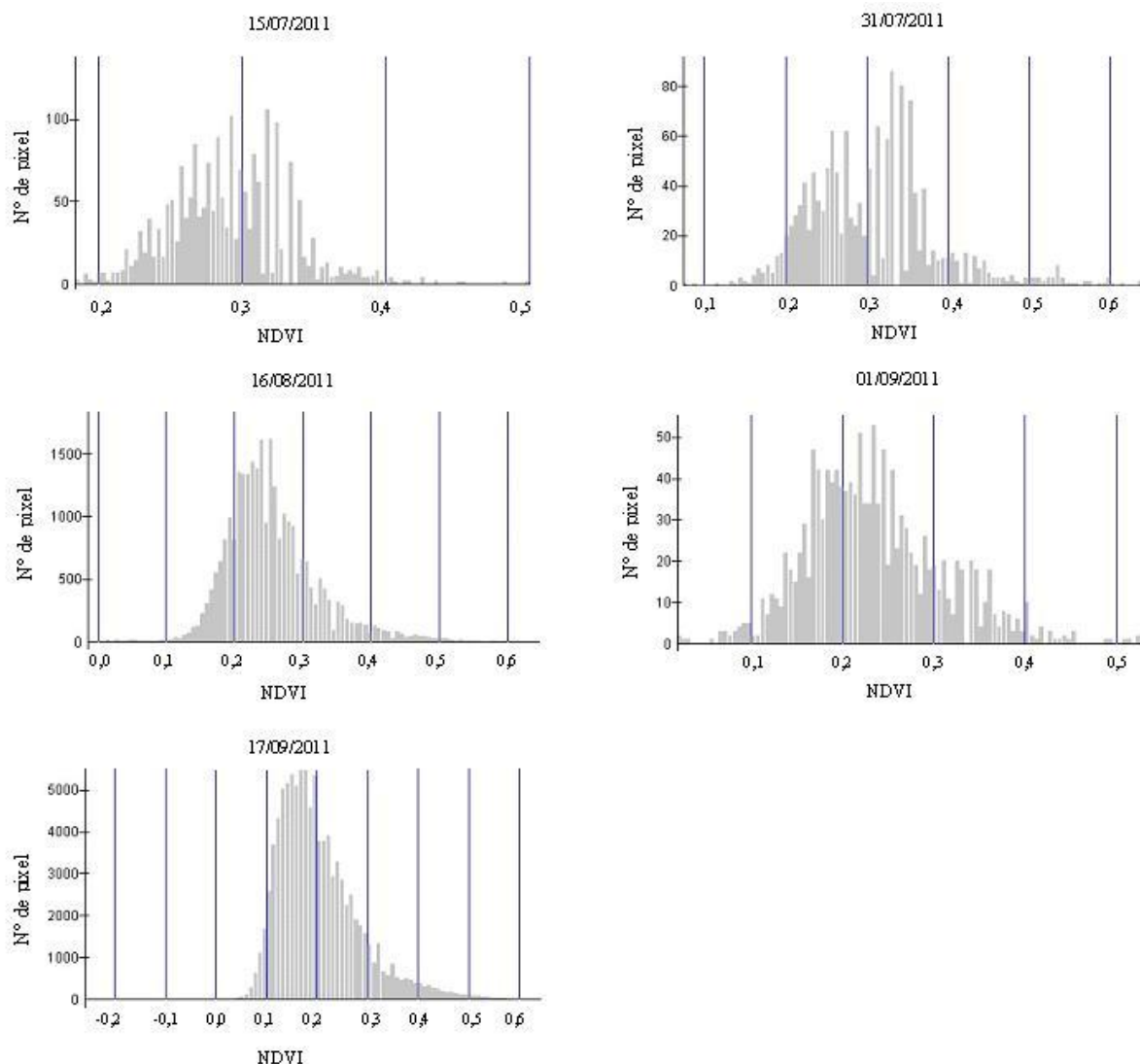
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 9 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2007



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 10 - Valores de NDVI do período anterior aos incêndios em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Em 2007, verificou-se que em abril a vegetação prestes a queimar apresentou maior número de pixels com NDVI entre as classes 0,4 e 0,5. No mês de maio, a maior parte dos pixels apresentaram NDVI entre 0,3 e 0,4. Em junho e julho, a maior parte dos pixels tiveram NDVI entre 0,2 e 0,4. Já em agosto, o NDVI concentrou-se entre 0,1 a 0,3. E em setembro, a maior parte dos pixels com vegetação prestes a queimar obtiveram valores de NDVI entre 0,1 e 0,2.

Em julho de 2011, a vegetação prestes a queimar também apresentou maior número de pixels com NDVI entre as classes 0,2 e 0,4. Em agosto do referido ano, o NDVI concentrou entre 0,2 e 0,3. Já no início de setembro, a maior parte dos pixels obtiveram valores de NDVI

entre 0,1 e 0,3, sendo que em meados de setembro a maior parte concentra em NDVI entre 0,1 e 0,2.

Nos dois anos avaliados, os valores mais baixos de NDVI ocorreram em agosto e setembro, constatando que essa é a época em que a vegetação da área de estudo está mais suscetível a incêndios. Sendo que a maior ocorrência de incêndios, nos anos analisados, foi detectada nos meses de agosto e setembro, coincidindo com o período que apresenta os valores mais baixos de NDVI.

5 RISCO ESTRUTURAL DE INCÊNDIO FLORESTAL

O risco estrutural de incêndio florestal é responsável pela identificação das áreas mais propícias e vulneráveis à ocorrência e propagação de incêndios. Para esse risco são considerados fatores que não variam rapidamente como a ocupação do solo e a topografia.

Nessa perspectiva, o risco estrutural é fundamental para que as entidades responsáveis pela prevenção e supressão de incêndios possam efetuar o planejamento de médio prazo das suas ações.

5.1 Procedimentos metodológicos

A metodologia utilizada para o mapeamento de risco estrutural de incêndio florestal foi fundamentada nas pesquisas de diversos autores, dentre eles, Chuvieco e Congalton (1989); Ferraz e Vettorazzi (1998), Oliveira et al. (2004); Santos (2007) e Ribeiro et al. (2008).

É importante destacar que os estudos acima foram realizados em outros biomas com características e regimes climáticos diferentes do Cerrado. Chuvieco e Congalton (1989) desenvolveram sua pesquisa nos Estados Unidos, mais propriamente no estado de Virginia. Já a pesquisa de Oliveira et al. (2004) e Ribeiro et al. (2008) foram realizadas no estado do Paraná e a de Santos (2007) no Espírito Santo, todos no Bioma Mata Atlântica, no Brasil. Assim, a metodologia exposta a seguir, foi baseada nesses autores, porém reestruturada segundo as características do Bioma Cerrado.

Tendo como base os fatores preponderantes para o risco de incêndio florestal, foram elaborados os seguintes mapas temáticos: distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas. Em seguida, esses mapas foram reclassificados de acordo com a suscetibilidade ao fogo, em que cada classe recebeu um coeficiente variando de 1 a 3.

As estradas e áreas urbanas foram digitalizadas a partir da imagem de satélite Landsat 8, órbita e ponto 222/68. Para elaboração do mapa de distância de estradas, foram criadas áreas de influência (*buffers*) em torno das estradas que cortam a área de estudo, que receberam coeficiente conforme o fluxo de pessoas e veículos que nela transitam. O mapa de distância de áreas urbanas também foi elaborado a partir de áreas de influência (*buffers*) em

torno de manchas urbanas, considerando-se que, quanto maior a distância, menor a probabilidade de início de um incêndio.

Em relação à influência para ocorrência de incêndio, as estradas podem ser analisadas de duas formas: como rupturas ao fogo ou percursos para supressão do fogo e como acesso às pessoas e veículos.

Na primeira forma, as estradas são consideradas como um fator de redução do perigo de incêndio, atuando como rupturas ao fogo e também servindo de percurso para o combate ao fogo. Ainda é comum a construção de aceiros no entorno de estradas com a finalidade de deter a propagação dos incêndios, porém, dependendo da largura da estrada e da velocidade do vento, o fogo pode extrapolar essa área (Figura 10).

Figura 10 - Aceiro em estrada vicinal no município de São Valério - TO



Autor: ROSA, R., 2015.

Já na segunda forma, as estradas são consideradas como rotas potenciais para o acesso de pessoas, sendo, nesse contexto, consideradas como fator preponderante ao risco de incêndio, devido a atividades humanas mais intensas nesses locais. Essas áreas estão mais propícias à ocorrência de incêndios criminosos, focos de incêndios causados por cigarros, fogueiras, etc.

Assim, considerou-se, nessa pesquisa, as estradas como áreas de acesso às pessoas e, por conseguinte, as áreas próximas são consideradas mais propícias à ocorrência de incêndios de origem antrópica. A proximidade de áreas urbanas também é fator preponderante ao risco de incêndio em áreas florestais, portanto, considerou-se uma distância de 1000 m dessas áreas.

De acordo com cada tipo de estrada e seu fluxo foi definida uma distância específica com respectivos coeficientes, conforme tabela 10.

Tabela 10 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de distância das estradas e áreas urbanas

Distância das Estradas e Áreas Urbanas	Distância (m)	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
Rodovia TO-280	500	Alta	3
Rodovia TO-280	1000	Moderada	2
TO-482 e Estradas municipais	500	Alta	3
Estradas vicinais	200	Moderada	2
Área urbana	1000	Alta	3
Fora da área de influência	-	Baixa	1

Fonte: Adaptado de Ferraz e Vettorazzi (1998).

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Considerou-se com suscetibilidade alta ao fogo as áreas a 500 m das rodovias TO-280, TO-482 e estradas municipais devido ao fluxo intenso de veículos – motoristas e acompanhantes. O entorno das áreas urbanas também foi considerado de alta suscetibilidade por ser uma área de fácil acesso e que apresenta grande concentração de pessoas.

Em contrapartida, as áreas com distância entre 500 m a 1000 m da rodovia TO-280 foram consideradas com suscetibilidade moderada. O entorno das estradas vicinais também foi considerado como tendo suscetibilidade moderada por ter, geralmente, tráfego de moradores locais. As regiões fora da área de influência das estradas foram consideradas como tendo baixa suscetibilidade ao fogo.

O uso da terra e cobertura vegetal nativa foi elaborado a partir de imagem de satélite Landsat 8, obtida em setembro de 2013, órbita e ponto 222/68. A interpretação e mapeamento foram realizados no *software* ArcGIS, levando em consideração os elementos básicos de análise e interpretação: tonalidade e cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização. As classes mapeadas estão relacionadas no quadro 3, de acordo com a legenda do Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira do IBGE (2012), conforme descrito anteriormente.

O conhecimento do uso da terra e cobertura vegetal nativa foi de fundamental importância para o mapeamento do risco de incêndio, uma vez que o tipo de cobertura vegetal influencia o comportamento do fogo de várias formas.

Assim, as classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa foram reclassificadas recebendo coeficientes de acordo com sua suscetibilidade ao fogo (Tabela 11). Esses coeficientes foram baseados nas características de cada classe e também na análise feita no capítulo anterior em que se avaliou a área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura

vegetal nativa atingidas pelos incêndios ocorridos em 2007 e 2011, no município de São Valério; incêndios ocorridos em 2007, no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), e zona de amortecimento, também inserido no bioma Cerrado.

Tabela 11 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de uso da terra e cobertura vegetal nativa

Uso da Terra e Cobertura Vegetal Nativa	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	Baixa	1
Savana Arborizada (Sa)	Moderada	2
Savana Parque (Sp)	Alta	3
Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	Alta	3
Agricultura (Ac)	Baixa	1
Pastagem Cultivada (Ap)	Alta	3
Área com Influência Urbana (Iu)	Baixa	1
Água	Baixa	1

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

As classes Savana Parque (Sp), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap) foram reclassificadas com o nível alto de suscetibilidade ao fogo porque são compostas por tipos de vegetação que apresentam grande quantidade de estrato herbáceo e de gramíneas que, quando secam, são a fonte principal de combustível.

Os mapas de hipsometria, declividade e orientação das encostas foram gerados a partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), da NASA, utilizando as ferramentas do *software* ArcGIS.

Os dados SRTM são originários da missão de mapeamento de relevo terrestre. Tal levantamento foi feito em 2000 e disponibilizado pela USGS Eros Data Center – Centro de Dados do Departamento de Levantamento Geológico dos Estados Unidos –, com resolução espacial de 90 metros. O arranjo foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre, nas bandas C e X, através de interferometria (SUPERBI; PRUDENTE; GRACELLI JÚNIOR, 2007).

Percebe-se que a altitude é uma variável ambiental que influencia o risco de incêndio devido à sua relação com a umidade relativa do ar. Isso se deve ao fato de que, com o aumento da altitude, observa-se um decréscimo da temperatura e, conseqüentemente, um valor elevado de umidade relativa (SALAS; CHUVIECO, 1994 apud RIBEIRO et al., 2008).

Apesar do município não apresentar grandes diferenças hipsométricas, esta variável foi considerada na metodologia, por ser fácil de ser medida e que poderá ser aplicada em outras áreas, na qual esse fator pode ser significativo. Dessa forma, a tabela 12 apresenta as classes hipsométricas que foram usadas na pesquisa, com seus respectivos coeficientes e níveis de suscetibilidade ao fogo.

Tabela 12 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de hipsometria

Hipsometria	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
< 300	Alta	3
300 - 400	Alta	3
400 - 500	Alta	3
500 - 600	Alta	3
> 600	Moderada	2

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2004) e Ribeiro et al. (2008).

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

As áreas com maior declividade apresentam suscetibilidade ao fogo mais acentuada, uma vez que a transferência de calor é facilitada no sentido do aclave, aumentando a velocidade de propagação do incêndio. A tabela 13 relaciona o grau de inclinação do terreno em função da sua influência na propagação do fogo.

Tabela 13 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de declividade

Declividade	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
< 6%	Baixa	1
6 – 12%	Baixa	1
12 – 20%	Moderada	2
20 – 40%	Moderada	2
> 40%	Alta	3

Fonte: Adaptado de Chuvieco e Congalton (1989).

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Ribeiro et al. (2008), ressaltaram que a exposição de um terreno é fator essencial na probabilidade de ocorrência e propagação de um incêndio. No Hemisfério Sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte, transmitindo maior quantidade de calor para essa exposição do que para as outras faces. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia, seguida da face leste e a face sul é a que menos recebe radiação.

As condições de suscetibilidade ao fogo em função da orientação das encostas estão apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de orientação das encostas

Orientação das Encostas	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
Plano	Baixa	1
Norte	Alta	3
Nordeste	Alta	3
Leste	Moderada	2
Sudeste	Baixa	1
Sul	Baixa	1
Sudoeste	Baixa	1
Oeste	Moderada	2
Noroeste	Alta	3

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2004), Santos (2007) e Ribeiro et al. (2008).

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Foi gerado, para cada fator, um mapa de suscetibilidade ao fogo, com classes variando entre alta, moderada e baixa conforme os coeficientes utilizados na reclassificação descrita anteriormente.

Em seguida, o mapa de risco estrutural foi gerado a partir de análise multicritério em ambiente SIG, utilizando técnica de combinação linear ponderada, na qual todos os critérios são normalizados em uma escala contínua.

A equação a seguir exemplifica a junção dos fatores segundo pesos adotados:

$$RE = (DEAU \times 25) + (USO \times 40) + (HIPSO \times 05) + (DEC \times 20) + (OE \times 10)$$

Em que:

RE = Risco Estrutural

DEAU = Distância das Estradas e Áreas Urbanas

USO = Uso da Terra e Cobertura Vegetal Nativa

HIPSO = Hipsometria

DEC = Declividade

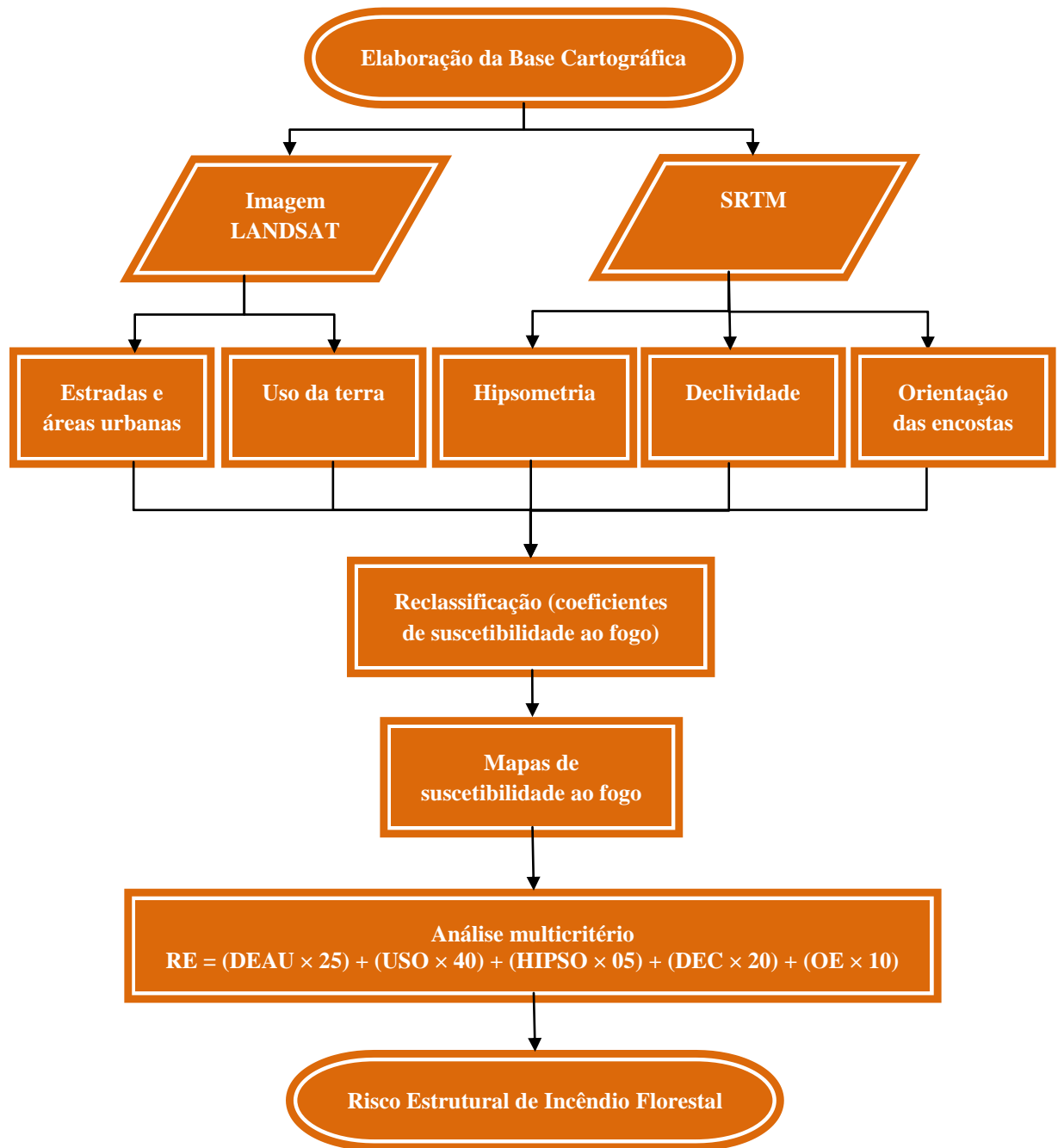
OE = Orientação das Encostas

A variável uso da terra e cobertura vegetal nativa recebeu o maior peso (40) porque o fogo não ocorre se não existir material inflamável. A variável proximidade de estradas e áreas urbanas recebeu o segundo maior peso (25) devido à grande influência na probabilidade de início de um incêndio. Já a declividade recebeu peso (20), pois embora não influencie na probabilidade de um início de um incêndio, tem forte relação com o comportamento do fogo.

