



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

**ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS NO
DISTRITO FEDERAL**

ALINE MARCIMIANO DE LIMA

ORIENTADOR: PROF. DR. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI

Brasília-DF, 04 de dezembro de 2017.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS NO DISTRITO FEDERAL

Discente: Aline Marcimiano de Lima, Matrícula: 10/0006426
Linha de pesquisa: Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto
Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido T. Matricardi

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

Brasília-DF, 04 de dezembro de 2017.



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS NO DISTRITO FEDERAL

Estudante: Aline Marcimiano de Lima
Matrícula: 10/0006426
Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido T. Matricardi
Menção: SS

Prof. Dr. Eraldo Aparecido T. Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Oliveira Gaspar
Universidade de Brasília - UnB
Membro da Banca

Máira Beatriz Teixeira da Costa
Mestranda
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Brasília-DF, 4 de dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Força criadora do Universo e pela oportunidade de estar aqui na Terra desfrutando de suas belezas e aprendendo muitas coisas. Agradeço ao meu pai Luiz Iramar e a minha mãe Creuza, por todo amor, carinho, suporte e investimento a mim confiado. Aos meus amigos e amigas Natanna, Geovana, Joanna, Alan, Jéssica, Fernando Carvalho, Ana, Sabiá, Magno e a tantos outros os quais fazem a vida mais bela e divertida, em momentos na mureta do IDA e na frente do RU. E em especial ao Alessandro pelo amor e companheirismo. À Gabriela Bentes pelo apoio nas horas mais difíceis e pela luz a mim enviada. Ao centro Acadêmico de Ciências Ambientais pelos bons momentos e amizades durante a viagem ao Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Ao pessoal da Estação da Luz pela participação na Caravana da Luz no assentamento Silvio Rodrigues em Alto Paraíso. Meus mestres de capoeira Cobra e Mancha, que me ensinam a ter força, resistência e malícia na vida. Ao mestre Zé do Pife por me ensinar sobre a simplicidade da vida em cada nota de seu pife. Ao professor Umberto Euzébio que me recebeu na Associação de Estudantes Indígenas da universidade, me ajudou a entender os desafios que temos no nosso país e que precisamos de um grande coração e disposição para mudar aquilo que precisa ser mudado. Ao CNPq pelas diversas oportunidades a mim cedidas, como o Ciência Sem Fronteiras e bolsa de Iniciação Científica (Pibic) que me ajudaram na minha formação profissional pessoal. Ao apoio do Prof. Dr. Thiago durante momento em que pesquisei no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), e a toda equipe que me recebeu amavelmente no IBAMA. Ao professor Reginaldo pelo apoio durante a minha graduação. Ao Niro Higushi e a equipe do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), pela oportunidade através do curso de manejo florestal na Amazônia. E, em especial, ao professor Dr. Eraldo Matricardi pelo apoio, carinho, atenção e paciência a mim destinado e por ter me apoiado até para a realização dessa conquista entres outros momentos. Enfim, à todas e a todos que fizeram parte em algum momento dessa caminhada e contribuíram para meu conhecimento e transcendência nessa vida.

Gratidão!

*“Abelha fazendo mel
Vale o tempo que não voou
A estrela caiu do céu
O pedido que se pensou
O destino que se cumpriu
De sentir seu calor e ser todo
Todo dia é de viver
Para ser o que for e ser tudo”*

Beto Guedes

RESUMO

Os incêndios em áreas naturais são fenômenos periódicos e causam severos impactos ambientais e socioeconômicos em todo o Brasil. Na estação seca, onde há um maior acúmulo de biomassa, redução da umidade do ar e aumento da temperatura, a ocorrência do fogo é abrangente e intensa, especialmente em regiões mais predispostas ao fogo, como é o caso do bioma Cerrado. O presente estudo buscou desenvolver uma proposta de zoneamento de risco de incêndios para todo o território do Distrito Federal. Para isso, foram utilizados os produtos MCD45A1 e MCD13Q1 do sensor MODIS de detecção de cicatrizes de queimadas e índice de vegetação, respectivamente, para o período entre 2000 e 2016. A relação entre áreas atingidas por fogos e variáveis espacialmente explícitas (distância de estradas, de núcleos urbanos, longitude, latitude, altitude, orientação de encostas, declividade e índice de vegetação), com efeitos potenciais na ocorrência de incêndios florestais na área de estudo, foram avaliadas com o modelo probabilístico Probit. A partir dos resultados de probabilidade do modelo Probit, foram definidos pesos para cada variável espacial utilizada para ajustar os níveis de riscos de incêndios às características e condições locais. As variáveis que afetaram significativamente (a 95% de probabilidade) a ocorrência dos incêndios na área de estudo foram: declividade, índice de vegetação, proximidade de rodovias, altitude e longitude. Por fim, foram definidas zonas de riscos de ocorrência e propagação do fogo no Distrito Federal. Com base no modelo de zoneamento proposto, estima-se que aproximadamente 28% do território do Distrito Federal foram considerados de alto e moderado risco de incêndios, respectivamente, as áreas classificadas com risco extremo (~9%) e muito alto (~23%) estão localizadas no entorno e dentro de áreas protegidas no Distrito Federal. Os resultados deste estudo ampliam o entendimento da ocorrência e propagação de eventos de fogo no Distrito Federal. Com isso, será possível a melhor definição de estratégias para prevenção e combate aos incêndios florestais na vegetação do cerrado, com destaque as áreas protegidas e seus entornos.

Palavras-chave: Geoprocessamento, incêndios florestais, zoneamento de risco, Cerrado, MODIS.

ABSTRACT

The fires in natural areas are periodical phenomena and cause serious environmental and socioeconomic problems in all Brazil. In the dry season, where there is a greater accumulation of biomass, reduction of the humidity of the air and increase of the temperature the occurrence of the fire is extensive and severe, especially in regions predisposed to the fire, as is the case of the Brazilian Cerrado. The present study seeks to develop a fire risk zoning for the whole territory of the Federal District. As a result, was developed the risk zoning of forest fires for the Federal District, establishing zones of risks of occurrence and propagation of fire events. Surface reflectance images of the MODIS sensor were evaluated to detect burn scars (MCD45A1 product) and vegetation index (MCD13Q1 product) over a period of 16 years (2000-2016). The intersection of the burned areas with spatial location variables (distance of roads, urban, longitude and latitude), and environmental (altitude, slope orientation, slope and vegetation index) were performed using the Probit model, in order to define those that most influence the occurrence of forest fires. Then, based on the bibliographic review and the data collected, classification tables were prepared according to the fire risk for each of the variables under study. Weights were defined for each variable to adjust risk levels to local characteristics and conditions. As a result, the risk zoning of forest fires for the Federal District was developed, establishing zones of risks of occurrence and propagation of fire events. According to the Probit model, the variables that affected the occurrence of fires in the area, at 95% of probability, were: slope, vegetation index, proximity to highways, altitude and longitude. According to the proposed zoning model, it was observed that the majority of the area was classified as moderate (27.9%) and high (27.12%). The areas classified as extreme risk (8.45%) and very high (22.64%) are located in a region where the main Conservation Units and Environmental Parks of DF. The results of this study allowed the best spatial understanding of the occurrence and propagation of fire events, with emphasis on protected areas and their environments.

Keywords: Geoprocessing, forest fires, risk zoning, Cerrado, MODIS.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA	2
3. OBJETIVOS	2
3.1. Objetivo Geral	2
3.2. Objetivos Específicos	2
4. REVISÃO DA LITERATURA	2
4.1. O bioma Cerrado	2
4.2. A ocorrência de fogo no cerrado	3
4.3. A ocupação do Cerrado	4
4.4. O Distrito Federal e histórico de incêndios florestais	5
4.5. Fatores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais	6
Fator humano:	6
Fator cobertura vegetal e material combustível:	7
Fator topografia:	7
4.6. Uso de satélites e sensoriamento remoto	8
4.7. Detecção e avaliação de queimadas	8
Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NVDI):	9
Sensor Modis e seus produtos:	11
Modelo probabilístico espacial:	12
Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no mapeamento de risco de incêndios:	13
5. MATERIAIS E MÉTODOS	14
5.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo	14
5.2. Metodologia	15
O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas:	15
Base de dados e sistemas de processamento de dados:	15
Análise das áreas queimadas e índice de vegetação	16
Análise probabilística	16
Modelagem do Risco de Incêndios Florestais	20
Atribuição de escores de risco de incêndios para as variáveis	20
Atribuição de Pesos para as variáveis	21
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6.1. Análise probabilística	21
Escore de risco de incêndios para as variáveis	26
Pesos das variáveis	32
6.2. Zoneamento de risco de ocorrência e propagação dos incêndios florestais	33
7. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O mapa acima ilustra a localização do território do Distrito Federal no contexto do território do Brasil.	14
Figura 2. Mapeamento das áreas queimadas no período de 2000 a 2015. A área VERDE refere-se às áreas em que não ocorreu incêndio e a área em VERMELHO refere-se às áreas onde foram identificados focos de incêndios para cada ano avaliado.	18
Figura 3. Distrito Federal e as variáveis ambientais e antrópicas: (a) índice de vegetação (EVI) (b) altitude em metros (c) ângulo de orientação do relevo em graus (d) ângulo de declividade do terreno em graus (e) malha viária do Distrito Federal (f) Centros urbano do Distrito Federal. ...	19
Figura 4. Pontos aleatórios selecionados na malha vetorizada de 2 km x 2 km sobre a cena de focos de incêndios obtidos do produto MCD45A1 para o ano 2011.	20
Figura 5. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação da declividade (graus).	23
Figura 6. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação da altitude (metros).	23
Figura 7. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação do EVI.	24
Figura 8. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação da distância de estradas (m).	25
Figura 9. Probabilidade da ocorrência dos incêndios florestais para os anos 2001, 2002, 2004, 2007, 2010 e 2011.	25
Figura 10. Classificação de risco de incêndio segundo o índice de vegetação do DF.	27
Figura 11. Classificação de risco de incêndio segundo a altitude do DF.	28
Figura 12. Classificação de risco de incêndio segundo a declividade do DF.	29
Figura 13. Classificação de risco de incêndio segundo a orientação do relevo do DF.	30
Figura 14. Classificação de risco de incêndio segundo a distância de centros urbanos do DF e entorno.	31
Figura 15. Classificação de risco de incêndio segundo a distância de estradas do DF e entorno.	32
Figura 16. Zoneamento de ocorrência e propagação de incêndios florestais no Distrito Federal, com destaque para a zona com maior concentração de risco.	33
Figura 17. Relação entre o zoneamento de risco de incêndio e a frequência de queimadas ocorridas entre os anos de 2000 a 2016.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados vetoriais utilizados no trabalho	15
Tabela 2. Resultados da regressão Probit.	22
Tabela 3. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos ao EVI.	26
Tabela 4. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a altitude (m).	27
Tabela 5. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a declividade (m).	28
Tabela 6. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a orientação do relevo (graus). ...	29
Tabela 7. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a distância de centros urbanos (m).	30
Tabela 8. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a distância de estradas (m).	31
Tabela 9. Pesos atribuídos as variáveis de influência no zoneamento de risco de incêndio.	32
Tabela 10. Classificação das áreas de risco de incêndio segundo o zoneamento desenvolvido para o Distrito Federal.	34
Tabela 11. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação do ângulo de inclinação do relevo (declividade) do DF.	44
Tabela 12. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação da altitude (metros) do DF.	45
Tabela 13. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação do índice de vegetação do DF.	46
Tabela 14. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação da distância de estradas do DF.	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Enhanced Vegetation Index	11
Equação 2. Modelo Probit	12
Equação 3. Probabilidade da ocorrência de incêndios.....	13

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios em áreas naturais respondem por impactos negativos ao ser humano e ao meio ambiente. Através das perdas econômicas, impactos na saúde humana, redução da qualidade do ar, impacta o solo, à fauna e à flora local (BATISTA, 2004). Quando ocorrem próximo às áreas urbanas, os incêndios podem ser percebidos diretamente pela população em consequência da fumaça, a baixa visibilidade, o trânsito das ruas e rodovias e a paralisação das aulas e expedientes em locais com grandes concentrações de pessoas (ZACHARIAS, 2013).

Embora o fogo seja um fator ambiental histórico e determinante da vegetação do Cerrado, a partir da década de 60 houve uma intensa ocupação antropogênica do bioma, estimulado pela transferência da capital para a região central do Brasil (TEODORO, 2014). Como consequência da exploração irracional e do uso indiscriminado do fogo, houve um aumento de sua frequência e área de ocorrência, afetando a estrutura e composição florística da vegetação, favorecendo o desaparecimento de muitas espécies nativas (NETO et al., 2017; FIEDLER et al., 2004).

As principais causas dos incêndios florestais são devido a queima para limpeza (responsável por 63,7% dos casos), queima criminosa (14,7%), fogos de recreação ou acidental (11,6%), diversos (4,4%), fumantes (2,9%), estradas de ferro (0,5%), queimas de origem natural, como raios, (0,2%) (SOARES, 1992). No entanto, no bioma Cerrado, a maior incidência está relacionada às atividades antrópicas visando expansão agropecuária e agrícola (FIEDLER et al., 2006).

No Distrito Federal os incêndios florestais são considerados um grande problema socioambiental. Todos os anos são detectados no Distrito Federal focos ativos de incêndio, principalmente nos períodos de clima mais seco, que ocorrem geralmente de junho a outubro (INPE, 2015). Para se ter ideia, em 2014, foram detectadas 3.837 ocorrências de incêndios florestais, que atingiram diretamente 7.415 hectares de vegetação do cerrado (GPRAM, 2015).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo analisar o risco de incêndios no Distrito Federal, utilizando variáveis espacialmente explícitas que podem influenciar a ocorrência e propagação do fogo na região, definindo diferentes zonas de risco para estabelecer estratégias de prevenção, controle e combate.

2. PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA

O Cerrado é um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, sendo que 44% da flora é endêmico, entretanto, a preservação desse bioma encontra-se ameaçada, em função do desmatamento e incêndios florestais. O Distrito federal está localizado na região central do Cerrado, onde é frequente a ocorrência de incêndios que requerem medidas de prevenção e combate, no entanto, essas medidas devem ser priorizadas e concentradas em áreas mais críticas. A partir desta problemática, a presente proposta de pesquisa foi norteada pelas seguintes questões: Quais os principais fatores que influenciam a ocorrência e propagação de incêndios em áreas naturais no Distrito Federal? Onde estão localizadas as áreas de maior risco de incêndios sobre a vegetação de cerrado?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Definir zonas de risco de incêndios florestais no Distrito Federal através de modelos probabilísticos e entender os fatores que influenciam essa ocorrência.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar as áreas atingidas por fogo no Distrito Federal, no período de 2009 a 2016, utilizando dados do produto MODIS MCD45A1;
- Estimar o índice de vegetação (NVDI) para o período e área de estudo;
- Avaliar os efeitos das variáveis espaciais na ocorrência de incêndios florestais no Distrito Federal utilizando o modelo probabilístico Probit;
- Definir zonas de risco de incêndios florestais a partir de variáveis espacialmente explícitas relacionadas a ocorrência e propagação do fogo.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1. O bioma Cerrado

O território brasileiro está subdividido em sistemas ecológicos definidos denominados bioma. Cada bioma é caracterizado pela interação de um conjunto de fatores como o clima (temperatura, pluviosidade, umidade relativa do ar), relevo (altitude e longitude), solo e fisionomia da vegetação. Por definição, considera-se no Brasil a ocorrência de seis biomas: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal IBGE (2017).

