

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS**

LÍVIA CAROLINE CÉSAR DIAS

**USO DE TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA
PARA A ELABORAÇÃO DE MODELOS DE SUSCETIBILIDADE
À OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS ÁREAS DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL DO MOSAICO SERTÃO VEREDAS –
PERUAÇU, MG**

**SÃO CARLOS -SP
2021**

LÍVIA CAROLINE CÉSAR DIAS

USO DE TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA
PARA A ELABORAÇÃO DE MODELOS DE SUSCETIBILIDADE
À OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS ÁREAS DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL DO MOSAICO SERTÃO VEREDAS –
PERUAÇU, MG

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais^{1,2}.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini

Coorientador: Prof. Dr. Yosio Edemir Shimabukuro

São Carlos-SP
2021

¹ Apoio Financeiro: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processo 441959/2018-0.

² Apoio Financeiro: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Processo: 88887.465566/2019-00.

César Dias, Livia Caroline

Uso de técnicas de aprendizado de máquina para a elaboração de modelos de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais nas áreas de proteção ambiental do Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu, MG / Livia Caroline César Dias -- 2021. 169f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Luiz Eduardo Moschini

Banca Examinadora: Luiz Eduardo Moschini, Yosio

Edemir Shimabukuro, Adriana Maria Zalla Catojo,

Vandoir Bourscheidt, Helena França, João Vitor Roque

Guerrero

Bibliografia

1. Incêndios Florestais. 2. Conservação da Biodiversidade. 3. Planejamento Ambiental. I. César Dias, Livia Caroline. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Lívia Caroline César Dias, realizada em 07/12/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini (UFSCar)

Prof. Dr. Yosio Edemir Shimabukuro (INPE)

Profa. Dra. Adriana Maria Zalla Catojo (UFSCar)

Prof. Dr. Vandoir Bourscheidt (UFSCar)

Profa. Dra. Helena França (UFABC)

Prof. Dr. João Vitor Roque Guerrero (Consultor Independente)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini pelo apoio, confiança, suporte e orientação na conclusão desta tese. E também pelos anos de contribuição à minha formação como pesquisadora, desde o mestrado.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Yosio Edemir Shimabukuro (INPE) pelas correções, confiança, orientação, paciência e por ter aberto as portas do seu laboratório, uma parceria que foi fundamental para a realização desta pesquisa e conclusão deste trabalho.

Ao Adams, por todo o carinho e compreensão durante todo este período. Por ser um companheiro dedicado e que provavelmente seja capaz de defender esta tese na minha ausência, afinal por meses foi o único assunto que me ouviu falar. Não só ouviu, como ajudou no que podia e me incentivava a continuar.

À toda minha família, em especial meu pai Fred e meu irmão Dimitri, que sempre me incentivaram e se orgulharam das minhas escolhas. Ao meu cachorro Frank que desde o mestrado me lembrava da importância das pausas para as caminhadas, mas no doutorado as pausas diminuíram e ele me mostrou que esse tempo perdido não volta mais.

À banca Dra. Adriana Maria Zalla Catojo, Dr. Vandoir Bourscheidt, Dra. Helena França e Dr. João Vitor Roque Guerrero por gentilmente aceitarem avaliar o presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Mike Flannigan (Universidade de Alberta) que foi meu co-orientador no período do doutorado sanduíche no Canadá, e que mesmo em um período de pandemia com a Universidade fechada, foi sempre solícito me acolhendo junto ao seu laboratório e sua equipe. Sem dúvida os aprendizados que obtive neste período de estágio no exterior foram essenciais para a existência de muitas análises e descobertas realizadas neste trabalho. Agradeço pelo confiança no meu trabalho e pela parceria construída.

Ao Guilherme Braga Ferreira e à Izabela Menezes Barata agradeço por me apresentarem as belezas e potencialidades do sertão norte mineiro e suas veredas. Se não tivesse cruzado o caminho de vocês em meados de 2013, com certeza a minha trajetória como pesquisadora seria completamente diferente. Ao Guilherme agradeço também a imensa contribuição na discussão das análises e resultados, que me ajudaram a encontrar melhores soluções.

Aos amigos do Laboratório de Geotecnologias e Conservação Ambiental da UFSCar, Mariana, Mayara, Naara, Diego, Vitor, Dayana, Ana Paula, Ana Cláudia e em especial o João que me ajudou sempre que eu pedi socorro.

Às minhas abelhinhas do coração, da Rep. Colmeia para a vida, Fernanda, Luiza, Marina e Maria Eugênia (*in memoriam*) sempre presentes.

Aos meus amigos que sempre caminham comigo nos bons e nos maus momentos Victor, Luisa, Laís e Juliana.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processo: 441959/2018-0.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão de bolsa de Doutorado Sanduíche (CSF) – Processo: 88887.465566/2019-00.

RESUMO

O Cerrado vem sofrendo intensa pressão da fronteira agrícola nas últimas décadas, sendo as áreas protegidas quase que os únicos remanescentes com algum estágio de conservação desse domínio vegetacional no Brasil. Entretanto as linhas imaginárias que separam estas áreas conservadas das áreas antropizadas não tem sido suficiente, e como consequência os incêndios florestais tem devastado cada vez mais estes ambientes outrora protegidos. Ferramentas de geoprocessamento cumprem um importante papel que possibilita o mapeamento destas regiões e assim identifica áreas mais vulneráveis, enquanto que as técnicas de *machine learning* torna possível criar modelos para prever a ocorrência de incêndios florestais num futuro próximo em determinados locais. Neste estudo, procuramos associar as ferramentas de sensoriamento com as técnicas de *machine learning* para poder elaborar modelos preditivos de incêndios florestais para as Áreas de Proteção Ambiental (APA) do Mosaico Sertão Veredas Peruaçu. Para tanto, consideramos variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação), ambientais (altitude, declividade, NDVI, Distância de Hidrografia), antrópicas (Distância de Rodovias, Densidade Populacional, Distância de Habitações e Uso e Cobertura do Solo) e índice de umidade de combustível do solo (índice de umidade dos combustíveis finos, índice de umidade *Duff* e índice de seca) a fim de explicar quando, onde e porquê o fogo ocorre na região. Além disso, estas áreas são compostas por ambientes de veredas de grande relevância para o Cerrado e com um importante papel no estoque de carbono e, por isso quantificamos a concentração do carbono orgânico no solo destas veredas. A escolha do melhor modelo de ocorrência de incêndios florestais pelo método de regressão logística foi baseada no Critério de Informação de Akaike. Para cada APA foi gerado um modelo final com um conjunto de variáveis diferentes, mas todos os modelos apresentaram alta performance na predição de incêndios florestais. Os resultados dos modelos finais mostraram que a Área abaixo da Curva (AUC), que é a taxa de acerto do modelo, foi maior que 95% para cada uma das três APA's. Outro parâmetro utilizado para avaliar a eficácia dos modelos foi o valor do R^2 , que apresentou valores próximos de 1 nos modelos finais, confirmando que estes modelos estavam ajustados. Quanto à concentração de carbono orgânico no solo da vereda, os resultados mostraram que este solo turfoso demonstra capacidade em armazenar carbono. A concentração de carbono orgânico na área arbórea da vereda é até 20 vezes maior que em área de cerrado *strictu sensu*.

Palavras-chave: Unidades de Conservação; machine learning; carbono; incêndios florestais; sensoriamento remoto; veredas

ABSTRACT

The Cerrado has been under strong pressure from the agricultural frontier in recent decades, with protected areas being almost the only remaining areas with some degree of conservation of this biome in Brazil. However, the imaginary lines that separate these conserved areas from anthropized areas have not been sufficient and as a consequence, wildfires have increasingly devastated these once protected environments. Geoprocessing tools have played an important role in enabling the mapping of these areas and in identifying more vulnerable areas, while machine learning techniques have made it possible to create models to predict the occurrence of wildfires in the near future in certain regions. In this work we seek to associate the geoprocessing tools with the machine learning techniques to be able to create for the Environmental Protection Areas of the Sertão Veredas Peruaçu Mosaic a forest fire predictive models. For this, we consider climatic variables (temperature, relative humidity, wind speed and precipitation), environmental (altitude, slope, NDVI, Hydrographic Distance), anthropogenic (Distance from Roads, Population Density, Distance of Occupations and Land Use and Land Cover) and soil fuel moisture index (fine fuel moisture code, Duff moisture code and drought index) in order to explain when, where and why fire occurs in the region. In addition, these areas are composed of veredas environments of great relevance to the Cerrado and with an important role in the carbon stock, and for this reason we evaluate the quantification of organic carbon in these veredas. The choice of the best forest fire occurrence model by the logistic regression method was based on the Akaike Information Criterion. For each Environmental Protection Area (EPA), a final model was generated with a set of different variables, but all models showed high performance in predicting forest fires. The results of the final models showed that the Area Under the Curve (AUC), which is the model's hit rate, was greater than 95% for each of the three APA's. Another parameter used to assess the effectiveness of the models was the R^2 value, which presented values close to 1 in the final models, confirming that these models were adjusted. As for the concentration of organic carbon in the vereda soil, the results showed that this peat soil demonstrates the capacity to store carbon. The concentration of organic carbon in the arboreal area of the vereda is up to 20 times higher than in the cerrado strictu sensu area.

Keywords: Conservation Units; machine learning; carbon; wildfires; remote sensing; veredas

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Localização do Mosaico de Área Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu no Estado de Minas Gerais.....	6
Figura 2.2: Localização da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais.....	8
Figura 2.3: Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2019 da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais	9
Figura 2.4: Rede de drenagem da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais	10
Figura 2.5: Distribuição dos valores de altitude agrupados em classes hipsométricas da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais	11
Figura 2.6: Localização das comunidades presentes no território da APA Cochá e Gibão. (Fonte: IEF, 2019a)	12
Figura 2.7: Localização da APA Pandeiros no Estado de Minas Gerais.....	13
Figura 2.8: Mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2019 da APA Rio Pandeiros no Estado de Minas Gerais	14
Figura 2.9: Rede de drenagem da APA Pandeiros no Estado de Minas Gerais	15
Figura 2.10: Distribuição dos valores de altitude agrupados em classes hipsométricas da APA Pandeiros no Estado de Minas Gerais	16
Figura 2.11: Localização das comunidades presentes no território da APA Pandeiros. (Fonte: IEF, 2019b).....	17
Figura 2.12: Localização da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais.....	18
Figura 2.13: Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2019 da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais	19
Figura 2.14: Rede de drenagem da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais ...	20
Figura 2.15: Distribuição dos valores de altitude agrupados em classes hipsométricas da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais	21
Figura 2.16: Distribuição das classes de solos na APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais.....	22
Figura 2.17: Fluxograma da metodologia adotada neste estudo	28
Figura 3.1: Localização geográfica das APA's Cocha e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais.	37
Figura 3.2: Distribuição dos focos de incêndios (1999-2019) no território das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu	42
Figura 3.3: Temperatura Média Anual para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período de 1999 a 2019.....	47

Figura 3.4: Precipitação Anual acumulada para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período de 1999 a 2019.....	47
Figura 3.5: Precipitação Média Mensal para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período acumulado de 1999 a 2019.	48
Figura 3.6: Umidade Relativa do Ar Média Mensal para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período acumulado de 1999 a 2019.....	49
Figura 3.7: Focos de Incêndios acumulados por mês no período de 1999 a 2019 para a APA Cochá e Gibão.	50
Figura 3.8: Focos de Incêndios acumulados por mês no período de 1999 a 2019 para a APA Rio Pandeiros.	52
Figura 3.9: Focos de Incêndios acumulados por mês no período de 1999 a 2019 para a APA Cavernas do Peruaçu.	53
Figura 4.1: Localização geográfica das APA's Cocha e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais.	68
Figura 4.2: Variáveis Ambientais e Antrópicas da APA Cochá e Gibão e os focos de incêndios do INPE para o período de estudo de 2005 a 2019.	81
Figura 4.3: Variáveis Ambientais e Antrópicas da APA Rio Pandeiros e os focos de incêndios do INPE para o período de estudo de 2005 a 2019.	82
Figura 4.4: Variáveis Ambientais e Antrópicas da APA Cavernas do Peruaçu e os focos de incêndios do INPE para o período de estudo de 2005 a 2019..	83
Figura 4.5: Focos de Incêndio nas áreas da APA Cavernas do Peruaçu, do Parque Estadual Veredas do Peruaçu e do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu no período de 2005 a 2019.	89
Figura 4.6: Área queimada total das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu para o período de 2005 a 2019.....	90
Figura 4.7: Área queimada (km ²) e número de focos de incêndios na APA Cochá e Gibão por ano no período de 2005 a 2019.....	91
Figura 4.8: Área queimada (km ²) e número de focos de incêndios na APA Rio Pandeiros por ano no período de 2005 a 2019.....	92
Figura 4.9: Área queimada (km ²) e número de focos de incêndios na APA Cavernas do Peruaçu por ano no período de 2005 a 2019..	93
Figura 4.10: Curva de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área Abaixo da Curva (AUC) para o modelo da APA Cochá e Gibão.....	98
Figura 4.11: Curva de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área Abaixo da Curva (AUC) para o modelo da APA Rio Pandeiros.	99

Figura 4.12: Curva de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área Abaixo da Curva (AUC) para o modelo da APA Cavernas do Peruaçu.....	100
Figura 4.13: Distribuição da contagem espacial observada <i>versus</i> contagem de ocorrência prevista dos resíduos agrupados dos anos de teste (2016-2019), para o Modelo D da APA Cochá e Gibão, para o Modelo D da APA Rio Pandeiros e para o Modelo E da APA Cavernas do Peruaçu.	101
Figura 4.14: Mapa de probabilidade de incêndios florestais para a APA Cochá e Gibão.....	109
Figura 4.15: Mapa de probabilidade de incêndios florestais para a APA Pandeiros.....	110
Figura 4.16: Mapa de probabilidade de incêndios florestais para a APA Cavernas do Peruaçu	111
Figura 5.1: Localização da APA Rio Pandeiros no Estado de Minas Gerais e descrição do tipo de solo encontrado na região	124
Figura 5.2: Fotografias ilustrando a Vereda Preservada.....	126
Figura 5.3: Fotografias ilustrando a Vereda com uso antrópico.	127
Figura 5.4: Fotografias ilustrando a Vereda Queimada.....	128
Figura 5.5: Fotografias ilustrando a Vereda Descaracterizada.....	128
Figura 5.6: Desenho amostral da coleta de solo nas veredas da APA Rio Pandeiros.	130
Figura 5.7: Materiais utilizados na coleta de solos nas veredas da APA Rio Pandeiros.....	131
Figura 5.8: Fotografias ilustrando a coleta de solo nas veredas da APA Rio Pandeiros.....	132
Figura 5.9: Amostras de solo coletadas nas veredas da APA Rio Pandeiros embaladas, separadas, etiquetadas e preparadas para serem entregues ao laboratório de análises de solos.	134
Figura 5.10: Fotografias ilustrando os solos da área arbórea da vereda com uso antrópico em uma profundidade maior que 20 cm; evidenciando a alta concentração de areia que compõe o solo	135
Figura 5.11: Fotografias ilustrando os solos do ambiente da Vereda Preservada em uma profundidade de 0 a 20 cm	138
Figura 5.12: Fotografias ilustrando a deposição de matéria orgânica na Vereda Queimada resultante do incêndio florestal.....	139
Figura 7.1: Recorte de matriz de dados utilizada como dado de entrada para os modelos. ...	149
Figura 7.2: Lista de modelos possíveis geradas pelo algoritmo a partir da função <i>Dredge</i> . ..	150
Figura 7.3: Mapa de Usos e Cobertura do solo da APA Cochá e Gibão para os anos de 2005, 2009, 2003 e 2017	151
Figura 7.4: Mapa de Usos e Cobertura do solo da APA Rio Pandeiros para os anos de 2005, 2009, 2003 e 2017	152