O somatório de todas as classes de cada um dos critérios vai originar o mapa de risco estrutural de incêndio florestal, que foi dividido em cinco classes de risco de incêndio: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto.

O fluxograma, apresentado na figura 11, mostra de forma sintetizada e esquemática, as principais etapas para elaboração cartográfica do risco estrutural de incêndio florestal.

Figura 11 - Fluxograma com as etapas de elaboração do risco estrutural de incêndio



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

5.2 Resultados e discussões

O risco estrutural de incêndio baseia-se na combinação de fatores que não variam num curto espaço de tempo. Nesse estudo foram contemplados cinco fatores: distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas (Figura 12).

Figura 12 - Fatores que compõem o risco estrutural de incêndio florestal

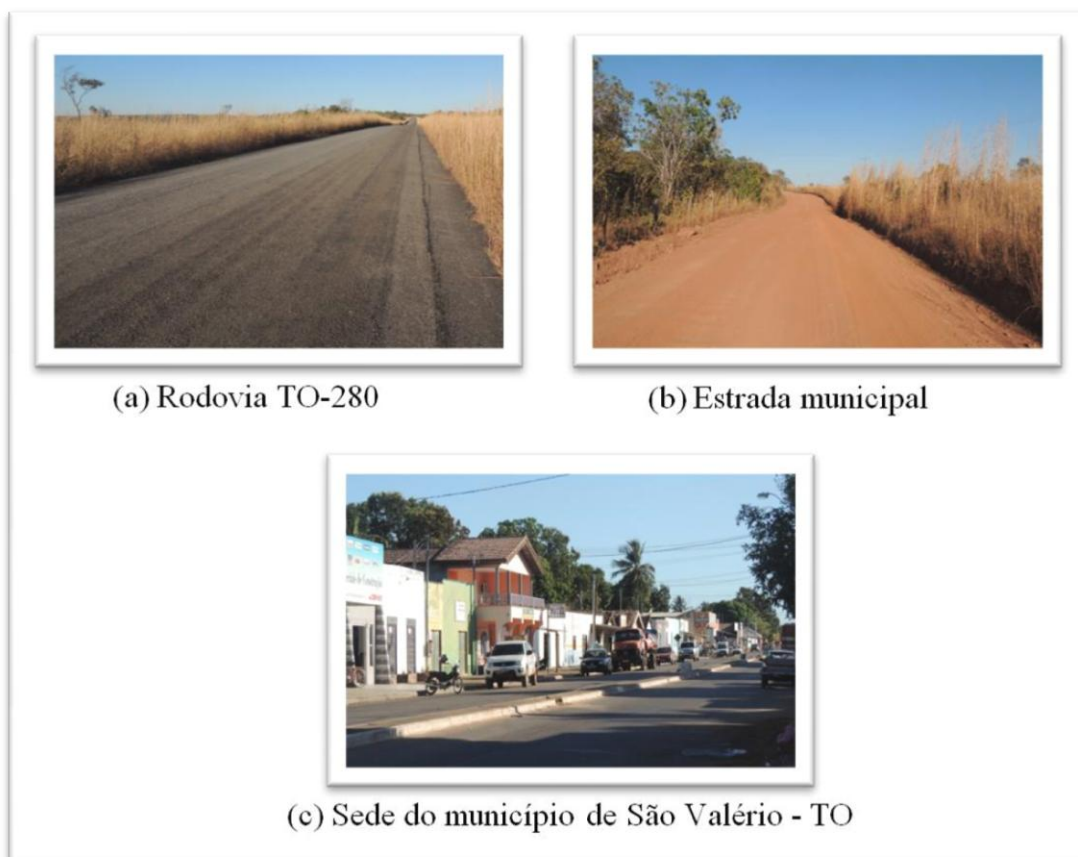


Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Atualmente, a maior parte dos incêndios no Cerrado são de origem antrópica, dessa forma, considerou-se as áreas próximas às estradas e áreas urbanas como alto risco. Ressalta-se que esse fator não determina o comportamento dos incêndios, mas é um provável local de início.

A área de estudo é cortada pelas rodovias TO-280, TO-482, por estradas municipais e vicinais, as quais temos representados alguns trechos na figura 13. As áreas urbanas presentes são referentes às manchas urbanas da sede do município e dos distritos de Apinajé e Serranópolis.

Figura 13 - Trechos de estradas e área urbana presentes no município de São Valério - TO



Autor: ROSA, R., 2015.

A figura 14 apresenta o mapa das estradas e áreas urbanas do município de São Valério – TO. Na tabela 15, pode-se verificar as medidas em km² e porcentagem das classes de distância das estradas e áreas urbanas.

Tabela 15 - Área ocupada pelas classes de distância das estradas e áreas urbanas

Distância das Estradas e Áreas Urbanas	Distância (m)	Área em km²	%	Suscetibilidade ao Fogo
Rodovia TO-280	500	30,04	1,19	Alta
Rodovia TO-280	1000	30,25	1,20	Moderada
TO-482 e Estradas municipais	500	128,10	5,08	Alta
Estradas vicinais	200	410,94	16,31	Moderada
Área urbana	1000	28,12	1,12	Alta
Fora da área de influência	-	1892,15	75,10	Baixa
Total		2519,59	100,00	

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Observa-se na tabela 15, que em relação à proximidade de estradas e áreas urbanas, a área de estudo apresenta 75,10% com baixa suscetibilidade ao fogo, 17,51% com moderada suscetibilidade e 7,39% com alta suscetibilidade.

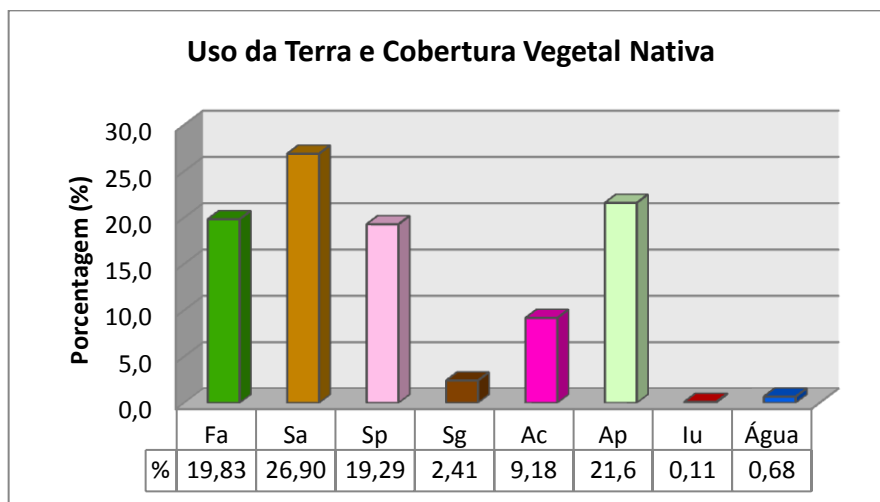
O conhecimento do uso da terra e cobertura vegetal nativa representa a suscetibilidade fogo de acordo com as características de cada uso. Assim, a figura 15 ilustra o mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa e a tabela 16 e gráfico 11 enumeram a área ocupada por cada classe em km² e suas respectivas porcentagens.

Tabela 16 - Área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa

Uso da Terra e Cobertura Vegetal Nativa	Área em km²	%	Suscetibilidade ao Fogo
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	499,66	19,83	Baixa
Savana Arborizada (Sa)	677,69	26,90	Moderada
Savana Parque (Sp)	486,14	19,29	Alta
Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg)	60,66	2,41	Alta
Agricultura (Ac)	231,22	9,18	Baixa
Pastagem Cultivada (Ap)	544,18	21,60	Alta
Área com Influência Urbana (Iu)	2,85	0,11	Baixa
Água	17,21	0,68	Baixa
Total	2519,59	100,00	

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

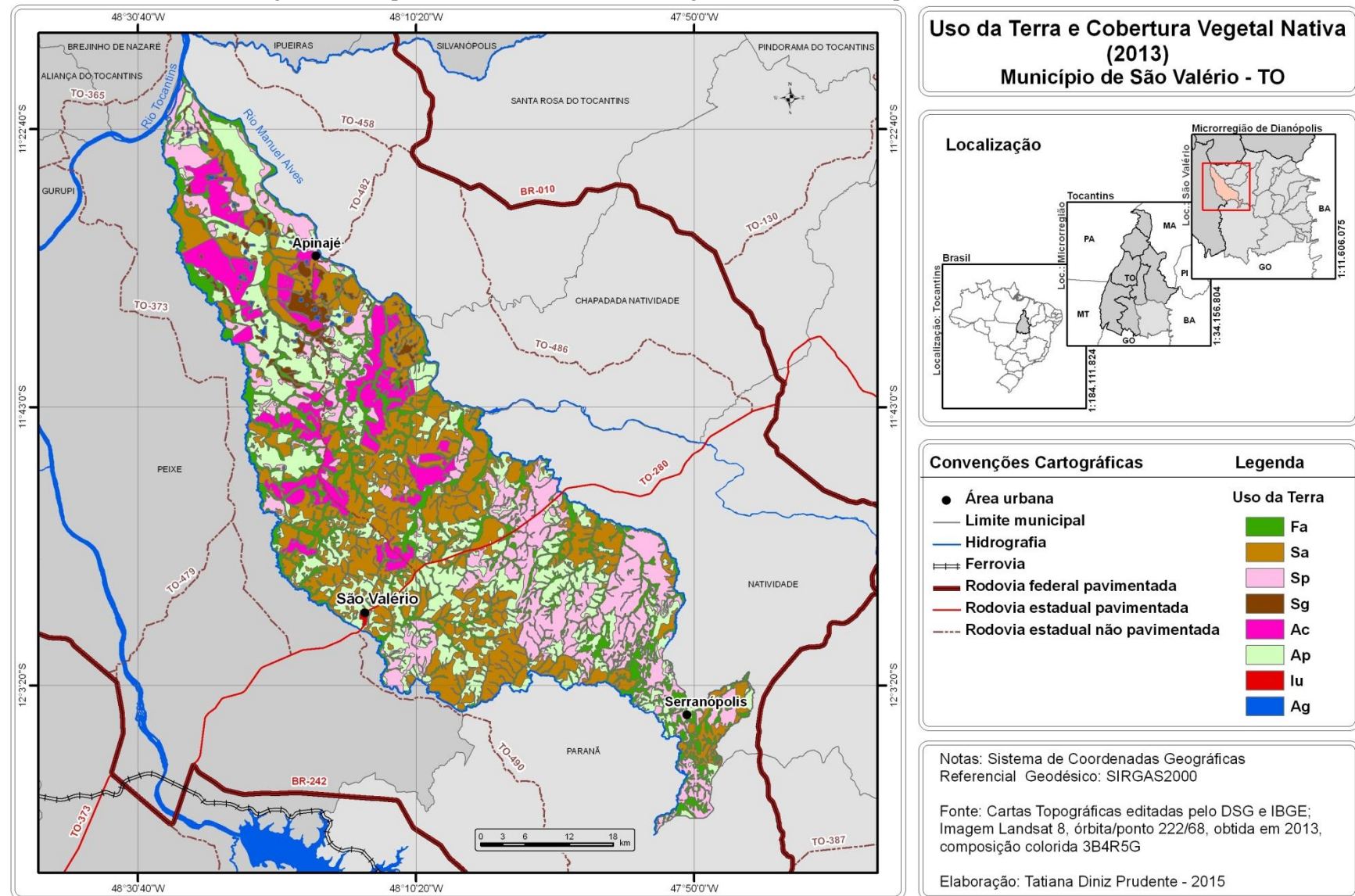
Gráfico 11 - Área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Observa-se, na tabela 16, que o município é predominantemente ocupado por Savana Arborizada (Sa), representando 26,90% da área, seguido por Pastagem Cultivada (Ap), com 21,60%. A classe Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) abrange 19,83% e a Savana Parque (Sp) corresponde a 19,29%. A Agricultura (Ac) ocupa 9,18% do município, sendo que o milho, a soja e o arroz sequeiro são os produtos mais cultivados. Já a classe Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) ocupa 2,41% e a parte com Influência Urbana (Iu) corresponde apenas a 0,11% da área de estudo, referentes às manchas urbanas da sede do município e dos distritos de Apinajé e Serranópolis. As classes Savana Parque (Sp), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap) são as categorias que apresentam alta suscetibilidade ao fogo e juntas perfazem 87,79% da área.

Figura 15 - Mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa do município de São Valério - TO



O mapa hipsométrico indica indiretamente o conteúdo de umidade do material combustível, influenciando a taxa de propagação dos incêndios, sendo que as baixas elevações têm a tendência de apresentar estações de risco mais longas que as altas elevações.

São Valério possui níveis altimétricos baixos, sendo que a altitude média varia de 280 m no vale do rio Tocantins a 390 m na parte central. O município apresenta a sudeste as áreas mais elevadas, com altitudes em torno de 600 m, sendo que o ponto mais alto atinge 708 m.

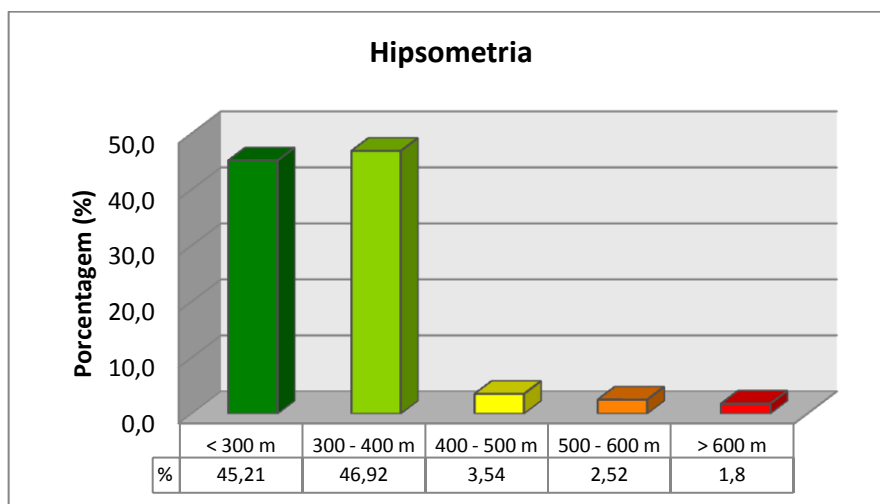
A figura 16 mostra o mapa de hipsometria da área de estudo e a tabela 17 e o gráfico 12 a área ocupada por cada categoria.