O bioma predominante na zona central do Brasil é o Cerrado, com extensão de 2036448 km², ou seja, 23,9% do território nacional, sendo o segundo maior domínio fitogeográfico do país (NUNES et al., 2002). O Cerrado apresenta duas estações definidas caracterizadas como inverno seco, que dura de abril a setembro, e verão chuvoso, de outubro a março, com classificação climática dominante Aw de Koppen (tropical chuvoso) (RIBEIRO; WALTER, 2008). A precipitação média anual é de 1.500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22° C e 27° C (KLINK; MACHADO, 2002).

O Cerrado possui uma das floras mais ricas das savanas do mundo (FELFILI; FELFILI, 2001). A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias vegetais que se distinguem entre formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO; WALTER, 2008). Com um total de 11.242 espécies (RIOS, 2014; MENDONÇA et al. 2008), possui maior área ocupada por formações savânicas e campestres em relação às florestais (MENDONÇA et al., 2008; RIOS, 2014). A diversidade de solo e de clima no bioma contribui para a heterogeneidade ambiental, visto que é considerado um dos principais fatores que atuam na estrutura e na manutenção da composição florística da vegetação (RIOS, 2014; FELFILI et al., 2008).

4.2.A ocorrência de fogo no cerrado

Segundo Miranda et al. (2002) existem registros de fogo no Cerrado desde o final do Pleistoceno, há 32.400 AP, e Eiten (1972) observa que a vegetação do Cerrado está adaptada ao fogo. Estudos demonstram que devido à baixa exigência nutricional, o estabelecimento da vegetação pós fogo é resiliente (RIOS, 2014; MIRANDA et al., 2004). Muitas espécies apresentam cascas grossas em espécies lenhosas, folhas coriáceas, o que permite certo grau de isolamento térmico dos tecidos internos, mesmo em temperaturas elevadas, e rápida capacidade de regeneração como características de adaptação ao fogo (MITTIMEIER et al., 2005; GUEDES, 1993). Entre as espécies lenhosas, é comum a rebrota através da copa, dos rizomas, do caule, da raiz e das estruturas subterrâneas (MEDEIROS, 2002; FIEDLER, 2004). Além disso, o fogo mantém o balanço entre gramíneas e arbóreas. Um número de espécies do Cerrado tem germinação induzida pelo fogo (MITTIMEIER et al., 2005).

As queimadas naturais provocadas por raios no Cerrado, são relativamente frequentes, ocorrendo principalmente na transição seca-chuva (FIEDLER, 2004; RIOS

2014). Portanto, para que o fogo possa exercer efeitos significativos sobre as fisionomias do Cerrado, Eiten (1972) sugeriu que seria necessária a ocorrência de eventos diários, sucessivamente, durante 1 a 2 anos. Além disso, eventos de fogo afetam a ciclagem de nutrientes, com consequências sobre a flora.

O fogo pode ter também efeitos negativos para a vegetação do cerrado, dependendo da sua frequência e intensidade, como por exemplo, o baixo recrutamento de espécies lenhosas, cuja consequência é a redução na densidade arbórea, o aumento do entouceiramento e a diminuição da diversidade de espécies (SAMBUICHI, 1991).

É comum ver o fogo sendo colocado para renovar a pastagem e realizar a limpeza de áreas, porém, geralmente é realizado sem a mínima preocupação com a segurança, tanto na área a ser queimada quanto no entorno. Neste caso, além da necessidade de obediência aos aspectos legais para realização da queima controlada (PORTARIA N o 94/98-N, de 9 de julho de 1998, que regulamenta procedimentos referentes a queimadas), devem ser tomados alguns cuidados, como a construção de aceiros, a execução de queima contra o vento e a presença de uma equipe treinada em combate ao fogo em caso de perda do controle da situação (FIEDLER, 2004).

4.3.A ocupação do Cerrado

Cerca de metade dos 2 milhões de km² originais do Cerrado foram transformados em pastagens plantadas, culturas anuais e outros tipos de uso (KLINK; MACHADO, 2002). Embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, as queimadas utilizadas para estimular a rebrota das pastagens e para abrir novas áreas agrícolas causam perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos, um problema grave que atinge enormes áreas, especialmente nas regiões montanhosas do leste goiano e oeste mineiro (KLINK; MACHADO, 2005).

O percentual de modificação da vegetação nativa no Cerrado aumenta a cada ano, em 2009 o bioma tinha 48,2% de vegetação preservada e em 2015 reduziu para 45,5% (BRASIL, 2015). O processo de ocupação acelerada tem provocado impactos ambientais severos, levando ao aumento de áreas degradadas, ao declínio da diversidade biológica e da produtividade, além das alterações microclimáticas que afetam de forma desfavorável a qualidade de vida humana (WALTER, 2008). A eliminação total pelo fogo pode também causar degradação da vegetação e fauna nativa pois, devido ao acúmulo de material combustível (biomassa vegetal seca) e à baixa umidade da época seca, uma eventual queimada nessas condições tende a gerar temperaturas

extremamente altas que são prejudiciais à flora e à fauna do solo (KLINK; MOREIRA, 2002).

4.4.O Distrito Federal e histórico de incêndios florestais

O Distrito Federal (DF) ocupa área aproximada de 5.800 km², o que equivale a 0,06% da superfície do País. A vegetação predominante no Distrito Federal é o Cerrado Sentido Restrito, no entanto outras fitofisionomias podem ser encontradas como matas de galeria, cerradão, campos limpos, campos sujos e veredas, e se tornou um polo responsável pela ampliação do conhecimento científico sobre o bioma (NUNES et al., 2002).

As três principais unidades de conservação do Distrito Federal estão dentro do núcleo da Reserva da Biosfera e são consideradas “*hotspots*” para a conservação da biodiversidade(UNESCO, 2002). São estas as Áreas de Proteção Ambiental (APAs), a Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESEC-AE), o Parque Nacional de Brasília (PNB), a Reserva Ecológica do IBGE (IBGE), o Jardim Botânico de Brasília (JBB) e a fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB) (UNESCO; NUNES et al., 2002).Entretanto, aproximadamente metade do território do DF foi convertido para o uso urbano e para a agropecuária e conseqüentemente as áreas protegidas ficaram circundadas por estas áreas (UNESCO, 2002). Tal fato exige cuidados especiais para a proteção dessas unidades de conservação, especialmente no que diz respeito aos incêndios na vegetação nativa.

O processo de antropização e a intensa ocupação humana, aliados às condições climáticas com períodos secos anuais, facilitam a propagação dos incêndios florestais, principalmente nos meses de seca, de abril a outubro. Em 15 de agosto de 2016 foi sancionado um decreto (ver Decreto nº 37.549, Anexo 1) que institui o Sistema Distrital de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, visando executar o Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Distrito Federal, no qual está destinado a promover programas de educação ambiental e de monitoramento de áreas queimadas em Unidades de Conservação, entre outras ações.

Dados do Corpo de Bombeiros relatam, que até julho do ano de 2017, foram 1.555 ocorrências de incêndio florestal em todo o Distrito Federal e a área queimada alcançou 1.634,87 hectares (CORREIO BRASILIENSE, 2017). Provocando o aumento de doenças respiratórias e risco ao funcionamento do Aeroporto Juscelino Kubistchek e

elevado custo para o emprego de equipamento e pessoas para o combate (ZACHARIAS, 2013; LOURENÇO, 2011).

4.5.Fatores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais

O risco de incêndio depende de algumas variáveis que podem influir tanto na disponibilidade da fonte de fogo para o seu início como nas condições que favoreçam a sua propagação. Estas variáveis são principalmente tipo de vegetação, características do material combustível, topografia, tipo de ocupação do solo e condições meteorológicas (BATISTA, 2004).

A vulnerabilidade pode ser traduzida em função do material combustível e das condições ambientais, que favorecem a ignição e propagação do fogo. Entre os fatores relacionados estão as características do material combustível, a topografia do terreno, as condições climáticas e as características do solo em associação com a cobertura vegetal. O risco de incêndio é composto pela vulnerabilidade e o fator de ameaça a que está submetido o ambiente. A ameaça diz respeito à probabilidade da existência de agentes naturais e antrópicos que deem início ao processo de combustão (CASTAÑEDA, 1997; BATISTA, 2004).

Através da combinação destes dois componentes pode-se obter vários graus de risco de incêndio. Por exemplo, quando se tem grande ameaça, mas pouca vulnerabilidade, o risco é baixo, e qualquer foco inicial não encontrará condições favoráveis à sua propagação. Da mesma forma, se há uma grande vulnerabilidade, mas não existe um agente de ameaça, o risco continua sendo muito baixo. Entretanto, se há uma grande vulnerabilidade e agentes de ameaça, o risco se torna elevado. Desta forma, há a necessidade da análise espacial de ambos os componentes para se caracterizar o risco de incêndio como um todo.

Fator humano

A grande incidência dos incêndios em áreas naturais resulta de ações humanas de uso e ocupação da terra. BATISTA (2004) observou que as estatísticas sobre as ocorrências de incêndios florestais demonstram que, tanto no Brasil como na maioria dos outros países, as principais causas dos incêndios são de natureza humana.

As categorias de presença humana, no distrito florestal, podem ser definidas de acordo com as atividades existentes no interior e entorno e ponderadas de acordo com sua influência sobre o risco de incêndio (BATISTA, 2004; CASTAÑEDA, 1997;

FERRAZ; VETTORAZZI, 1998).A partir das categorias e feições de destaque, é possível indicar áreas de maior risco de incêndios localizadas em regiões ao longo de carreadores, estradas internas e rodovias, especialmente devido à incidência de incêndios criminosos, à prática de cultos religiosos, aos cigarros e às pequenas fogueiras.

Fator cobertura vegetal e material combustível

A cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima e sua composição química pode influenciar na velocidade e quantidade de calor liberado em um incêndio.Em florestas ralas ou abertas, como no cerrado sensu stricto, campo limpo, campo rupestre o ar circula com facilidade contribuindo para acelerar a secagem do material combustível (Batista, 2004).

A presença ou ausência de arbustos e espécies de sub-bosque em um talhão pode também afetar o comportamento do fogo, pelo fornecimento adicional de combustível para a combustão e pelos efeitos sobre o microclima (MCARTHUR, 1962; BATISTA, 2004).

A umidade do material combustível regula a quantidade de energia calorífica necessária para evaporar a água contida no material combustível e permitir a sua queima. Quanto menor for a energia requerida, maiores serão a velocidade e a intensidade do fogo, mantidas as demais variáveis constantes (Batista, 2004).

Fator topografia

As características topográficas influenciam no desenvolvimento de incêndios florestais principalmente sob três aspectos: elevação, inclinação e orientação das encostas. A elevação está relacionada intimamente às modificações climáticas. A inclinação das encostas influencia nas condições de pré-aquecimento dos combustíveis e modifica a taxa de propagação. A orientação das encostas tem influência sobre as condições de umidade e tipo de material combustível, em função das condições de iluminação solar (Batista, 2004).

A inclinação do terreno está diretamente relacionada com a velocidade e a direção de propagação do fogo porque a temperatura do ar aumenta, pré-aquece os combustíveis à frente do fogo, o que facilita o avanço do mesmo com maior velocidade nos aclives. O desenvolvimento do fogo se dará com maior velocidade nos aclives do que nos declives ou no plano (Ferraz & Vettorazzi, 1998).

4.6. Uso de satélites e sensoriamento remoto

Os bancos de dados gerados através do uso de satélites correspondem a uma importante fonte de informações sobre os diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre. Com o desenvolvimento de tecnologias de satélites nas últimas décadas, o sensoriamento remoto vem ganhando espaço como uma técnica que auxilia na detecção mais eficiente de incêndios e de focos de calor, permitindo, desta forma, ações mais rápidas e auxiliando na tomada de decisão (OLIVEIRA, 2006).

A energia captada pelos sensores pode ser oriunda de uma fonte externa ao alvo (o Sol), interna (energia térmica própria dos alvos), ou ainda proveniente do próprio sensor (pulsos de micro-ondas) (IBGE, 2005).

4.7. Detecção e avaliação de queimadas

Estudos demonstram que as imagens de satélites têm sido utilizadas para ajudar a entender a dinâmica do desflorestamento e do uso da terra, e também disponibilizam informações espaciais e temporais sobre as ocorrências de queimadas, além de quantificações da área e da biomassa afetadas pelo fogo, fornecendo uma importante contribuição para o estudo de incêndios no meio ambiente e seus efeitos ecológicos, climáticos e na química da atmosfera (FRANÇA, 2005; PHULPIN et al, 2002).

Existem três fontes de radiação envolvidas na detecção de incêndios: a emissão pelo incêndio em si, ou seja, pelas substâncias em combustão; a emissão e reflexão da área em que ocorre o incêndio, incluindo-se os resíduos de combustão; e a emissão e reflexão provenientes de outras fontes, como o solo exposto (PEREIRA, 1987). Dessa forma, sensores remotos que operam na região óptica do espectro eletromagnético possuem grande utilidade na detecção e avaliação das queimadas.

A detecção da extensão das áreas queimadas utiliza bandas espectrais da região do visível e infravermelho (ANDERSON et al., 2005; PIROMAL et al., 2008). Na região visível do espectro eletromagnético (de 0,4 a 0,7 μm), em áreas de savanas – que possuem estrato herbáceo geralmente seco, apresentando alta reflectância no visível – as queimadas tendem a escurecer as áreas atingidas (FRANÇA, 2004).

A faixa espectral do infravermelho próximo (de 0,7 a 1,3 μm) é a mais indicada para a identificação e mapeamento de cicatrizes feitas pelas queimadas, pois neste intervalo a vegetação possui alta reflectância, havendo elevado contraste entre a vegetação queimada e a não queimada. Na região do infravermelho médio (de 1,3 a 3

μm), a absorção pela água líquida predomina na reflectância espectral das folhas, neste caso, as áreas de vegetação de savana têm sua reflectância diminuída (FRANÇA, 2005). A faixa entre 3 e 5 μm , a radiação é tanto refletida como emitida, e é considerada como a melhor banda do sensor AVHRR, para a detecção de queimadas devido ao fato de que o imageamento de incêndios neste intervalo torna possível a detecção das frentes de incêndio e manchas quentes através de fumaça (PEREIRA, 1987).

A detecção de focos de calor, ou seja, o registro instantâneo apenas dos materiais com temperaturas de algumas centenas de graus centígrados, utiliza bandas espectrais do infravermelho termal (de 7 a 15 μm), as emissões tendem a aumentar após a ocorrência das queimadas, devido à elevação da temperatura do solo, provocada pela redução da evapotranspiração e pelo aumento da absorbância da superfície (FRANÇA, 2005)

Atualmente, há uma grande variedade de satélites na órbita da Terra, que carregam diversos tipos de sensores com diferentes resoluções espaciais e temporais, e de técnicas para detectar os impactos causados por incêndios em países tropicais, entretanto a seleção do tipo de imagens de satélite para estes fins tem estado mais dependente da escala espacial da análise e menos da resolução temporal do sistema (FRANÇA, 2005; FREIRE, 2002).