Figura 7.5: Mapa de Usos e Cobertura do solo da APA Cavernas do Peruaçu para os anos de 2005, 2009, 2003 e 2017	153
Figura 7.6: Mapa das variáveis utilizadas no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais da APA Cochá e Gibão, sem a sobreposição dos focos de incêndios. ...	154
Figura 7.7: Mapa das variáveis utilizadas no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais da APA Rio Pandeiros, sem a sobreposição dos focos de incêndios.	155
Figura 7.8: Mapa das variáveis utilizadas no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais da APA Cavernas do Peruaçu, sem a sobreposição dos focos de incêndios.	156
Figura 7.9: Gráficos representando a Curva ROC e o AUC dos modelos: A) Modelo E da APA Cochá Gibão; B) Modelo E da APA Rio Pandeiros; C) Modelo D da APA Cavernas do Peruaçu	157
Figura 7.10: Distribuição da contagem espacial observada versus contagem de ocorrência prevista dos resíduos agrupados dos anos de teste (2016-2019), para os modelos: A) Modelo E da APA Cochá e Gibão; B) Modelo E da APA Rio Pandeiros; C) Modelo D da APA Cavernas do Peruaçu.	158
Figura 7.11: Gráficos representando a Curva ROC e o AUC do Modelo C das APA's: A) Cochá Gibão; B) Rio Pandeiros; C) Cavernas do Peruaçu	159
Figura 7.12: Distribuição da contagem espacial observada versus contagem de ocorrência prevista dos resíduos agrupados dos anos de teste (2016-2019), para o Modelo C das APA's: A) Cochá e Gibão; B) Rio Pandeiros; C) Cavernas do Peruaçu.....	159
Figura 7.13: Tela inicial do aplicativo Brigada Online	160
Figura 7.14: Tela de login do aplicativo Brigada Online	161
Figura 7.15: Página inicial do aplicativo Brigada Online	161
Figura 7.16: Página dos registros de ocorrências do aplicativo Brigada Online.....	162
Figura 7.17: Torres que auxiliam na visualização e localização de incêndios florestais na APA Cavernas Do Peruaçu.....	163
Figura 7.18: Centro de Apoio à Pesquisa na APA Cavernas do Peruaçu.....	163
Figura 7.19: Placa na sede do ICMBIO, na entrada da APA e do Parque Cavernas do Peruaçu, sinalizando o risco de incêndios florestais na região.....	164
Figura 7.20: Trecho do Rio Peruaçu que passa embaixo de uma rodovia, quase seco.	164
Figura 7.21: Área de carvoejamento associada a plantação de Pinus (área privada) no interior da APA Cavernas do Peruaçu.....	164
Figura 7.22: Criação de gado solto e infraestrutura rural na APA Rio Pandeiros.....	165

Figura 7.23: Área de cerrado derrubada por trator à esquerda e área de cerrado em regeneração à direita. Ambas em área privada.	165
Figura 7.24: Reviramento da turfa do solo, devido à ocorrência de um incêndio florestal....	165
Figura 7.25: Lagoa Azul no Parque Estadual Veredas do Peruaçu. Além da beleza cênica é de extrema importância para a área.	166
Figura 7.26: Palmeira Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>) em área de vereda e seu fruto buriti.	167
Figura 7.27: Vereda Capivara. Vereda preservada na região da APA Rio Pandeiros.....	168
Figura 7.28: Rio Catolé na APA Rio Pandeiros.	169
Figura 7.29: A flor do Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>).	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Materiais utilizados.....	27
Tabela 3.1: Materiais utilizados nas análises deste capítulo	38
Tabela 3.2: Dados mensais de focos de incêndios do INPE referente aos anos de 1999 a 2019 para a Área de Proteção Ambiental Cochá e Gibão	50
Tabela 3.3: Dados mensais de focos de incêndios do INPE referente aos anos de 1999 a 2019 para a Área de Proteção Ambiental Rio Pandeiros.....	51
Tabela 3.4: Dados mensais de focos de incêndios do INPE referente aos anos de 1999 a 2019 para a Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu	53
Tabela 3.5: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo de Clima de cada uma das APA's	54
Tabela 3.6: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo de Clima e Combustível de cada uma das APA's	55
Tabela 3.7: Índices e métricas para analisar a performance dos modelos de predição de ocorrência de incêndios florestais.....	55
Tabela 3.8: Coeficientes das variáveis explicativas do Modelo de Clima para cada uma das APA's	56
Tabela 3.9: Coeficientes das variáveis explicativas do Modelo de Clima e Combustível para cada uma das APA's.....	57
Tabela 4.1: Materiais utilizados como base para as análises realizadas neste trabalho	71
Tabela 4.2: Materiais utilizados na elaboração do modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais	71
Tabela 4.3: Variáveis explicativas incluídas no desenvolvimento do modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais nas APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu	74
Tabela 4.4: Classes de uso e cobertura do solo da classificação do MapBiomas utilizadas no modelo	78
Tabela 4.5: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo Ambiental/ Antrópico – Modelo C.....	93
Tabela 4.6: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo Ambiental/ Antrópico + Clima – Modelo D.....	94
Tabela 4.7: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo Ambiental/ Antrópico + Clima + Combustível – Modelo E.	95

Tabela 4.8: Índices e métricas para analisar a performance dos modelos de predição de ocorrência de incêndios florestais.....	96
Tabela 4.9: Tendência das variáveis explicativas para os modelos da APA Cochá e Gibão..	102
Tabela 4.10: Variáveis explicativas que foram mantidas no modelo de regressão logística final da APA Cochá e Gibão.....	105
Tabela 4.11: Variáveis explicativas que foram mantidas no modelo de regressão logística final da APA Rio Pandeiros.....	106
Tabela 4.12: Variáveis explicativas que foram mantidas no modelo de regressão logística final da APA Cavernas do Peruaçu.....	107
Tabela 5.1: Análise Granulométrica das amostras de solo coletadas em veredas na APA Rio Pandeiros	136
Tabela 5.2: Determinação da matéria orgânica, carbono orgânico, densidade e umidade das amostras de solo coletadas em veredas na APA Rio Pandeiros	137
Tabela 5.3: Análise de variância (ANOVA), teste de homogeneidade de Levene e teste de normalidade de Shapiro-Wilk.....	140
Tabela 5.4: Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.....	141
Tabela 7.1: Pacotes do R e suas versões, utilizados nas modelagens deste estudo.....	149
Tabela 7.2: Índices e métricas para analisar a performance dos modelos de predição de ocorrência de incêndios florestais utilizando os satélites de referência	157

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1Objetivos.....	4
1.2 Estrutura da tese.....	4
2 MATERIAIS E MÉTODO.....	6
2.1 Caracterização da área de estudo	6
2.1.1 Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu	6
2.1.2 Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão.....	7
2.1.2.1 Clima e Vegetação	8
2.1.2.2 Rede de Drenagem.....	9
2.1.2.3 Hipsometria.....	10
2.1.2.4 Comunidades Tradicionais da APA Cochá e Gibão	11
2.1.3 Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros	12
2.1.3.1 Clima e Vegetação	13
2.1.3.2 Rede de Drenagem.....	14
2.1.3.3 Hipsometria.....	15
2.1.3.4 Comunidades Tradicionais da APA Rio Pandeiros	16
2.1.4 Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu	17
2.1.4.1 Clima e Vegetação	18
2.1.4.2 Rede de Drenagem.....	19
2.1.4.3 Hipsometria.....	20
2.1.4.4 Comunidades Tradicionais da APA Cavernas do Peruaçu	21
2.1.4.5 Classificação Pedológica das Áreas de Proteção Ambiental Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu.....	22
2.1.4.6 Histórico de Ocupação Humana e Agrícola na região Norte de Minas Gerais.....	24
2.1.4.7 Incêndios Florestais no Cerrado.....	26
2.2 Materiais	27
2.3Método.....	27

2.4 REFERÊNCIAS.....	30
3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E SUA RELAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CERRADO DO NORTE DE MINAS GERAIS.....	33
3.1 INTRODUÇÃO	35
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.2.1 Área de Estudo.....	36
3.2.1.1 Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão.....	37
3.2.1.2 Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros.....	38
3.2.1.3 Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu.....	38
3.2.2 Materiais	38
3.2.2.1 Dados Climáticos	38
3.2.2.2 Componentes do Sistema FWI:	39
3.2.3 Método.....	40
3.2.3.1 Comportamento das Variáveis Climáticas durante o período de estudo.....	41
3.2.3.2 Modelo de Ocorrência de Incêndios considerando fatores climáticos.....	41
3.2.3.3 Estruturação do Banco de Dados	41
3.2.3.4 Regressão Logística	43
3.2.3.5 Seleção do Modelo.....	44
3.2.3.6 Avaliação do Modelo.....	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.3.1 Comportamento das Variáveis Climáticas durante o período de estudo.....	46
3.3.2 Modelo de Ocorrência de Incêndios considerando fatores climáticos.....	54
3.3.3 Performance do Modelo.....	55
3.3.4 Influência das Variáveis Explicativas	56
3.4 CONCLUSÕES	58
3.5 REFERÊNCIAS.....	60

4 MODELO DE SUSCETIBILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS APA'S DO MOSAICO SERTÃO VEREDAS-PERUAÇU UTILIZANDO REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	64
4.1 INTRODUÇÃO	66
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	68
4.2.1 Área de Estudo.....	68
4.2.1.1 Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão.....	69
4.2.1.2 Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros.....	69
4.2.1.3 Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu.....	69
4.2.2 Materiais	70
4.2.3 Método	72
4.2.3.1 Análise de Área Queimada	72
4.2.3.2 Modelo de Ocorrência a Incêndios Florestais.....	72
4.2.3.3 Seleção das Variáveis e Compilação dos Dados.....	73
4.2.3.4 Seleção do Algoritmo	84
4.2.3.5 Seleção do Modelo.....	85
4.2.3.6 Avaliação do Modelo.....	86
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.3.1 Focos de Incêndios Florestais e Área Queimada	87
4.3.2 Modelo de Ocorrência de Incêndios Florestais.....	93
4.3.3 Performance do Modelo.....	96
4.3.4 Importância das Variáveis.....	101
4.3.5 Mapas de Suscetibilidade a incêndios florestais	108
4.4 CONCLUSÕES	113
4.5 REFERÊNCIAS.....	115
5 CONCENTRAÇÃO DE CARBONO E MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO DE VEREDAS EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE CONSERVAÇÃO NA APA RIO PANDEIROS, MG	120
5.1 INTRODUÇÃO	122

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	124
5.2.1 Área de Estudo.....	124
5.2.2 Métodos	125
5.2.2.1 Coleta de dados em campo.....	125
5.2.2.2 Metodologia de coleta de solo	130
5.2.2.3 Análises das amostras de solo.....	132
5.2.2.4 Análise estatística.....	133
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
5.3.1 Análises das amostras de solo.....	134
5.3.2 Análise estatística	140
5.4 CONCLUSÕES	142
5.5 REFERÊNCIAS.....	144
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
7 APÊNDICE.....	149
7.1 Pacotes do software R utilizados	149
7.2 Exemplo da Matriz de dados utilizada nos modelos.....	149
7.3 Exemplo de lista gerada após a análise da função <i>Dredge</i> no R.....	150
7.4 Mapas de Uso e Ocupação do Solo das APA's.....	151
7.5 Mapas das variáveis utilizadas sem a sobreposição dos focos de incêndios.....	154
7.6 Resultados da regressão logística utilizando satélites de referência	157
7.7 Resultados gráficos dos outros modelos de regressão logística gerados para cada APA.....	157
7.8 Aplicativo de Celular – Brigada Online.....	160
7.9 Visita a campo nas APA's Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu.....	163

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é o segundo maior domínio vegetacional brasileiro, representando 24% da cobertura vegetal do país (KLINK; MACHADO, 2005). Apesar dos avanços científicos e tecnológicos acerca do conhecimento sobre o Cerrado, assim como as ações direcionadas à sua proteção e conservação, ainda não são demonstrados resultados significativos a ponto de alterar ou impedir o processo de degradação ambiental ao qual esse importante domínio vegetacional vem sendo submetido (SCARIOT; SOUSA-SILVA; FELFILI, 2005).

Para Durigan (2010) é incontestável a relevância do Cerrado na regulação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, visto que oito das grandes bacias hidrográficas brasileiras tem suas nascentes neste domínio fitogeográfico. Somente por essa especificidade, teríamos subsídios para justificar a necessidade de conservar essas áreas.

Além da importância da regulação hídrica, é necessário ressaltar a diversidade vegetal presente nas áreas de Cerrado em decorrência das diferentes fitofisionomias vinculadas aos fatores físicos e fisiográficos específicos destas regiões (SCARIOT; SOUSA-SILVA; FELFILI, 2005). A biodiversidade vegetal que ocorre no domínio Cerrado pode ser classificada em diferentes formações vegetacionais, como: florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO; WALTER, 1998; WALTER, 2006). Segundo Ribeiro e Walter (1998), estas três formações respectivamente compreendem onze tipos fitofisionômicos, sendo respectivamente: mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão; (Cerrado *stricto sensu*, parque de cerrado, palmeiral e vereda; e campo sujo, campo rupestre e campo limpo.

Esta classificação inclui ambientes complexos relacionados às comunidades aluviais, dentre eles destaca-se a formação de vereda. As veredas são fitofisionomias muito comuns no Planalto Central Brasileiro, ocorrendo em solos permanentemente saturados de água. São caracterizadas por apresentar brejos gramíneos com a presença da palmeira arbórea buriti (*Mauritia flexuosa*), sendo muito importantes em termos ecológicos por funcionarem como área de refúgio, abrigo e reprodução, além de fonte de alimentos para a fauna terrestre e aquática e como local de pouso, nidificação e alimentação para a avifauna (ALENCAR, 2007).

Segundo o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG, 2015), apenas 33,8% do território de Minas Gerais tinham suas características vegetacionais originais preservadas no ano de 2015 e desse total apenas 19,94% eram representados pelo domínio Cerrado. Segundo Drummond et al. (2005), somente 7,34% de toda a cobertura vegetal do Estado se encontra protegida por Lei, sendo distribuídas em 397 unidades de conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável.

As ações de proteção das áreas vegetacionais necessitam de um planejamento estratégico, o qual não represente apenas as questões ecológicas, devendo também considerar a estrutura da paisagem como um todo para que possamos compreender os inter-relacionamentos que ocorrem entre as áreas protegidas e seu entorno imediato (AYRES et al., 2005).

Um exemplo de compreensão da estrutura da paisagem é a conservação integrada de Unidades de Conservação, com base na delimitação de mosaicos de áreas protegidas, conforme descrito no artigo 26º da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação:

Art. 26º - Quando existir um conjunto de unidades de conservação de categorias diferentes ou não, próximas, justapostas ou sobrepostas, e outras áreas protegidas públicas ou privadas, constituindo um mosaico, a gestão do conjunto deverá ser feita de forma integrada e participativa, considerando-se os seus distintos objetivos de conservação, de forma a compatibilizar a presença da biodiversidade, a valorização da sociodiversidade e o desenvolvimento sustentável no contexto regional.

A consolidação de um Mosaico de Áreas Protegidas torna-se importante e destaca-se em decorrência do tipo de gestão participativa que integra e envolve gestores das Unidades de Conservação (UCs) e a população do entorno (MMA, 2017).

Mediante a importância vegetal e as estratégias conservacionistas, a região norte do estado de Minas Gerais apresenta áreas significativas de vegetação nativa em um ecótono de Cerrado e Caatinga. Em decorrência do seu isolamento geográfico, das características sociais e das peculiaridades fitofisionômicas, nesta região foi instituído um mosaico de áreas protegidas (FERREIRA et al., 2011). Este mosaico conhecido como Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas – Peruaçu (MSVP) localiza-se na margem esquerda do Rio São Francisco nas macrorregiões norte e noroeste de Minas Gerais e pequena parte do sudoeste da Bahia (FUNATURA, 2008).

As características fitofisionômicas das áreas de Cerrado apresentam uma alta suscetibilidade à ocorrência de incêndios principalmente associados à estação seca (DURIGAN; RATTER, 2016). Contudo, a ocorrência de incêndios nas áreas de Cerrado não apresenta apenas características prejudiciais, pois em alguns casos e em situações específicas, são de fundamental importância para a manutenção da biodiversidade vegetal (PIVELLO; FIDELIS, 2011).

De acordo com Durigan e Ratter (2016) as especificidades das áreas de Cerrado dependem de estratégias específicas e direcionadas a cada localidade para a existência de manejo adequado, eficiente e objetivo do fogo nestas áreas, estando apoiado em conhecimentos técnico-científicos a fim de maximizar o equilíbrio natural entre o manejo e a biodiversidade local.

Em todo o território nacional as áreas de Cerrado enfrentam problemas associados à ocorrência de queimadas, que apesar da existência de Legislações específicas que coíbem essa prática, a mesma ocorre sem nenhum controle ou manejo adequado (MMA, 2010).