Tabela 17 - Área ocupada pelas classes de hipsometria

Hipsometria	Área em km ²	%	Suscetibilidade ao Fogo
< 300 m	1139,23	45,21	Alta
300 – 400 m	1182,25	46,92	Alta
400 – 500 m	89,18	3,54	Alta
500 – 600 m	63,46	2,52	Alta
> 600 m	45,47	1,80	Moderada
Total	2519,59	100,00	

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 12 - Área ocupada pelas classes de hipsometria

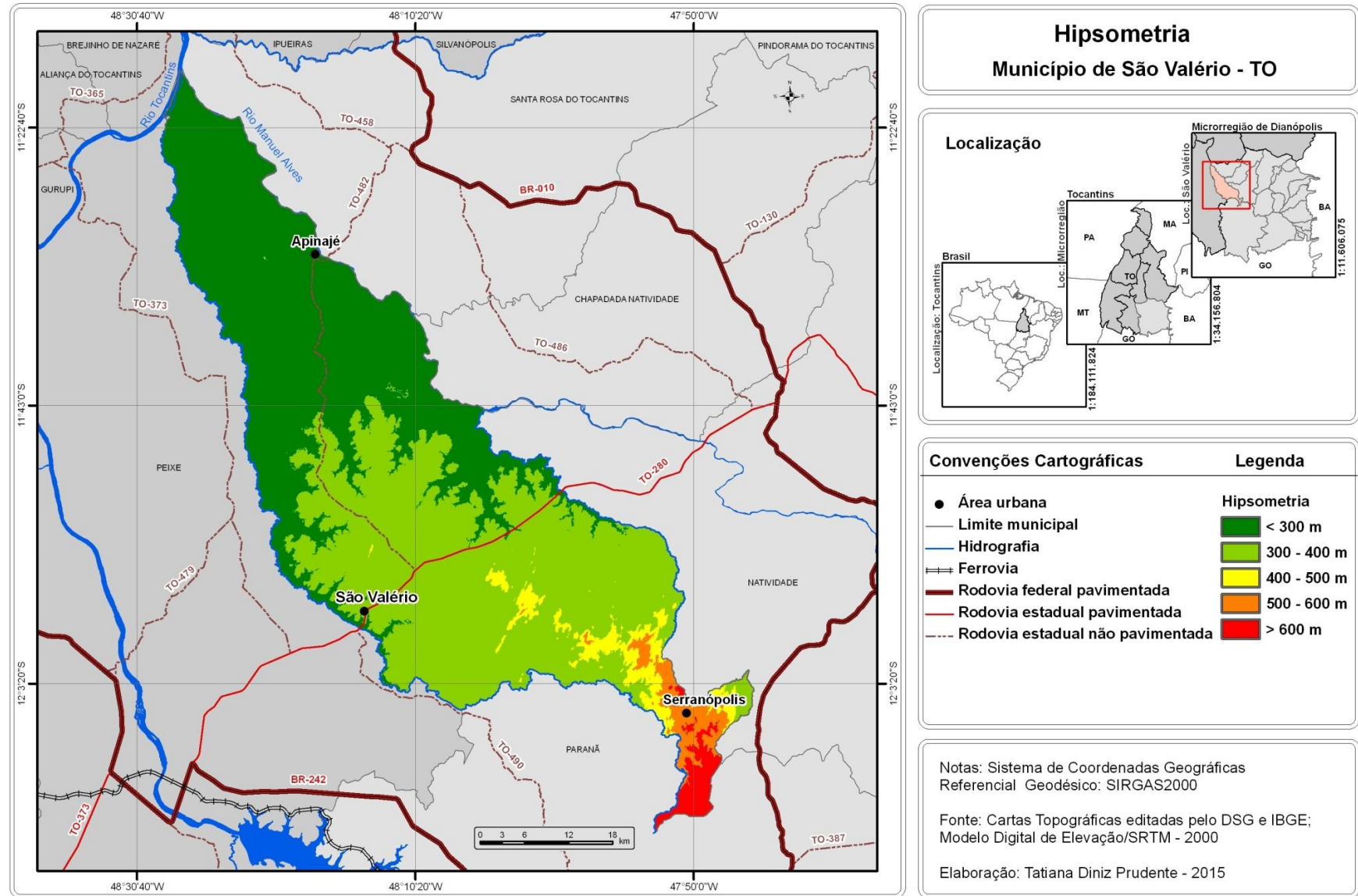


Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Nota-se que as áreas com altitudes até 600 m representam 98,20% da área de estudo e indica alta suscetibilidade ao fogo. Altitudes maiores que 600 m representam apenas 1,80% da área de estudo e indicam suscetibilidade moderada ao fogo.

Conforme dito anteriormente, embora a hipsometria seja pouco significativa na área de estudo, se manteve este fator devido ao caráter metodológico.

Figura 16 - Mapa de hipsometria do município de São Valério - TO



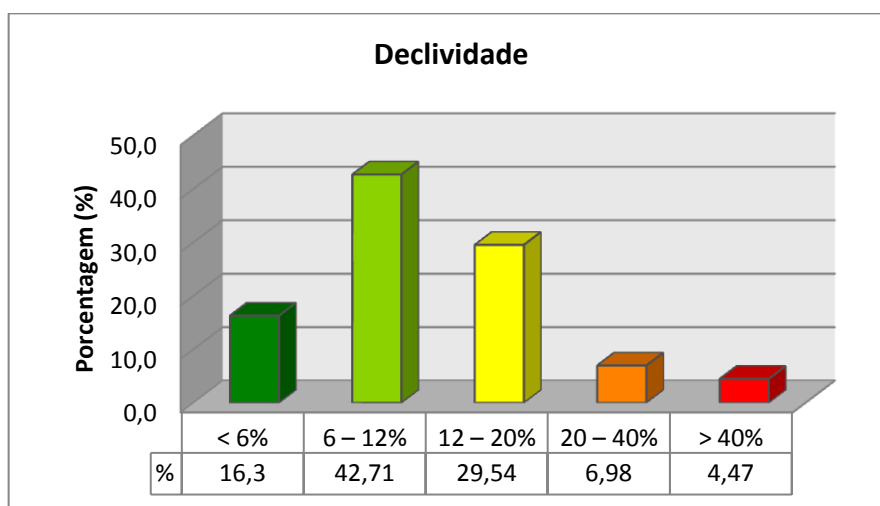
A declividade do terreno está associada à velocidade, direção e propagação do fogo. Sendo assim, a declividade da área de estudo é apresentada na figura 17 e os valores da área das classes de declividades (área em km² e %) estão enumerados abaixo, isto é, na tabela 18 e gráfico 13.

Tabela 18 - Área ocupada pelas classes de declividade

Declividade	Área em km²	%	Suscetibilidade ao Fogo
< 6%	410,68	16,30	Baixa
6 – 12%	1076,04	42,71	Baixa
12 – 20%	744,27	29,54	Moderada
20 – 40%	175,87	6,98	Moderada
> 40%	112,73	4,47	Alta
Total	2519,59	100,00	

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

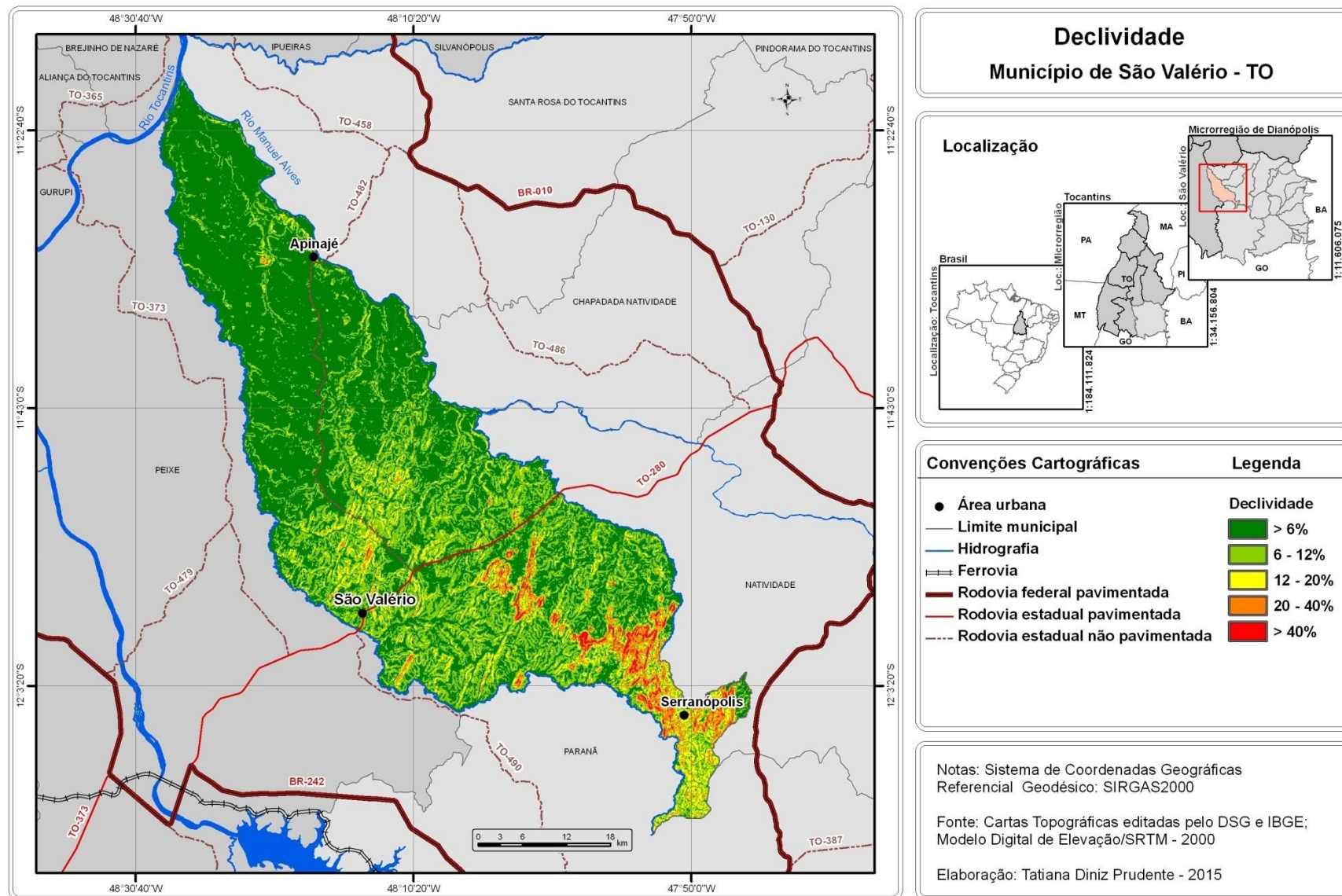
Gráfico 13 - Área ocupada pelas classes de declividade



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Analisando os dados da tabela acima, verifica-se que declividades menores que 12% ocupam 59,01% da área de estudo e indicam baixa suscetibilidade ao fogo. Declividades entre 12% e 40% ocupam 36,52% da área e indicam suscetibilidade moderada. Já as declividades maiores que 40% ocupam 4,47% da área e designam alta suscetibilidade ao fogo.

Figura 17 - Mapa de declividade do município de São Valério - TO



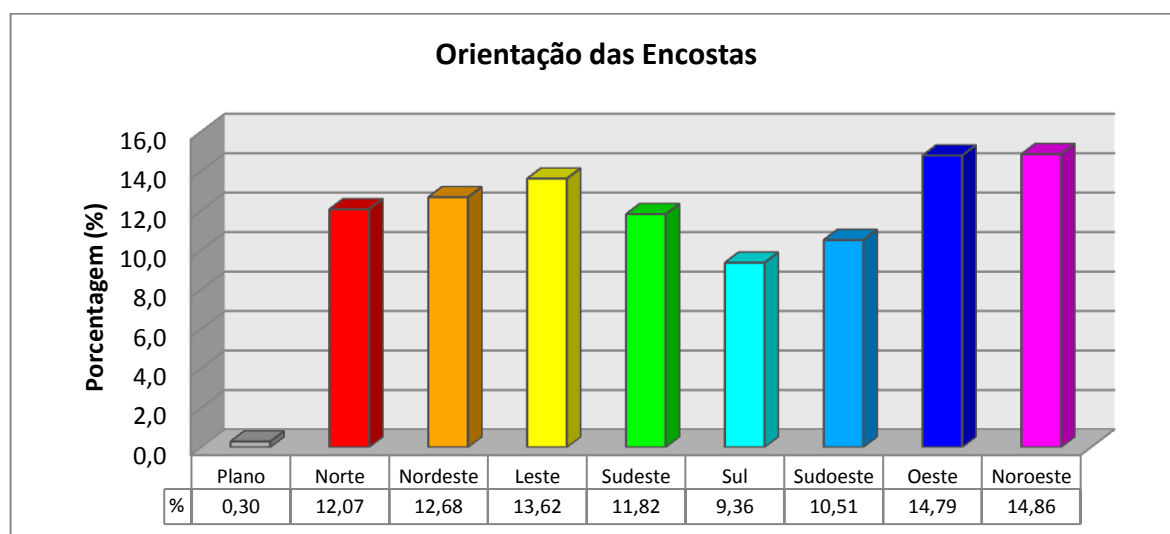
A orientação das encostas também indica indiretamente o conteúdo de umidade do material combustível devido às condições de iluminação pelo sol, assim influenciando a taxa de propagação dos incêndios. Ressalta-se que no Hemisfério Sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte. A figura 18 apresenta o mapa de orientação das encostas e a tabela 19 e o gráfico 14 mostram os valores ocupados por cada classe.

Tabela 19 - Área ocupada pelas classes de orientação das encostas

Orientação das Encostas	Área em km ²	%	Suscetibilidade ao Fogo
Plano	7,46	0,30	Baixa
Norte	304,06	12,07	Alta
Nordeste	319,45	12,68	Alta
Leste	343,12	13,62	Moderada
Sudeste	297,70	11,82	Baixa
Sul	235,72	9,36	Baixa
Sudoeste	264,89	10,51	Baixa
Oeste	372,76	14,79	Moderada
Noroeste	374,43	14,86	Alta
Total	2519,59	100,00	

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 14 - Área ocupada pelas classes de orientação das encostas

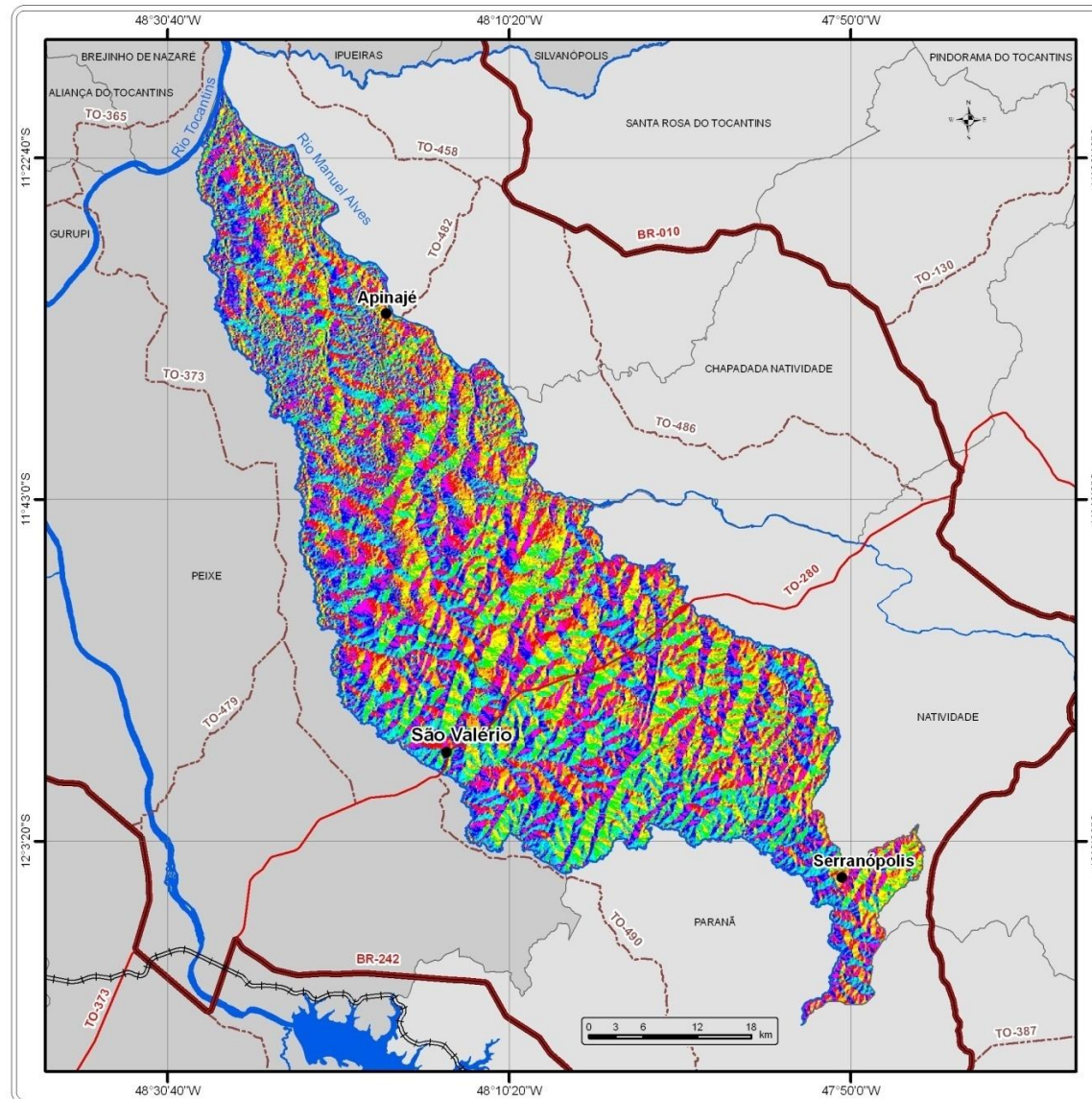


Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Conforme pode ser observado, a área de estudo apresenta 31,98%, em relação à orientação das encostas, na classe baixa de suscetibilidade ao fogo, 28,41% na classe moderada e 39,61% na classe alta.

Por fim, a figura 19 ilustra os mapas de suscetibilidade ao fogo referentes aos fatores analisados anteriormente (distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas). Cada categoria foi reclassificada como suscetibilidade baixa, moderada ou alta, conforme tabelas 10 a 14.