O sensor MODIS apresenta uma série de melhorias em relação aos sistemas do NOAA AVHRR e do GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), tais como resolução radiométrica, temporal e espectral (MIETTINEN, 2007). Sensores da nova geração de satélites, como o AVIRIS, MODIS, ou MERIS, dispõem de melhor resolução espectral e temporal que beneficia a caracterização e monitorização de combustíveis, e a tecnologia radar permite obter informação sobre a estrutura da cobertura vegetal, que é relevante para a modelação desses combustíveis. Coberturas com baixa resolução espacial, ainda que mais frequentes (AVHRR, MODIS), limitam a precisão e detalhe necessários à efetiva utilização de indicadores de risco de incêndio (FREIRE,2002).

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NVDI)

Os Índices de Vegetação (IV) são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e diagnosticar índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade. Esses índices têm sido

utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global (MARCUSSEI et al, 2010).

Os índices de vegetação correlacionam duas ou mais bandas espectrais e resultam em medidas radiométricas adimensionais que descrevem a abundância relativa e a atividade da vegetação verde. Dentre outros, os índices de vegetação estão correlacionados com o índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA, ou APAR) (JENSEN, 2009).

As bandas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas na estimativa dos índices de vegetação. Estas bandas expressam a variação da resposta espectral da vegetação e, portanto, os índices de vegetação podem realçar o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma (ROSA, 2003).

O índice de vegetação é obtido pela divisão de bandas com o objetivo de se obter o realce das variações de densidade da cobertura vegetal. Para a vegetação, o comprimento de onda de maior absorção é na faixa de 650 nm, que corresponde a cor vermelha do visível, e os comprimentos de onda de maior refletância variam de 760 nm a 900 nm, que corresponde a região do espectro do infravermelho próximo. Ao se dividir a banda correspondente ao infravermelho próximo (IVP) pela banda do vermelho (V), os pixels correspondentes a áreas de vegetação apresentarão valores bem maiores do que 1, enquanto pixels de regiões sem vegetação terão valores menores do que 1 (MENESES e ALMEIDA, 2012). Ou seja, a razão entre a banda do infravermelho próximo e o vermelho é proporcional à biomassa da vegetação, pois com o aumento da biomassa fotossinteticamente ativa há o aumento da refletância no infravermelho próximo e um decréscimo a refletância do visível.

Com o objetivo de aperfeiçoar o sinal da resposta da vegetação foi desenvolvido o Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index, EVI), que melhora a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, visto que nesse modelo é inserida a banda azul para a correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico, a fim de reduzir as influências atmosféricas por aerossóis (HUETE et al., 2002).

Seu cálculo se dá pela seguinte relação:

$$EVI = G \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_V + C1\rho_V - C2\rho_A + L)}$$

Equação 1. Enhanced Vegetation Index

Onde: ρ_{IVP} = reflectância do infravermelho próximo; ρ_V = reflectância do vermelho; ρ_A = reflectância do azul; $C1$ = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no vermelho; $C2$ = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no azul; L = fator de ajuste para o solo; G = fator de ganho (MARCUSI, 2010).

Os índices de vegetação são usados através de diversos sistemas de informação geográfica; as imagens a serem observadas são obtidas de diversos tipos satélites, que são direcionadas a um SIG e a partir daí são utilizados os índices para visualização da imagem de acordo com o índice adotado. Existem vários satélites para obtenção de imagens dentre eles tem-se: LANDSAT, IKONOS, SPOT, Satélites TERRA e AQUA (Sensor MODIS), CDD/CBERS, entre outros.

Sensor Modis e seus produtos

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), foi lançado a bordo da plataforma norte-americana TERRA em dezembro de 1999 e da plataforma AQUA em maio de 2002, do Programa EOS (*Earth Observing System*), para o mapeamento e o monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra. Possui 36 bandas espectrais (entre 0.405 e 14.385 μm), se estendendo por toda faixa espectral compreendida entre o visível e o infravermelho termal (MODIS, 2017).

A partir dessas 36 bandas são gerados 44 produtos de sensoriamento remoto que abrangem diversas aplicações ambientais, sendo estes produtos de superfície (*Modis Land*), de atmosfera (*Modis Atmosphere*) e de oceanos (*Modis Ocean*). As resoluções espaciais variam entre 250 metros (bandas 1-2), para faixas do visível até o infravermelho próximo, 500 metros (bandas 3-7) para faixas do visível até o infravermelho médio, e 1 quilômetro (bandas 8-36) para o infravermelho termal (MODIS, 2017). Os produtos existentes para a superfície terrestre, gerados pelo MODIS (*Modis land*), estão no formato *Hierarchy Data Format* (HDF), o que permite maior variabilidade de estudos e aplicações.

Os produtos MODIS *Thermal Anomalies and Fire* se referem a produtos de anomalias termais. O MCD45A1 versão 4-5.5 disponibilizado mensalmente, com nível 3 de processamento e resolução de 500 metros, oferece informação da quantidade de área queimada, bem como a qualidade da informação disponível. É produzido a partir dos dados de reflectância da superfície do sensor MODIS, o algoritmo do produto MCD45A1 baseia-se, sobretudo, na mudança espectrais, temporais e estruturais dos alvos. O algoritmo utilizado analisa a dinâmica diária de reflectância da superfície para localizar mudanças rápidas, em relação as mudanças espectrais, temporais e na estrutura da vegetação, assim consegue mapear a data aproximada da queima, além da extensão espacial (MODIS, 2013).

O produto MOD13Q1 versão 6 fornece um índice de índice de vegetação (IV) por uma base por pixel. O IV possui resolução espacial de 250 m, período de composição do produto de 16 dias (é gerado usando os dois grânulos de reflectância de superfície composta de 8 dias no período de 16 dias) e resolução radiométrica de 16 bits. Os critérios usados para a composição são nuvens baixas, ângulo de visão baixo e o valor NDVI / EVI mais alto. É composto por duas camadas de informação sobre a vegetação, a primeira é o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), que é referido como o índice de continuidade do NDVI derivado da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica, *Advanced Advanced Radiometer* (NOAA-AVHRR), e a segunda camada de vegetação é o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), que melhorou a sensibilidade em regiões de alta biomassa.

Modelo probabilístico espacial

O modelo Probit descreve o comportamento da variável binária (*dummy*), que possa ser representada por zero ou um, em termos de uma regressão linear sobre variáveis explicativas não-aleatórias contidas em um vetor (BRAUMANN; CARNEIRO, 2002).

De acordo com Wooldridge (2000), o modelo Probit pode ser definido como:

$$y^* = \beta_0 + x\beta + \varepsilon, \quad y = I [y^* > 0],$$

Equação 2. Modelo Probit

Onde: y^* é uma variável latente não observada (neste estudo, um pixel representando a ocorrência de incêndio florestal) que satisfaça a distribuição normal e de homoscedasticidade com uma média linear; x é um vetor de variáveis independentes;

β é um vetor de coeficientes desconhecidos; e ξ é o termo de erro distribuído independentemente assumindo ser normal com média zero e variância constante (σ^2).

A função indicadora requer que as observações sejam valor 1 se o evento (incêndioflorestal) é verdadeiro e 0 se for falso. Desta maneira,

$y = 1$ se $y^* > 0$, e

$y = 0$ se $y^* \leq 0$.

Com base nestes princípios, a probabilidade da ocorrência de incêndios na área de estudo pode ser definida de acordo com a equação seguinte:

$$P(y=1|x) = P(y^* > 0|x) = P(\varepsilon > -x\beta|x) = \Phi(x\beta)$$

Equação 3. Probabilidade da ocorrência de incêndios.

Onde: β é a distribuição cumulativa normal padrão (dcn); x é o vetor de variáveis independentes, e Φ é o vetor de coeficientes desconhecidos.

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no mapeamento de risco de incêndios

O conjunto de áreas de maior risco é obtido por meio da análise do histórico de incêndios. Com auxílio de mapas de espacialização das ocorrências, é possível determinar as áreas com maior risco de incêndios – expressa também como mapa. Para tanto, devem ser considerados: histórico de ocorrência de incêndios; atividades ou influência de risco no entorno ou interior da UC; conflitos; suscetibilidade da vegetação e demais riscos que venham a ser detectados; causas dos incêndios. (IBAMA, 2009).

Para a execução do zoneamento de risco dispõe-se atualmente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), onde os dados são analisados de acordo com a sua distribuição espacial na área e, para obter melhor resultado. A facilidade da entrada de dados, rapidez no processamento e o dinamismo no cruzamento de informações obtidos com o SIG, tornam esta técnica indispensável em estudos deste tipo (BATISTA, 2002).

É possível fazer sobreposição de informações e análises espaciais, que se tornam subsídio para a tomada de decisões. Todas estas potencialidades são indispensáveis aos estudos relacionados aos incêndios florestais tendo em vista seu caráter espacial e a diversidade de fatores ambientais relacionados. Uma abordagem integrada do risco de incêndio baseia-se no pressuposto de que o início e progressão de um fogo florestal são afetados por fatores de natureza e frequência diferentes, exigindo desse modo uma análise conjunta desses fatores (FREIRE, 2002).

O processamento das imagens resultará no zoneamento de risco da ocorrência e propagação dos incêndios florestais no Distrito Federal. Como resultado, busca-se também desenvolver metodologia para o zoneamento de incêndios florestais em regiões de vegetação do cerrado. Por fim, espera-se que a análise das áreas de maior risco de incêndio na região seja usada para recomendação de potenciais medidas de proteção contra incêndios.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área do presente estudo compreende todo o território do Distrito Federal, localizado no Centro-Oeste brasileiro, dentro do estado de Goiás, entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude Sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude Oeste, compreendida dentro dos limites da imagem Landsat TM 223/70 (*path/row*) (Figura 1).

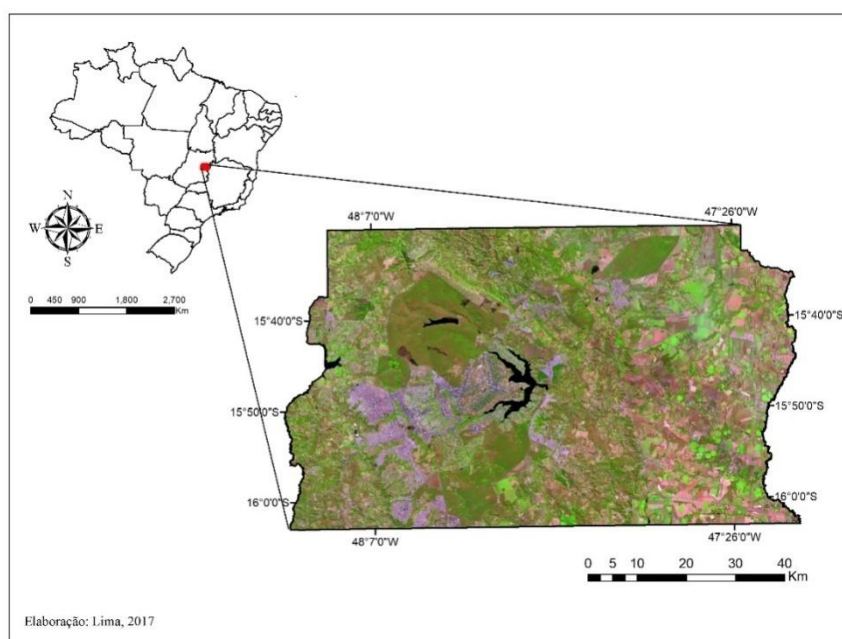


Figura 1. Localização da área de estudo (Distrito Federal) no contexto do território do Brasil.

O Distrito Federal está localizado dentro do bioma Cerrado e apresenta vegetação herbácea-arbustiva, de fisionomia mais aberta, e formações florestais, como matas de galeria. As fisionomias campestres ocorrem normalmente na transição entre as matas e o cerrado sentido restrito, desempenhando uma importante ligação entre essas fisionomias (EITEN, 1979). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima se enquadra no tipo Aw (tropical de savana) (NIMER, 1989). A temperatura média anual máxima é de 28,5 °C e a média anual mínima de 12,0 °C (FELFILI; MUNHOZ, 2006).

O relevo local é dominado por chapadas planas a suave onduladas, com mais de 1.000 m de altitude, apresentando grande quantidade de nascentes e de pequenos ribeirões e córregos (PINTO, 1994). A precipitação média anual deste bioma oscila entre 1200 e 1800 mm, sendo que a precipitação média mensal apresenta uma grande estacionalidade, concentrando-se nos meses de primavera e verão (outubro a março), que define a estação chuvosa na região, já a estação seca dura de 3 a 5 meses (maio a setembro), com a umidade relativa do ar, no período, variando de 70% a menos de 20% ao final da estação seca (CODEPLAN, 1984).

5.2. Metodologia

Etapas do trabalho

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas:

- a) aquisição e processamento dos dados do produto MCD45A1 e MCD13Q1 para o mês de setembro de 2000 a 2016;
- b) aquisição de valores para a análise probabilística de ocorrência de incêndio segundo as variáveis escolhidas (altitude, declividade, orientação do relevo, índice de vegetação, distância de estradas e distância de centros urbanos);
- c) definição de pesos e classes de risco de incêndio para cada variável e definição do zoneamento de incêndios.

Base de dados e sistemas de processamento de dados

Os arquivos vetoriais, em formato vetorial, utilizados estão descritos na Tabela, projetados em UTM, datum SAD 1969, zona 23S:

Tabela 1. Dados vetoriais utilizados no trabalho

Dado	Fonte
Limite DF	Ministério do Meio Ambiente -MMA
Área queimada	United States Geological Survey -USGS
Índice de vegetação	United States Geological Survey -USGS
Estradas	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás -SIEG
Centros Urbanos	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás -SIEG
Declividade, altitude e orientação	Topodata - INPE

Os dados foram processados e analisados com o auxílio dos seguintes softwares:

- Arc View GIS - versão 10.1, com as extensões Spatial Analyst e 3D Analyst, utilizados para integração de dados espaciais e alfa-numéricos;
- Microsoft Excel 97, para a elaboração de planilhas;

- Probit- versão 5.0 para Windows, para executar as análises de correlação

Análise das áreas queimadas e índice de vegetação

Foram selecionadas as imagens para o Distrito Federal do sensor MODIS, produto MCD45A1 (áreas queimadas) e MCD13Q1 (índice de vegetação), para o dia 29 de setembro, considerando esse é um dia de ápice da seca, em que a quantidade de biomassa seca é maior, e que as cicatrizes de queimadas ainda não foram lavadas pela chuva. Foi feita a análise das mudanças nas propriedades espectrais em áreas afetadas por incêndios florestais ocorridos entre 2000 a 2016. Não foi incluída a variável precipitação, pois o objetivo foi estudar o risco de incêndios durante a época de seca (entre maio e setembro).