De acordo com a Lei nº 12.651/2012, para a proteção das áreas de vegetação nativa é proibido o emprego do fogo deliberadamente. Porém em decorrência das características e especificidades de determinadas áreas de Cerrado, a ocorrência de fogo é de fundamental importância para a ciclagem de nutrientes e para a manutenção da vegetação. Considerando fatores como este, o Artigo 38º da referida Lei abre algumas exceções sendo permitido:

O emprego da queima controlada em Unidades de Conservação, em conformidade com o respectivo plano de manejo e mediante prévia aprovação do órgão gestor da Unidade de Conservação, visando ao manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo. (Art. 38, inciso I, p.19)

Apesar da existência deste inciso na Lei nº 12.651/2012 é difícil obter licença dos órgãos ambientais para a realização destas práticas, uma vez que o conhecimento por parte dos órgãos deliberativos, ainda é insuficiente em decorrências das especificidades de cada região com a presença do Bioma Cerrado, assim como as estruturas para o manejo e execução desta prática nas Unidades de Conservação são inadequadas ou inexistentes.

No Brasil muitas Unidades de Conservação não apresentam seus Planos de Manejo, mesmo sendo um documento exigido por Lei e de fundamental importância para o Manejo, Gestão e Proteção das Unidades (ISA, 2016). Esses documentos devem conter todas as diretrizes e formas para o emprego da prática do fogo.

Em decorrência da ausência do Plano de Manejo e à ocorrência de atividades agrícolas realizadas no entorno das UCs, as mesmas ficam expostas a riscos e à redução das áreas de vegetação nativa e podem sofrer incêndios florestais resultantes da prática do fogo.

O Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas – Peruaçu (MSVP), foi considerado pelo CEPF (Critical Ecosystem Partnership Fund) uma das 761 Áreas – Chave de Biodiversidade (KBAs em inglês), sendo esta região uma das áreas prioritárias para a manutenção e preservação das funções ecossistêmicas essenciais para a natureza e para a subsistência humana no Cerrado (SAWYER et al., 2016).

Na Portaria ICMBio 128, de 24 de Abril de 2009 o Mosaico (MSVP) é composto por treze Unidades de Conservação, onde quase todas se destacam pela presença das veredas. Dentre as UCs do MSVP, as que mais sofrem com o efeito das queimadas e a dificuldade no combate são as Áreas de Proteção Ambiental.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), as veredas são áreas úmidas de extrema importância para a regulação climática, qualificando-as como de suma importância

para a prevenção dos eventos climáticos adversos. A composição característica dos solos geralmente turfosos que podem apresentar uma das maiores reservas de carbono orgânico terrestre na superfície, reforçam a relevância da estabilidade destas áreas no atual cenário das mudanças climáticas (PAGE et al., 2002).

O aumento das atividades antrópicas na região norte de Minas Gerais, onde ocorre a maior presença de áreas de Cerrado e das veredas, submete estas áreas a forte pressão desenvolvimentista associada à formação de áreas de pastagem com o emprego das queimadas as quais afetam todas as fitofisionomias do Cerrado, principalmente as áreas das veredas, pois perdem suas características naturais o que inviabiliza sua regeneração natural além da possível liberação do carbono estocado em seus solos turfosos.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa foi a elaboração de um modelo de suscetibilidade a incêndios florestais, para prever possíveis áreas suscetíveis à ocorrência de incêndios florestais em Unidades de Conservação localizadas no Cerrado do norte do Estado de Minas Gerais. Com o intuito de determinar os principais fatores que impulsionam os incêndios florestais na região e as consequências deste incidente para a conservação da biodiversidade nas áreas de estudo.

Os objetivos específicos se resumem a:

- Descrever os procedimentos envolvidos na elaboração de um banco de dados para modelagem espaço-temporal da ocorrência de incêndios florestais.

-Analisar a influência das variáveis climáticas, antrópicas e ambientais na ocorrência de incêndios florestais.

-Quantificar a concentração de carbono orgânico e avaliar os atributos do solo do ambiente de vereda, na APA Rio Pandeiros.

-Produzir material cartográfico final que demonstra o grau de risco de incêndios florestais na área de estudo.

1.2 Estrutura da tese

A estrutura da tese é baseada em cinco capítulos, sendo eles:

Capítulo 1: Introdução Geral

Capítulo 2: Caracterização das áreas de estudo

Capítulo 3: **“Análise das variáveis climáticas e sua relação com a ocorrência de incêndios florestais no Cerrado do norte de Minas Gerais”** – O capítulo trata da correlação dos fatores meteorológicos e as ocorrências de incêndios em um intervalo de 21 anos (1999 a 2019) em três grandes Áreas de Proteção Ambiental no Cerrado do norte do Estado de Minas Gerais.

Capítulo 4: “Modelo de suscetibilidade a incêndios florestais nas APA’s do Mosaico Sertão Veredas-Peruaçu utilizando regressão logística” – O capítulo teve como objetivo identificar, a partir de uma regressão logística, as áreas onde há uma maior probabilidade de ocorrer incêndios florestais nas grandes Áreas de Proteção Ambiental do Mosaico Sertão Veredas-Peruaçu, sendo elas: APA Cavernas do Peruaçu, APA Rio Pandeiros e APA Cochá e Gibão independentemente dos fatores meteorológicos.

Capítulo 5: “Concentração de carbono e matéria orgânica no solo de veredas em diferentes estágios de conservação na APA Rio Pandeiros, MG – Este capítulo tratará da análise do solo do ambiente de quatro veredas com diferentes estágios de conservação localizadas na APA Rio Pandeiros. Foi realizada a coleta do solo em três pontos diferentes de cada uma dessas veredas e as amostras foram analisadas em laboratório.

Capítulo 6: Considerações Finais

Aplicativo de Celular – Brigada Online

Aplicativo de celular na versão Beta, desenvolvido juntamente às atividades do projeto “Desafios e ações para o manejo do fogo em áreas de cerrado no norte do estado de Minas Gerais” financiado pelo CNPq - Processo: 381361/2020-9. A elaboração deste aplicativo teve o intuito de auxiliar no armazenamento de informações sobre os incêndios florestais na região, a fim de estabelecer uma base de dados que auxilie no trabalho dos gestores das Unidades de Conservação. Este aplicativo é um produto deste trabalho e está descrito no Apêndice.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Caracterização da área de estudo

2.1.1 Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu

O MSVP foi instituído no ano de 2009 por meio da Portaria nº 128 de 24 de abril de 2009, abrangendo 13 Unidades de Conservação de diferentes categorias de proteção (BRASIL, 2009) (Figura 2.1). Com uma área de mais de 1,8 milhão de hectares está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco na porção médio-alta da Bacia, na parte norte e noroeste do Estado de Minas Gerais e pequena parte do Sudoeste do Estado da Bahia (FUNATURA, 2008).

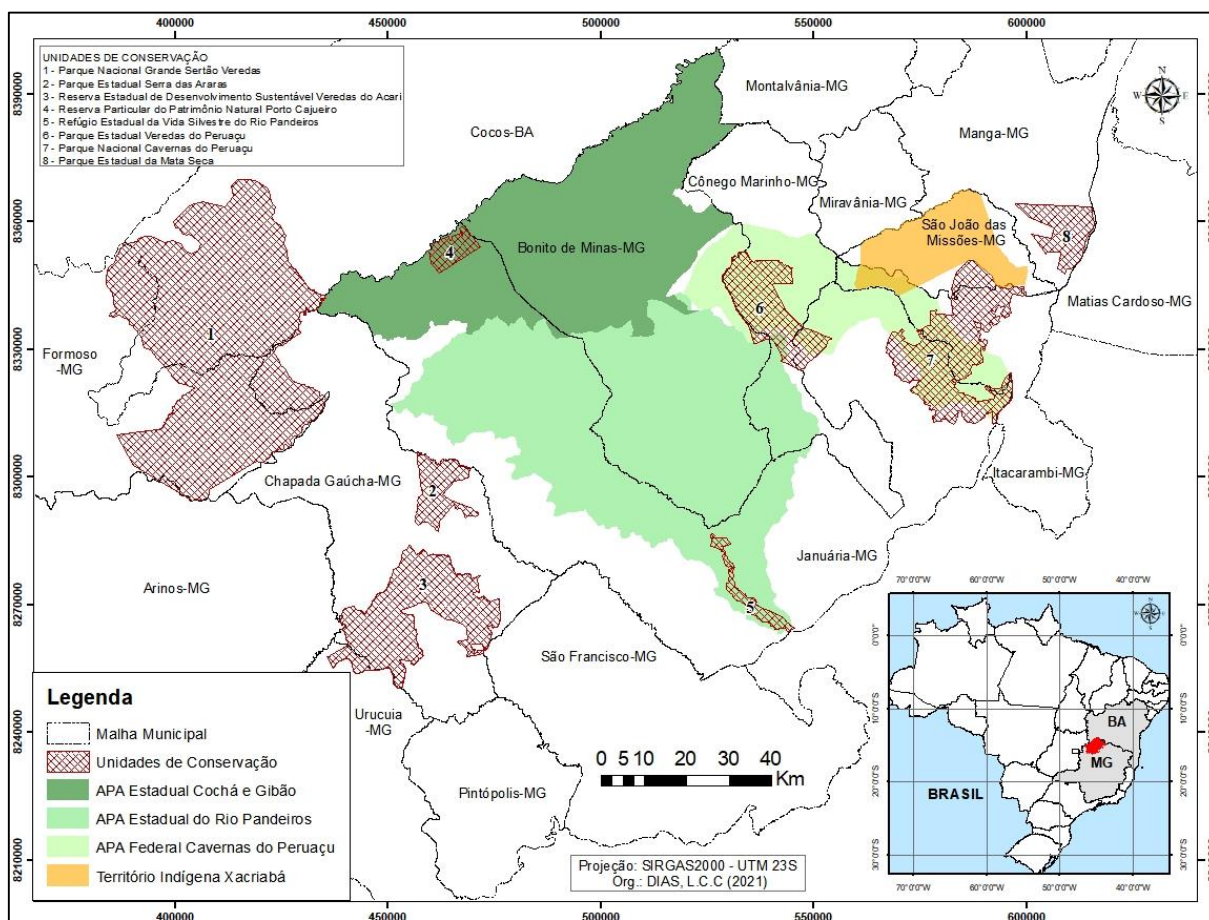


Figura 2.1: Localização do Mosaico de Área Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu no Estado de Minas Gerais

A primeira fase do seu Plano de Desenvolvimento Territorial de Base Conservacionista (DTBC) teve sua execução iniciada em 2010, e com os sucessos das ações propostas e realizadas ao longo de 10 anos o mesmo foi reestruturado e atualizado no ano de 2019 de forma participativa (FUNATURA, 2019). Nos primeiros 10 anos de existência do Mosaico sob a proposta de uma gestão integrada, muitas ações com foco no Extrativismo Vegetal, Turismo Ecocultural e no Manejo Integrado das Áreas Protegidas foram realizadas.

Segundo a classificação climática de Köppen (KÖPPEN, 1936), o clima dominante da região do MSVP é o Clima Tropical com inverno seco (Aw), apresentando duas estações bem demarcadas já que as chuvas são altamente sazonais, caracterizado por uma estação chuvosa (novembro a abril) e outra estação bem seca (maio a outubro) (ALVARES et al., 2014). De acordo com a nova delimitação do semiárido brasileiro efetivada em 2005 pelo Ministério da Integração Nacional, os municípios que abrangem a região do MSVP são considerados região de semiárido (BRASIL, 2005). Portanto, esta região é caracterizada como uma área vulnerável em termos de recursos hídricos.

2.1.2 Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão

A Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão (APA Cochá e Gibão) tem como principal objetivo proteger as formações de Cerrado, sendo uma área de extrema importância para a conservação (IEF, 2013a). A APA Cochá e Gibão foi criada pelo Decreto nº 43.911 de 05 de novembro de 2004, na região dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho no norte de Minas Gerais com uma área de 2.853,26 km² (FUNATURA, 2019) (Figura 2.2).

Sendo uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, é permitido a inserção de outras Unidades de Conservação em seu interior, sendo o caso da Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Porto Cajueiro (RPPN Porto Cajueiro). Esta UC possui uma área de aproximadamente 60 km² de cerrado preservado, foi criada em 2005 e desde então auxilia na manutenção e proteção da diversidade biológica (IDESE, 2009).

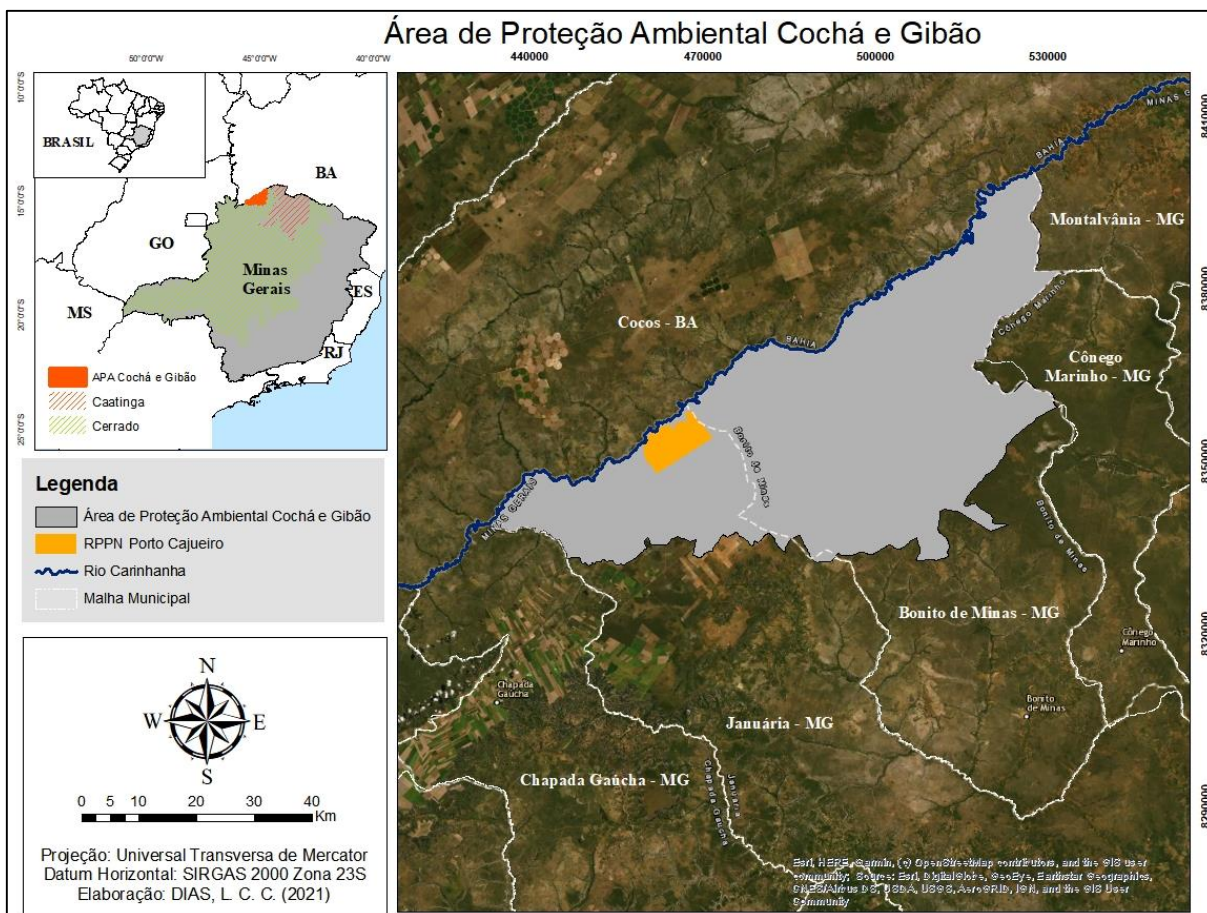


Figura 2.2: Localização da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais

2.1.2.1 Clima e Vegetação

As temperaturas médias na área da APA Cochá e Gibão variam de 18,4°C a 30,9°C, sendo que o período mais quente compreende os meses de outubro a fevereiro e as temperaturas mínimas ocorrem entre junho e julho. A umidade relativa média anual varia entre 50,9% no mês de setembro a 77,6% em dezembro. Já a precipitação média anual na área da APA Cochá e Gibão é de 826,5mm, o período chuvoso que vai de outubro a abril é responsável pela maior parte da precipitação anual (IEF, 2019a).

O domínio vegetacional predominante na APA Cochá e Gibão é o Cerrado. Na região da APA Cochá e Gibão podem ser encontradas quatro tipos de formações vegetacionais típicas do Cerrado: vegetação com influência fluvial (Matas de Galeria, Matas Ciliares e Veredas), formações florestais (Floresta Estacional Decidual), formações savânicas (cerrado *sensu stricto*) e por fim formações resultantes da utilização antrópica como por exemplo Floresta Plantada (IEF, 2019a).