Localização



Convenções Cartográficas

- Área urbana
 — Limite municipal
 — Hidrografia
 — Ferrovias
 — Rodovia federal pavimentada
 — Rodovia estadual pavimentada
 — Rodovia estadual não pavimentada

Legenda

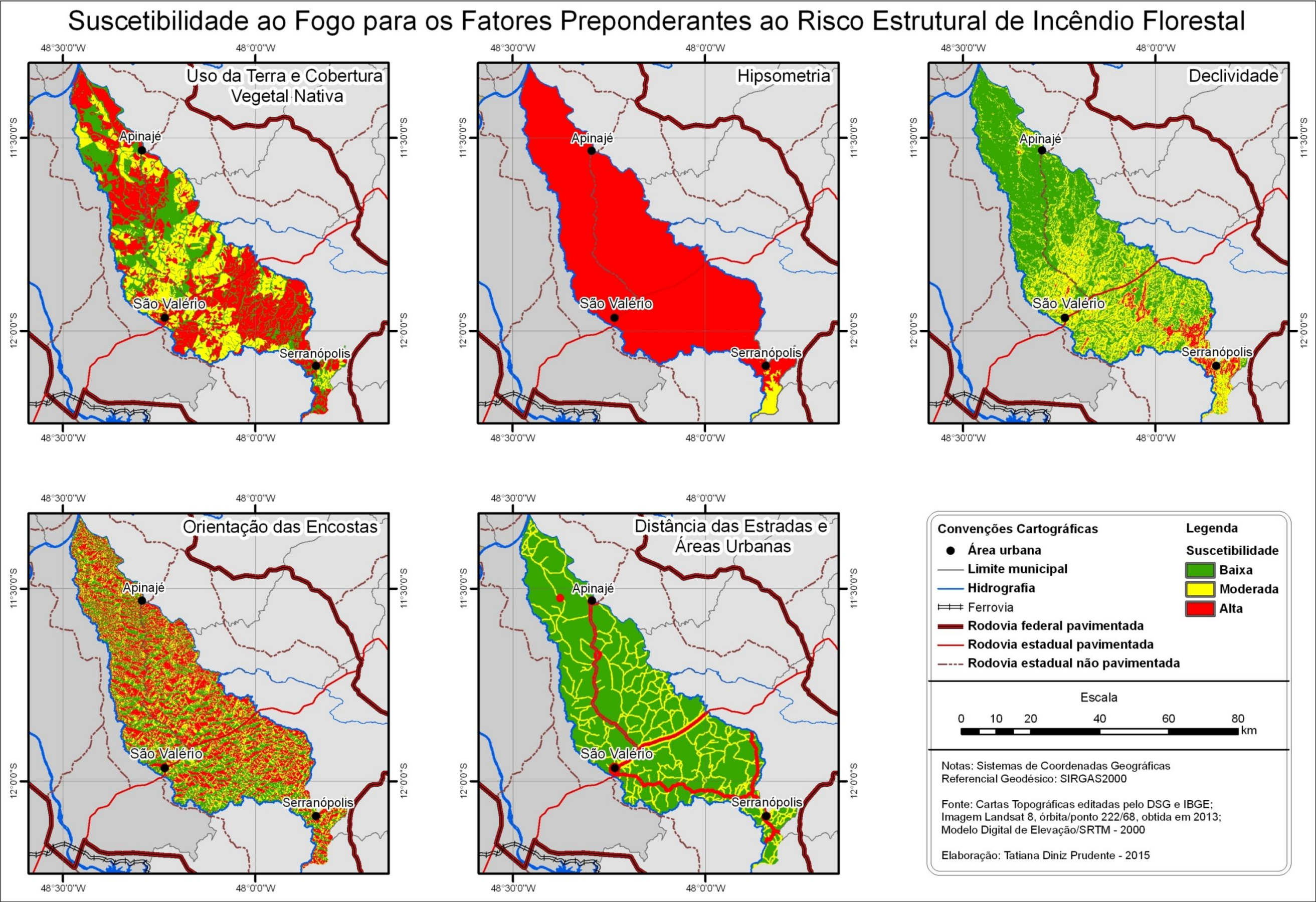
- Orientação das Encostas**
- | | |
|---|----------|
|  | Plano |
|  | Norte |
|  | Nordeste |
|  | Leste |
|  | Sudeste |
|  | Sul |
|  | Sudoeste |
|  | Oeste |
|  | Noroeste |

Notas: Sistema de Coordenadas Geográficas
Referencial Geodésico: SIRGAS2000

Fonte: Cartas Topográficas editadas pelo DSG e IBGE;
Modelo Digital de Elevação/SRTM - 2000

Elaboração: Tatiana Diniz Prudente - 2015

Figura 19 - Mapas de Suscetibilidade ao fogo para os fatores preponderante ao risco estrutural de incêndio florestal para o município de São Valério - TO



A associação dos cinco planos resultou em um mapa que representa todos os fatores adicionados, permitindo, dessa maneira, uma análise da situação do risco de incêndio levando em consideração fatores estruturais. Essa visão integrada é importante, pois ela ameniza a dificuldade de se identificar, pela análise isolada de cada fator, regiões de risco.

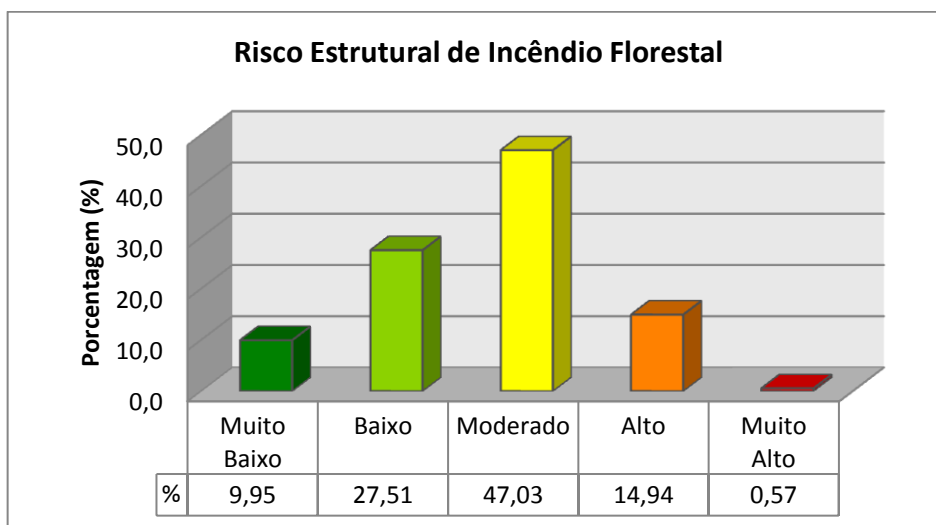
O risco estrutural de incêndio florestal está apresentado na figura 20. A tabela 20 e o gráfico 15 expõem a área ocupada por cada classe e sua distribuição percentual.

Tabela 20 - Área ocupada pelas classes de risco estrutural de incêndio florestal

Risco Estrutural de Incêndio Florestal	Área em km²	%
Muito baixo	250,65	9,95
Baixo	693,15	27,51
Moderado	1185,02	47,03
Alto	376,42	14,94
Muito alto	14,35	0,57
Total	2519,59	100,00

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

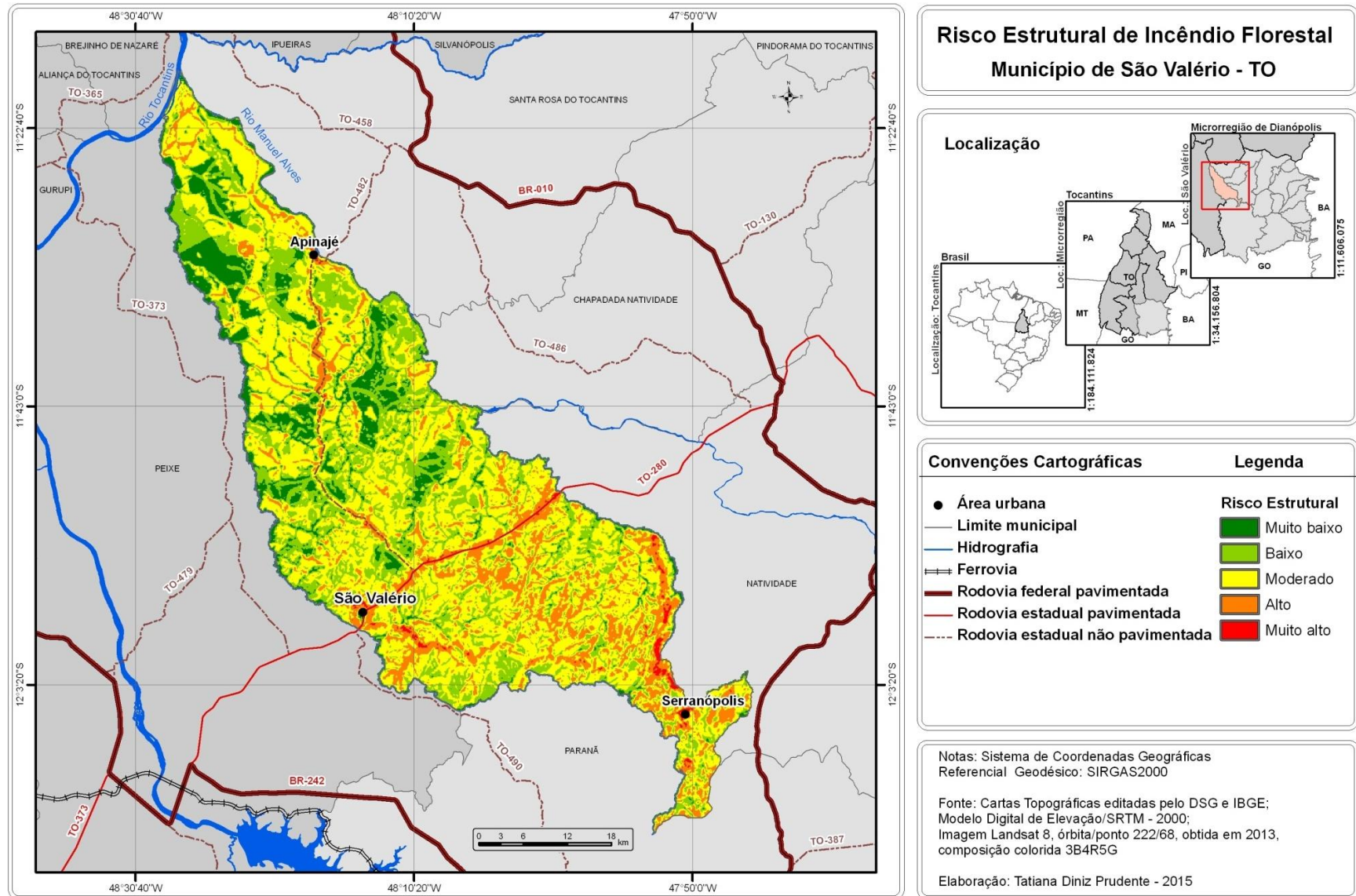
Gráfico 15 - Área ocupada pelas classes de risco estrutural de incêndio florestal



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

A análise dos dados expostos, mostra que em relação aos fatores estruturais, o município apresenta a maior parte de sua área nas classes baixo e moderado de risco de incêndio. Sendo que as áreas que apresentam risco de incêndio alto e muito alto ocorrem predominantemente na parte sudeste do município e no entorno das estradas e áreas urbanas, conforme pode ser verificado na figura 20.

Figura 20 - Mapa de risco estrutural de incêndio florestal do município de São Valério - TO



Dessa forma, se fossem levadas em consideração somente fatores estruturais, o município apresentaria apenas 15,51% da sua área na classe alto ou muito alto de risco de incêndio, não condizendo com a realidade local. Portanto, a inserção dos fatores dinâmicos e sua posterior integração tornam-se necessária.

6 RISCO DINÂMICO DE INCÊNDIO FLORESTAL

O risco dinâmico de incêndio tem por objetivo a detecção de alterações na inflamabilidade dos combustíveis florestais, considerando fatores que variam de forma contínua, como o estado da vegetação e as condições meteorológicas.

Estudos sobre as condições meteorológicas da ocorrência de incêndios no Cerrado são insuficientes. Pode-se destacar o trabalho de Pereira Júnior (2002), que evidenciou as condições nas quais ocorrem as queimadas na vegetação do Cerrado e as diferenças entre as áreas com e sem ocorrência de queimadas nessa vegetação. Ele analisou três parâmetros meteorológicos (precipitação, umidade relativa e temperatura do ar) e concluiu que as queimadas, em 95% das células, ocorreram nas seguintes condições: a) precipitação diária inferior a 2 mm; b) precipitação acumulada de 5 dias inferior a 25 mm; c) umidade relativa do ar inferior a 60%; d) temperatura do ar superior a 28 °C; e) mais que um dia sem chuva antecedendo a queimada.

Um fator limitante a ser considerado ao se trabalhar com dados de clima é a baixa densidade de estações meteorológicas de superfície no território brasileiro, sendo essas mais concentradas na porção longitudinal leste do país. Diante disso, estimativas de precipitação por meio de imagens de satélite se tornam extremamente útil. Evidencia-se que nesse trabalho foram utilizados dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). Ele foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (KUMMEROW et al., 2000).

Alguns autores fizeram comparação de dados de estações pluviométricas terrestres e dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM. Sousa et al. (2013) fizeram essa análise pautando no Pantanal brasileiro, sendo que, nesse trabalho, os dados mensais das estações meteorológicas quando submetidos à interpolação, apresentaram grande semelhança visual com os dados estimados pelo satélite TRMM.

Já Bardin et al. (2011), fizeram comparações entre dados estimados pelo satélite TRMM e observados por estações meteorológicas, para diferentes localidades do estado de São Paulo, no período de 2000 a 2008. Os resultados obtidos mostram que as estimativas de precipitação pluvial fornecidas pelo TRMM são consistentes tanto na escala espacial quanto

na temporal, e que os dados do satélite podem ser utilizados em regiões ou períodos com escassez de dados de precipitação pluvial.

Medidas diretas da umidade de vegetação são complexas e requerem custosas amostragens espaciais. Assim, o sensoriamento remoto orbital surge como uma alternativa bastante atraente, tendo como principal vantagem a coleta de dados sobre áreas de grandes extensões e em intervalos regulares.

Nesse sentido, os índices de vegetação dão uma medida da quantidade e estado da biomassa presente no solo, sendo o NDVI um dos mais antigos e testados desses indicadores. A sua utilidade reside no fato de que a vegetação saudável reflete muito bem na porção infravermelha do espectro electromagnético, enquanto a banda visível (vermelho) proporciona alguma atenuação de efeitos atmosféricos (CARRÃO et al., 2002).

6.1 Procedimentos metodológicos

Sendo o clima um dos fatores que exerce grande influência na ocorrência de incêndios florestais, o conhecimento de algumas variáveis climáticas é de grande importância na prevenção de incêndios, pois se pode identificar os meses e épocas de maior probabilidade de ocorrência.

Dessa forma, foram elaborados mapas de precipitação e deficiência hídrica da área de estudo. Optou-se por utilizar dados de precipitação coletados do banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo) em decorrência da escassez de estações meteorológicas de superfície na área de estudo.

O sistema Agritempo é alimentado por dados provenientes de mais de 1400 estações meteorológicas de superfície, convencionais e automáticas distribuídas pelo Brasil. Os dados são transmitidos, via internet por *File Transfer Protocol* (FTP) e correio eletrônico. Como as estações de superfície estão mais concentradas na parte longitudinal leste do Brasil, a complementariedade das informações é feita com imagens de satélites obtidas da NASA proveniente da *Tropical Rain Meteorological Mission* (TRMM) versão 7.0, que provê dados de 11.332 pontos de grade, que são convertidos no Agritempo nas denominadas estações virtuais, em que os dados de temperatura são estimados a partir das estações de superfície reais mais próximas. Esses dados também são utilizados para preenchimento de dados faltantes de chuva. O conjunto de todos os dados é consistido para identificar dados não confiáveis. O processamento e interpolação dos dados são feitos utilizando-se o método de krigagem ordinária disponível no *software* R (BAMBINI et al., 2014).

Para obtenção dos dados de deficiência hídrica foi elaborado o cálculo do balanço hídrico por meio de *software* desenvolvido por Rolim e Sentelhas (1999) a partir da metodologia proposta por Thorntwaite e Mather (1955).

Os mapas foram elaborados utilizando o interpolador Inverso da Distância Ponderada (IDW), disponível na extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS. Foram gerados mapas das médias mensais dos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011. Foi escolhido o ano de 2011 devido a ocorrência no município de incêndios de grande extensão e pela disponibilidade de imagens de satélites nestas datas.

No capítulo três foi analisada a duração das estações seca e chuvosa, considerando a distribuição diária das precipitações ao longo do período de 1980 a 2014, baseado na metodologia de Assunção (2013), e constatou-se que a média do início da estação seca na área de estudo é dia 15 de abril e a média do fim da estação seca é dia 18 de outubro. Com base nessas informações, delimitou-se, a priori, o período de abril a outubro para elaboração dos mapas de risco dinâmico de incêndio florestal. Contudo, de acordo a disponibilidade das imagens do satélite Landsat 5, utilizadas para o cálculo do NDVI, foram considerados apenas os meses de abril, maio, julho, agosto e setembro.

A variável precipitação é fundamental para análise do risco de incêndio, uma vez que aumentam a quantidade de umidade nos combustíveis, dificultando ou tornando impossível o início e a propagação do fogo.

Assim, precipitações mensais inferiores a 25 mm receberam coeficiente 3 (alta suscetibilidade ao fogo). A tabela 21 apresenta as classes, níveis de suscetibilidade e coeficientes de precipitação utilizados nesse estudo.

Tabela 21 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de precipitação

Precipitação	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
< 25 mm	Alta	3
25 – 75 mm	Moderada	2
> 75 mm	Baixa	1

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

A deficiência hídrica está relacionada com incêndios na medida em que ela é consequência de um período contínuo ou transitório de seca. Dessa forma, quanto maior a deficiência hídrica, maior foi o peso de suscetibilidade ao fogo. A seguir, na tabela 22, estão apresentadas as classes, suscetibilidade e coeficientes referentes à deficiência hídrica.