Os produtos MODIS MCD45A1 e MCD13Q1 foram obtidos gratuitamente no site do Serviço Geológico Americano (USGS), <http://earthexplorer.usgs.gov/>, em resolução espacial de 500 m e 250 m, respectivamente. O produto MCD45A1 inclui a detecção mensal das áreas atingidas por fogo e o produto MCD13Q1 inclui a estimativa do índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

Análise probabilística

Para estimar os efeitos dos diferentes fatores na ocorrência dos incêndios florestais, utilizou-se a análise probabilística Probit. Os resultados da análise Probit possibilitou estimar a correlação entre as áreas atingidas por fogo entre 2000 a 2016 no Distrito Federal e as variáveis espacialmente explícitas que podem exercer a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais.

Segundo Batista (2002) a ocorrência de incêndios naturais através de raios ocorrem no período de chuva e o presente trabalho analisa a ocorrência de incêndios durante o período seco. Portanto, neste trabalho foi considerado como fonte de ignição as atividades antrópicas e de propagação as condições ambientais. Foram incluídas no modelo as variáveis quantitativas: distância euclidiana de centros urbanos (Km) e distância euclidiana de rodovias (Km).

Assim, as variáveis testadas foram: altitude, orientação do relevo, declividade e índice de vegetação (condições ambientais e topográficas) e distância de estradas e centros urbanos (fontes de ignição). Para a análise da orientação das encostas, da altitude e declividade da área de estudo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (DEM), em resolução espacial de 30 metros, elaborado a partir de imagens adquiridas

pelo satélite Aster, distribuídas pela Agência Americana de Administração Aeroespacial - NASA. Para avaliar se a ocorrência das áreas queimadas no Distrito federal tem alguma influência espacial direcional (sentidos latitudes, longitudes e diagonal), foram criadas variáveis quantitativas referentes as coordenadas UTM representando o eixo x, o eixo y e os eixos diagonais ($x * y$). A seguir, estão listadas as variáveis utilizadas no modelo:

Variável dependente:

- Ocorrência de incêndios florestais (1 se referente ao ano de interesse, 0 caso contrário) na área de estudo. Essa variável se repetiu para cada ano da análise (2000 –2016) figura 2.

Variáveis independente:

- Valor do índice de vegetação (esse valor varia entre 0 e 1, sendo 0 para vegetações menos densas e 1 vegetações mais densas). Essa variável se repetiu para cada ano da análise (2000 – 2016);
- Declividade do terreno (graus);
- Altitude (m);
- Azimute de orientação das encostas (graus);
- Distância de rodovias (distância euclidiana em Km);
- Distância de centros urbanos (distância euclidiana em Km);
- Longitude (coordenadas UTM em m);
- Latitude (coordenadas UTM em m);

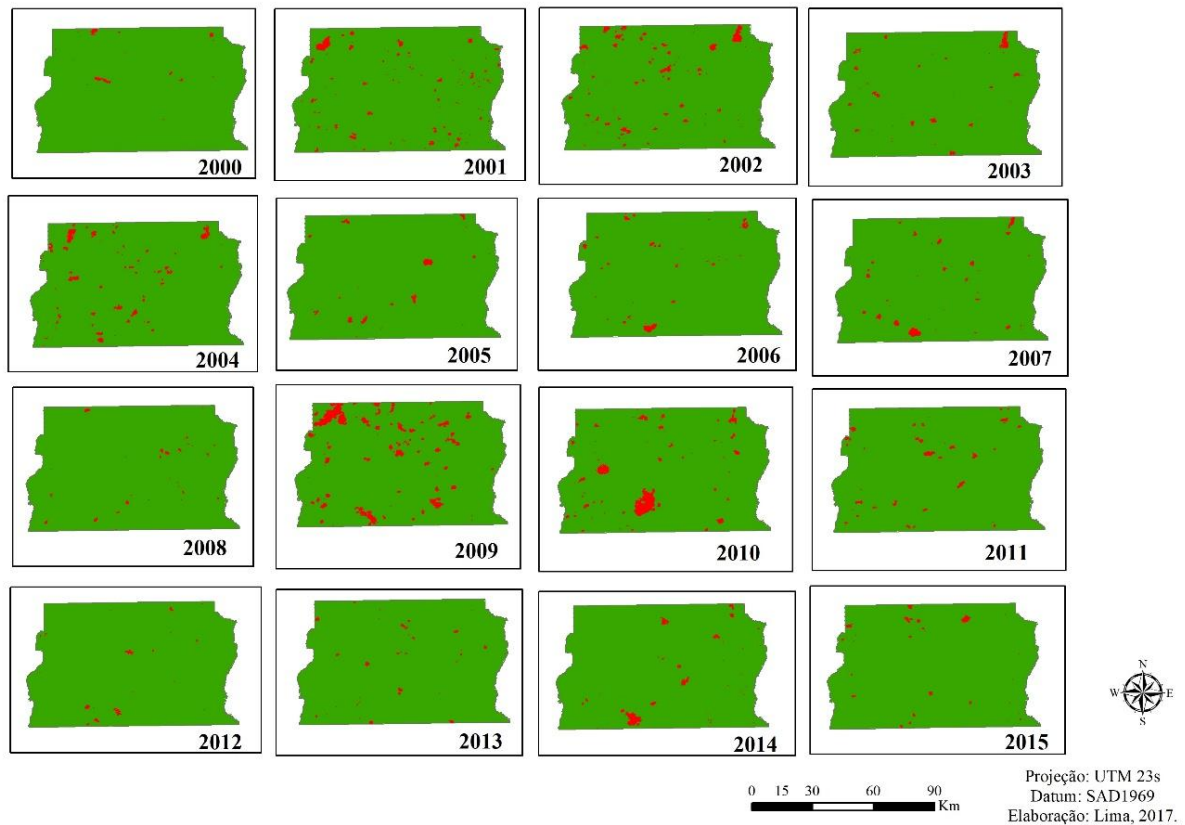


Figura 2. Áreas atingidas por fogo no período de 2000 a 2015. A cor VERDE se refere às áreas onde não foram detectadas áreas queimadas e a cor VERMELHO se refere às áreas onde foram detectadas áreas atingidas por fogo para cada ano de análise.

A Figura 3 ilustra cada uma das variáveis independentes utilizadas no modelo Probit, com exceção do ano de ocorrência de incêndios, eixos latitudinal e longitudinal.

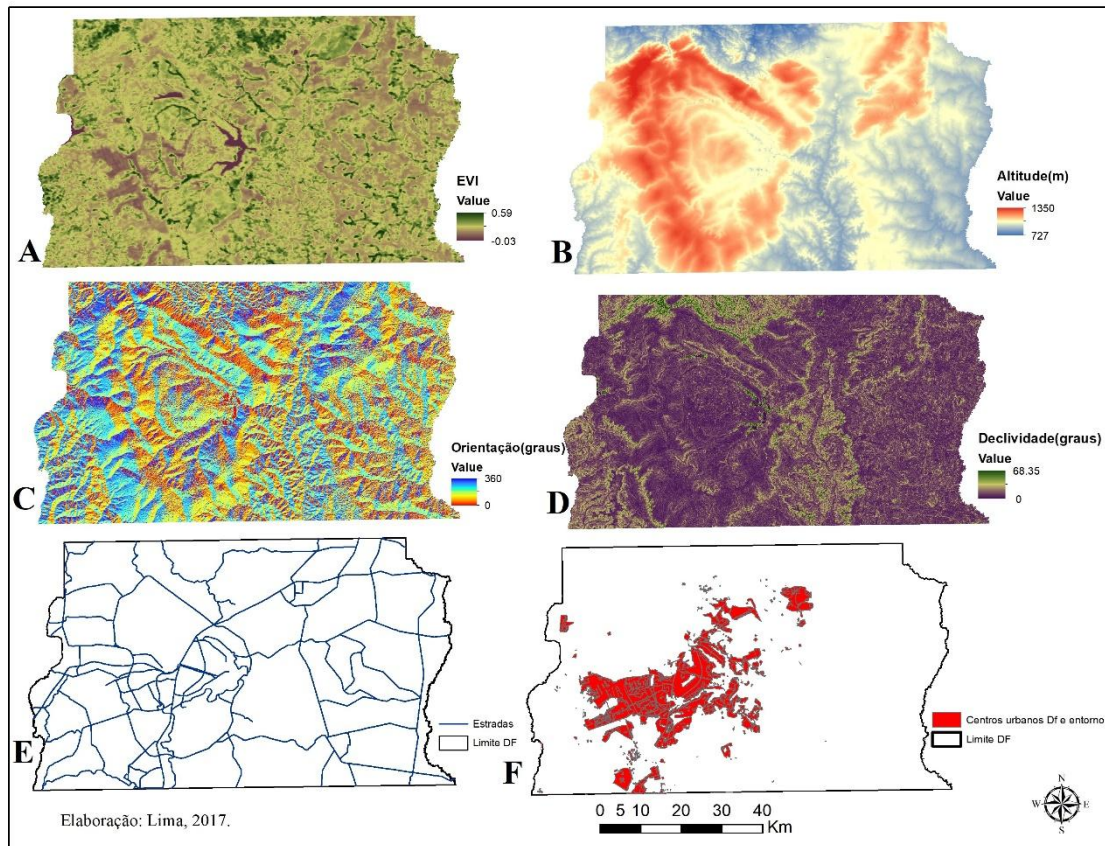


Figura 3. Variáveis independentes utilizadas no modelo Probit para o Distrito Federal: (a) índice de vegetação (EVI) (b) altitude em metros (c) ângulo de orientação do relevo em graus (d) ângulo de declividade do terreno em graus (e) malha viária do Distrito Federal (f) Centros urbano do Distrito Federal.

A condução da análise probabilística foi feita através de uma amostragem sistemática-aleatória. Onde para cada mapa das variáveis abordadas, criou-se uma grade regular de 2 Km x 2 Km e coletou-se um ponto sobre cada quadrado, utilizando a ferramenta ‘Creat Randon Points’ do aplicativo ArcGis 10.1®, totalizando 1528 pontos.

O procedimento também foi realizado para cada ano de queimada analisado, totalizando 25.993 pontos. Esse método foi utilizado pois, contribui para reduzir os efeitos da coincidência entre os padrões espaciais da paisagem e dos pontos amostrais (BURROUGH, 1998). Dessa forma a chance de seleção é a mesma para toda a área (FELFILI E REZENDE, 2003; PÉLLICO- NETTO E BRENA, 1997) (Figura 4).

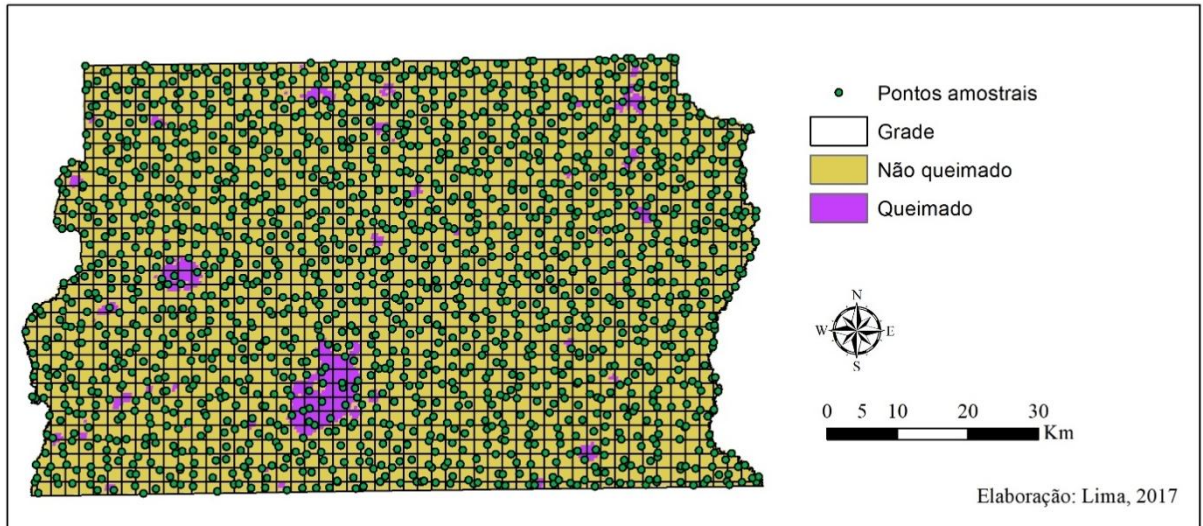


Figura 4. Pontos aleatórios selecionados na malha vetorializada de 2 km x 2 km sobre a cena de focos de incêndios obtidos do produto MCD45A1 para o ano 2011.

Assim, o valor de cada pixel foi utilizado como unidade de observação e os valores da base de dados (variáveis independentes) foram coletados para cada ponto amostral alocado. Foi construída uma matriz de informações onde, para variável dependente, que representa a ocorrência das áreas queimadas, considerou-se o valor um (1) caso o ponto amostral coincidia com área queimada e zero (0) caso contrário.

Modelagem do Risco de Incêndios Florestais

A modelagem do risco de incêndios florestais na área de estudo foi feita com base na metodologia proposta por Ribeiro et al. (2008) adaptada para ambiente de Sistema de Informação Geográfica. Para isso, foram utilizadas variáveis que, teoricamente, influenciam na ocorrência e propagação do fogo em áreas rurais. Isso inclui variáveis que representam os diferentes usos e coberturas da terra e índice de vegetação, variáveis de relevo (altitude, declividade e orientação das encostas) e de localização (distância das estradas e dos centros urbanos).

Atribuição de escores de risco de incêndios para as variáveis

A adoção das variáveis utilizadas neste estudo também está relacionada às principais causas (antrópicas) dos incêndios florestais em ambientes do Cerrado. Para cada variável foram definidos escores representando a susceptibilidade à ocorrência e propagação do fogo na vegetação. Os escores deverão ter valores variando entre 0 a 5, onde o escore 0 será atribuído para áreas sem riscos de incêndios e o escore 1 baixo, 2

moderado, 3 alto, 4 muito alto e 5 extremo risco. A definição dos valores dos escores para cada condição das variáveis foi adaptado de Batista et al. (2002) e no conhecimento sobre as principais causas dos incêndios florestais. Também serão consideradas as condições de relevo e a quantidade de biomassa combustível dos diferentes usos e cobertura da terra para a área de estudo.

Atribuição de Pesos para as variáveis

Com base valores encontrados através da análise probabilística, as variáveis que apresentaram maior significância na propagação de incêndios, receberam pesos atribuídos num modelo de zoneamento de risco. Os pesos buscaram ajustar os valores dos escores de risco de incêndios às condições da área de estudo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Análise probabilística

De acordo com o mapeamento das áreas queimadas no período de 2000 a 2016, a probabilidade incondicional da ocorrência de áreas queimadas na área de estudo foi de 1,6% para área total de 5788,90 Km², envolvendo todo o território do Distrito Federal.

Os resultados das estatísticas das variáveis independentes utilizadas nesta análise, com efeito potencial na ocorrência de incêndios florestais na área de estudo, estimados utilizando o modelo Probit, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2.Resultados da regressão Probit.