De acordo com o mapa de uso e cobertura do solo elaborado para a APA Cochá e Gibão, o tipo vegetacional predominante na área é a formação savânica que corresponde a cerca de

67% do território da APA, as veredas e outras vegetações com influência fluvial representam 8% e as Formações Florestais 1 % (Figura 2.3).

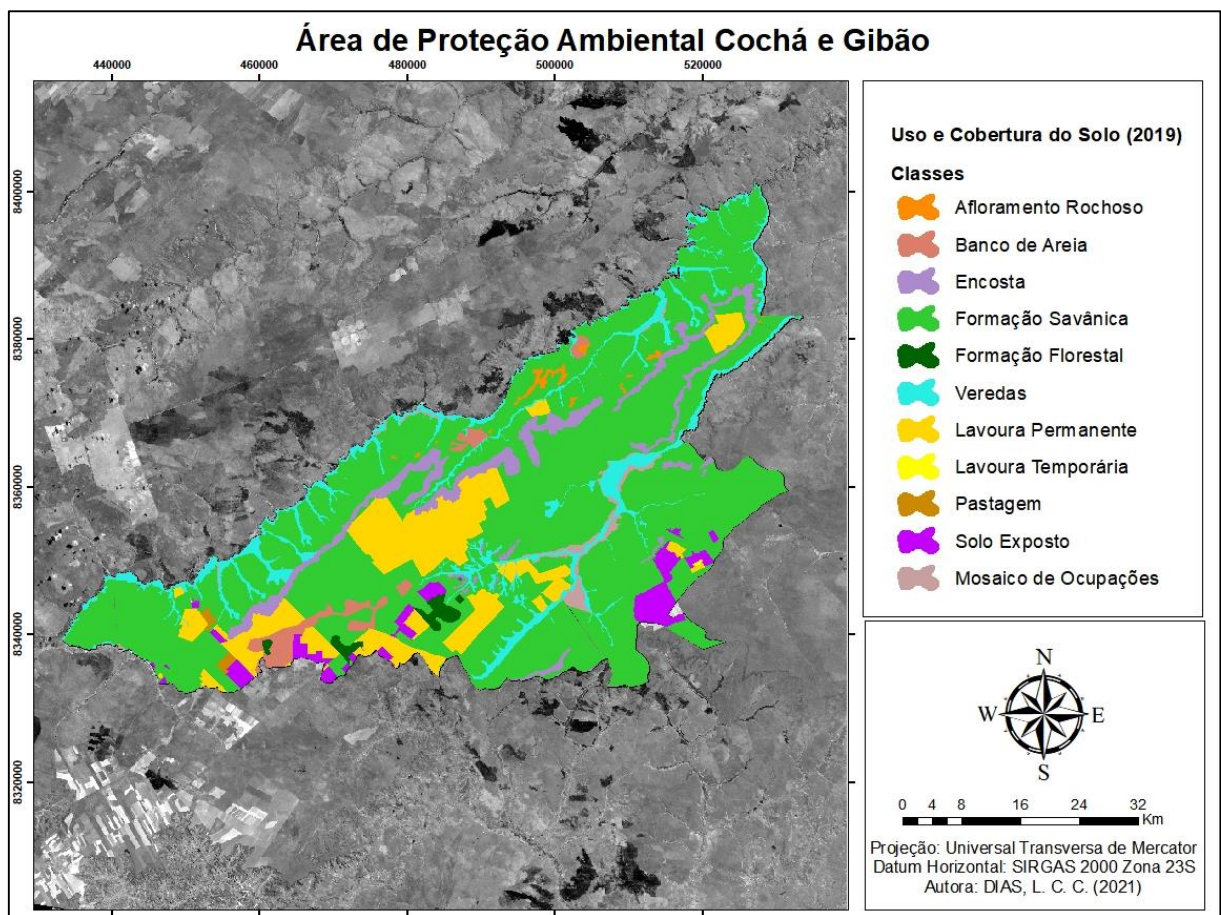


Figura 2.3: Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2019 da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais

2.1.2.2 Rede de Drenagem

A área da APA Cochá e Gibão inclui quase a totalidade da região da bacia hidrográfica do Rio Cochá, estando inserida na Região Hidrográfica do São Francisco – SF9 (IGAM, 2014).

Os dois principais corpos hídricos da APA Cochá e Gibão são o Rio Cochá e riacho Gibão, o Rio Cochá tem suas nascentes na região do município de Bonito de Minas em Minas Gerais e percorre cerca de 200 km até a sua foz no Rio Carinhanha no sudoeste da Bahia. Enquanto que o riacho Gibão tem suas nascentes na região do município de Januária e percorre cerca de 80 km até a sua foz também no Rio Carinhanha (IEF, 2019a) (Figura 2.4).

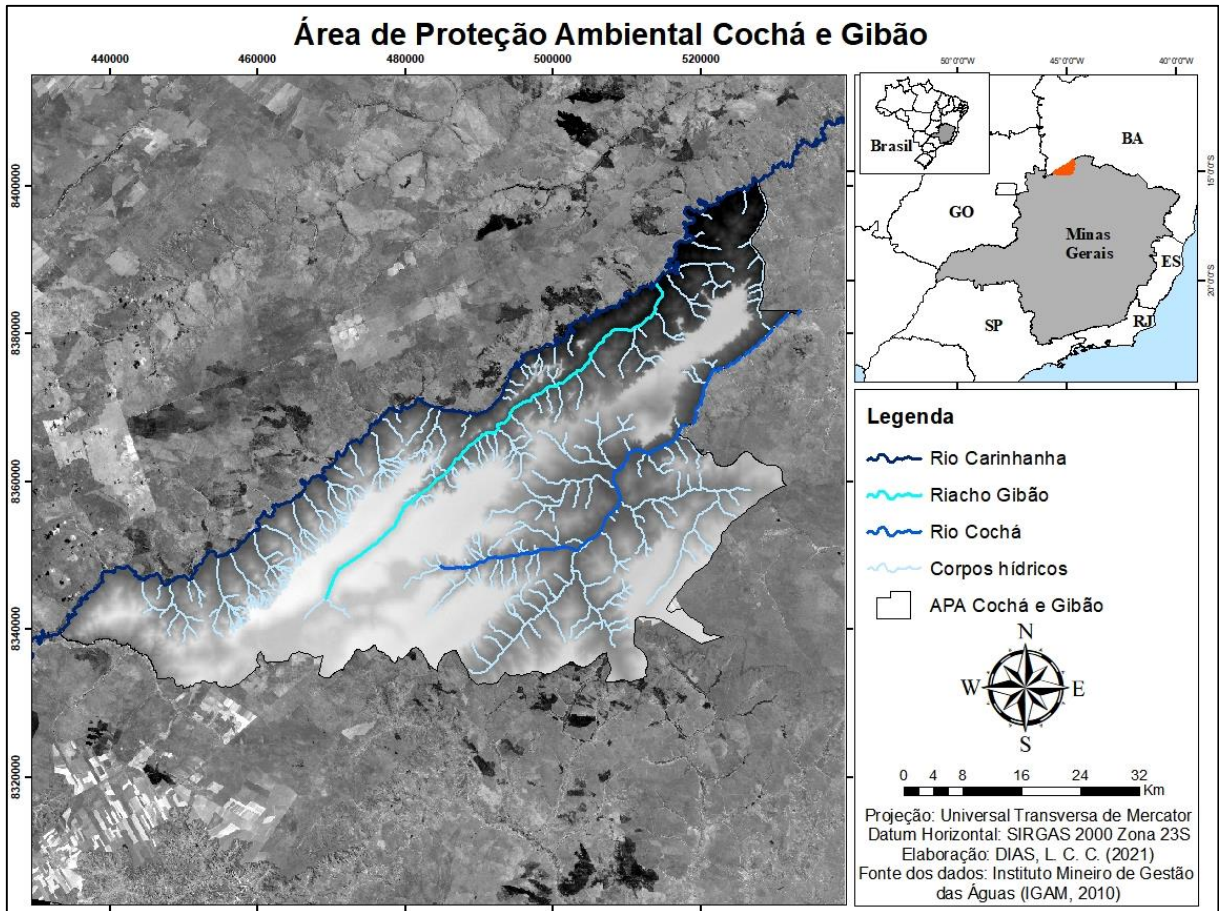


Figura 2.4: Rede de drenagem da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais

2.1.2.3 Hipsometria

Foram agrupadas oito classes altimétricas da APA Cochá e Gibão, com a menor de 550m e a maior cota identificada de 850m. O relevo da APA Cochá e Gibão tende a apresentar valores mais altos na porção sudoeste, na região das chapadas, e nas zonas de cabeceira da drenagem da bacia. Nas bordas das chapadas a altitude varia bruscamente e abaixo desses desníveis a altitude diminui gradualmente até o extremo nordeste da APA, correspondendo ao local mais baixo da APA (Figura 2.5).

O relevo plano, acompanhado por baixos gradientes hidráulicos favorece canais de drenagem com baixo fluxo hídrico, o que permite o acúmulo e deposição de matéria orgânica no leito, esses condicionantes geomorfológicos favorecem o surgimento e existência das veredas que marcam o terreno (IEF, 2019a).

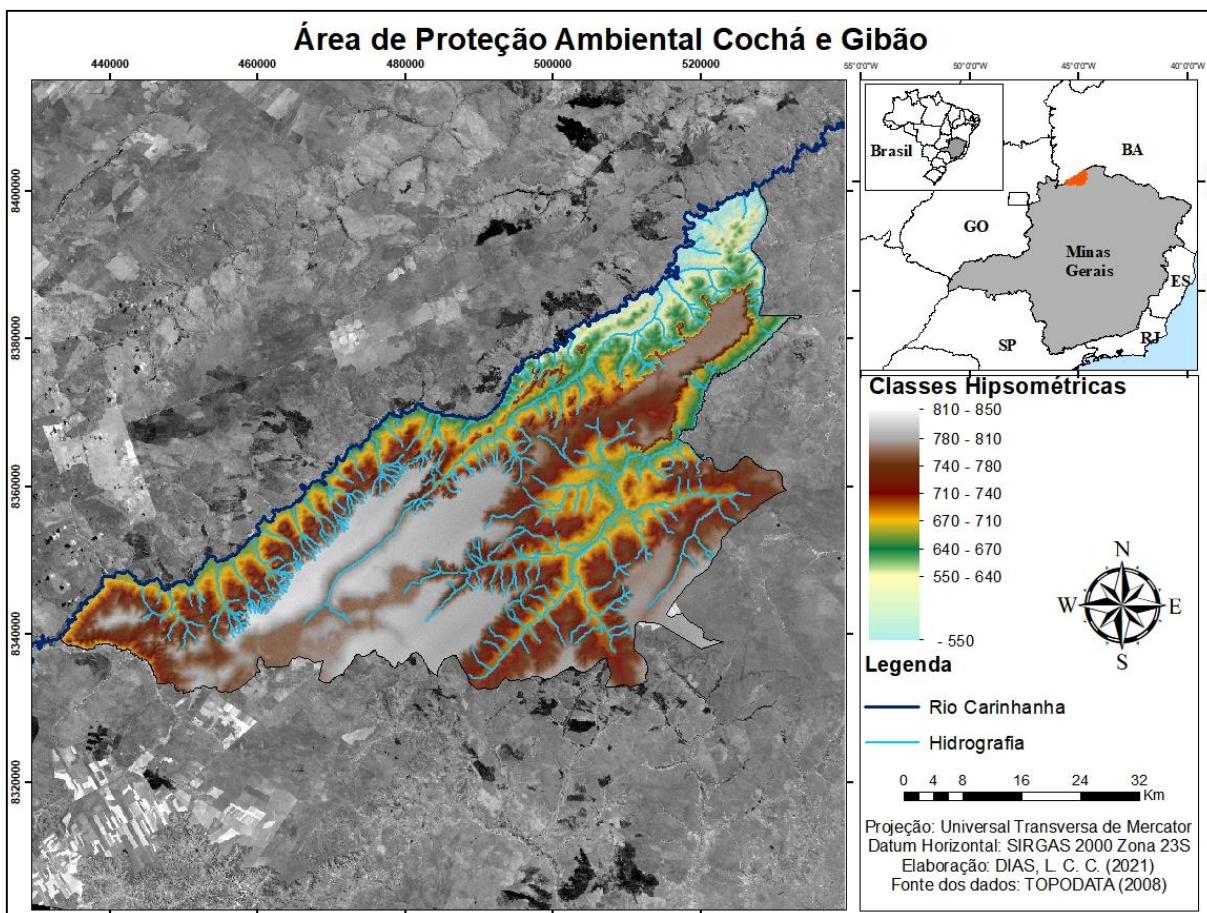


Figura 2.5: Distribuição dos valores de altitude agrupados em classes hipsométricas da APA Cochá e Gibão no Estado de Minas Gerais

2.1.2.4 Comunidades Tradicionais da APA Cochá e Gibão

A APA Cochá e Gibão teve o seu Plano de Manejo elaborado no ano de 2019, dessa forma tem sido possível planejar a sua conservação e o uso dos seus recursos renováveis de forma sustentável levando em consideração a população presente neste território e o seu papel na conservação dessa área.

Na área geográfica da APA Cochá e Gibão existem 17 localidades rurais, sendo que algumas são vilarejos com menos de 10 domicílios (IEF, 2019a). Essas comunidades fazem parte das zonas rurais dos municípios de Januária e Bonito de Minas. As comunidades são conhecidas como Angical, Porto Cajueiro, Sumidouro, Barra da Ema, Lagoa Bonita, Veredinha, Gibão, Flexeira, Vereda Bonita, Cajueiro, Feio, Curreal Queimado, Tatu, Bois, Croá, Brazitalia e Japão (Figura 2.6).

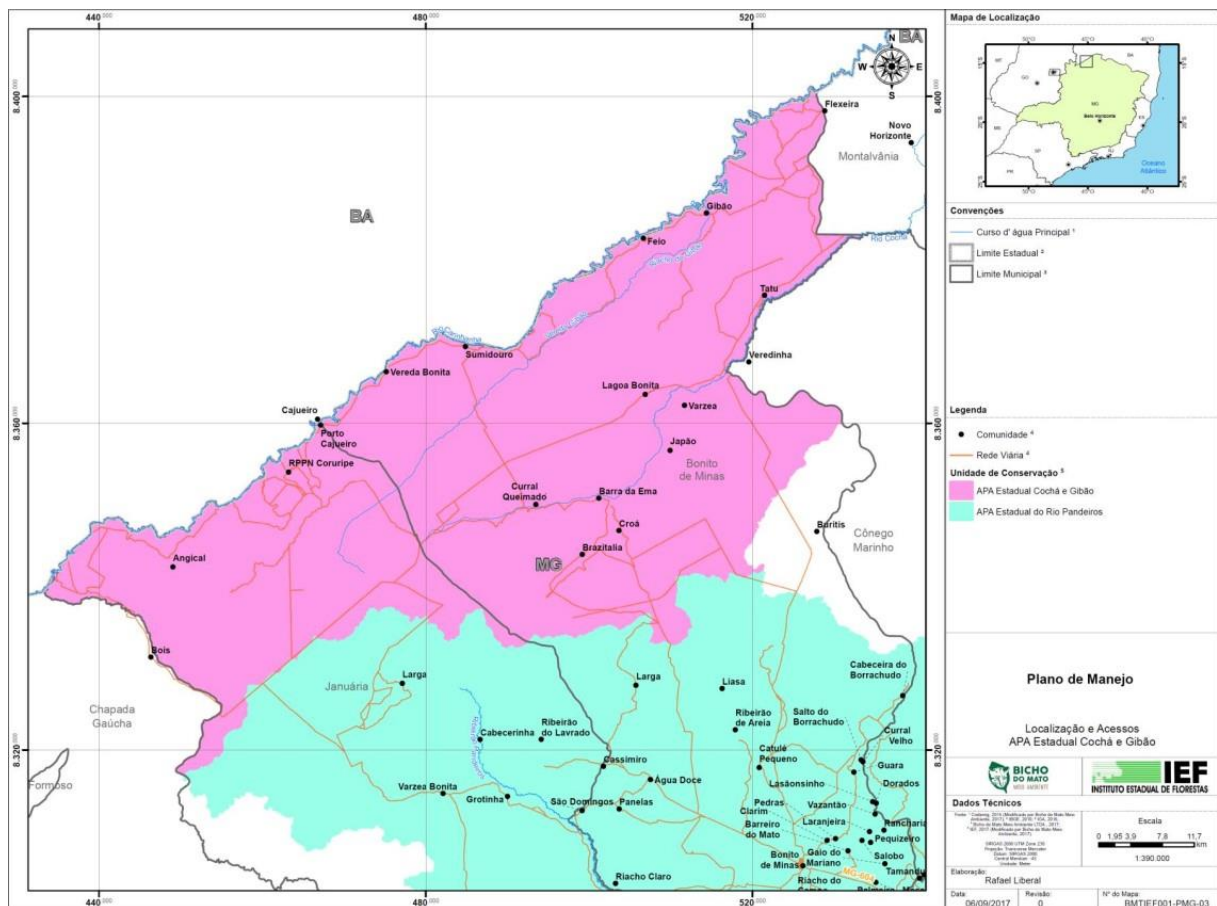


Figura 2.6: Localização das comunidades presentes no território da APA Cochá e Gibão. (Fonte: IEF, 2019a)

2.1.3 Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros

A Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros faz parte dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho possuindo uma área de 3.938,66 km², é a maior Unidade de Conservação do Estado de Minas Gerais (IEF, 2013b) (Figura 2.7). Essa Unidade de Conservação de Uso Sustentável foi criada pela Lei Estadual nº 11.901 de 01 de setembro de 1995 e tem como objetivo principal a proteção da bacia do Rio Pandeiros.