Tabela 22 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de deficiência hídrica

Deficiência Hídrica	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
< 50 mm	Baixa	1
50 – 80 mm	Moderada	2
> 80 mm	Alta	3

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Um parâmetro essencial para o cálculo da suscetibilidade ao fogo é a quantidade de combustível vegetal disponível, que neste estudo, foi analisado por meio do NDVI.

Para a geração dos índices de vegetação (NDVI) foram utilizadas as bandas 3 e 4 do satélite Landsat 5, correspondentes aos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011, utilizando o *software* ArcGIS.

O NDVI também foi reclassificado em função do seu contributo para a suscetibilidade ao incêndio florestal. Essa reclassificação baseou-se nos resultados encontrados no capítulo 4, em que se analisou valores do NDVI da vegetação prestes a queimar, no período correspondente aos meses de março a setembro dos anos de 2007 e 2011, no município de São Valério. A tabela 23 mostra os coeficientes e níveis de suscetibilidade ao fogo das classes de NDVI.

Tabela 23 - Classes, níveis de suscetibilidade ao fogo e coeficientes de NDVI

NDVI	Suscetibilidade ao Fogo	Coeficientes
-1,00 – 0,00	Baixa	1
0,00 – 0,25	Alta	3
0,25 – 0,50	Moderada	2
0,50 – 1,00	Baixa	1

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Os mapas de precipitação, deficiência hídrica e o NDVI foram integrados pelo método de combinação linear ponderada. O modelo de integração dos dados foi expresso pela seguinte equação:

$$RD = (PREC \times 20) + (DEF \times 30) + (NDVI \times 50)$$

Em que:

RD = Risco Dinâmico

PREC = Precipitação

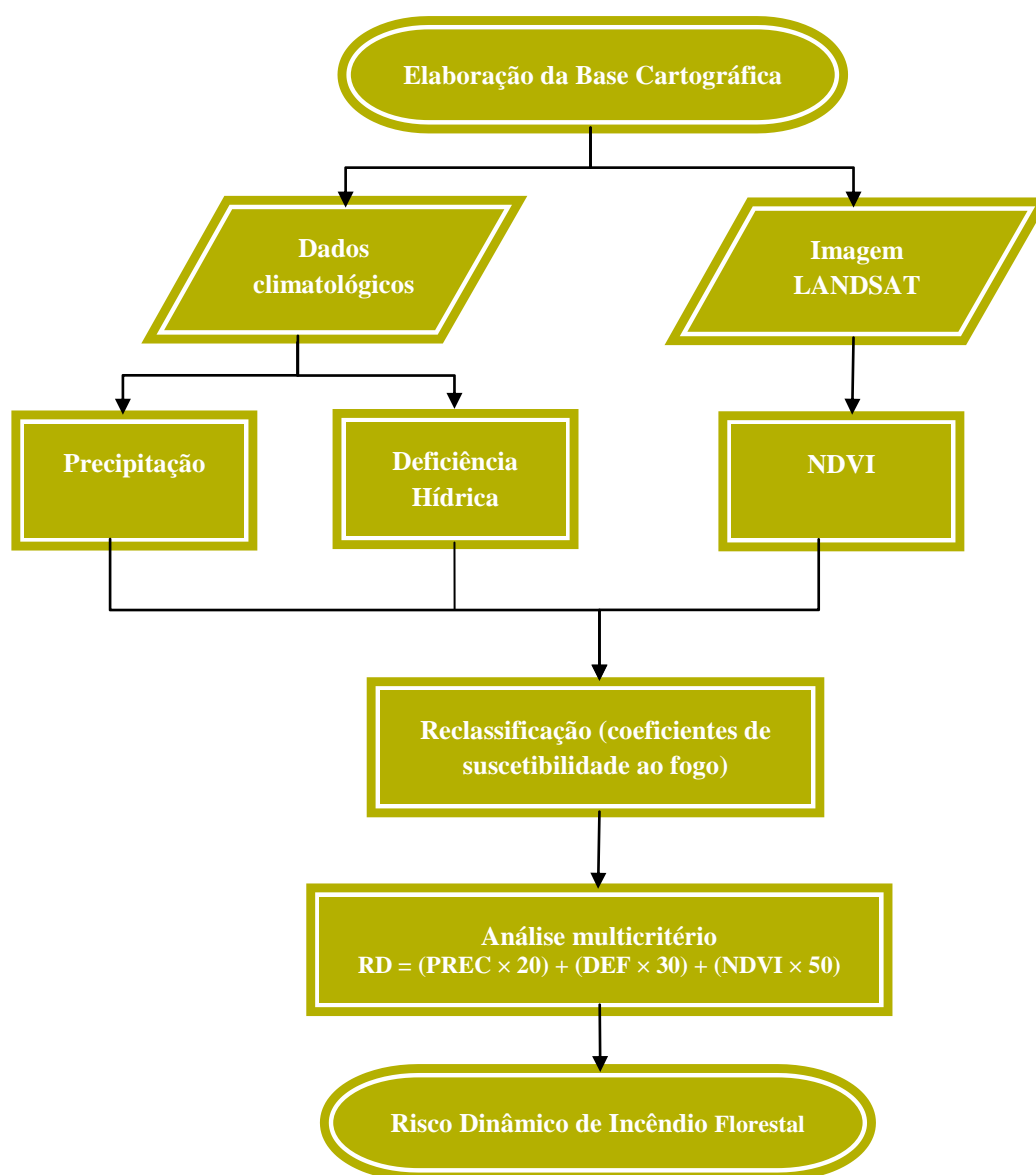
DEF = Deficiência Hídrica

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O NDVI recebeu o maior peso (50) porque é uma indicação da quantidade de combustível e de seu estado de secura. A variável deficiência hídrica recebeu o segundo maior peso (30) devido a disponibilidade de água que influencia na probabilidade de ocorrência de incêndio, uma vez que se o material combustível apresentar altos níveis de umidade será mais difícil a ocorrência de incêndio, pois a umidade absorve o calor do fogo. Quanto maior a umidade, menor a probabilidade de o combustível secar e acender.

De tal modo, foram gerados mapas com as classes muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto de risco dinâmico de incêndio, referentes aos meses de abril, junho, agosto e setembro de 2011. A figura 21 apresenta a estrutura seguida para elaboração dos mapas de risco dinâmico.

Figura 21 - Fluxograma com as etapas de elaboração do risco dinâmico de incêndio



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

6.2 Resultados e discussões

O risco dinâmico tem como objetivo a detecção das alterações nos fatores capazes de provocar mudanças na inflamabilidade dos combustíveis florestais ao longo da época de estiagem na região. Para tal, foram consideradas nesse estudo os fatores: precipitação, deficiência hídrica e NDVI (Figura 22).

Figura 22 - Fatores que compõem o risco dinâmico de incêndio florestal

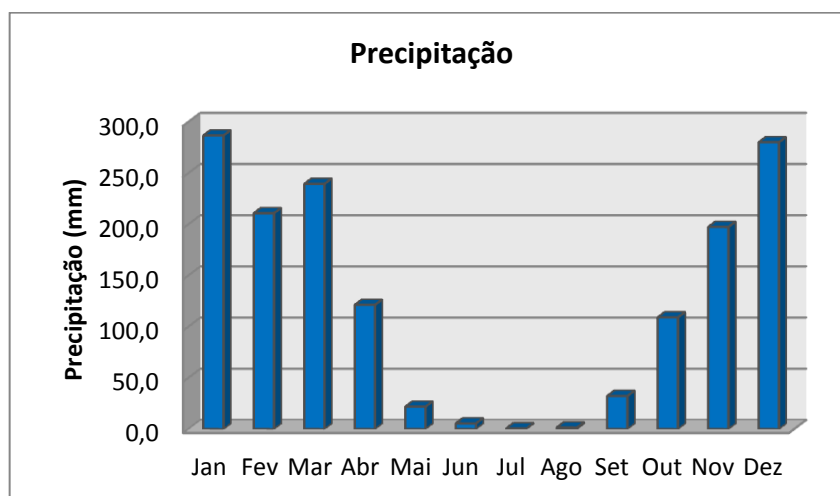


Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Conforme já dito anteriormente, a área de estudo apresenta duas estações distintas, uma chuvosa e outra marcada por deficiência hídrica. Os meses mais chuvosos são novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. E os meses que apresentam maior deficiência hídrica são junho, julho, agosto e setembro.

O gráfico 16 apresenta as médias pluviométricas mensais da área de estudo no ano de 2011. Verifica-se que nos meses de junho a agosto a precipitação é mínima. Já a partir de setembro, os registros de precipitação começam a aumentar.

Gráfico 16 – Totais pluviométricos mensais em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

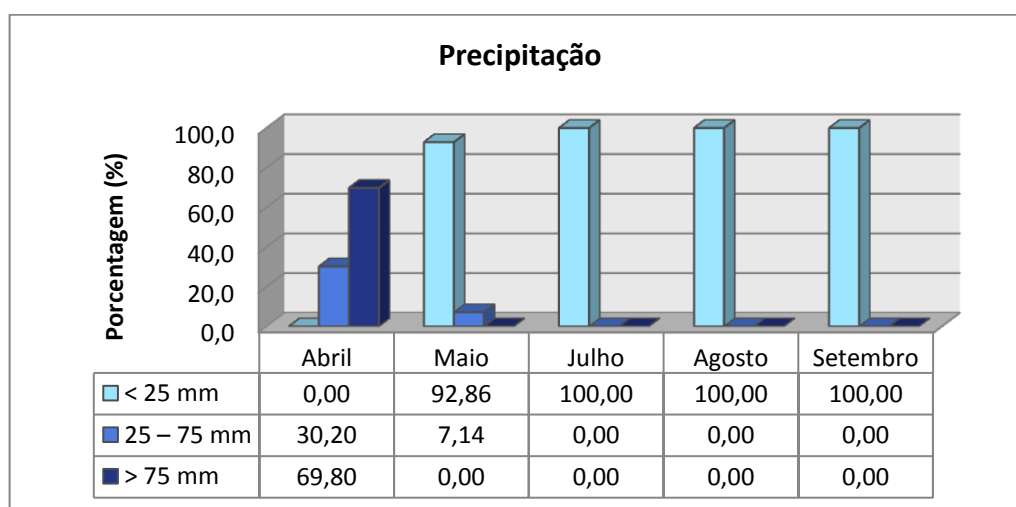
A tabela 24 e o gráfico 17 enumeram a área ocupada pelas classes de precipitação nos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011, escolhidos conforme descrito nos procedimentos metodológicos.

Tabela 24 - Área ocupada pelas classes de precipitação em 2011

Chuva (mm)	Abril		Maio		Julho		Agosto		Setembro	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
< 25	0,00	0,00	2339,75	92,86	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00
25 – 75	760,79	30,20	179,84	7,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> 75	1758,79	69,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 17 - Área ocupada pelas classes de precipitação em 2011



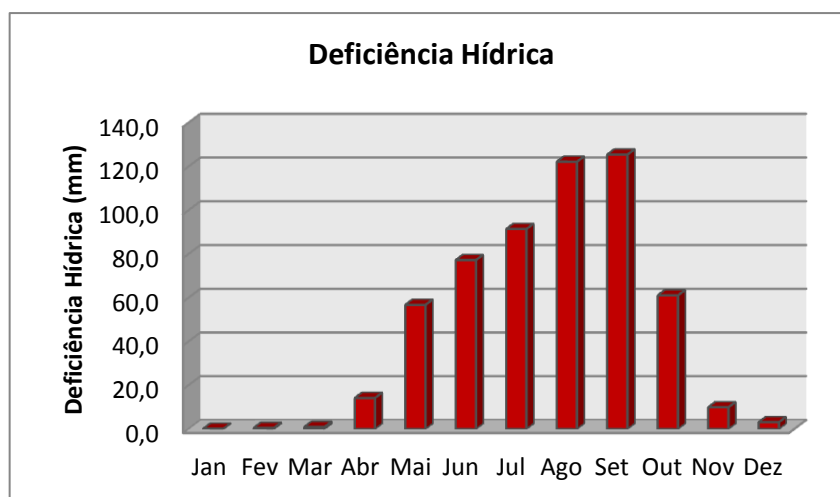
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Em abril, a maior parte do município apresentou precipitação acima de 75 mm (baixa suscetibilidade), correspondendo 69,80% da área do município. Já em maio, grande parte do município (92,86%) se encontrou na classe alta de suscetibilidade a incêndio em consequência do decréscimo dos índices pluviométricos.

Nos meses de julho, agosto e setembro, em todas as estações, a quantidade de precipitação é menor que 25 mm, ficando todo o município, durante estes meses, na classe alta de risco de incêndio.

Os valores de deficiência hídrica da área de estudo do ano de 2011 são apresentados no gráfico 18. Os meses que apresentam valores mais altos são agosto e setembro.

Gráfico 18 – Totais mensais de deficiência hídrica em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

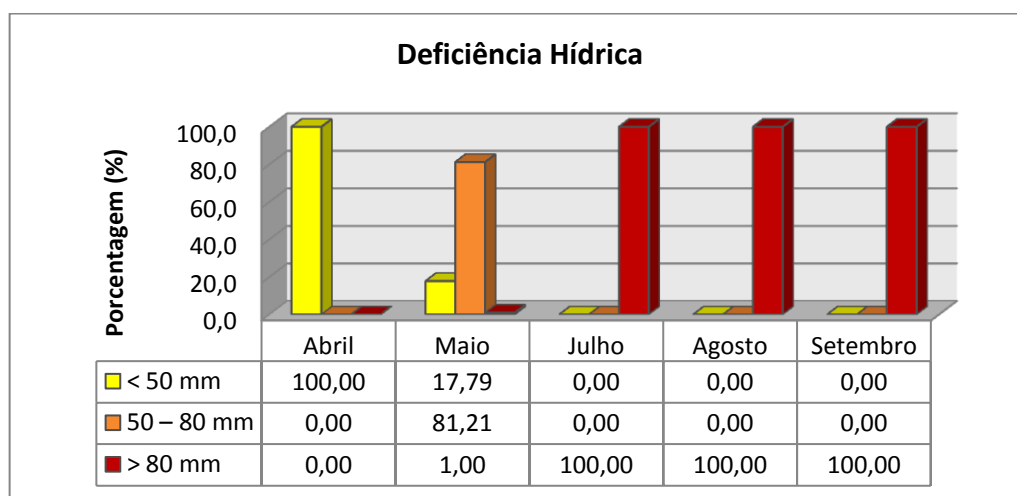
A tabela 25 apresenta a área ocupada pelas classes de deficiência hídrica em km² e suas respectivas porcentagens, nos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011, visualizados também no gráfico 19.

Tabela 25 - Área ocupada pelas classes de deficiência hídrica em 2011

Def (mm)	Abril		Maio		Julho		Agosto		Setembro	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
< 50	2519,59	100,00	448,32	17,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 – 80	0,00	0,00	2046,11	81,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
> 80	0,00	0,00	25,16	1,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00
Total	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 19 - Área ocupada pelas classes de deficiência hídrica em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Em abril, todo o município, apresenta deficiência hídrica menor que 50 mm, inserindo na classe baixa de suscetibilidade ao fogo. Já em maio, observa-se que houve um aumento considerável da deficiência hídrica em decorrência da redução da precipitação nesse mês. Assim, em maio, 81,21% do município apresenta deficiência hídrica entre 50 mm a 80 mm, o correspondente ao peso moderado.

A partir do mês de julho, constata-se que 100% do município apresenta deficiência acima de 80 mm, caracterizando alta suscetibilidade ao fogo. Certamente esse período seco tem considerável contribuição para o alastramento do fogo sobre a vegetação seca.

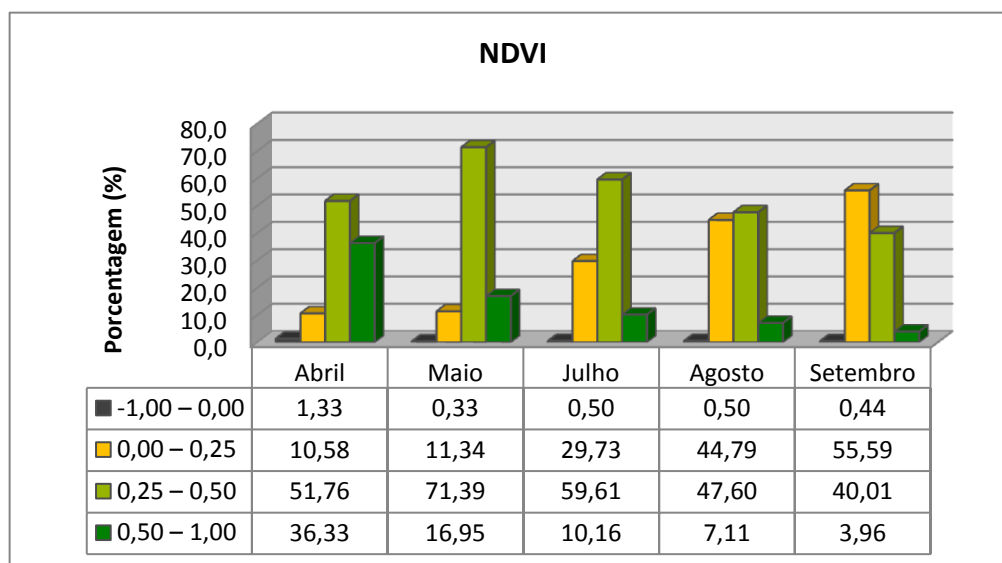
A tabela 26 e o gráfico 20 apresentam a área ocupada pelas classes de NDVI nos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011.