Variável	Coefficiente	Erro padrão	z	P>z	Intervalo de confiança de 95%	
Declividade(graus)	0,0227839	0,0050287	4,53	0	0,0129278	0,0326399
Altitude(m)	0,0023174	0,000236	9,82	0	0,0018548	0,00278
Orientação das encostas(graus)	-0,000137	0,0002037	-0,67	0,501	-0,0005361	0,0002622
EVI	-3,050254	0,3122791	-9,77	0	-0,366231	-2,438198
Prox. centros urbanos (Km)	0,00000547	0,00000452	1,21	0,226	-0,00000339	0,0000143
Prox. estradas (Km)	0,0000692	0,0000127	5,45	0	0,0000443	0,000094
Longitude (m)	-0,000000592	0,00000104	-0,57	0,568	-0,00000262	0,00000144
Latitude(m)	0,00000361	0,00000133	2,71	0,007	0,000001	0,00000621
Ano (omitido 2016)						
A2000	0,0052493	0,1741584	0,03	0,976	-0,336095	0,3465935
A2001	0,4567693	0,1400768	3,26	0,001	0,1822238	0,7313149
A2002	0,5810748	0,1335991	4,35	0	0,3192254	0,8429241
A2003	0,2191091	0,1438336	1,52	0,128	-0,0627995	0,5010177
A2004	0,3628661	0,1382974	2,62	0,009	0,0918082	0,633924
A2005	0,0759217	0,1595825	0,48	0,634	-0,2368542	0,3886976
A2006	0,155973	0,1562949	1	0,318	-0,1503595	0,4623054
A2007	0,6214451	0,1310304	4,74	0	0,3646302	0,87826
A2008	0,2184577	0,1488566	1,47	0,142	-0,073296	0,5102113
A2009	0,1763329	0,1735431	1,02	0,31	-0,1638053	0,5164711
A2010	0,7925115	0,1278577	6,2	0	0,5419151	1,043108
A2011	0,4604349	0,1339899	3,44	0,001	0,1978195	0,7230503
A2012	0,1941405	0,1481943	1,31	0,19	-0,096315	0,484596
A2013	-0,0103242	0,1697082	-0,06	0,951	-0,3429463	0,3222978
A2014	-0,0274728	0,1650012	-0,17	0,868	-0,3508692	0,2959236
A2015	0,2228327	0,1490119	1,5	0,135	-0,0692252	0,5148906
Constante	-34,18454	10,86451	-3,15	0,002	-55,47859	-12,89049
n= 25993 Pseudo R²= 0,1263 Log likelihood = -1856.1395						

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, foi possível estimar que o efeito da orientação das encostas (graus), a proximidade de centros urbanos, e longitude (metros) na ocorrência de incêndios florestais não foi estatisticamente significativa na área de estudo. Porém, isto não implica que eles não tenham tido nenhum efeito nas características do incêndio (por exemplo, a intensidade do fogo). Entretanto essas variáveis não tiveram grande peso segundo o modelo utilizado e foram utilizadas na estimativa do zoneamento de risco com peso menor.

A partir dos resultados obtidos, o efeito da declividade na ocorrência do fogo apresentou significância estatística, já que o p-valor de 0,000 é menor que o nível de significância 0,05. Neste caso, rejeita-se a hipótese nula (de que não há efeito da variável na ocorrência de incêndio florestal) e conclui-se que o coeficiente da regressão para a variável foi estatisticamente diferente de zero.

Efetivamente, a probabilidade média de ocorrer incêndios aumenta 18,56% (Ver tabela 11, em Anexo) maior quando a declividade aumenta de 0 a 60 graus (Figura 5).

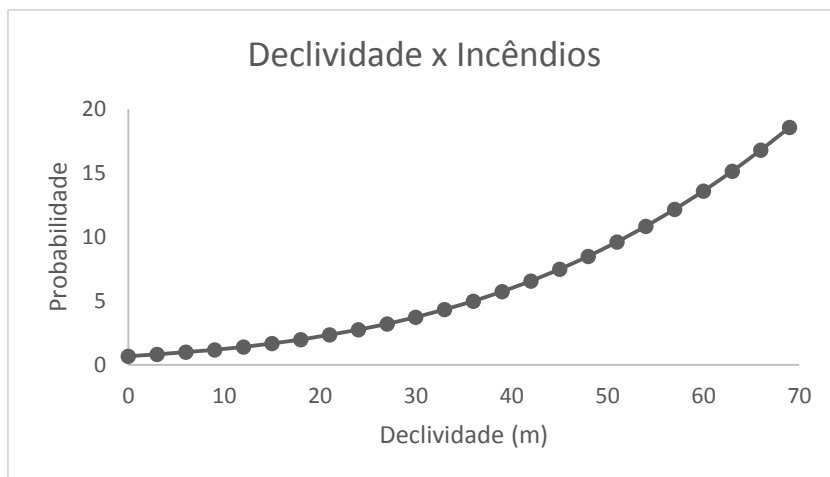


Figura 5. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação da declividade (graus).

Segundo Ribeiro et al. (2008), nas áreas de aclive o material combustível, acima da frente do fogo, está mais próximo das chamas do que em terrenos planos (aquecimento do material combustível). Comportamento similar ao reportado por Ribeiro et al. (2008) foi observado para a área de estudo, onde quanto maior a declividade, maior é a probabilidade de ocorrência de incêndios.

A variável altitude tem efeito significativo e positivo na ocorrência do fogo. As áreas com maiores altitudes têm maior probabilidade de ocorrência do fogo no Distrito Federal. Quando a altitude aumenta de 700 para 1300 metros (Figura 6), a probabilidade média de ocorrência do fogo aumenta 6,45% (ver tabela 12, em Anexo).

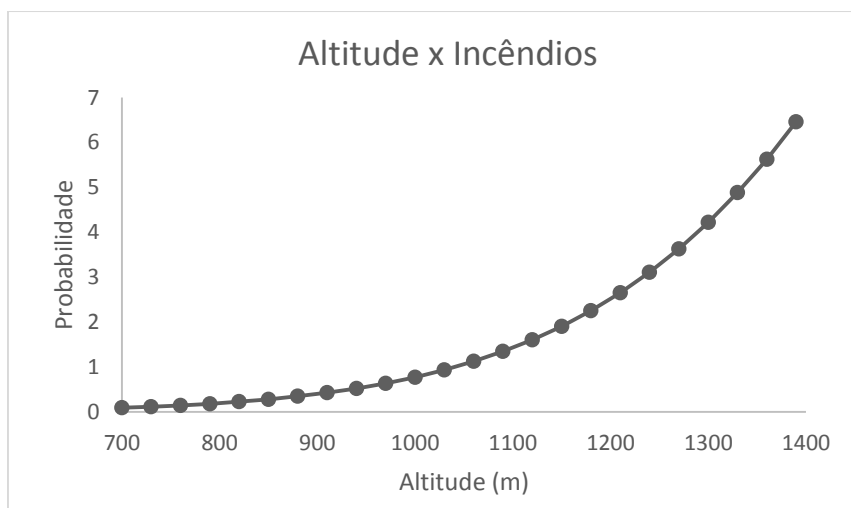


Figura 6. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação da altitude (metros).

Segundo Ribeiro et al. (2008), a variação da altitude influencia o risco de incêndio devido à relação com a umidade do ar, ou seja, a altitude representa indiretamente a umidade do material combustível e a consequente redução do risco a

ocorrência de fogo. O material combustível nestas áreas tende a ter menor teor de umidade, favorecendo a propagação e ignição do fogo.

O EVI (*Enhanced Vegetation Index*) apresentou efeito negativo significativo (95% de probabilidade) na ocorrência do fogo no Distrito Federal (ver tabela 13, em anexo). Neste caso, rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que o coeficiente da regressão para a variável foi estatisticamente diferente de zero. A variável está negativamente relacionada, portanto, quanto menor os valores de EVI, maior será a probabilidade da ocorrência do fogo (Figura 7).

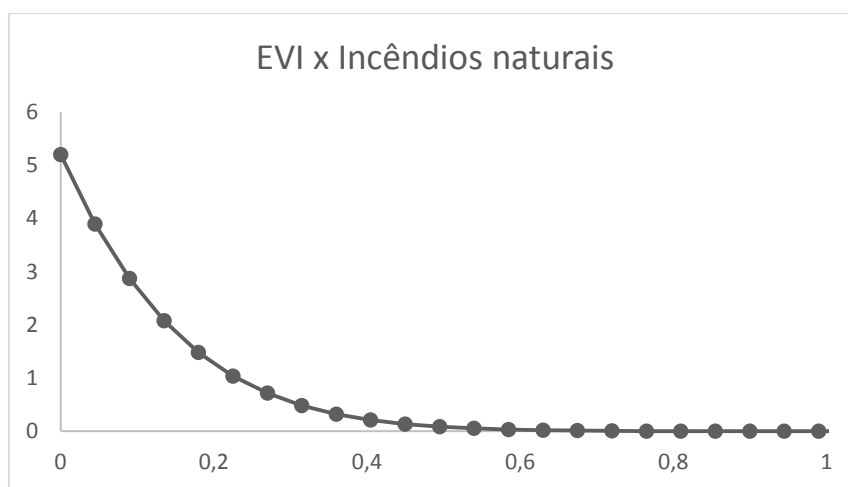


Figura 7. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação do EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

O efeito negativo do aumento do EVI na ocorrência do fogo na área de estudo pode estar relacionado às condições de umidade do combustível da vegetação. Batista (2004) observou que em florestas ralas ou abertas, como no cerrado sensu stricto, campo limpo, campo rupestre o ar circula com facilidade contribuindo para acelerar a secagem do material combustível.

A distância de rodovias, considerado como um importante fator de origem de incêndios, apresentou significância estatística positiva a 95% de probabilidade. Este resultado indica que a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais aumenta de acordo com a distância das rodovias. A probabilidade aumenta 3,55% (ver tabela 14, em anexo) quando se afasta 10000 metros da estrada (Figura 8).

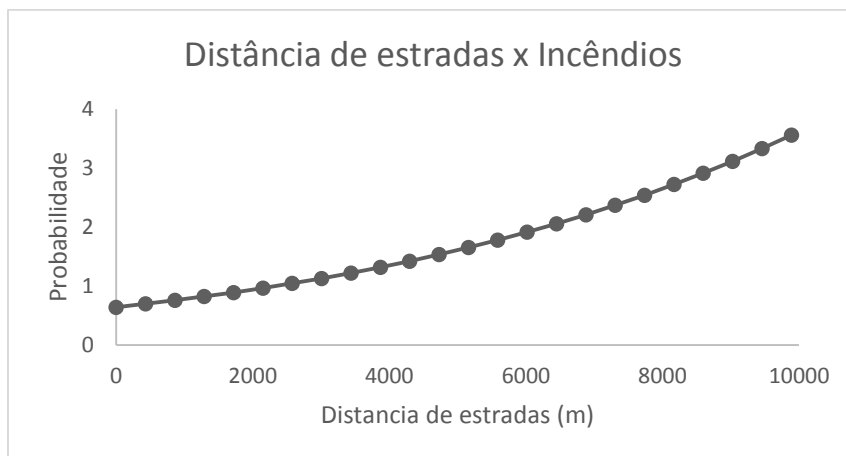


Figura 8. Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação a variação da distância de estradas (m).

A relação entre distância de estradas e ocorrência do fogo é normalmente esperada ser negativa. As estradas permitem o acesso de pessoas e veículos, causando maiores riscos de incêndios por vários fatores: incêndios criminosos, cultos religiosos, incêndios iniciados por cigarros, pequenas fogueiras, entre outros (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). No presente estudo, observou-se que as estradas são consideradas fontes de ignição (BATISTA, 2004), porém depois, o fogo se propaga para áreas mais distantes.

A Figura 9 mostra os anos com influência significativa (95% de probabilidade) na ocorrência de áreas impactadas pelo fogo no Distrito Federal. Neste caso, destacaram-se os anos de 2002, 2004 e 2010, que apresentaram probabilidade significativa (95% de probabilidade) de ocorrência do fogo.

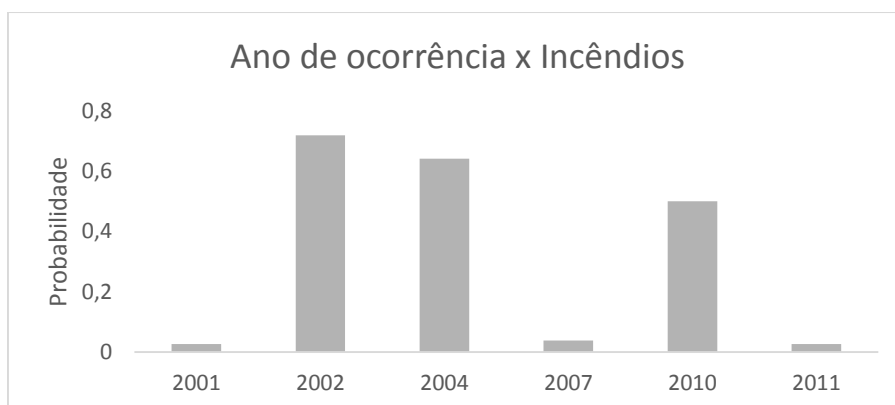


Figura 9. Probabilidade da ocorrência dos incêndios florestais para os anos 2001, 2002, 2004, 2007, 2010 e 2011.

A ocorrência variável de incêndios a cada ano pode variar devido as condições climáticas. Além disso, eventos climáticos como o fenômeno El Niño também podem ter influenciado a ocorrência de incêndios florestais na região de estudo, visto que pode haver a redução da precipitação durante o fenômeno, como foram os casos de 2002/2003 e 2010/2011. (NULL, 2017)

Escores de risco de incêndios para as variáveis

O estudo do uso da terra representa a vulnerabilidade ao fogo de acordo com a atividade ocorrente em cada região (OLIVEIRA, 2004). O tipo de vegetação influencia no modo que o fogo irá se comportar, pois ele se propaga com mais facilidade em uma floresta aberta que em uma floresta densa (BATISTA, 2004). No presente estudo, o uso da terra foi analisado utilizando do índice de vegetação. Para isso, foram atribuídos escores (Tabela 3) de acordo com faixas de valores do EVI, de forma inversamente proporcional, exceto em caso de solos expostos representados por valores de EVI muito baixos (0 a 0,07).

Tabela 3. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos ao EVI.

EVI	Escore de risco	Risco	Área (%)
0-0,07	0	Nulo	0,59
0,071-0,18	5	Extremo	11,73
0,19-0,024	4	Muito alto	4,88
0,241-0,30	3	Alto	17,40
0,31-0,37	2	Moderado	30,77
0,39-0,59	1	Baixo	34,62

A Figura 10 apresenta a distribuição espacial dos valores dos escores de risco de incêndios atribuídos para a variável índice de vegetação (EVI) na área de estudo. Foi observado que 34,6% da região encontra-se com risco extremo de propagação de incêndios e 30,8% de risco muito alto.