Inserido na área mais ao sul da APA Rio Pandeiros, encontra-se o Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros. Esta Unidade de Conservação de Proteção Integral foi criada em 2004 com uma área de aproximadamente 61 km², com o intuito de contribuir na proteção do Rio Pandeiros, sua área alagável e suas lagoas marginais. Na região do Refúgio se forma uma área de pântano que é conhecida como o berçário do Rio São Francisco, pois é responsável por 70% da reprodução e do desenvolvimento da ictiofauna do médio Rio São Francisco (IEF, 2013c).

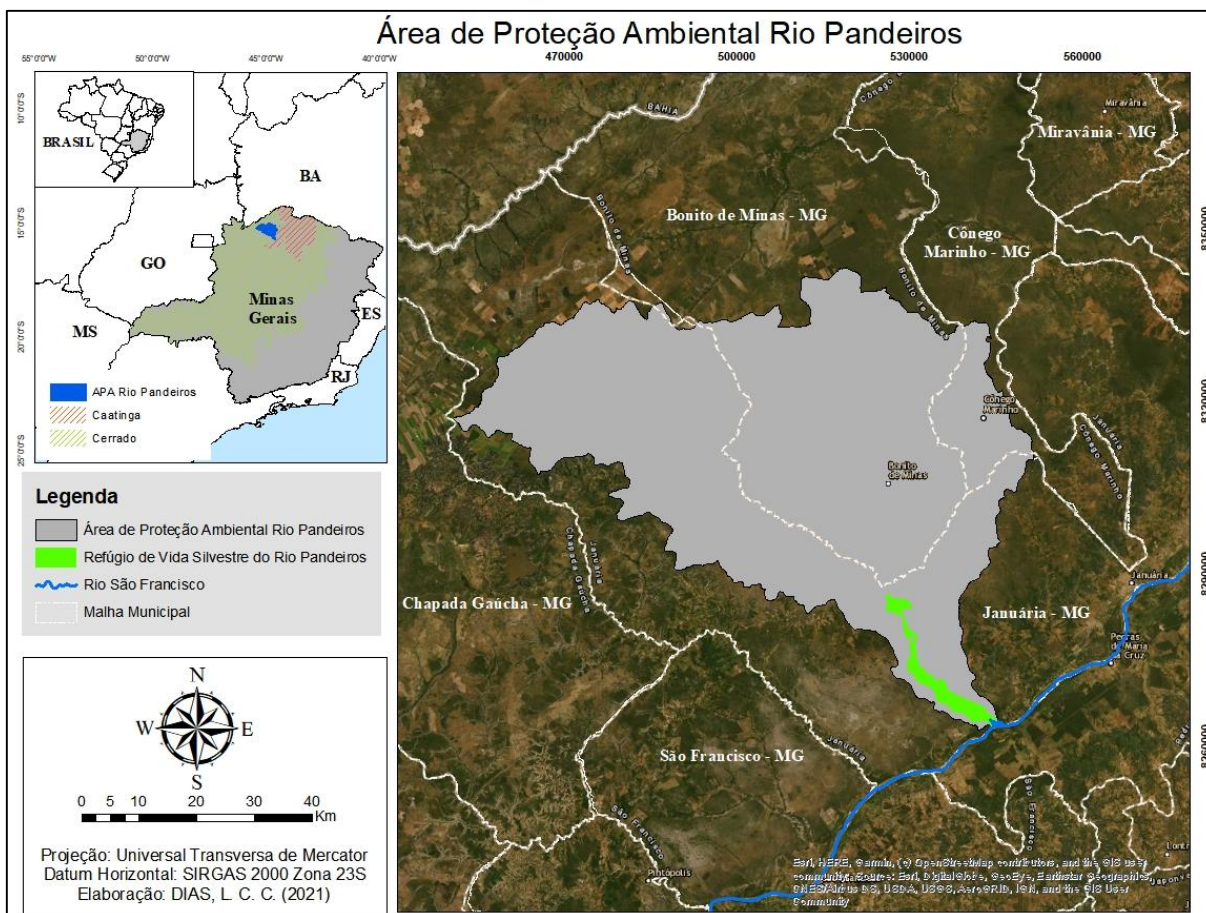


Figura 2.7: Localização da APA Pandeiros no Estado de Minas Gerais

2.1.3.1 Clima e Vegetação

Os dados de clima da APA Rio Pandeiros são semelhantes aos da APA Cochá e Gibão, visto que são áreas limítrofes e as estações são as mesmas. Dessa forma, as temperaturas médias variam de 18,4°C a 30,9°C, sendo que o período mais quente compreende os meses de outubro a fevereiro e as temperaturas mínimas ocorrem entre junho e julho. A umidade relativa média anual varia entre 50,9% no mês de setembro a 77,6% em dezembro. Já a precipitação média anual na área da APA Pandeiros é de 826,5mm, o período chuvoso que vai de outubro a março é responsável pela maior parte da precipitação anual (IEF, 2019b).

O domínio vegetacional predominante na APA Rio Pandeiros é o Cerrado. Na região da APA Rio Pandeiros, podem ser encontradas quatro tipos de formações vegetacionais típicas do Cerrado: vegetação com influência fluvial (Matas de Galeria, Matas Ciliares, Veredas e Terras Úmidas do rio Pandeiros), formações florestais (Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual), formações savânicas (cerrado *sensu stricto*) e por fim formações resultantes da utilização antrópica como por exemplo Floresta Plantada (IEF, 2019b).

De acordo com o mapa de uso e cobertura do solo elaborado para a APA Rio Pandeiros, o tipo vegetacional predominante na área é a formação savânica que corresponde a cerca de 74% de seu território, as veredas e outras vegetações com influência fluvial representam cerca de 12% e o Campo Cerrado e as Formações Florestais menos de 5 % da área da APA (Figura 2.8).

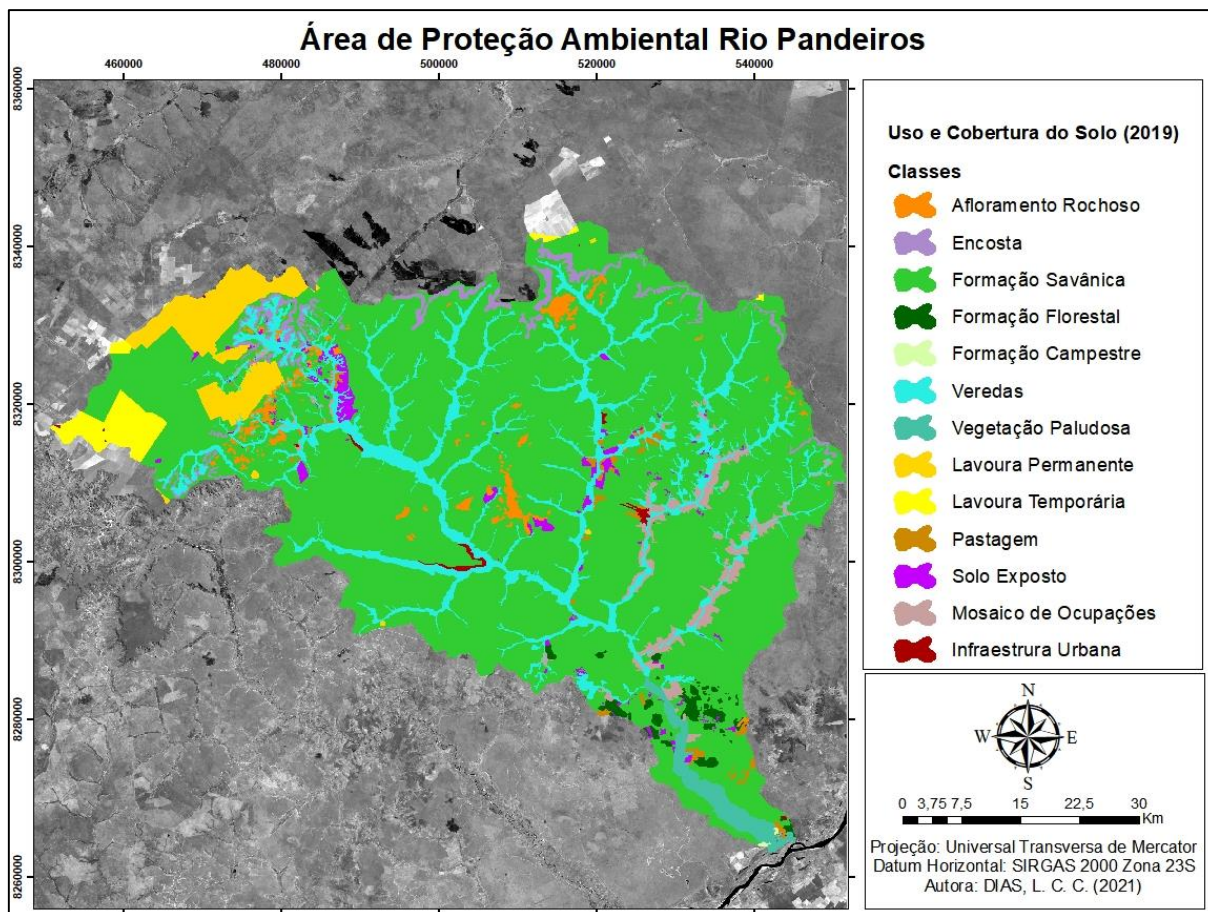


Figura 2.8: Mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2019 da APA Rio Pandeiros no Estado de Minas Gerais

2.1.3.2 Rede de Drenagem

A Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros está inserida na Região Hidrográfica do São Francisco – SF9, e quase a totalidade da Bacia do Rio Pandeiros está inserida na área da APA Rio Pandeiros (IGAM, 2014).

O Rio Pandeiros nasce na vertente direita da Serra do Gibão, onde é conhecido como córrego Suçuarana, ao longo de sua extensão recebe como afluentes de sua margem esquerda os córregos Pindaibal I, Pindaibal II, São Pedro, Alegre e Mandins e como afluentes da sua margem direita os córregos Catolé, Borrachudo, Macaúbas e São Domingos além de outros córregos intermitentes (BETHONICO, 2009) (Figura 2.9). A partir de sua cabeceira o córrego

Suçarana percorre cerca de 40 km até se tornar o Rio Pandeiros em Januária, e este percorre mais cerca de 180 km até desaguar no Rio São Francisco (IEF, 2019b).

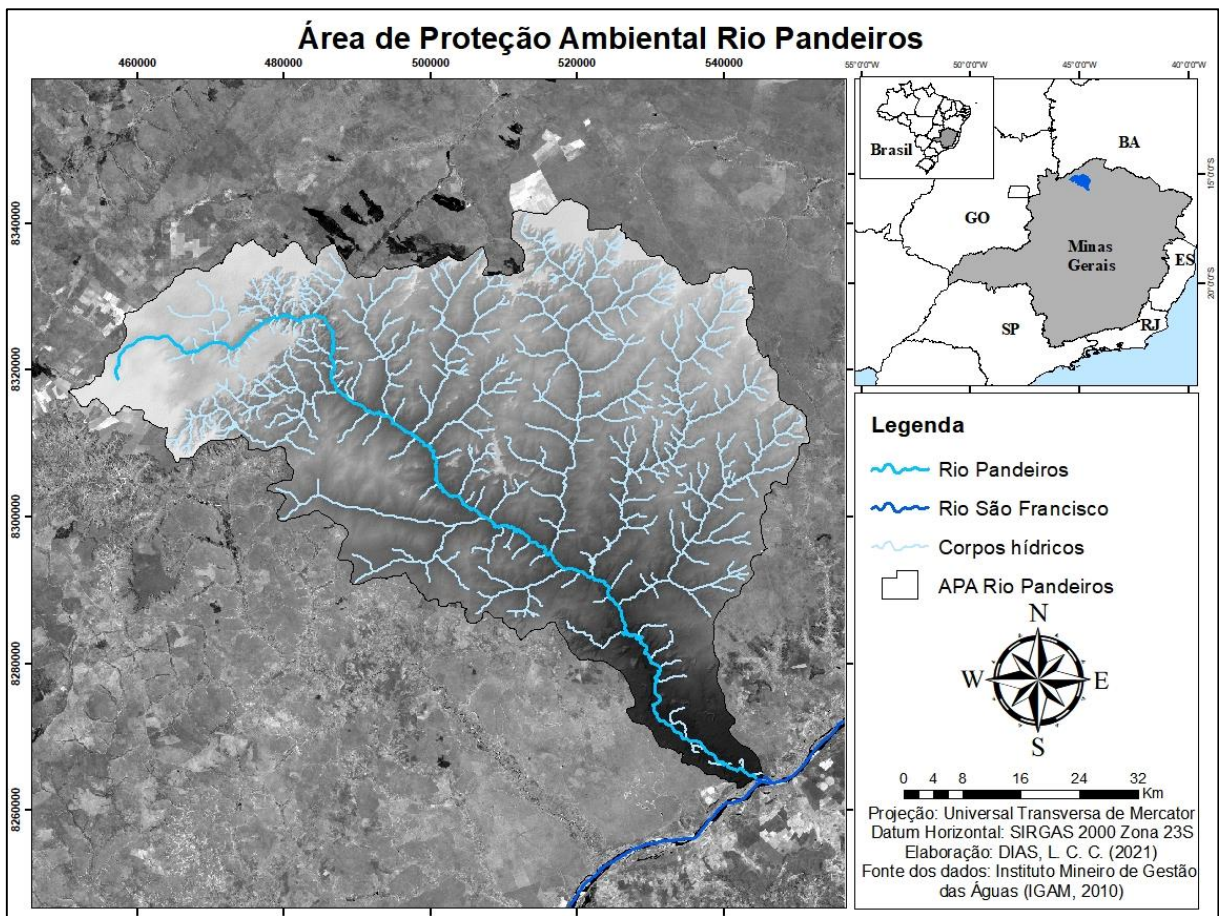


Figura 2.9: Rede de drenagem da APA Pandeiros no Estado de Minas Gerais

2.1.3.3 Hipsometria

As classes altimétricas da APA Rio Pandeiros foram agrupadas em oito classes, com a menor cota de 450m e a maior cota identificada de 860m. O relevo da APA Rio Pandeiros tende a apresentar valores mais altos nas porções noroeste e norte nas zonas de cabeceiras das drenagens da bacia, já que a Bacia do Rio Pandeiros apresenta fluxo preferencialmente para sul-sudeste. Os pontos mais altos correspondem às chapadas da porção noroeste (IEF, 2019b) (Figura 2.10).