Tabela 26 - Área ocupada pelas classes de NDVI em 2011

NDVI	Abril		Maio		Julho		Agosto		Setembro	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
-1,00 – 0,00	33,61	1,33	8,29	0,33	12,70	0,50	12,56	0,50	11,16	0,44
0,00 – 0,25	266,58	10,58	285,62	11,34	749,08	29,73	1128,62	44,79	1400,55	55,59
0,25 – 0,50	1304,05	51,76	1798,73	71,39	1501,85	59,61	1199,39	47,60	1008,03	40,01
0,50 – 1,00	915,35	36,33	426,95	16,95	255,96	10,16	179,02	7,11	99,85	3,96
Total	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 20 - Área ocupada pelas classes de NDVI em 2011



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Analisando todo o período, apura-se que a classe alta de risco de incêndio (0,00 – 0,25) aumentou gradualmente no decorrer dos meses analisados, sendo que em abril essa classe obteve 10,58% e já em setembro teve 55,59%. Essa mudança reflete o avanço da estação seca, quando se verifica a senescência e queda das folhas do estrato herbáceo do Cerrado e, por conseguinte, aumento do combustível vegetal seco.

O risco dinâmico de incêndio florestal está apresentado na figura 23. A tabela 27 e o gráfico 21 expõem a área ocupada por cada classe e sua distribuição percentual. Verifica-se que agosto e setembro são os meses mais críticos em relação ao risco dinâmico de incêndio.

Figura 23 - Mapas de risco dinâmico de incêndio florestal do município de São Valério - TO

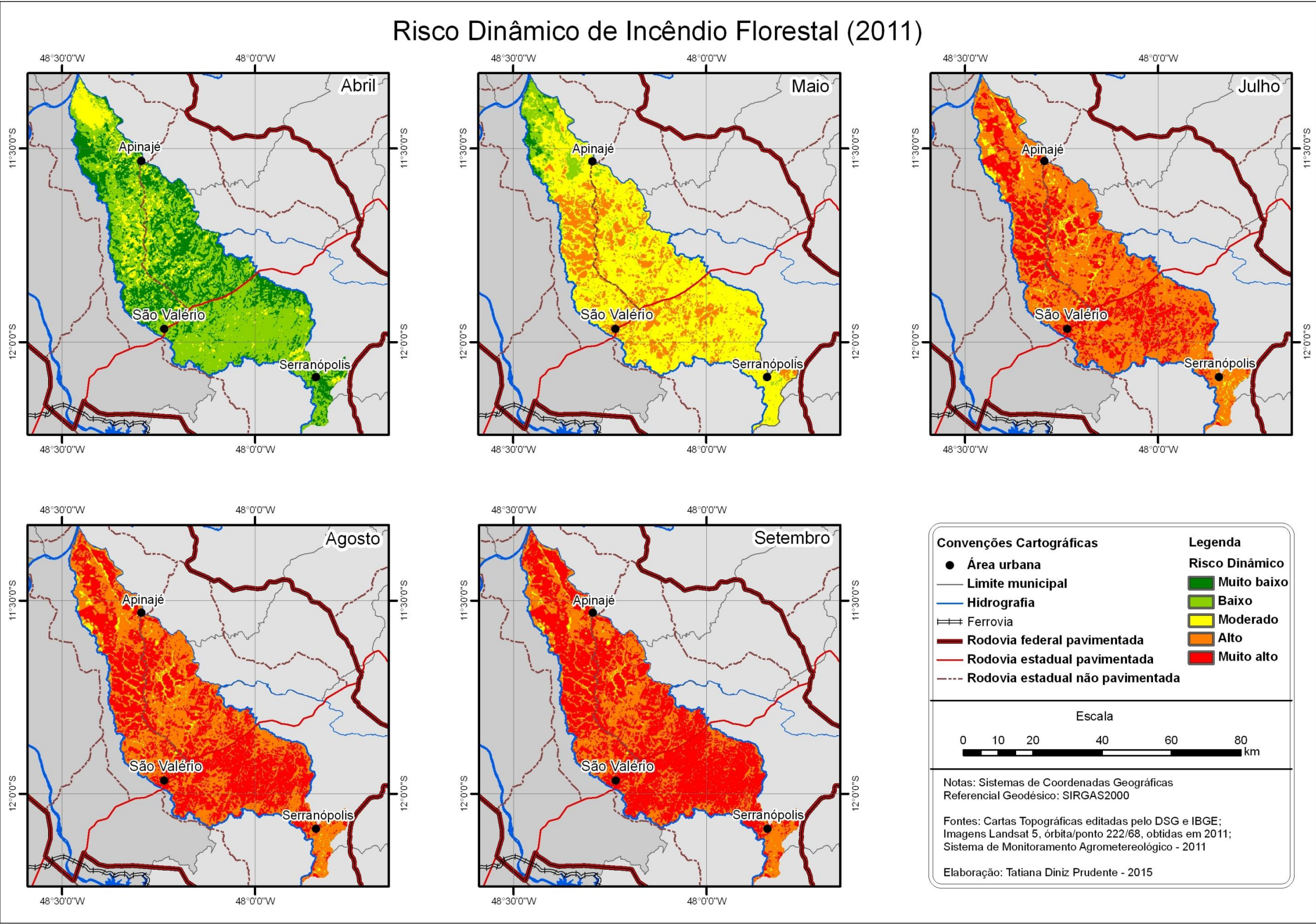
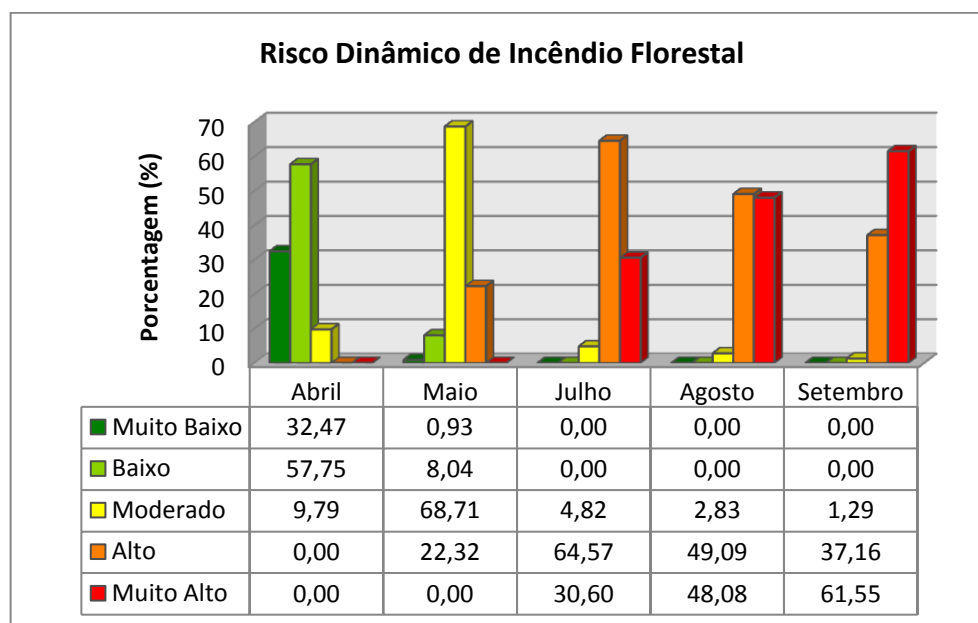


Tabela 27 - Área ocupada pelas classes de risco dinâmico de incêndio florestal

Risco Dinâmico	Abril		Maio		Julho		Agosto		Setembro	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Muito baixo	818,05	32,47	23,41	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixo	1454,96	57,75	202,55	8,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Moderado	246,58	9,79	1731,15	68,71	121,55	4,82	71,22	2,83	32,49	1,29
Alto	0,00	0,00	562,48	22,32	1626,98	64,57	1236,95	49,09	936,22	37,16
Muito alto	0,00	0,00	0,00	0,00	771,06	30,60	1211,42	48,08	1550,88	61,55
Total	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 21 - Área ocupada pelas classes de risco dinâmico de incêndio florestal



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Analisando os resultados apresentados quanto ao risco dinâmico de incêndio, observa-se que em abril a maior parte do município (57,75%) encontra-se na classe baixa de risco, sendo que nesse mês, a área não apresentou risco alto e muito alto de incêndio. Em maio, grande parte passou a apresentar risco moderado (68,71%), verificando decréscimo nas classes baixo e muito baixo e aumento da classe alto de risco incêndio.

Já a partir de julho, o município não apresenta mais as classes de risco muito baixo e baixo referente ao risco dinâmico de incêndio devido às condições meteorológicas da área. Em julho, já se observa áreas com risco muito alto. Em agosto, a maior parte do município continuou com risco alto e muito alto, contudo, houve um considerável aumento na classe muito alto, que passou de 30,60% em julho para 48,08% em agosto.

No mês de setembro, as duas classes mais críticas continuaram sendo alto e muito alto, porém, com aumento na última em detrimento da primeira. Esse comportamento é observado

porque apesar de setembro apresentar índice pluviométrico ligeiramente superior aos meses anteriores, a deficiência hídrica está em seus valores mais extremos em decorrência do longo período de seca.

A análise temporal dos mapas de risco dinâmico ilustra bem as condições meteorológicas e o estado da vegetação ao longo dos meses, tornando-se essencial no cálculo de risco, uma vez que se fossem consideradas apenas fatores estruturais, o município apresentaria poucas áreas com risco alto ou muito alto de incêndio, o que não condiz com a realidade local.

7 RISCO INTEGRADO DE INCÊNDIO FLORESTAL

Uma vez obtidos e analisados os resultados referentes ao risco estrutural e dinâmico de incêndio, procederá à sua integração.

O risco estrutural é responsável pela identificação das áreas mais propícias e vulneráveis à ocorrência e propagação de incêndios e aos seus efeitos no início da estação seca, enquanto que, durante esse estado, o risco dinâmico restringe aquelas áreas mensalmente de acordo com o estado da vegetação e das condições meteorológicas. Assim sendo, a integração desses dois índices é de extrema importância para o suporte às diferentes fases envolvidas na prevenção e mitigação de incêndios.

Neste sentido, foram criados dois grupos de fatores: “Risco Estrutural (RE)” em que as mudanças não variam rapidamente; e “Risco Dinâmico (RD)”, baseado em fatores que mudam quase que continuamente. Assim, nesse capítulo, o intuito é fazer a integração e a combinação do índice dinâmico com o índice estrutural para desenvolvimento de uma cartografia mensal de risco integrado de incêndio.

7.1 Procedimentos metodológicos

Os mapas de risco estrutural e dinâmico foram integrados utilizando combinação linear ponderada, gerando mapas com as classes muito baixo, baixo, moderado, alto, muito alto de risco integrado de incêndio, referentes aos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011.

O modelo de integração dos dados foi expresso pela seguinte equação:

$$RI = (RE \times 40) + (RD \times 60)$$

Em que:

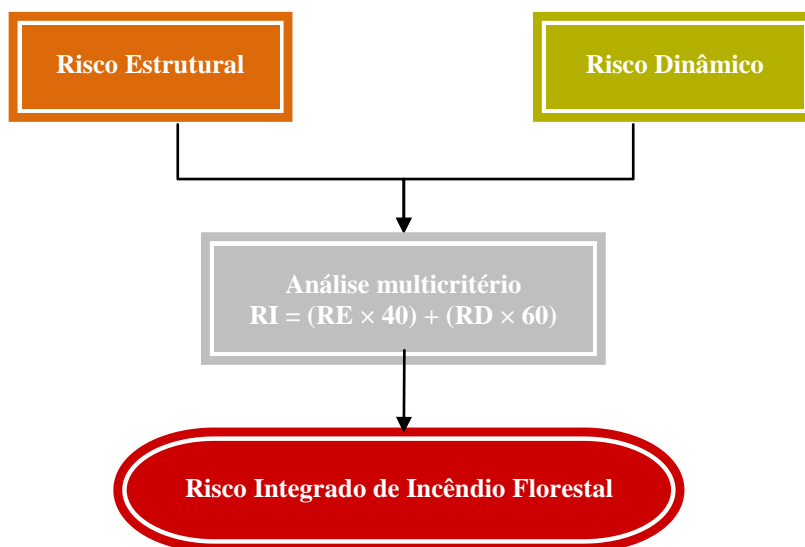
RI = Risco Integrado

RE = Risco Estrutural

RD = Risco Dinâmico

O risco dinâmico recebeu o maior peso (60) por conter fatores (precipitação, deficiência hídrica e NDVI) que detectam alterações nas condições de inflamabilidade dos combustíveis florestais. A figura 24 apresenta uma síntese das etapas de elaboração do risco integrado de incêndio.

Figura 24 - Fluxograma com as etapas de elaboração do risco integrado de incêndio



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Por fim, os mapas de risco integrado de incêndio florestal foram comparados aos focos de calor registrados pelo INPE no período de abril a setembro de 2011 e com a distribuição espacial dos incêndios florestais, detectados em imagens do satélite Landsat, no mesmo período.

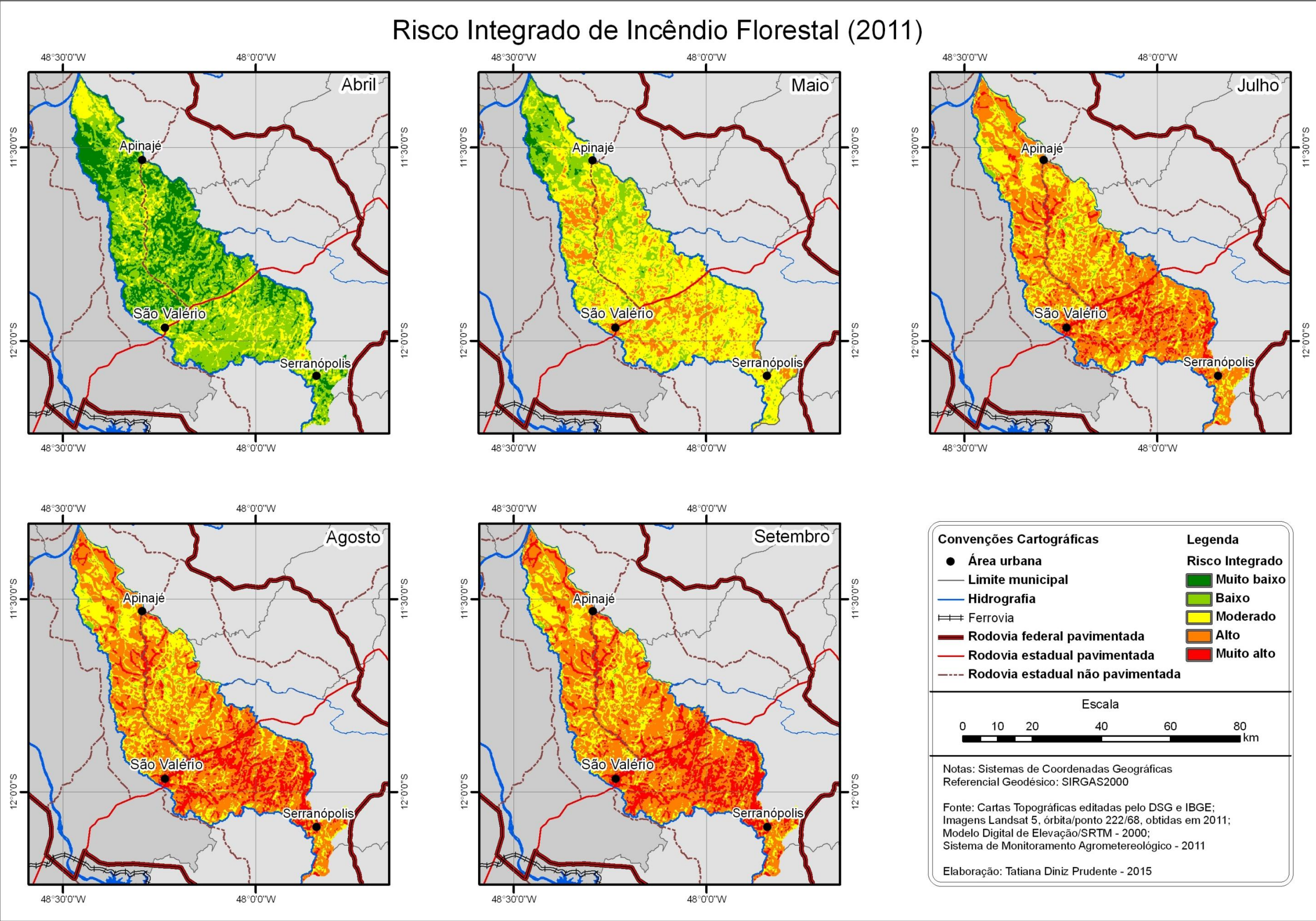
Vale expor que a expressão “focos de calor” é utilizada para interpretar o registro de calor captado na superfície do solo pelo sensor do satélite. Sendo que esse sensor capta e registra qualquer temperatura acima de 47°C e a interpreta como sendo um foco de calor, ressaltando-se que um foco de calor não é necessariamente um foco de fogo ou incêndio (IBAMA, 2000).

7.2 Resultados e discussões

A integração do mapa de risco estrutural com os mapas mensais de risco dinâmico resultou em mapas que representam, em cada ponto, todos os fatores somados, permitindo uma análise da situação de risco, para cada mês, facilitando a tomada de decisão. Cabe ressaltar que esta visão integrada torna-se importante pela dificuldade em se identificar regiões de risco pela análise isolada de cada fator, principalmente em grandes áreas com diversidade de fatores de risco.

Neste sentido, o risco integrado de incêndio florestal para os meses de abril, maio, julho, agosto e setembro do ano de 2011 são apresentados na figura 25.