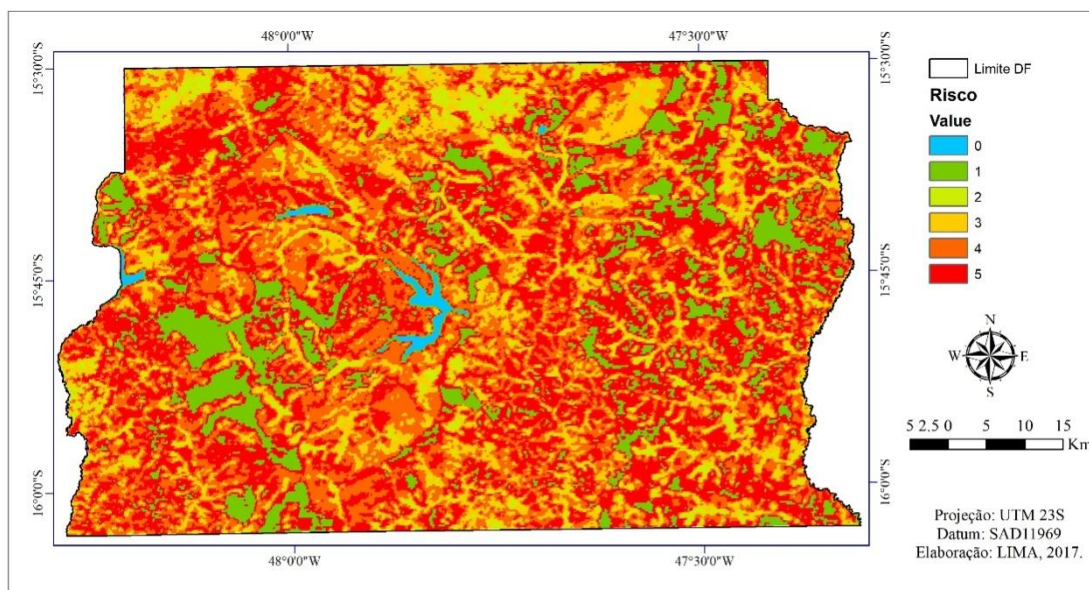


Figura 10. Atribuição de escores para ocorrência de incêndios florestais conforme valores do EVI para o Distrito Federal

A altitude tem influência direta no risco de incêndios. No caso da área de estudo, a altitude variou entre 727 m e 1350 m e, de acordo com os resultados do modelo Probit, a altitude teve efeito negativo sobre a ocorrência de incêndios florestais. O efeito verificado para a área deste estudo foi o oposto ao observado por (RIBEIRO et al., 2008), onde áreas de menor altitude tiveram maior chance de ser impactada por fogo. A Tabela 4 apresenta os escores atribuídos para o risco de incêndios por intervalos de altitudes para o Distrito Federal.

Tabela 4. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a altitude (m).

Altitude (m)	Escore de risco	Risco	Área (%)
700-1000	1	Baixo	44,12
1001-1100	2	Moderado	26,38
1101-1200	3	Alto	20,19
1201-1300	4	Muito alto	8,90
Acima de 3000	5	Extremo	0,40

As áreas encontradas como de risco baixo representam 44,12% da região, como pode ser observado na Figura 11.

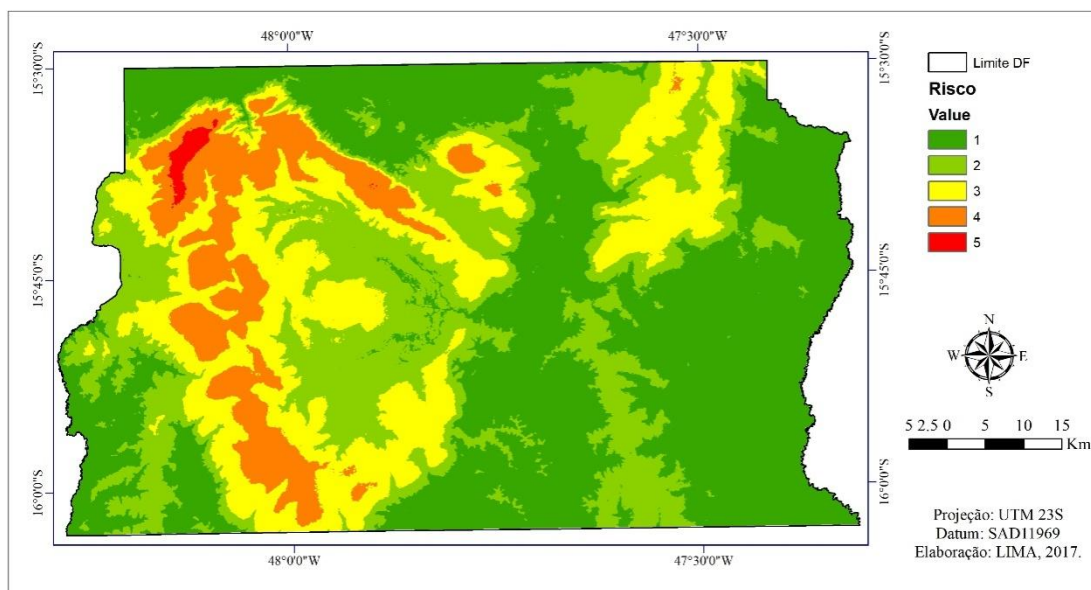


Figura 11. Classificação de risco de incêndio segundo a altitude do DF.

A declividade do terreno está associada à velocidade e direção de propagação. Segundo Batista (2004), a topografia afeta a característica do vento e a localização dos tipos de combustíveis. Para a análise do risco em função da declividade foram utilizadas as classes apresentadas na tabela abaixo, relacionando o grau de inclinação do terreno com o risco de propagação do fogo. Neste caso, quanto maior a inclinação do terreno, maior será o risco da ocorrência e propagação do fogo na vegetação (ver Tabela 5).

Tabela 5. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a declividade (m).

Inclinação (em graus)	Escore de risco	Risco	Área (%)
Até 20	1	Baixo	99,20
21-35	2	Moderado	0,77
36-50	3	Alto	0,03
51-60	4	Muito alto	0,00
Acima de 60	5	Extremo	0,00

O Distrito Federal se caracteriza por possuir relevo plano, como pode ser observada na Figura 12, as áreas identificadas como risco baixo, segundo a classificação, correspondem a 99,19% da região, com angulação que variam até 20°.

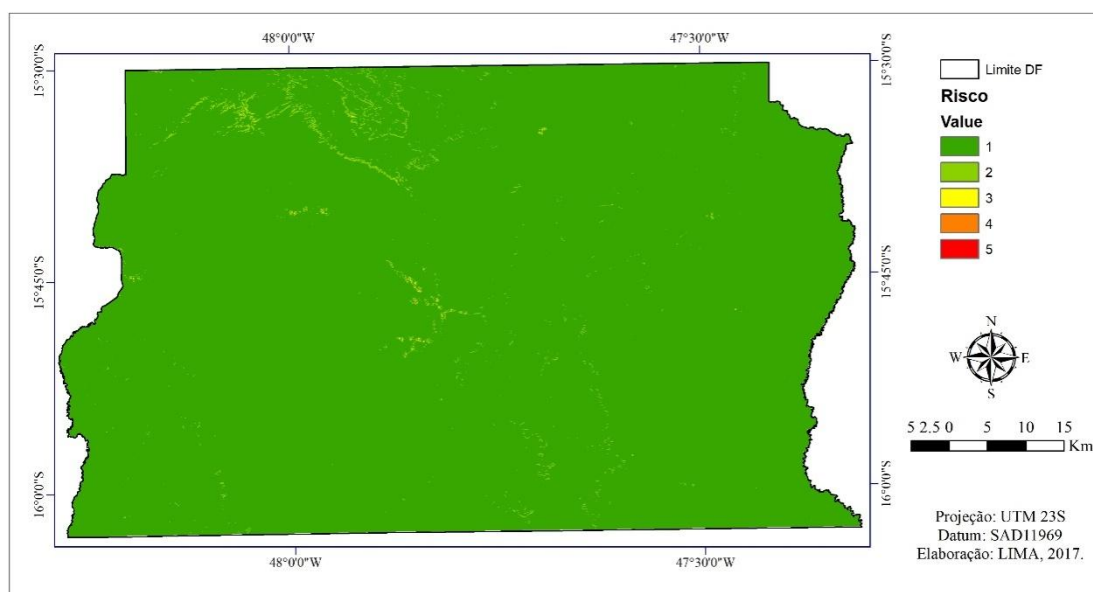


Figura 12. Classificação de risco de incêndio segundo a declividade do DF

As orientações das encostas definem o tempo de exposição à luz solar de cada uma delas. Assim, faces (encostas) mais ensolaradas perdem umidade mais rapidamente facilitando o início e a propagação do fogo (RIBEIRO et al., 2008). A Tabela 6 apresenta os escores de risco de incêndios atribuídos de acordo com a orientação das encostas no Distrito Federal

Tabela 6. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a orientação do relevo (graus).

Ângulo de orientação (graus)	Exposição	Escore de risco	Risco	Área (%)
150-210	Sul	1	Baixo	17,25
210-240 e 120-150	Sudoeste/Sudeste	2	Moderado	16,27
60-120 e 240-300	Leste/Oeste	3	Alto	32,06
30-60 e 300-330	Nosdeste/Noroeste	4	Muito alto	16,91
330-30	Norte	5	Extremo	17,52

Em relação aos efeitos a orientação do relevo, o Distrito Federal possui 17,25% de seu território classificado como risco baixo de ocorrência de incêndios florestais, com faces orientadas o Sul, e 17,52% de faces orientadas para o norte, classificadas como risco extremo (Figura 13).

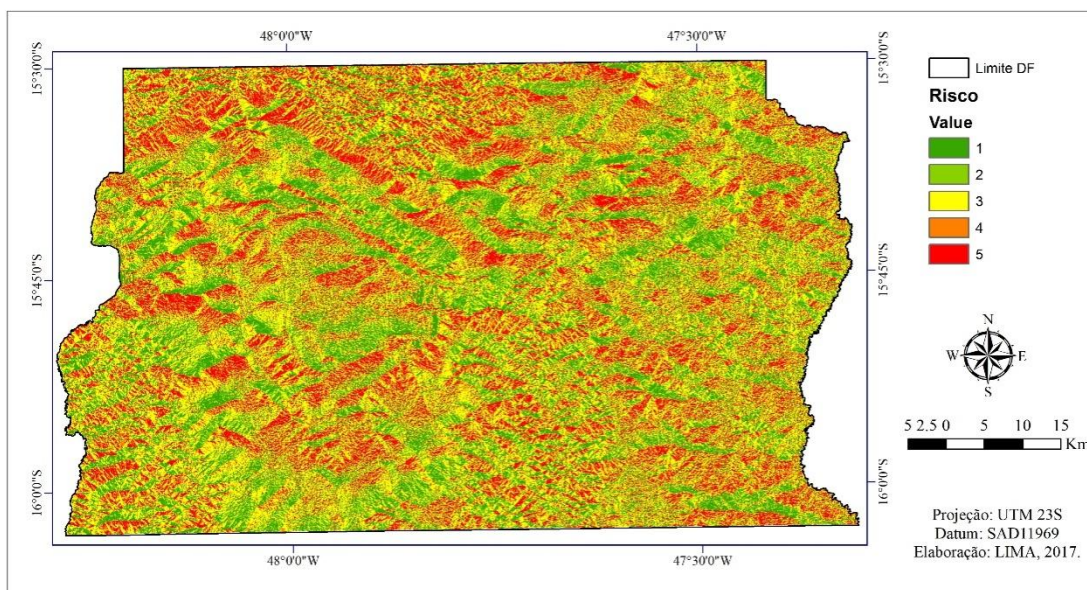


Figura 13. Classificação de risco de incêndio segundo a orientação do relevo do DF.

Batista (2002) afirma que a maioria dos incêndios em áreas florestais resulta de ações humanas de uso e ocupação da terra. As estatísticas sobre as ocorrências de incêndios florestais demonstram que, tanto no Brasil como na maioria dos outros países, as principais causas dos incêndios são de natureza humana. No presente estudo, a classificação de risco de incêndio em relação a distância de centros urbanos foi feita segundo a Tabela 7.

Tabela 7. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a distância de centros urbanos (m).

Distância de centros urbanos (m)	Escore de risco	Risco	Área (%)
Até 500	1	Baixo	22,02
501-1000	2	Moderado	34,29
1001-3000	3	Alto	18,66
3001-10000	4	Muito alto	6,14
Acima de 10000	5	Extremo	18,89

A figura mostra a distribuição espacial dos valores dos escores de risco de incêndios atribuídos para a variável distância de centros urbanos na área de estudo. Foi observado que 34,29% da região apresenta risco moderado para ocorrência do fogo, e 18,89% apresenta risco extremo de ocorrência do fogo por estar mais próxima as atividades antrópicas de centros urbanos.

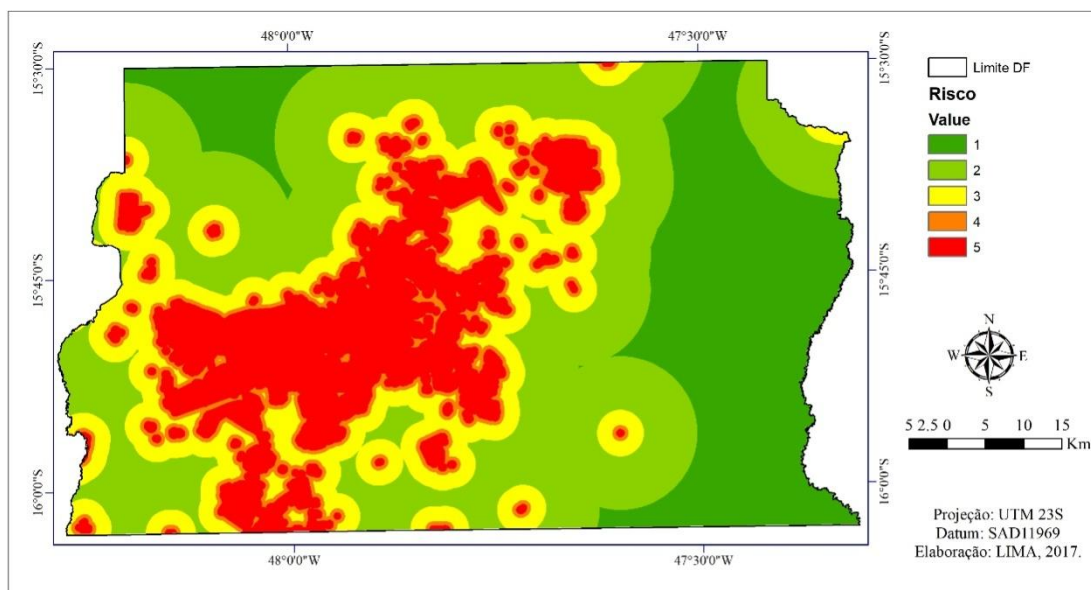


Figura 14. Classificação de risco de incêndio segundo a distância de centros urbanos do DF e entorno.

Para avaliar o risco em função da presença humana, foram atribuídos escores de acordo com o acesso pela rede viária (Tabela 8), considerando uma faixa de influência para cada lado das estradas, conforme sugerido por Freire et al. (2002).

Tabela 8. Escores de risco de incêndios florestais atribuídos a distância de estradas (m).