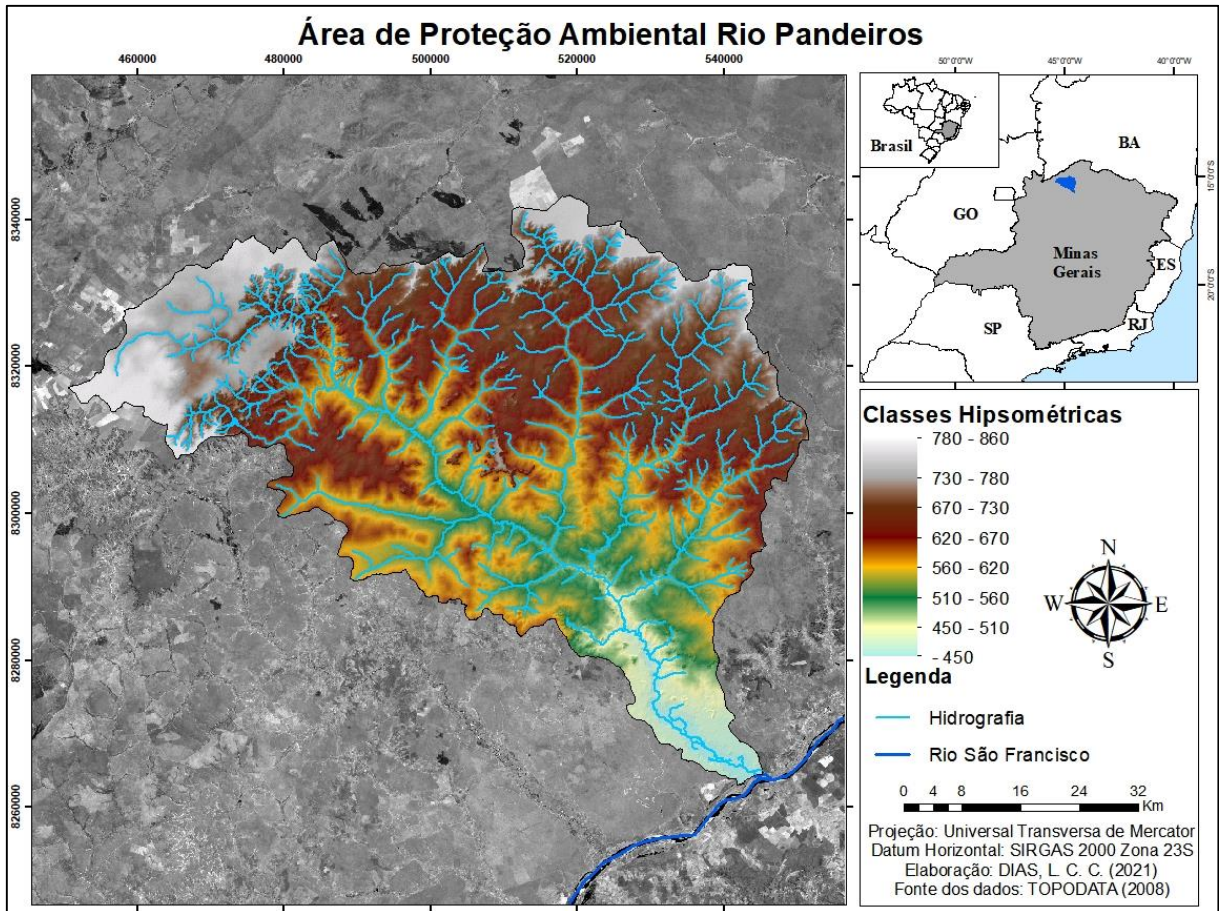


Figura 2.10: Distribuição dos valores de altitude agrupados em classes hipsométricas da APA Pandeiros no Estado de Minas Gerais

Assim como na APA Cochá e Gibão as inúmeras veredas que acompanham as drenagens e marcam fortemente a paisagem são condicionadas pela geomorfologia local.

2.1.3.4 Comunidades Tradicionais da APA Rio Pandeiros

O Plano de Manejo da APA Rio Pandeiros também foi elaborado no de 2019, possibilitando o mapeamento das comunidades rurais da região da APA a fim incluir estas comunidades no planejamento da conservação dessa Unidade Conservação.

Na área da APA Rio Pandeiros há mais comunidades comparado à APA Cochá e Gibão, são um total de cerca 50 localidades rurais e dois distritos (Várzea Bonita e Pandeiros), havendo também vilarejos com menos de 10 domicílios (IEF, 2019b). Algumas das comunidades rurais de maior porte dessa área são Grotinha, Picos, Jatobá, Remanso, Várzea Bonita e Água Doce (Figura 2.11).

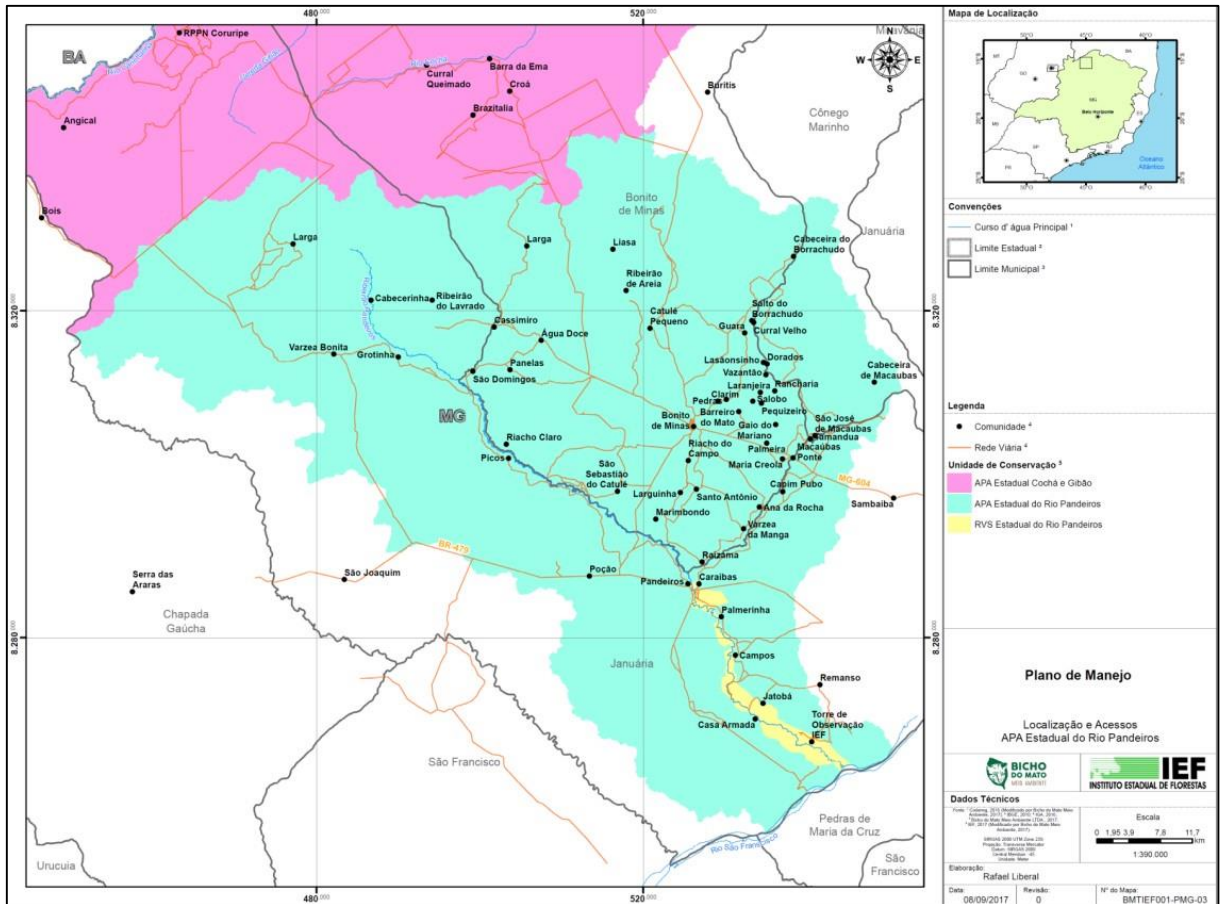


Figura 2.11: Localização das comunidades presentes no território da APA Pandeiros. (Fonte: IEF, 2019b)

2.1.4 Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu

A Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu (APACP) ocupa uma área de 1.468 km², correspondendo à totalidade da extensão da bacia do Rio Peruaçu (Figura 2.12). Esta unidade foi criada pelo Decreto nº 98.182 de 26 de setembro de 1989 e abrange os municípios de Januária, Bonito de Minas, Miravânia, Cônego Marinho e Itacarambi com o propósito de preservar as nascentes do Rio Peruaçu, e promover o desenvolvimento socioambiental das comunidades existentes no território (ALENCAR; MAILLARD, 2011). Das três APA's deste estudo, esta é a única que ainda não possui Plano de Manejo.

Na área da APA Cavernas do Peruaçu estão inseridas a Terra Indígena Xakriabá e duas Unidades de Conservação de Proteção Integral muito importantes para a região, são elas o Parque Estadual Veredas do Peruaçu e o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. O Parque Estadual Veredas do Peruaçu foi criado em 1994 com uma área de aproximadamente 310 km², está situado na região da nascente do Rio Peruaçu e abriga um complexo de veredas e lagoas formando um ambiente de textura argilosa (ALENCAR, 2007). O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu foi criado em 1999, possui uma área de aproximadamente 560 km² e tem o objetivo

de proteger o patrimônio geológico, arqueológico e natural da região. Abriga mais de 180 cavernas catalogadas e inúmeros sítios arqueológicos com pinturas rupestres datadas de até 9 mil anos atrás (IBAMA, 2005). Após passar por obras de infraestrutura, o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu foi autorizado a receber visitação por meio da Portaria Nº 62 de 23 de dezembro de 2015.

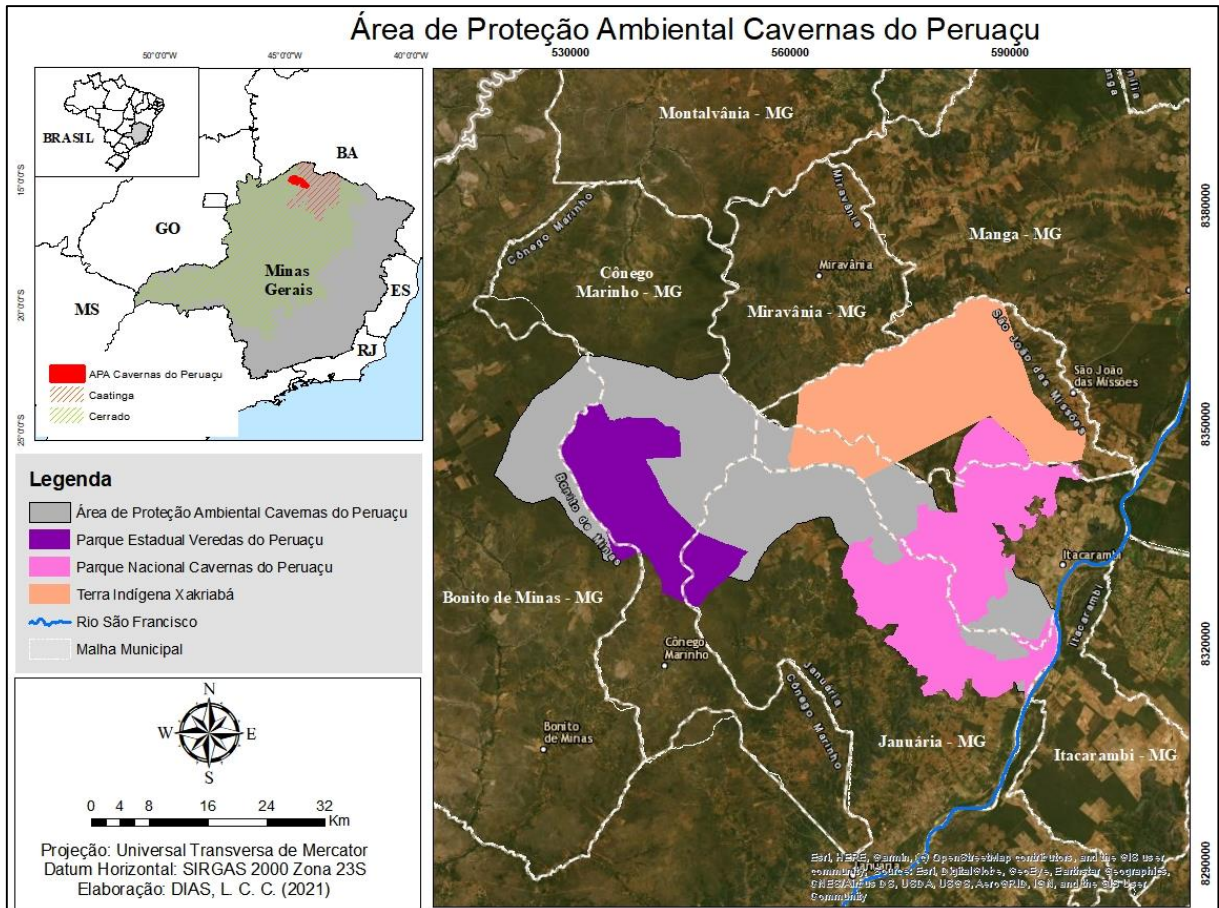


Figura 2.12: Localização da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais

2.1.4.1 Clima e Vegetação

Na APA Cavernas do Peruaçu a temperatura média é de 24°C, decaindo para menos de 10°C nas áreas serranas. A precipitação média anual varia entre 1300 mm a 2.000 mm com as estações chuvosa e seca bem definidas e uma umidade relativa média anual de 67% (IBAMA, 2005).

O domínio vegetacional predominante na APA Cavernas do Peruaçu também é o Cerrado, mas com certa influência da Caatinga. Na região da APA Cavernas do Peruaçu podem ser encontradas quatro tipos de formações vegetacionais típicas do Cerrado: vegetação com influência fluvial (Matas de Galeria, Matas Ciliares e Veredas), formações florestais (Floresta Estacional Decidual Montana e Floresta Estacional Semidecidual), formações savânicas

(cerrado sensu stricto, campo cerrado), savana florestada (Cerradão), relacionada à Caatinga há a presença da Mata Seca e por fim formações resultantes da utilização antrópica como por exemplo Floresta Plantada (IBAMA, 2005).

De acordo com o mapa de uso e cobertura do solo elaborado para a APA Cavernas do Peruaçu, o tipo vegetacional predominante na área também é a formação savânica correspondendo a cerca de 63% da área da APA, as veredas e outras vegetações com influência fluvial ocupam cerca de 4% do território e o Campo Cerrado e as Formações Florestais, representadas pelas florestas estacionais decíduais, são bem mais acentuadas nesta APA, ocupando cerca de 12 % da área da APA (Figura 2.13).

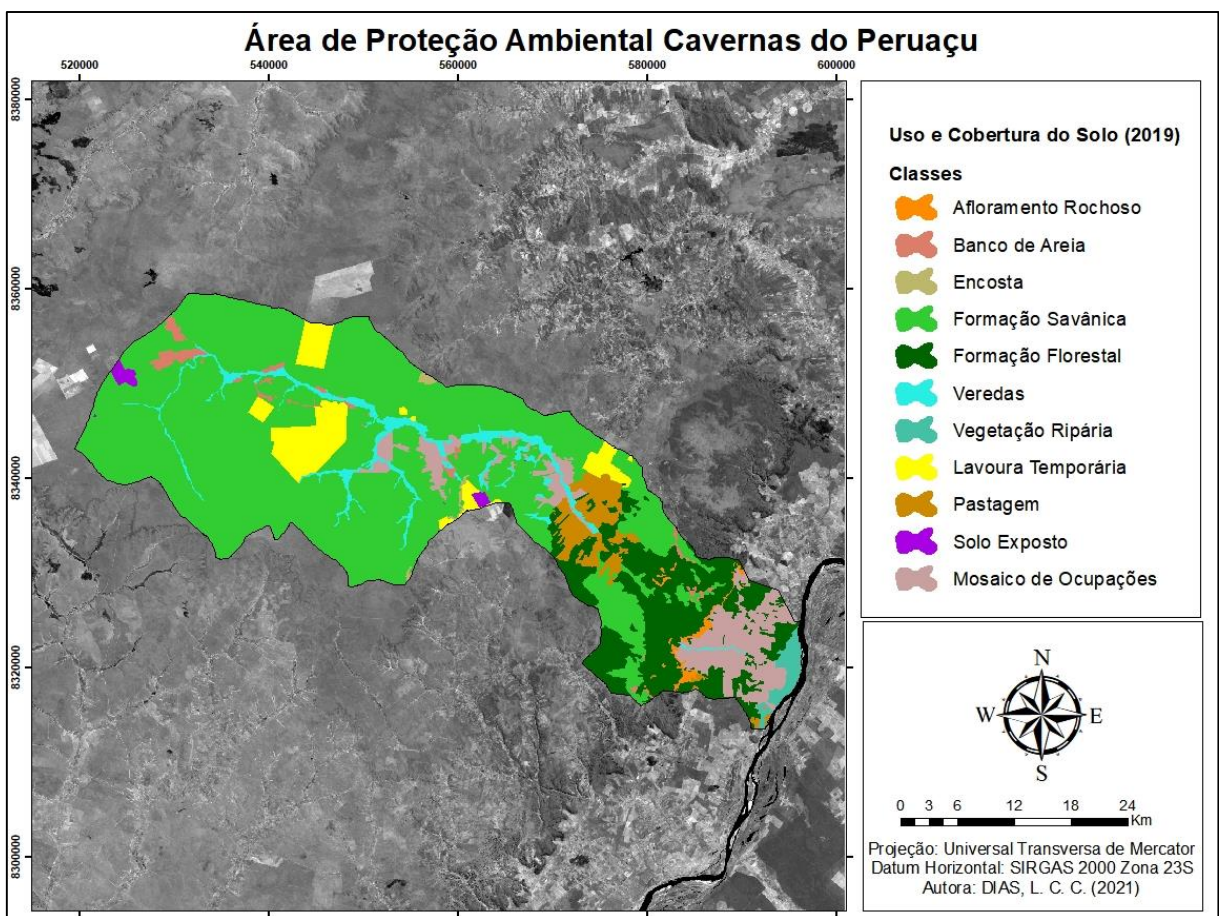


Figura 2.13: Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2019 da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais

2.1.4.2 Rede de Drenagem

A APA Cavernas do Peruaçu está inserida na Bacia do Rio Peruaçu que faz parte da Região Hidrográfica do São Francisco – SF9 (IGAM, 2014).