Figura 25 - Mapas de risco integrado de incêndio florestal do município de São Valério - TO



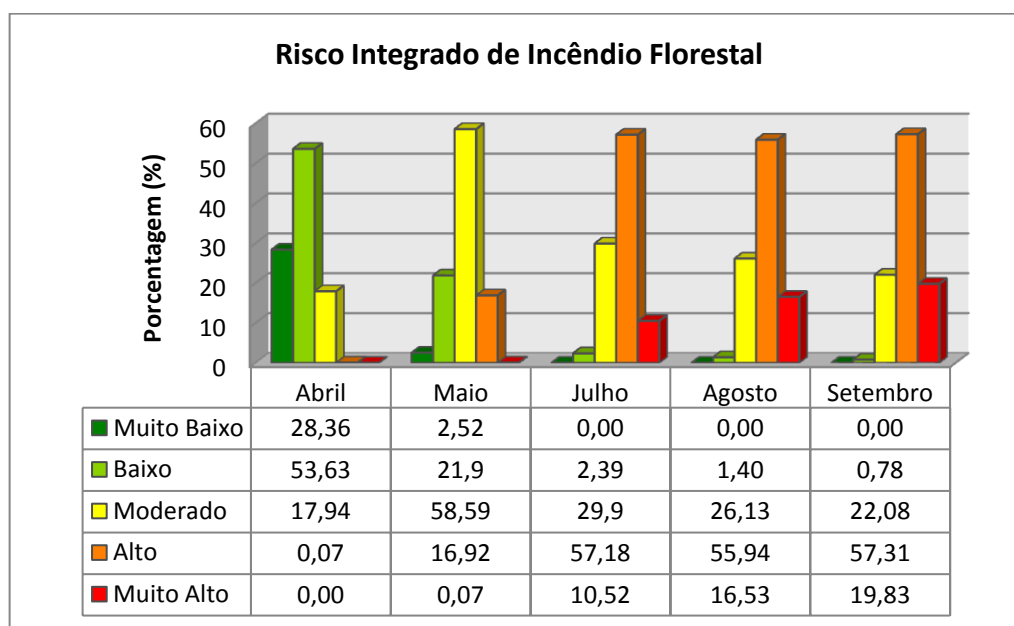
A tabela 28 e o gráfico 22 expõem a distribuição percentual das classes de risco integrado por mês para o ano de 2011. Assim, fazendo a análise dos dados expostos, verifica-se que agosto e setembro são os meses mais críticos em relação ao risco de incêndio.

Tabela 28 - Área ocupada pelas classes de risco integrado de incêndio florestal

Risco Integrado	Abril		Maio		Julho		Agosto		Setembro	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Muito baixo	714,60	28,36	63,55	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixo	1351,18	53,63	551,87	21,90	60,32	2,39	35,25	1,40	19,73	0,78
Moderado	452,01	17,94	1476,32	58,59	753,45	29,90	658,35	26,13	556,26	22,08
Alto	1,80	0,07	426,2	16,92	1440,80	57,18	1409,58	55,94	1443,98	57,31
Muito alto	0,00	0,00	1,65	0,07	265,02	10,52	416,41	16,53	499,62	19,83
Total	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00	2519,59	100,00

Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Gráfico 22 - Área ocupada pelas classes de risco integrado de incêndio florestal



Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Analisando os resultados apresentados quanto ao risco integrado de incêndio, observou-se que, em abril, a maior parte da área de estudo, apresenta risco muito baixo e baixo. Isso ocorre, pois, esse mês ainda apresenta precipitação expressiva, em média 121,3 mm, ressaltando também o fato da boa regularidade de chuva nos meses antecedentes (estação chuvosa).

Em maio, a classe moderado passa representar mais de 50% do município. Observa-se ainda uma diminuição nas classes muito baixo e baixo e um aumento nas classes alto e muito alto.

Já no mês de julho, observa-se que houve um considerável aumento na classe alto, que passou de 16,92% em maio para 57,18% em julho. Destaca-se também que a classe muito alto obteve 10,52% nesse mês.

Em agosto, a classe alto continuou representando mais de 50% da área de estudo, contudo, observa-se uma elevação na classe muito alto. Da mesma forma, em setembro, as classes de maior incidência são alto e muito alto, com acréscimos em relação ao mês anterior.

Um fato importante a ser destacado é que os meses de agosto e setembro são os que apresentam maior deficiência hídrica, e embora se observe que no mês de setembro há uma ocorrência considerável de precipitação, contudo a carência de umidade nos solos faz com que esse mês seja deficitário de água.

Analisando os mapas de risco, verifica-se que a região sudeste do município é a que apresenta riscos mais elevados de incêndio. Entre outros fatores, ressaltam-se que essa região é a que apresenta maior declividade na região estudada e que há predominância de Savana Parque (Sp), Pastagem Cultivada (Ap) e Savana Arborizada (Sa), que possuem grande quantidade de estrato herbáceo e gramíneas. A região também apresenta valores de precipitação mais baixos e de deficiência hídrica ligeiramente mais elevada que as demais áreas.

Com a finalidade de analisar a confiabilidade dos mapas de risco de incêndio, eles foram comparados com a localização dos focos de calor registrados pelo INPE nos meses de abril, maio, julho, agosto e setembro de 2011 e com a distribuição espacial dos incêndios florestais, detectados em imagens Landsat, no mesmo período de 2011.

Assim, a figura 26 apresenta os focos de calor registrados pelo INPE no período de abril a setembro de 2011 e o gráfico 23 elucida o número de focos de calor por classe de risco integrado de incêndio.

Figura 26 - Sobreposição dos focos de calor com os mapas de risco integrado de incêndio florestal do município de São Valério – TO

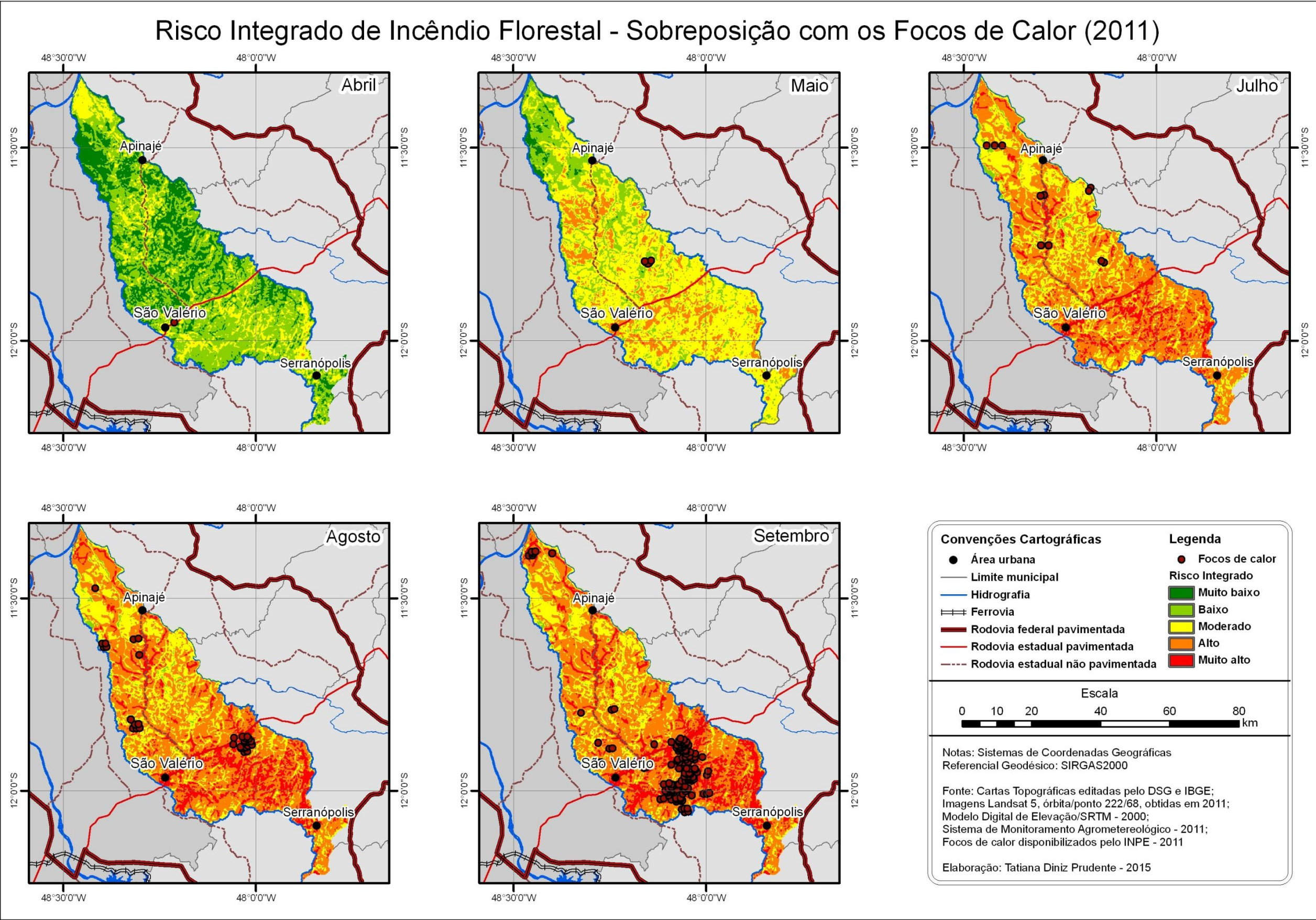
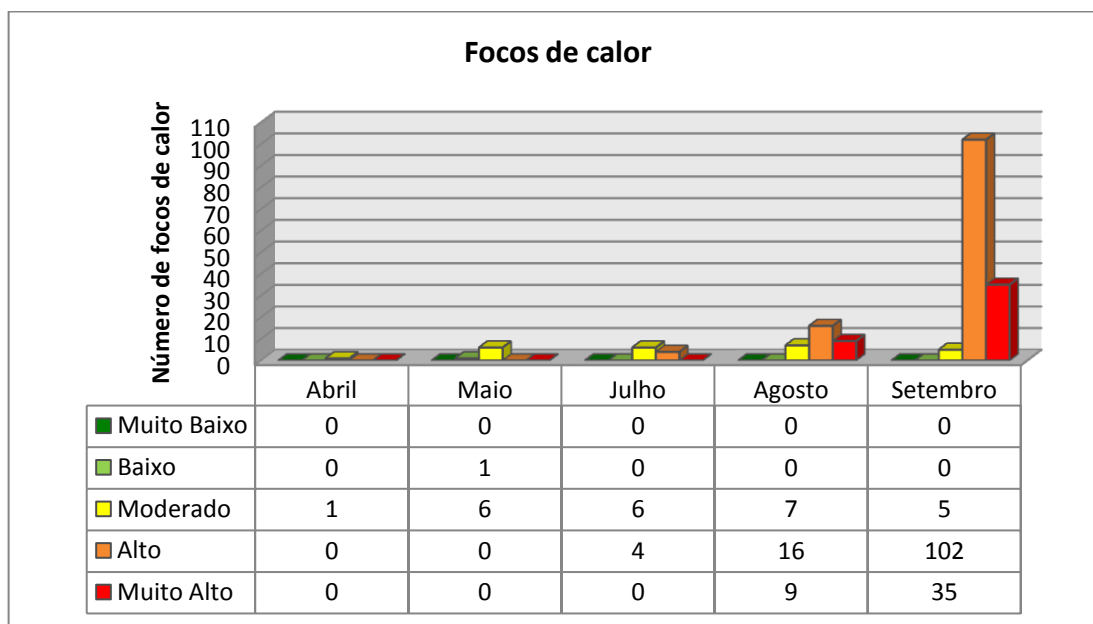


Gráfico 23 - Distribuição dos focos de calor por classe de risco integrado de incêndio



Fonte: INPE, 2011.
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

Em abril, maio e julho foram registrados poucos focos de calor, concentrando-se na classe moderado de incêndio. Já em agosto e setembro os focos de calor se concentraram na classe alto de risco de incêndio.

Indica-se que não ocorreram, nesse período, nenhum foco de calor na classe muito baixo e somente um foco na classe baixo de risco e incêndio.

A figura 27 apresenta sobreposição dos incêndios florestais detectados em imagens Landsat, no período de abril a setembro de 2011 com os mapas de risco integrado de incêndio para o mesmo período. O gráfico 24 apresenta a distribuição percentual das áreas atingidas por incêndios florestais em relação às classes de risco integrado de incêndio.

Figura 27 - Sobreposição dos incêndios florestais detectados em imagens Landsat com os mapas de risco integrado de incêndio florestal do município de São Valério – TO

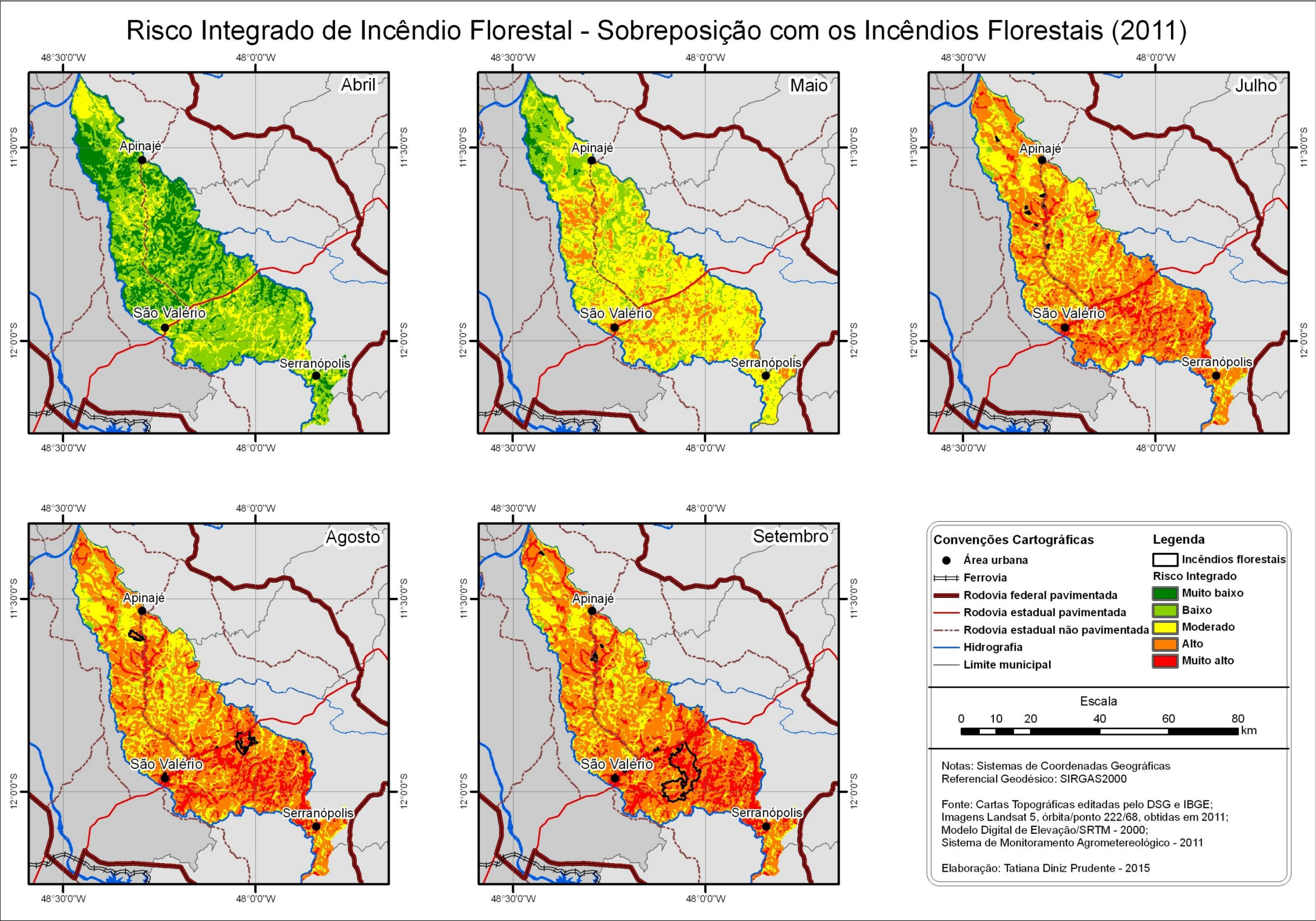
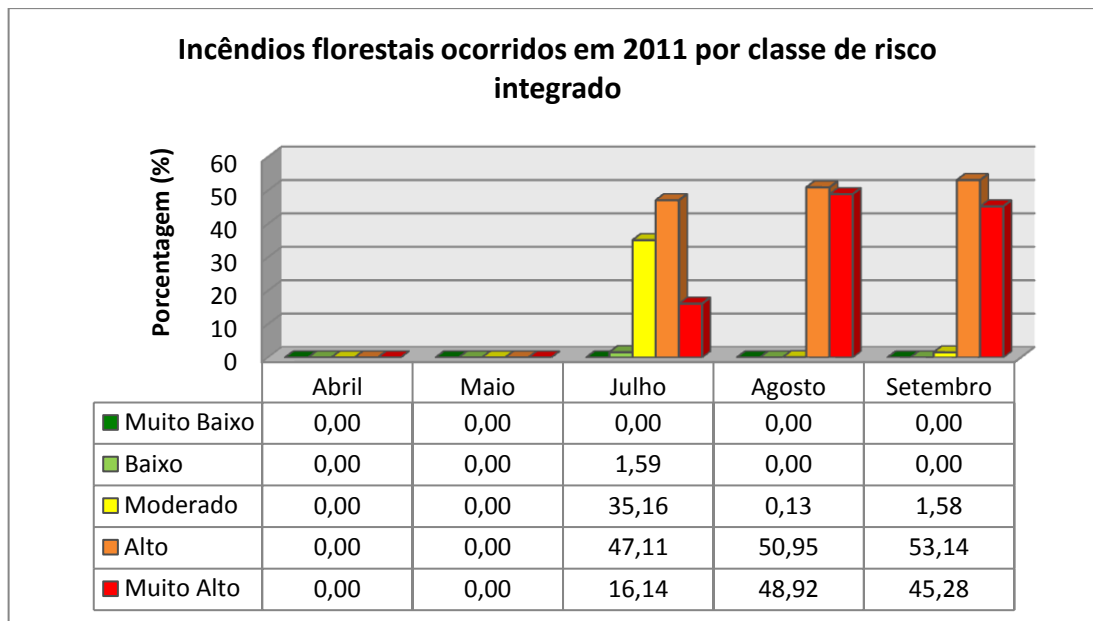


Gráfico 24 - Distribuição percentual das áreas atingidas por incêndios florestais em relação às classes de risco integrado de incêndio



Fonte: INPE, 2011.
Org.: PRUDENTE, T. D., 2015.