Distância de estradas (m)	Escore de risco	Risco	Área (%)
Até 1000	1	Baixo	38,907
1001-2000	2	Moderado	25,457
2001-4000	3	Alto	25,245
4001-7000	4	Muito alto	9,310
Acima de 7000	5	Extremo	1,082

A Figura 15 mostra a distribuição espacial dos valores dos escores de risco de incêndios atribuídos para cada variável na área de estudo. Em relação à distância de estradas, 38,9% da região apresentou risco baixo de propagação, e 25,24% apresentou risco alto.

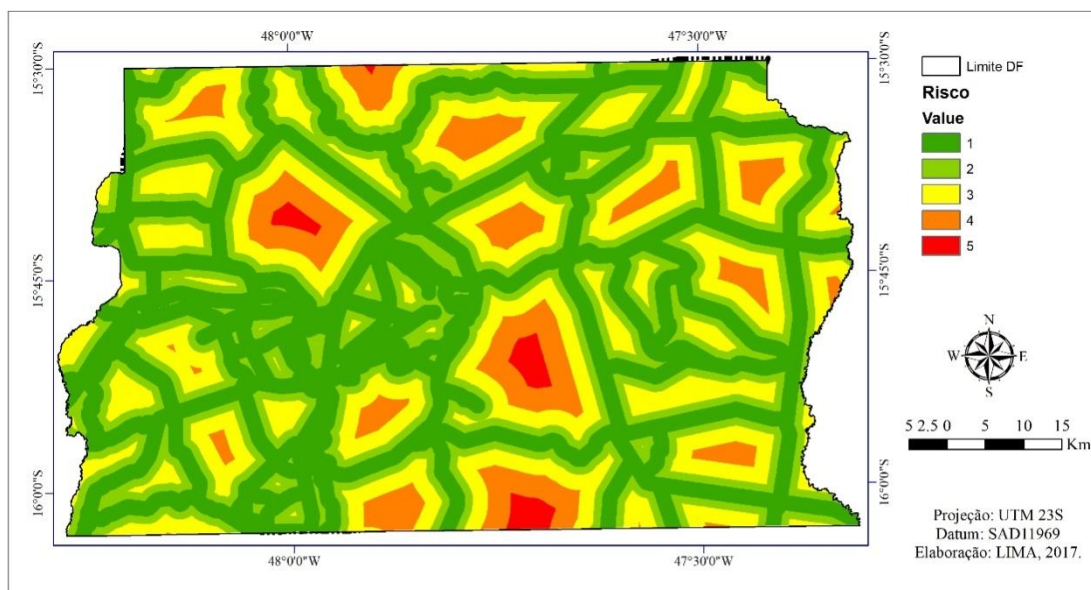


Figura 15. Classificação de risco de incêndio segundo a distância de estradas do DF e entorno.

Pesos das variáveis:

Na sequência, foram atribuídos pesos para cada variável de risco de ocorrência e propagação de incêndios florestais com base no trabalho desenvolvido por Batista et al. (2002). A Tabela 9 apresenta o peso atribuído à cada variável utilizada neste estudo.

Tabela 9. Pesos atribuídos as variáveis de influência no zoneamento de risco de incêndio.

Variáveis	Peso
Declividade	0,30
Altitude	0,25
EVI	0,25
Distância de estradas	0,10
Distância de centros urbanos	0,05
Orientação das encostas	0,05

Os pesos apresentados na Tabela 9 possuem relação à sua susceptibilidade ao fogo. Estes mesmos valores (escores) atribuídos para cada variável, foram agrupados através da ferramenta *Raster Calculator* do programa ArcGis 10.1 ® , gerando o índice de risco conforme descrito no modelo abaixo:

$$RISCO = 0,30 * DV + 0,25 * AT + 0,23 * EVI + 0,1 * DE + 0,05 * DC + 0,05 * OR$$

onde:

DV = coeficiente de risco segundo a declividade

AT = coeficiente de risco segundo a altitude

EVI = coeficiente de risco segundo o uso do solo

DE = coeficiente de risco segundo distância de estradas

DC = coeficiente de risco segundo distância de centros urbanos
OR= coeficiente de risco segundo a orientação da encosta.

6.2. Zoneamento de risco de ocorrência e propagação dos incêndios florestais

A aplicação desta equação ponderada possibilitou a integração das variáveis que definem o risco de incêndios, resultando no zoneamento de incêndios florestais. A figura 16 apresenta a distribuição espacial do risco de ocorrência e propagação do fogo de incêndios florestais no Distrito Federal. As áreas identificadas como de maior risco (muito alto e extremo) correspondem a 31,09% (ver tabela 10) da região e estão localizadas próximas às principais unidades de conservação e proteção ambiental.

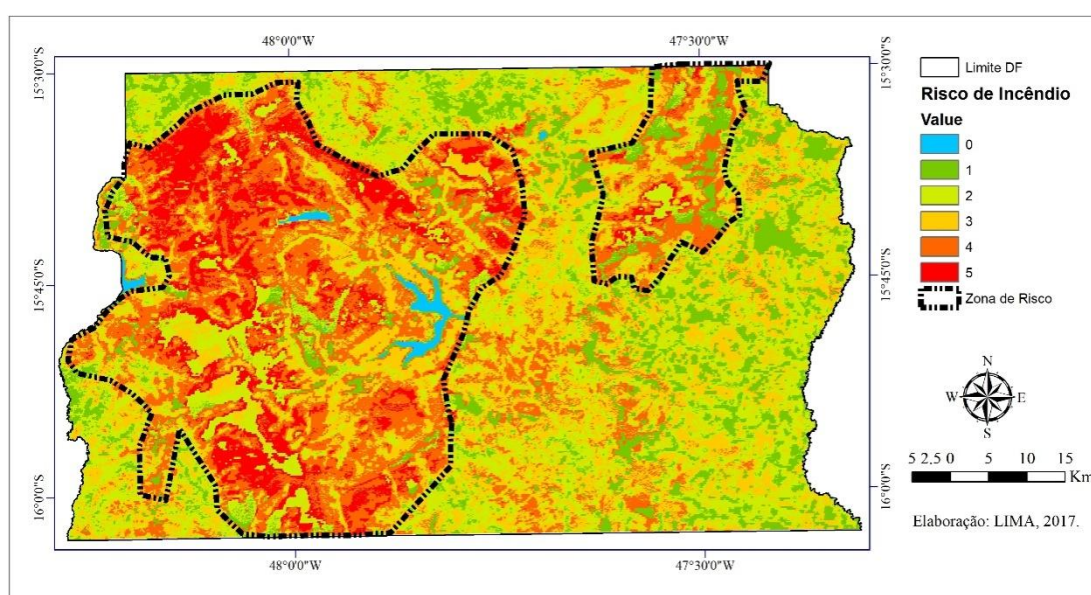


Figura 16. Zoneamento de ocorrência e propagação de incêndios florestais no Distrito Federal, com destaque para a zona com maior concentração de risco.

Segundo IBRAM (2014) o Distrito Federal apresenta uma rica biodiversidade e a protege através de 106 Unidades de Conservação (UCs) – o que representa mais de 90% do seu território sob proteção ambiental. Essas áreas estão incluídas na áreas de maior risco encontradas no zoneamento, sendo as principais a Área de preservação Ambiental (APA) do Rio Descoberto, APA de Cafuringa, APA Gama Cabeça de Veado, ARIE do Riacho Fundo, APA do Paranoá, APA do São Bartolomeu, Parque Nacional de Brasília (PNB), Floresta Nacional de Brasília (Flona), Estação Ecológica de Águas Emendadas, Estação Ecológica Jardim Botânico, e entre outros parques ecológicos envolvidos na região, o que pode vir a comprometer a conservação da fauna e a flora desses locais.

Além disso, as áreas classificadas como de risco moderado e alto correspondem a 55,02% da área total do Distrito Federal, localizadas próximas aos centros urbanos o que podem trazer diversos malefícios à população. Apenas 12,86% da região apresentou risco baixo e 1,03% apresentou risco nulo, relativos às áreas com solos exposto, mineração, cultivos irrigados e corpos d'água, respectivamente.

Tabela 10. Classificação das áreas de risco de incêndio segundo o zoneamento desenvolvido para o Distrito Federal

Escore de risco	Risco	Área (%)
0	Nulo	1,03
1	Extremo	12,86
2	Muito alto	27,90
3	Alto	27,12
4	Moderado	22,64
5	Baixo	8,45

Na Figura 17 é apresentado as zonas de risco de ocorrência de incêndios florestais. As zonas de maior risco de incêndios coincidem com as áreas de maior frequência de incêndios ocorridos entre os anos 2000 e 2016. Nota-se que a maior parte dos incêndios observados são reincidentes nas referidas áreas exigindo maior atenção para a prevenção e combate de incêndios.

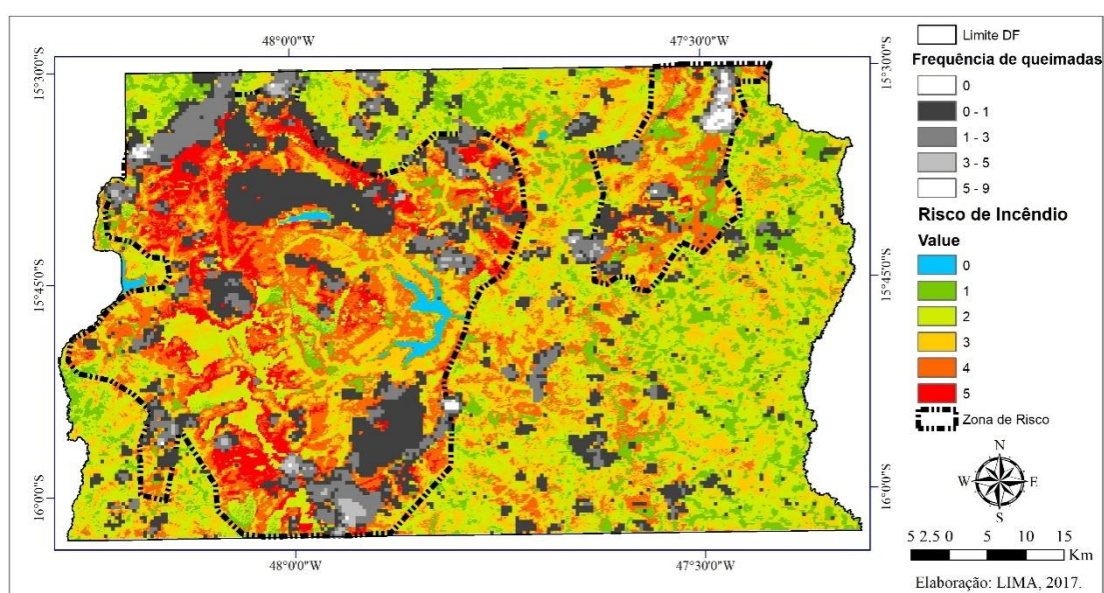


Figura 17. Relação entre o zoneamento de risco de incêndio e a frequência de queimadas ocorridas entre os anos de 2000 a 2016.

Além das estratégias de prevenção de incêndios, é necessário estruturar brigadas de incêndios nas regiões mais críticas previstas no presente zoneamento de risco. Neste sentido, são necessários formação e estruturação de equipes, aquisição de equipamentos de combate, comunicação e de segurança aos brigadistas, além da realização de treinamento para formar e manter a brigada preparada para o combate. Tais ações de combate e vigilância poderão controlar prontamente os focos de incêndios em sua fase inicial, evitando incêndios de grandes proporções e danos.

7. CONCLUSÃO

Os fatores que apresentaram influência estatística significativa sobre a probabilidade de ocorrência de incêndios foram: declividade, altitude, índice de vegetação (EVI) e proximidade de rodovias. Com base nestas variáveis e o Distrito Federal é abrangido por áreas de moderado e muito alto risco de incêndios florestais. As áreas de maior probabilidade de ocorrência de incêndios florestais estão localizadas nas proximidades das áreas protegidas no Distrito Federal.

A definição de zonas de risco de ocorrência e propagação de incêndios florestais para o Distrito Federal apresentou boa consistência com as características físico-bióticas locais. O zoneamento de risco dos incêndios florestais poderá então contribuir para o melhor entendimento espacial da ocorrência e propagação de eventos de fogo, com destaque as áreas protegidas e seus entornos. Com isso, será possível a melhor definição e otimização das estratégias de prevenção e combate ao fogo por parte das instituições responsáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R.D., SANTOS, L.F.M., MATRICARDI, E.A.T., BATISTA, I.X. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. Enciclopédia da Biosfera. **Centro Científico Conhecer**. Goiânia, GO, v.11, n. 21, 1943-1957, 2015.
- ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 4, p. 445 - 456, 2005
- BATALHA, M.A.; MANTOVANI, W. Floristic composition of the cerrado in the pé-de-gigante reserve (Santa Rita do Passa Quatro, Southeastern Brazil). **Acta Botânica Brasílica**, v.15, n.3, p.289-304, 2001.
- BATISTA, D. S. **Zoneamento de risco de incêndios em povoamentos florestais no norte de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 124 p., 2002.
- BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Revista Floresta**, n. 34. Curitiba, PR, n. 34, p. 237-241, 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado2013**. Brasília: MMA, 2015. 67p
- BRAUMANN, R.; CARNEIRO, F. G. (2002). **Os agentes econômicos em processo de integração regional – Inferências para avaliar os efeitos da ALCA**. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 33p.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. Principles of geographical information systems. Oxford, **Oxford University Press**.1998
- CASTAÑEDA, A. Zonificación para el manejo de incendios en plantaciones forestales en Colombia. **Boletín de Protección Forestal**, Colombia, n. 2, p. 38-46, abr. 1997.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. **Remote sensing of environment**, v. 29, p. 147-159. (1989)
- CODEPLAN. 1984. **Atlas do Distrito Federal II**. Brasília, Governo do Distrito Federal.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.) Fire in the Tropical Biota. Berlin, **Springer-Verlag**, p. 82-105, 1990.
- COUTINHO, L. M. O Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, v. 12, n. 68, p. 22-30, 1990b.
- CORREIO BRASILIENSE. Corpo de bombeiros combate incêndio florestal próximo ao CCBB. 2017. Disponível em: <http://www.correiobrasiliense.com.br/> Acesso em: 12 de outubro de 2017.