O Rio Peruaçu é o único corpo hídrico perene na região da APA, as suas nascentes encontram-se na parte norte na área do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, enquanto que a

sua confluência com o Rio São Francisco ocorre na outra extremidade na região do distrito de Fabião I (IBAMA, 2005) (Figura 2.14).

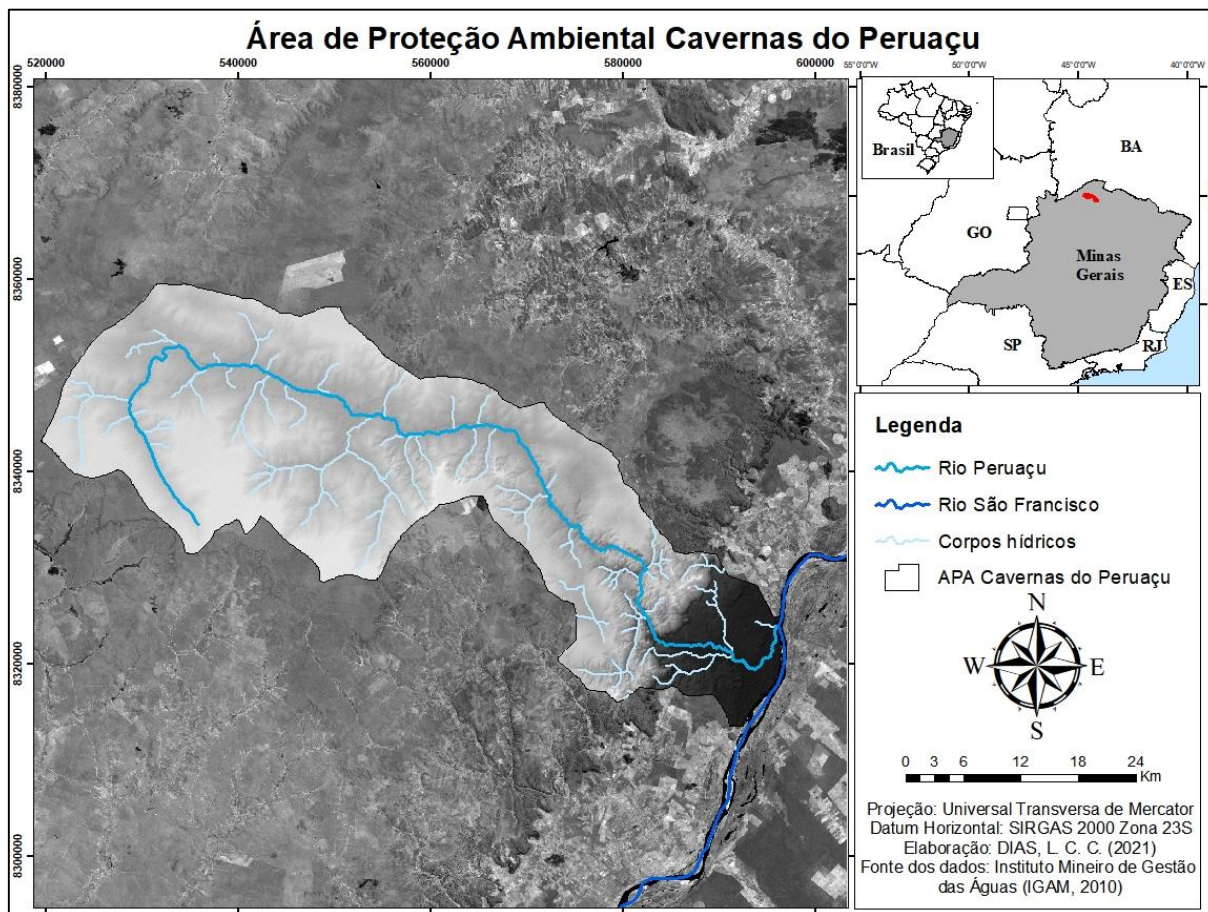


Figura 2.14: Rede de drenagem da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais

2.1.4.3 Hipsometria

As classes altimétricas da APA Cavernas do Peruaçu foram agrupadas em oito classes, com a menor cota de 430m e a maior cota identificada de 840m. O relevo da APA Cavernas, tende a apresentar valores mais altos nas porções noroeste e norte nas zonas de cabeceiras das drenagens da bacia, já que a Bacia do Rio Peruaçu apresenta fluxo preferencialmente para sul-sudeste (Figura 2.15). A APA Cavernas do Peruaçu apresenta um relevo cárstico, a dinâmica da evolução do carste possibilitou a retração dos paredões que formaram cânions e cavernas muito característicos na região (IBAMA, 2005).

Assim como na APA Cochá e Gibão e na APA Rio Pandeiros, as inúmeras veredas que acompanham as drenagens e marcam fortemente a paisagem são condicionadas pela geomorfologia local.

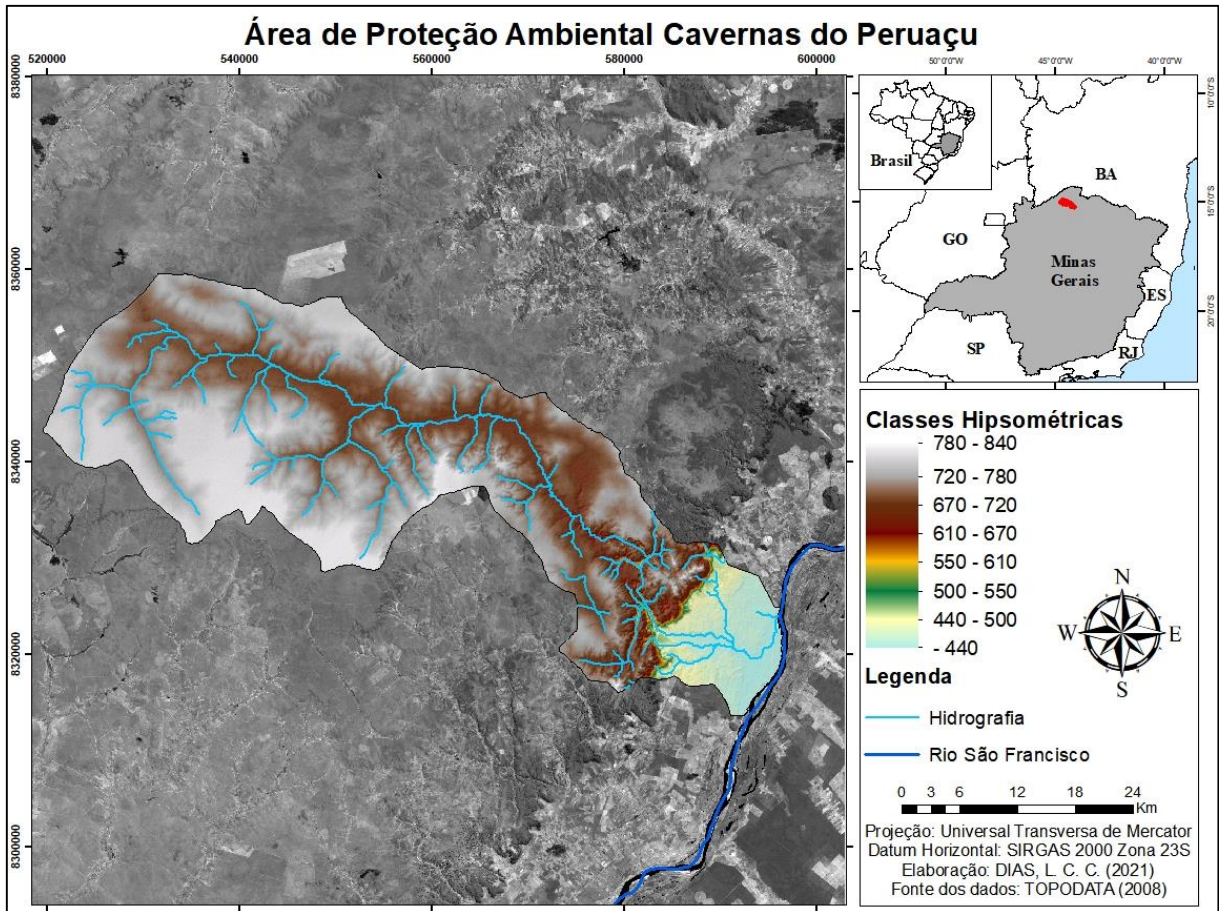


Figura 2.15: Distribuição dos valores de altitude agrupados em classes hipsométricas da APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais

2.1.4.4 Comunidades Tradicionais da APA Cavernas do Peruaçu

A APA Cavernas do Peruaçu não possui Plano de Manejo, talvez devido ao fato de que as duas Unidades de Conservação de Proteção Integral inseridas em seu interior já possuem seus respectivos Planos de Manejo. Entretanto, este fator não exclui a necessidade de que a APA, como um Unidade de conservação possua o seu próprio Plano de Manejo, para auxiliar na conservação e gestão dos recursos renováveis desta área. A presença dos Parques inseridos na APA levou a conflitos fundiários que até então não foram resolvidos, com a retirada e deslocamento de comunidades rurais de seus locais de origem para a inserção das Unidades de Proteção Integral.

As comunidades do Fabião I e II são a porta de entrada do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu e da APA, em sua parte mais baixa próximo ao Rio São Francisco, e compreendem a importância destas Unidades de Conservação apoiando as atividades desenvolvidas no âmbito desta UC que ocorrem ali. Por outro lado que os moradores de comunidades mais ao interior da APA, como o Brejal e Retiro convivem com a insegurança por não saber quais são seus direitos

dentro de uma Unidade de Conservação, assim como os moradores de inúmeras outras comunidades no interior desta APA (PEREIRA; MUNGAI, 2008).

2.1.4.5 Classificação Pedológica das Áreas de Proteção Ambiental Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu

De acordo com o Mapa de Solos da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2010) foram identificadas dez classes de solo presentes na APA Pandeiros (Figura 2.16): Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico, Gleissolo Melânico, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico e Planossolo Háplico. Sendo o Latossolo Vermelho-Amarelo o mais expressivo, representando cerca de 80% da área das APA's. O solo é um importante componente do ecossistema e exerce papel fundamental na regulação e distribuição de águas superficiais e subterrâneas e como substrato para diversas atividades, conhecendo as características do solo da região podemos entender melhor as atividades que são mais comuns.

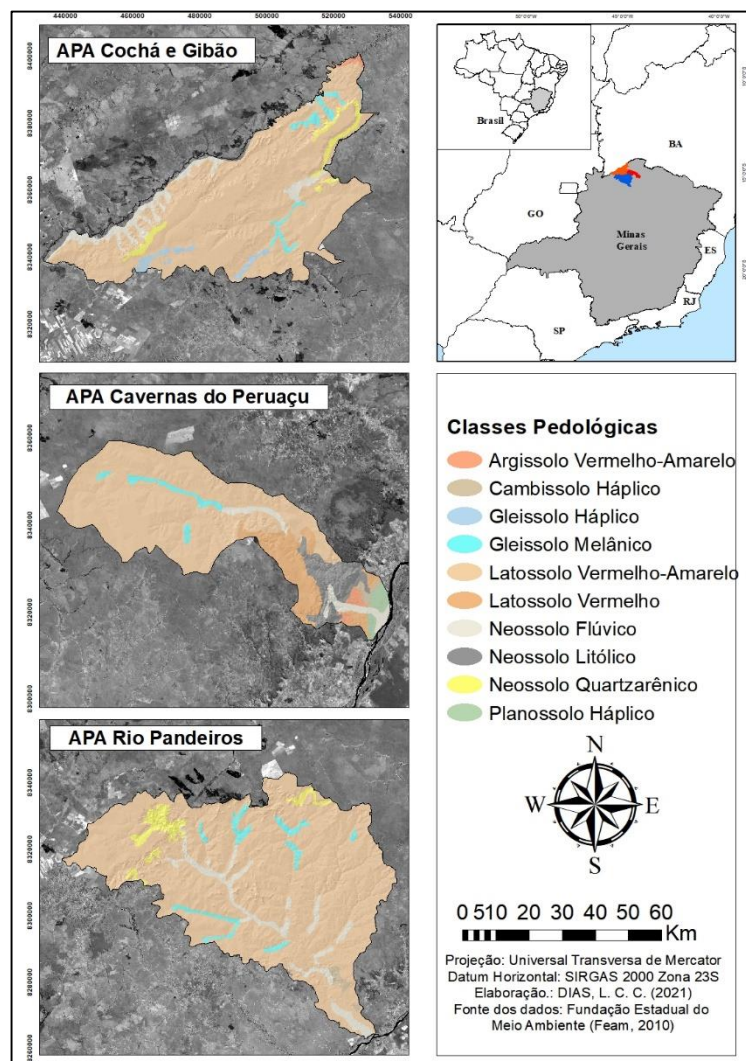


Figura 2.16: Distribuição das classes de solos na APA Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais. Fonte: Mapa de Solos da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2010)

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) define os tipos de solos encontrados nas três Áreas de Proteção Ambiental da seguinte forma:

- **Cambissolos:** Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. São identificados normalmente em relevos fortemente ondulados ou montanhosos, com pequena profundidade, ocorrência de pedras e a sua fertilidade é variável
- **Argissolos:** é um solo de origem mineral com argila de baixa atividade e sua textura varia de arenosa a argilosa. Bem comum em região de Cerrado na porção inferior de encostas onde o relevo é ondulado. Na agricultura é predominantemente utilizado na cultura de cana-de-açúcar, fruticultura, cultura de mandioca, alguma pastagem plantada apesar de possuir fertilidade natural baixa.
- **Gleissolos:** compreende os solos minerais e hidromórficos, estes solos encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água. Esta água permanece estagnada internamente podendo se elevar por ascensão capilar e atingir a superfície. Muito comuns em áreas de várzeas normalmente com vegetação de vereda, em relevo plano que permite o acúmulo de água durante todo o ano ou na maior parte dele. Apresenta sérias limitações agrícolas, em relação à deficiência de oxigênio (excesso de água), baixa fertilidade e o impedimento à mecanização.
- **Latossolos:** São solos em avançado estágio de intemperização como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo, são bastantes profundos e com boa drenagem. São solos com grandes problemas de fertilidade, somado a isso o uso de fogo pisoteio excessivo de animais deixam esse solo exposto e sujeito ao ressecamento. No Cerrado ocupam praticamente todas as áreas planas e suave-onduladas, são passíveis de utilização com culturais anuais, perenes, pastagens e reflorestamento.
- **Neossolo Quartzarênico:** São solos originados de depósitos arenosos, com textura de areia. São constituídos essencialmente por grãos de quartzo. São solos de baixa aptidão agrícola e o uso contínuo de culturas anuais pode levá-los à rápida degradação. São solos muito suscetíveis à erosão e quando ocupam as cabeceiras de drenagem podem dar origem às voçorocas.