No mês de julho, os incêndios ocorreram em 35,16% na classe moderado de risco e 47,11% na classe alto de risco. Já no mês de agosto, a classe alto obteve 50,95% da área queimada, sendo que a classe muito alto obteve 48,92%.

Em setembro, a maior ocorrência de áreas queimadas (53,14%) foram registradas na classe alto de risco de incêndio e 45,28% na classe muito alto.

Novamente, observa-se que não ocorreram, nesse período, incêndios florestais na classe muito baixo e somente 1,59% na classe baixo.

Os resultados obtidos, tanto com a comparação com os focos de calor, como com os incêndios florestais detectados em imagens Landsat, validam a metodologia utilizada e os mapas de risco de incêndio.

É proeminente levar em conta que o risco indica quão propícia a vegetação está para ser queimada e que os incêndios na maioria dos casos são de origem antrópica. Assim sendo, apesar de se considerar as áreas próximas a estradas e áreas urbanas como de alto risco, é impossível prever o ponto onde desencadeará o fogo. Dessa forma, os mapas de risco, por vezes, não coincidem com a efetiva área queimada.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de modelagem para diagnóstico do risco de incêndio florestal em áreas de Cerrado, por meio da integração de um índice estrutural e outro dinâmico, buscando como resultado final o desenvolvimento de uma cartografia mensal de risco integrado de incêndio, apresentou resultados satisfatórios ao término desse estudo.

Apesar da metodologia ter sido aplicada em um município específico, ela foi elaborada com o desígnio de poder ser utilizada em outros municípios, unidades de conservação ou áreas inseridas no bioma Cerrado.

É importante salientar que todos os dados utilizados na metodologia proposta nessa tese para obtenção do risco de incêndio florestal são oriundos de sensoriamento remoto, que fornece dados de grandes áreas, em intervalos regulares, com maior rapidez na coleta e análise desses dados se comparados com métodos convencionais como medições diretamente em campo.

Assim, conforme exposto nos procedimentos metodológicos, foram utilizadas imagens do satélite Landsat para elaboração do mapa das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa e cálculo do NDVI. As imagens de radar SRTM foram usadas com o intuito de gerar a hipsometria, declividade e orientação das encostas. E, por fim, os dados de precipitação coletados do banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico são provenientes do satélite TRMM. Todos, dessa forma, advindos de sensoriamento remoto.

De acordo com os dados pesquisados e analisados foram consideradas como tendo alta suscetibilidade ao fogo as áreas que apresentaram as seguintes condições: a) áreas próximas a estradas e áreas urbanas; b) ocupadas com as classes de uso da terra e cobertura vegetal Savana Parque (Sp), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap); c) altitudes até 600m; d) declividades acima de 40%; e) orientação das encostas voltadas para o norte, nordeste e noroeste; f) precipitação mensal inferior a 25 mm; g) deficiência hídrica mensal superior a 80 mm; e h) valores de NDVI entre 0,00 – 0,25.

Por conseguinte, também foram analisados dados referentes à quantidade de dias sem chuva, ou seja, a duração da estação seca, sendo que esse período no município envolve em média 187 dias, compreendendo os meses de abril a outubro. É importante destacar que a área de estudo apresentou maior risco de incêndio nos meses de agosto e setembro, certamente pelo fato desses meses suceder um longo período sem chuvas em que a vegetação se encontra bastante seca.

Diante das condições apresentadas, observou-se que a região sudeste do município de São Valério foi considerada a mais crítica, como também as áreas próximas de estradas e áreas urbanas. Nesse sentido, deve-se direcionar atenção especial a esta região e as áreas que apresentam maior concentração e acesso de pessoas.

Tendo em vista que a maioria dos incêndios florestais são ocasionados pelo homem, intencionalmente ou não, podem-se atenuar essas ações por meio da educação ambiental, da implantação de leis mais rigorosas, até mesmo da proibição de acesso público em áreas consideradas de maior risco.

A metodologia proposta permite o desenvolvimento de três produtos cartográficos (mapas de risco estrutural, dinâmico e integrado) com características diferentes, que podem ser usados em conjunto ou separadamente para suporte às diferentes fases envolvidas na prevenção e mitigação de incêndios.

O risco estrutural de incêndio é responsável pela identificação das áreas mais propícias e vulneráveis à ocorrência e propagação de incêndios, enquanto que o risco dinâmico de incêndio restringe as áreas de acordo com o estado da vegetação e das condições meteorológicas. Como o risco estrutural de incêndio baseia-se na combinação de fatores que não sofrem alterações num curto espaço de tempo, a sua atualização pode ser realizada com um intervalo de um ou mais anos. Já o risco dinâmico precisa de atualizações frequentes (mensal, semanal ou diária).

Embora a metodologia proposta tenha apresentado um bom desempenho na elaboração dos mapas de risco de incêndio, alguns problemas identificados ao longo do desenvolvimento do estudo comprometeram a obtenção de um resultado mais aprimorado ou que retratasse melhor a dinâmica espacial da região. Dentre as dificuldades encontradas, indica-se a obtenção das imagens em datas específicas, sendo que a resolução temporal desse satélite é de 16 dias. Outro fator é a baixa densidade de estações meteorológicas de superfície no país e também de informações e banco de dados de registros de incêndios. Por fim, como percalço, cita-se também a exígua atualização e disponibilidade de bases cartográficas no país.

A finalização desse trabalho não indica que todo o processo de desenvolvimento, aplicação e análise dos resultados da metodologia de diagnóstico do risco de incêndio florestal aplicada em áreas de Cerrado, esteja esgotado. Ainda há espaço para aprimoramentos metodológicos como a inclusão de novas informações, que não foram consideradas neste estudo, tais como: umidade relativa do ar, número de dias sem chuva e velocidade do vento. Destaca-se também a importância da construção de bancos de dados para que se possam fazer estudos comparativos ao longo dos anos.

Enfim, ressalta-se que o desenvolvimento de uma metodologia específica para o Cerrado, utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto é de grande utilidade para auxiliar no planejamento da prevenção e combate a incêndios neste bioma, uma vez que possibilita uma análise espacial e temporal, facilitando tomadas de decisão e a elaboração de ações estratégicas. Logo, com as informações apresentadas nos mapas de risco de incêndio, é possível ordenar medidas preventivas, tais como aumento da vigilância nas áreas de risco, de forma que haja uma restrição de acesso a esses locais, alocação de recursos em pontos estratégicos e também auxiliar no planejamento de estratégias de combate.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. M. de S.; CAMARGO, A. J. A. de. **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 249 p.

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/index.php>> Acesso em: 11 abr. 2015.

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço – Cerrado: impactos do processo de ocupação**. Brasília: Fundo Mundial para Natureza, 1995. 66p.

ASSUNÇÃO, W. L. Caracterização das condições climáticas no entorno do condomínio agrícola Cana Forte - Uberaba (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 8., 2008, Alto Caparaó. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, 2008. p. 81-97.

ASSUNÇÃO, W. L. Metodologia para a definição da duração das estações seca e chuvosa na região dos cerrados do Brasil Central – Primeira aproximação. In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 2013, Peru: **Anais...** Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2013.

ASSUNÇÃO, W. L.; D'ALMEIDA, K. S. P. Estudo do Comportamento da Variabilidade Pluviométrica no Município de Patrocínio (MG), com o Emprego do Balanço Hídrico Climatológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6., 2004, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2004. p. 1-14.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332 p.

BAMBINI, M. D. et al. Sistema Agritempo: Rede de Inovação em Agrometeorologia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2014. v. 1. p. 253-256.

BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento espacial de biomassa carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006. 131f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BARDIM, L.; CAMARGO, M. B. P.; BLAIN, G. C. Validação dos dados de precipitação pluvial estimados pelo satélite TRMM para o Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Anais...** Guarapari: SESC Centro de Turismo de Guarapari, 2011.

BATISTA, A. C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamentos de *Pinus taeda***. 1984. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 30, p. 45-54, 2000.

BONAZOUNTAS, M. et al. Fire risk analysis. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 11, p. 617-626, 2005.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BRASIL. Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm>. Acesso em: 20 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 20 ago. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Referências Metodológicas para Mapeamentos de Riscos Naturais na Amazônia**: mapeando vulnerabilidades. Brasília, 2012. 62 p.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de Uma revisão analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CARAPIÁ, V. R. **Predição do índice de risco de incêndio e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no Parque Nacional da Floresta da Tijuca**. 2006. 177 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CARRÃO, H. et al. Carta de Ocupação do Solo e Avaliação do Estado da Vegetação com Imagens de Satélite para Prevenção de Fogos Florestais. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 7. 2002, Oeiras, Portugal. **Anais...** Oeiras, Portugal, 2002.

CHEN, K.P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: Integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modelling & Software**, v.16, n.4, p.387-397, 2001.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R.G. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 29, p. 147-159, 1989.

CORIOLOANO, A. C. F. **Reavaliação de critérios estruturais na hidrogeologia de terrenos cristalinos, com ênfase na neotectônica e sensoriamento remoto.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

COUTINHO, A. C. **Segmentação e Classificação de Imagens LANDSAT – TM para o Mapeamento dos Usos da Terra na Região de Campinas, SP.** 1997. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. **ECOLOGICAL studies: Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges**, Berlin: Springer-Verlag, v. 84, p. 82-105, 1990.

COUTINHO, L. M. **Cerrado:** Por Leopoldo Magno. Disponível em: <http://www.eco.ib.usp.br/cerrado/aspectos_solo.htm> Acesso em: 12 out. 2012.

DEPPE, F. et al. FIRESIG - Sistema de suporte a tomada de decisão para o combate a incêndios no Paraná. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 34, n. 2, p.157-162, mai./ago. 2004.

EASTMAN, J. R. **Decision support:** decision strategy analysis: Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22p.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.) **Cerrado:** Caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994. p. 17-73.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Glossário.** 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinheiro-do-Parana/CultivodoPinheirodoParana/21_glossario_araucaria.htm>. Acesso em: 15 dez. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Satélites de monitoramento** Disponível em: < <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/> >. Acesso em: 15 mai. 2015.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FELGUEIRAS, J. J. S. **Evolução do Risco de Incêndio Florestal.** 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos Naturais) - Universidade do Porto, Porto, 2005.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 53, p. 39-48, 1998.

FERREIRA, N. J. (Coord.) **Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 271 p.

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

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M. R. **Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares**. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 2002.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. Savanas Tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. cap. 2, p. 47-77.

GOIÁS. Lei nº 10.420, de 01 de janeiro de 1988. Dispõe sobre a criação do Município de São Valério da Natividade e dá outras providências. Disponível em: http://www.gabinetecivil.go.gov.br/leis_ordinarias/1988/lei_10420.htm. Acesso em: 20 jul. 2014.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programa Nacional de Conservação e Desenvolvimento Florestal Sustentado**. Brasília, 1991. 95p.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria nº 94-N, de 9 de julho de 1998. Regulamenta a sistemática da queima controlada. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo/legislacao>. Acesso em: 10 nov. 2013.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. 2000. Disponível em: <http://br.geocities.com/ibamapr/prevfogo.htm>. Acesso em: 20 nov. 2013.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Ocorrência de Incêndios em Unidades de Conservação Federais 2006**. Brasília. 2007. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>. Acesso em: 28 nov. 2012.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Prevfogo**. Brasília. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>. Acesso em: 28 jun. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Exploratório de Solos do Estado do Tocantins**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html> >. Acesso em: 20 set. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: IBGE (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1), 2012.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas 1980 a 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 28 mar. 2015.

KUMMEROW, C. et al. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 39, p. 1965-1982, 2000.

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

LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989.

MACEDO, F. W.; SARDINHA, A. M. **Fogos Florestais**. Lisboa: Livraria Escolar, 1993.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1999. 392 p.

MIRANDA, H. S.; SILVA, E. P. R.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. DE SOUZA (Org.). **Impactos de queimadas em áreas de Cerrados e Restinga**. Brasília: Universidade de Brasília, 1996. p. 1-10.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 345, de 15 de setembro de 1999. Dispõe sobre a emissão de autorizações para o emprego do fogo como método despalhador e facilitador do corte de cana de açúcar. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo/legislacao>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.2899-2906.

NASCIMENTO, M. A. L. S. O meio ambiente físico do Cerrado: revisitando a produção teórica pioneira. In: ALMEIDA, M. G. (Org.) **Abordagens geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade**. Goiânia: IESA, 2002. p. 47-89.

NEVES, B. M. C.; MIRANDA, H. S. Temperatura do solo em um campo sujo de cerrado durante uma queimada prescrita. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 8., 1996, Brasília. **Anais do VII Simpósio sobre Cerrado: Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados e proceedings do 1 International Symposium on Tropical Savannas: Biodiversity and sustainable production of food and fibers in the Tropical Savannas**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1996. p. 396-399.

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

OLIVEIRA, A. G.; ASSUNÇÃO, W. L. Caracterização da duração das estações seca e chuvosa no município de Itapuranga – GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 9. 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010. p. 1-14.

OLIVEIRA, D. S. et al. Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p.217-221, mai./ago. 2004.

PEREIRA JÚNIOR, A. C. **Métodos de Geoprocessamento na Avaliação da Susceptibilidade do Cerrado ao Fogo**. 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências da área de

Concentração em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

PINTO, M. N. (Org.) **Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1994. 681 p.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (Org.) **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, 2001. p. 157-199.

PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. **Levantamento dos remanescentes da cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/bio>> Acesso em: 20 mai. 2012.

PRUDENTE, T. D.; ROSA, R. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal do município de Tupaciguara-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12., 2007, Natal. **Anais...** Natal: SBGFA, 2007.

PRUDENTE, T.D.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à análise de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 2951-2958.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Barueri: Manole, 1990. 188 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. cap. 3, p. 87-166.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.) **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. v.1, cap. 6, p. 151-199.

RIBEIRO, L. **A Pressão Antrópica e os Riscos de Incêndios Florestais no Município de Novo Mundo, Amazônia Mato-Grossense**. 2009. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

RIBEIRO, L. et al. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 561-572, jul./set. 2008.

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

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço hídrico normal por Thorntwaite e Mather (1955)**. Piracicaba: ESALQ/USP – Departamento de Ciências Exatas: Área de Física e Meteorologia, 1999.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, n.16, p. 81-90, 2005.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 262 p.

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

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

ROTHERMEL, R. C. **A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper INT-115, 1972.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 556 p.

SANTOS, A. R. **ArcGIS 9.1 total: Aplicações para Dados Espaciais**. Vitória: FUNDAGRES, 2007. 226 p.

SANTOS, J. G.; ASSUNÇÃO, W. L. Caracterização e duração das estações seca e chuvosa nos municípios de Chapadão do Sul e Costa Rica (MS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 14., Dourados. **Anais...** Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), 2011.

SETZER, A.; PEREIRA, M. C.; PEREIRA JÚNIOR, A. C. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, São José dos Campos, v.7, n.8, p.41-53, ago. 1992.

SILVA, D. F.; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M. B. P. Análise de dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o vale do médio Parapanema – SP. **REVENG - Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 138-147 mar./abr. 2013.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-221, mar./abr. 2008.

SISMANOGLU, R. A. E SETZER, A. W. Risco de Fogo para a vegetação da América do Sul: Comparação de duas versões para 2003. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais – Controle e Uso do Fogo**. Curitiba: FUPEF, 1985. 213p.

SOARES, R. V. **Os incêndios florestais no Brasil: problemas e perspectivas**. Curitiba: Floresta, 1994. 104 p.

SOARES, R. V. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” Índice Brasileiro de Perigo de Incêndios Florestais. **Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p.87-99, 1998.

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

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. 2. ed. Curitiba: FUPEF, 2008. 55p.

SOUSA, S. B. et al. Análise comparativa entre dados TRMM e estações pluviométricas no Pantanal brasileiro: ano base 2006. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013. p. 6945-6952.

SUPERBI, D. H. A.; PRUDENTE, T. D.; GRACELLI JÚNIOR, G. Comparação entre Fidelidades Altimétricas da Carta Topográfica IBGE 1:100.000 e Modelos Digitais de Elevação SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6., 2007, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2007. p. 01-05.

THOMÉ, R. **Interoperabilidade em Geoprocessamento**: Conversão entre Modelos Conceituais de Sistemas de Informação Geográfica e Comparação com o Padrão Open Gis. 1998. 200 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

TOCANTINS. Lei nº 1.865, de 14 de dezembro de 2007. Altera a denominação do município de São Valério da Natividade. Disponível em: <<http://www.al.to.gov.br/legislacaoEstadual>> Acesso em: 20 jul. 2014.

TORRES. A. O. **O Fogo controlado na prevenção de Fogos Florestais**. Lousã: Instituto Superior de Agronomia, 1979.

TUCKER C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**. v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

TUCKER C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**. v. 7, n. 11, p. 1395-1416, 1986.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2, Recife, 2006. 449 p. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf> Acesso em: 06 mai. 2013.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 111-115, dez. 1998.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1991. 449 p.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: pion., 1983.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>> Acesso em: 03 fev. 2015.