- EITEN G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review* 38:201-341.
- Eiten, G. 1979. Formas fisionômicas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica** 2: pg, 139-148
- FELFILI, M.J.; FELFILI, M.C.; NOGUEIRA, P.E.; ARMAS, J.F.S.; FARINAS, M.R.; NUNES, M.; SILVA JR., M.C.; REZENDE, A.V.; FAGG, C.W. **Padrões fitogeográficos e sua relação com sistemas de terra no Bioma Cerrado**. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.213-228
- FELFILI, M. J.; REZENDE, R. P. (2003). **Conceitos e métodos em fitossociologia. Comunicações Técnicas Florestais**, v. 5, n. 1. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 68p.
- FELFILI, M. C.; FELFILI, J. M. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu da Chapada Pratinha, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 243-254, Aug. 2001.
- FERRAZ, S. F. B., VETORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**. Piracicaba, SP, n. 53, p. 39-48, 1998. ISSN 1413-9324
- FIEDLER, N.C., AZEVEDO, I.N.C., REZENDE, A.V., MEDEIROS, M.B., VENTUROILI, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição Florística de uma área de cerrado sensu stricto na Fazenda água Limpa – DF. **Revista Árvore**. Brasília, v. 28, p.129-138, 2004.
- FRANÇA, D. de A.; FERREIRA, N. J. (2005). **Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE. p. 3017-3023.
- FRANÇA, H. (2004). **Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA**. In: Ferreira, N. J. (Org.). Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 57-78
- FREIRE, S., CARRÃO, H., CAETANO. M. R., **Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares**. 2002. Disponível em: <http://www.researchgate.net/> Acesso em: 27/05/2015.
- FULLER, M. **Forest fires: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention**. New York: J. Wiley, 1991
- GDF – Governo do Distrito Federal. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF)**. Brasília, Distrito Federal. 2009. Disponível em: <<http://www.zee.df.gov.br>>
- GUEDES, D. M. **Resistência das árvores do Cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico**. 1993.113 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1993

- GPRAM – **Grupamento de Proteção Ambiental da Polícia Militar do Distrito Federal. Ocorrências de incêndios florestais no Distrito Federal.** 2015. Brasília, Distrito Federal.
- HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices (Special Issue). **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.195–213, 2002.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento das Queimadas e incêndios**, 2015. Disponível em: Acesso em: 27/05/2015.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres.** Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. (2005). Conservation of brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713.
- MARCUSSI, A.B.; BUENO, C.R.P.;MIQUELONI, D.P.;ARRAES, C.L.Utilização de índices de vegetaçãopara os sistemas de informação geográfica.**Caminhos da geografia**, Jaboticabal, v.11, n.35, p.41-53, 2010.
- MCARTHUR, A. G. Control burning in eucalypt forests. Canberra: Common wealth of Australia Forestry and Timber Bureau, 1962.
- MEDEIROS, M.B.; FIEDLER, N.C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. 2004. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 157-168
- MEDEIROS, M. B. **Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas, em campo sujo.** 2002. 121 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- MENDONÇA, R. C. de.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C. da.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. de S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. (2008). **Flora vascular do Bioma Cerrado.** In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. de.; Ribeiro, J. F. (eds.) Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. v.2. p. 421 – 442.
- FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. **Biogeografia do bioma cerrado: estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 152p. p.74-79.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Embrapa Cerrados-Livros técnicos (INFOTECA-E), 2012.
- MIETTINEN, J. Burnt area in insular Southeast Asia using medium resolution satelliteimagery. **Dissertationes Forestales** 45. 45p. 2007.
- MIRANDA, H. S. **Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos.** In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Eds.). Cerrado: ecologia e caracterização. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.69-123

- MIRANDA, H.S., BUSTAMANTE, M.M.C. & MIRANDA, A.C. The fire factor. In The cerrados of Brazil – Ecology and natural history of a neotropical savanna (P.S. Oliveira & R.J. Marquis, eds.). **Columbia University Press**, New York, p.51-68. 2002.
- MODIS Website. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>> Acesso em: 12 de setembro de 2013.
- MUNHOZ, C. R.; FELFILI, J, M. Fitossociologia do estrato herbáceo subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**. 20(3): 671-685. 2006
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422p.
- NULL, J. El Niño and la Niña Years and Intensities. 2017. Acesso em: 1 de dezembro de 2017. Disponível em: <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>>
- NUNES R.V., SILVA-JÚNIOR M.C., FELFILI M.J. & WALTER B.M.T. 2002. Intervalos de classe para abundância, dominância e frequência do componente lenhoso do cerrado sentido restrito no Distrito Federal. **Revista Árvore** 26: pgs 173-182.
- OLIVEIRA, D. S., BATISTA, A. C., SOARES, R. V., GRODZKI, L., VOSGERAU, J., Zoneamento de risco de incêndio florestais para o estado do Paraná. **Revista Floresta**. Curitiba, PR, v. 34, n. 2, 2004.
- OLIVEIRA, A. L. S. **Avaliação dos sensores EOS/MODIS e NOAA/AVHRR na detecção e registro de incêndios e queimadas**. Dissertação de mestrado. Viçosa: UFV, 2006.
- PÉLLICO-NETTO, S.; BRENA, D. A. (1997). Inventário florestal, vol 1. Curitiba, PR. 316p.
- PEREIRA, M. C. Detecção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e LANDSAT e dados de aeronave. 1987. 268 p. (INPE-4503-TDL/326). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1987
- PHULPIN, T.; Lavenu, F.; Bellan, M. F.; Mougnot, B.; Blasco, F. Using SPOT-4 HRVIR and VEGETATION sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 10, p. 1943-1966, 2002. Publicado como: INPE-4503-TDL/326.
- PINTO, M.N. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (Coord.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: Universidade de São Paulo, 1994. p. 277-308.
- PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, R.; KRUG, T. **Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia**. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 1, p. 77-84, 2008

- RIBEIRO, L., KOPROSKI, L.P., SOTLLE, L., LINGNAU, C., SOARES, R.V., BATISTA, A.C. **Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR)**. Revista Floresta. Curitiba, PR, v. 38, n. 3, 2008.
- RIBEIRO, J.F, WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.213-228.
- RIOS, M.N.S. **Dinâmica de comunidades vegetais em Cerrado típico com histórico de fogo no Distrito Federal**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. PPGEFL.TD065/2016, Programa de pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 160 p.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU, 5a Ed. 238 p., 2003.
- SAMBUICHI, R. H. R. **Efeitos de longo prazo do fogo periódico sobre a fitossociologia da camada lenhosa de um cerrado em Brasília**. DF. 1991. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1991.
- SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wildland fire risk mapping Wild fire. Washington, v. 3, n. 2, p. 7-13, 1994.
- SARRES, C. **Clima quente e seco causa o maior incêndio do ano em Brasília**. 2011. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br>>. Acesso em: 20 nov.2011
- SOARES, R.V. Perfil dos incêndios no Brasil, de 1984 a 1987. Revista Floresta, n.1-2, v. XVIII. P. 95-99. 1988.
- SOHO, D. M. What is a "fire hazard"? Forestland Steward, Sacramento, n. 424, p.12, 1999.
- TATAGIBA, M. M. A. **Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92p. 2010.
- TEODORO, D. A. A. **Biomassa, Estoque de Carbono e Nutrientes no Cerrado**. Dissertação de Mestrado. Publicação PPGEFL.DM-239/2014, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, DF, 59 p, 2014
- UNESCO. **Vegetação no Distrito Federal - Tempo e Espaço. Uma avaliação multitemporal da perda de cobertura vegetal no DF e da diversidade florística da Reserva da Biosfera do Cerrado**. Brasília, 2ed., 80 p., 2002. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001316/131644POR.pdf> Aesso em: 27/05/2015.
- WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Tese de Doutorado em Ecologia. 2006. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, DF, 398 p.

WOOLDRIDGE, J. M. (2000). Introductory econometrics: a modern approach. South-Western College Publishing.

ZACHARIAS, G.C. **Indicadores para a gestão de riscos de incêndios florestais em áreas periurbanas do Distrito Federal**. Brasil: estudo de caso do Núcleo Rural do Córrego do Urubu. Dissertação (Mestrado em Planejamento em Gestão Ambiental) Universidade Católica de Brasília. Brasília, 140 p. 2013.

ANEXOS

ANEXO 1: **DECRETO Nº 37.549, DE 15 DE AGOSTO DE 2016**

Institui o Sistema Distrital de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais para execução do Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Distrito Federal e dá outras providências.

O GOVERNADOR DO DISTRITO FEDERAL, no uso das atribuições que lhe conferem o artigo 100, inciso VII, da Lei Orgânica do Distrito Federal, DECRETA:

Art. 1º Fica instituído o Sistema Distrital de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, com o objetivo de promover a articulação interinstitucional visando à otimização dos recursos humanos e materiais para execução do Plano de Ação de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Distrito Federal, doravante denominado PPCIF.

Art. 2º Integram o Sistema Distrital de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais os seguintes órgãos e entidades do Distrito Federal, como executores do PPCIF:

I - Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SEMA;

II - Jardim Botânico de Brasília - JBB;

III - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal-Brasília Ambiental - IBRAM;

IV - Subsecretaria de Estado de Proteção e Defesa Civil da Secretaria de Estado de Segurança Pública do Distrito Federal - DEFESA CIVIL;

V - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - CBMDF;

VI - Polícia Militar do Distrito Federal - PMDF; e

VII - Secretaria de Estado da Saúde - SES.

Art. 3º Compete à SEMA:

I - a coordenação geral do Sistema Distrital de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais;

II - as articulações necessárias ao treinamento de pessoal envolvido com as ações do PPCIF, e

III - o secretariado do PPCIF.

Art. 4º Compete ao IBRAM/DF:

I - a elaboração e implementação de programa de educação ambiental específico, com planejamento anual de atividades;

II - a fiscalização e a aplicação de penalidades administrativas relativas a incêndios florestais;

III - autorizar a queima controlada;

IV- executar o monitoramento da qualidade do ar e de áreas queimadas em suas Unidades de Conservação;

V - apoiar as operações de combate em sua Unidade de Conservação;

VI - executar o gerenciamento de riscos a incêndios florestais nas Unidades de Conservação administradas pelo Instituto; e

VII - contratar brigada especializada para atuação nas atividades de prevenção, preparação e combate aos incêndios florestais;

Art. 5º Compete à DEFESA CIVIL:

I - planejar, em conjunto com os demais órgãos integrantes do Sistema de Defesa Civil, a prevenção de situações de risco para populações ou propriedades;

II - promover e coordenar os recursos disponíveis a nível local, públicos ou privados, para apoio nas operações de combate aos incêndios florestais;

III - propor a declaração de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública, nos casos de riscos iminentes; e

IV - obter, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, os dados meteorológicos de relevância para o PPCIF e repassá-los para os demais órgãos executores.

Art. 6º Compete ao CBM/DF:

I - apoiar os demais órgãos executores nas ações de prevenção;

II - coordenar e executar as operações de combate aos incêndios florestais;

III - investigar as causas dos incêndios florestais, quando solicitado pela Administração da Unidade de Conservação; e

IV - ministrar, anualmente, cursos de Sistema de Comando de Incidentes - SCI, para os órgãos que compõem o PPCIF, quando solicitado.

Art. 7º Compete à PMDF:

I - apoiar as medidas preventivas implementadas nas unidades de conservação, especialmente aquelas voltadas à intensificação da vigilância das áreas críticas; e

II - apoiar as medidas de combate inicial.

Art. 8º Compete à SES/DF, nos termos da Instrução Normativa 01, do Ministério da Saúde, de 07 de março de 2005:

I - realizar ações de assistências às populações expostas a poluentes atmosféricos decorrentes da queima de biomassa; e

II - coordenar, avaliar, planejar, monitorar e supervisionar as ações de vigilância das doenças e agravos à saúde relacionados à contaminação atmosférica.

Art. 9º Podem participar, como executores do PPCIF, mediante celebração de convênios, termos de cooperação ou ajustes, os seguintes órgãos e entidades distritais e federais:

I - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, responsável pela administração da Reserva Ecológica do IBGE;

II - Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;

III - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, responsável pela administração das Unidades de Conservação Federais;

Tabela 11. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação do ângulo de inclinação do relevo (declividade) do DF.

Ângulo de inclinação (graus)	Ztotal	Probabilidade
0	-2,46618	0,682810142
3	-2,39783	0,824625804
6	-2,32948	0,991686977
9	-2,26113	1,18757083
12	-2,19277	1,416179942
15	-2,12442	1,681738449
18	-2,05607	1,988781085
21	-1,98772	2,34213421
24	-1,91937	2,746888047
27	-1,85102	3,208359452
30	-1,78266	3,732044775
33	-1,71431	4,323562541
36	-1,64596	4,988586007
39	-1,57761	5,7327659
42	-1,50926	6,561644025
45	-1,44091	7,480558748
48	-1,37255	8,49454374
51	-1,3042	9,608221712
54	-1,23585	10,82569521
57	-1,1675	12,15043686
60	-1,09915	13,58518162
63	-1,0308	15,13182395
66	-0,96244	16,79132266
69	-0,89409	18,56361653

Tabela 12. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação da altitude (metros) do DF.

Altitude (m)	Ztotal	Probabilidade
700	-3,11631	0,091566143
730	-3,04678	0,115652024
760	-2,97726	0,145417794
790	-2,90774	0,182025581
820	-2,83822	0,226831109
850	-2,7687	0,281405823
880	-2,69917	0,347559368
910	-2,62965	0,427361873
940	-2,56013	0,523165445
970	-2,49061	0,637624101
1000	-2,42109	0,773711322
1030	-2,35156	0,934734285
1060	-2,28204	1,124343765
1090	-2,21252	1,346538644
1120	-2,143	1,605663939
1150	-2,07348	1,906401268
1180	-2,00395	2,253750732
1210	-1,93443	2,653003276
1240	-1,86491	3,109702755
1270	-1,79539	3,629597116
1300	-1,72587	4,218578356
1330	-1,65634	4,882611235
1360	-1,58682	5,627651029
1390	-1,5173	6,459551025

Tabela 13. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação do índice de vegetação do DF.

EVI	Ztotal	Probabilidade
0	-1,62587	5,19882452
0,045	-1,76314	3,893883664
0,09	-1,9004	2,869053805
0,135	-2,03766	2,079206576
0,18	-2,17492	1,481807141
0,225	-2,31218	1,038385497
0,27	-2,44944	0,715387867
0,315	-2,5867	0,484494135
0,36	-2,72397	0,322516409
0,405	-2,86123	0,211002562
0,45	-2,99849	0,135661346
0,495	-3,13575	0,085707747
0,54	-3,27301	0,053204163
0,585	-3,41027	0,032449006
0,63	-3,54753	0,019442786
0,675	-3,6848	0,011444325
0,72	-3,82206	0,006617161
0,765	-3,95932	0,003758202
0,81	-4,09658	0,002096497
0,855	-4,23384	0,001148667
0,9	-4,3711	0,000618104
0,945	-4,50836	0,000326647
0,99	-4,64563	0,000169524
1,035	-4,78289	8,63977E-05

Tabela 14. Probabilidade de ocorrência de incêndios segundo a variação da distância de estradas do DF.

Distância de estradas (m)	Ztotal	Probabilidade
0	-2,48904	0,64044368
430	-2,45928	0,696073191
860	-2,42953	0,75592591
1290	-2,39977	0,820265461
1720	-2,37002	0,889366992
2150	-2,34026	0,963517273
2580	-2,3105	1,043014766
3010	-2,28075	1,128169649
3440	-2,25099	1,219303806
3870	-2,22124	1,316750766
4300	-2,19148	1,420855603
4730	-2,16172	1,53197478
5160	-2,13197	1,650475945
5590	-2,10221	1,77673767
6020	-2,07246	1,911149134
6450	-2,0427	2,054109748
6880	-2,01294	2,206028711
7310	-1,98319	2,367324515
7740	-1,95343	2,538424371
8170	-1,92368	2,719763581
8600	-1,89392	2,911784828
9030	-1,86416	3,114937411
9460	-1,83441	3,329676401
9890	-1,80465	3,556461733