- **Neossolo Flúvico:** Solo mineral não hidromórficos, oriundo de sedimentos do período Quaternário. São profundos, com textura que vai da arenosa até a argilosa. Ocorrem em ambientes de várzeas ao longo das linhas de drenagem. Suas propriedades físico e químicas são muito heterogêneas e estes solos podem ser de alto, médio ou baixo potencial agrícola a depender dos fatores restritivos.
- **Neossolo Litólico:** Solos constituídos por material mineral ou por material orgânico. São solos rasos, mais comumente associados a relevos mais declivosos. As limitações da sua utilização estão relacionadas com a pouca profundidade, presença de rochas e os declives acentuados que limitam o crescimento radicular e elevam o risco de erosão.
- **Planossolos:** Compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com superfície de textura mais leve que contrasta com o horizonte imediatamente subjacente de acentuada concentração de argila com permeabilidade lenta ou muita lenta. Possui elevado status nutricional, mas limitações de ordem física relacionadas ao preparo do solo e à penetração de raízes devido ao adensamento, o que torna estes solos muito susceptíveis à erosão.

2.1.4.6 Histórico de Ocupação Humana e Agrícola na região Norte de Minas Gerais

O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, assim como os municípios de Januária, Montalvânia, Jaíba, Manga, Bocaiúva é rico em pinturas e registros rupestres que datam do período do Pleistoceno indicando a presença dos primeiros homens na região (BETHONICO, 2009). Milhares de anos depois, o Sertão Mineiro foi ocupado por quatro grupos indígenas principais, sendo eles: os Guaianá nas margens do Rio das Velhas; os Kayapó, na área do Rio Pandeiros na região de Januária até Paracatu no noroeste do estado e os Xakriabá e Akroá que ainda habitam a região entre o Rio São Francisco e o Tocantins (RIBEIRO, 2006).

Por volta do século XVII, com a presença das Entradas e Bandeiras¹ que subiam o Rio São Francisco, iniciaram-se os conflitos com os povos indígenas que tinham suas terras invadidas, eram escravizados, mortos ou expulsos da região, e surgiram os núcleos de povoamento pela área ribeira do Rio São Francisco, que se transformaram em cidades ribeirinhas/portuárias e/ou sítios locais de comercialização (COSTA, 2005). Estes núcleos de

¹ Designações convencionais de diversas expedições, organizadas e compostas por membros da sociedade civil brasileira, que tinham como objetivo a exploração territorial das possessões portuguesas, bem como a captura e escravização de indígenas.

comercialização passaram por vários ciclos econômicos do país (SILVA, 2007). Outro grupo invasor que se instalou na região neste mesmo período, foram os conhecidos como *vaqueiros*, que também seguiram o curso do Rio São Francisco desta vez vindos da Bahia e Pernambuco (SANTOS; SOUTO, 2014). Os dois grupos se estabeleceram como grandes criadores e estabeleceram povoados.

A criação de bovinos para tração, produção de carne e couro além da criação de equinos foi a atividade que mais se destacou na região no decorrer destes processos de invasão e permaneceu até hoje, e a agricultura de subsistência emergiu servindo de complementação alimentar dos moradores da região (MOREIRA, 2010).

A ocupação dessa região se resumiu aos povos indígenas que ali já habitavam e as estas novas posses que formaram povoados, com o passar dos anos esse território pouco expandiu. O Norte de Minas Gerais portanto, começou a ser retratado como uma região de “vazio cultural”, devido à existência “apenas” de comunidades indígenas e poucos moradores ocupando territórios, ou seja, um local desprovido de gente civilizada para os moldes europeus significava um vazio, um deserto (BETHONICO, 2009).

Os atributos naturais da região por muito tempo foram tratados como elementos negativos, como o solo pobre e o clima intenso. E somados ao “vazio cultural”, propiciaram o quadro perfeito para se pensar em projetos de desenvolvimento econômico que visavam a expansão da monocultura e de atividades de reflorestamento pensando no avanço da fronteira agrícola. A partir da década de 1970, instituições como a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE responsável por oferecer incentivos ao desenvolvimento e à industrialização de projetos agropecuários na região, e a Fundação Rural Mineira de Colonização e Desenvolvimento Agrário – RURALMINAS que concedia terras públicas para as monoculturas de eucalipto por exemplo, foram autorizadas pelo Estado a fomentar a “modernização” na região (MARTINS, 2016).

Desde então, a região Norte de Minas tem áreas de plantio extensivo de eucalipto e pinus que trouxe junto a ideia de “progresso”, mas negou elementos de estruturação das comunidades rurais (BETHONICO, 2009). Estas comunidades sofreram as consequências direta dos impactos ambientais destes reflorestamentos, como a retirada das matas nativas, assoreamento dos rios, etc. Devido a isso, as comunidades rurais passaram a depender de outros recursos para a sobrevivência, entre eles o carvoejamento, pois com o reflorestamento perderam acesso aos espaços de extrativismos e solta de gado devido à privatização das terras de uso comum (BETHONICO, 2009).

A partir do final da década de 1980, inicia-se um movimento de valorização da natureza da região Norte de Minas com o fim dos créditos para os projetos de desenvolvimento e reflorestamento (MARTINS, 2016). Diante dos impactos ambientais destes projetos de desenvolvimento, nasce a proposta de proteção, preservação e conservação da natureza com o surgimento das primeiras Unidades de Conservação da região (MARTINS, 2016). As Unidades de Conservação foram criadas a fim de tentar reverter todo o impacto do avanço da fronteira agrícola na região e preservar a biodiversidade que ainda resistia a estes avanços. Infelizmente as comunidades rurais que também sofreram as consequências destes projetos, foram desapropriadas de suas terras, caso estivessem em áreas que se tornaram Unidades de Conservação de Proteção Integral, e realocadas sem que sua história e tradições fossem respeitadas.

2.1.4.7 Incêndios Florestais no Cerrado

O fogo é um fenômeno natural, que sempre existiu na superfície do planeta. Já o uso do fogo pelo homem é um fenômeno complexo, mas seu domínio foi fundamental para evolução da ocupação humana (SOARES; PEIXINHO, 2020). Esse fenômeno ocorre em todos os locais do mundo, especialmente nas savanas, pradarias e floresta boreal (MARAVALHAS; VASCONCELOS, 2014). O Cerrado, que é um tipo de savana, possui uma fitofisionomia predisposta à ocorrência do fogo, devido às suas características evolutivas (COUTINHO, 1990; RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Quando as condições meteorológicas também favorecem a ocorrência e propagação do fogo, se torna especialmente inflamável (DURIGAN; RATTER, 2016).

Estudos mostram que as adaptações em espécies vegetais do cerrado surgiram há milhões de anos, evidenciando adaptações morfológicas que lhes permitem sobreviver e se recuperar após o fogo como: árvores com casca grossa que promove o isolamento térmico, sementes protegidas por frutos lenhosos, além de estratégia fenológicas e reprodutivas (SIMON et al., 2009; COUTINHO, 1990). A ocorrência do fogo pode ter origem natural ou antrópica e apesar de ser menos comum, o fogo natural ocorre no início da estação chuvosa ocasionado por raios queimando pequenas áreas e sendo dissipado rapidamente pela própria chuva (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2010).

O fogo antrópico pode ocorrer de diversas formas, como: abrir novas áreas para cultivo agrícola, estimular a rebrota e a frutificação de determinadas espécies, melhorar a palatabilidade do estrato gramíneo para o pasto, caça, limpeza de terrenos (PIVELLO, 2011; BORGES et al., 2016). A intensidade e frequência destas queimadas depende também de quem as pratica, se são pequenos produtores de comunidades rurais ou grandes latifundiários. Uma alta frequência

de queimadas pode alterar a estrutura da vegetação e causar consequências para o ecossistema, o contrário, a supressão do fogo no Cerrado, pode levar a um acúmulo de biomassa e o aumento da suscetibilidade a grandes incêndios florestais no fim da estação seca (SANTOS, 2019).

A política vigente nas áreas protegidas do Cerrado é a do “fogo zero”. Esta supressão do fogo resulta em um alto acúmulo de biomassa combustível extremamente inflamável (PIVELLO, 2011). Por anos as Unidades de Conservação do MSVP não permitiam o uso do fogo em seus limites, a fim de preservar a biodiversidade. Atualmente são estudadas estratégias para se iniciar a prática do manejo integrado do fogo, com intuito de reduzir a biomassa acumulada e evitar os grandes incêndios que na maioria das vezes são resultado de atividades antrópicas principalmente nas Áreas de Proteção Ambiental.

2.2 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho estão descritos na Tabela 2.1. Estes dados brutos foram manipulados e organizados utilizando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no software ArcGis® 10.5, de forma a comporem uma matriz de dados nos moldes necessários para esse estudo.

Tabela 2.1: Materiais utilizados

Material	Ano	Resolução/Escala Aproximada	Fonte	Formato
Dados Climáticos ERA5	1999-2019	31km	ECMWF	NetCDF → .csv
Focos de Incêndio NDVI (MOD13Q1)	1999-2019 2005-2019 (mensal)	1km a 4km 250m	INPE NASA	Point shapefile Tiff
Área Queimada	2005-2019	1:50.000	CSR	Poligono shapefile
Altitude	2008	1:50.000	TOPODATA	Tiff
Declividade	2008	1:50.000	TOPODATA	Tiff
Hidrografia	2010	1:50.000	IGAM	Polyline shapefile
Rodovias	2017	1:50.000	IBGE	Polyline shapefile
Censo Populacional	2010	Dado descritivo	IBGE	.csv
Uso do solo coleção 5.0	2005, 2009, 2013, 2017	1:50.000	MapBiomass	Tiff

2.3 Método

Este trabalho foi organizado e desenvolvido em quatro etapas, a fim de ter um melhor aproveitamento dos dados e assim procurar atingir os resultados esperados deste estudo (Figura 2.17).

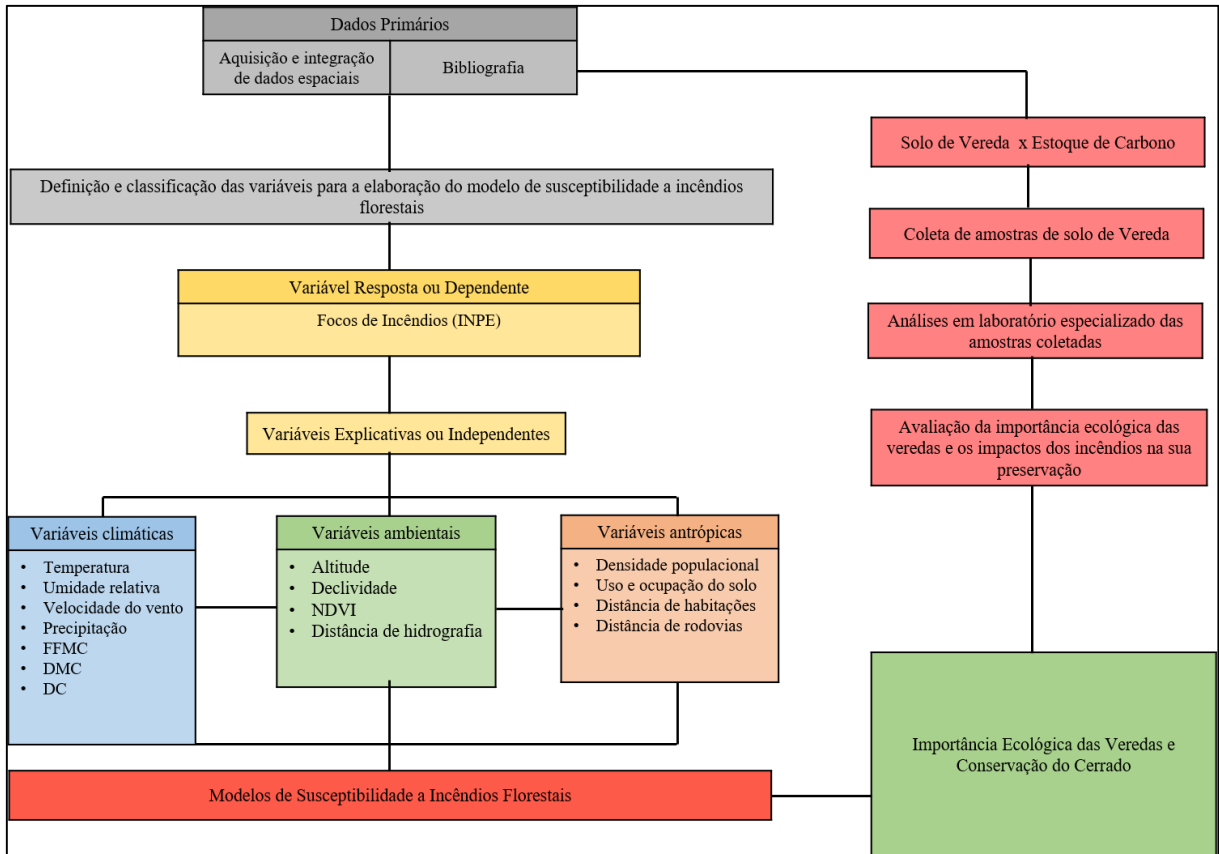


Figura 2.17: Fluxograma da metodologia adotada neste estudo

A primeira etapa consistiu em, por meio de levantamento bibliográfico, entender quais fatores estavam mais relacionados à ocorrência de incêndios florestais nas áreas de estudo e quais as consequências destes eventos para a biodiversidade da região. Considerou-se importante neste trabalho trazer um olhar focado para as consequências dos incêndios florestais e degradação ambiental nas áreas de veredas, visto que o solo turfoso destes ambientes apresentava evidências de estoque de carbono. Após este levantamento bibliográfico foi realizada a aquisição dos dados espaciais relacionados às variáveis escolhidas e sua integração em um banco de dados estruturado para cada área de estudo.

Na segunda etapa, com o banco de dados estruturado, foram gerados os modelos de suscetibilidade a incêndios florestais para cada área de estudo. É importante ressaltar que para entender a relação dos incêndios florestais com as variáveis escolhidas em cada área de estudo, optamos por gerar mais de um modelo com grupos de variáveis diferentes. Dessa forma poderemos ao final deste trabalho inferir quais fatores de fato são de maior relevância para a ocorrência de incêndios nestas áreas.

Sendo assim, geramos um modelo apenas com as variáveis climáticas para entender o seu comportamento em uma região que apresenta duas estações (seca e chuvosa) tão bem

demarcadas. Outro modelo levou em consideração apenas as variáveis ambientais e antrópicas, a fim de compreender a relação dos fatores topográficos e vegetacionais dessa região com a presença humana, e como influenciam na ocorrência de tantos incêndios florestais. Por fim, um terceiro modelo foi elaborado, associando as variáveis climáticas, antrópicas e ambientais. Para que dessa forma, tivéssemos informações suficientes não só para compreender a ocorrência de incêndios na região, mas também propor diretrizes e ações a fim de auxiliar no planejamento da prevenção e combate destes incêndios.

Ao finalizarmos os modelos de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais passamos para a terceira etapa, onde procuramos confirmar as evidências de que o solo das veredas exerce um papel fundamental no estoque de carbono orgânico. Buscamos quantificar a presença deste carbono no solo de algumas veredas da APA Rio Pandeiros e analisamos quais as consequências os incêndios florestais podem ter para as veredas e para o Cerrado no que diz respeito às mudanças climáticas.

Ao elaborar um modelo de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais buscamos identificar as áreas que tem uma maior probabilidade de pegar fogo, o período do ano mais crítico e os possíveis fatores causadores e/ou facilitadores dos incêndios florestais a fim de auxiliar as políticas e ações de prevenção e combate a incêndios na região. Comprovar a importância do papel das veredas no sequestro e estoque de carbono, endossa a necessidade da sua conservação e para isso é necessário preservar o Cerrado.

A descrição detalhada dos procedimentos metodológicos realizados em cada etapa é apresentada em seus respectivos capítulos.

2.4 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, T. S. **Proposta metodológica para delimitação e classificação do ambiente de vereda utilizando imagens orbitais**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Geografia. p. 108. 2007.
- ALENCAR, T. S.; MAILLARD, P. Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do Parque Estadual Veredas do Peruaçu. **Geografias**, v. 7, n. 2, p. 24-39, 2011.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711-728, 2014.
- AYRES, J. M. et al. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**. 1. ed. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, 2005. 265 p.
- BETHONICO, M. B. M. **Área de proteção ambiental Estadual do Rio Pandeiros MG: Espaço, Território e atores**. 2009. 288 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.
- BORGES, S. L.; ELOY, L.; SCHMIDT, I. B.; BARRADAS, A. C. S.; SANTOS, I. A. D. Manejo do Fogo em Veredas: Novas perspectivas a partir dos sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 269–294, 2016.
- BRASIL. **Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm> Acesso em: 22 ago. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gabinete da Ministra. Portaria nº 128, de 24 de abril de 2009. Reconhece o Mosaico de Unidades de Conservação Sertão Veredas-Peruaçu. 2009. Disponível em: < <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/mosaicos/portaria-grande-sertao.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2021.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Almenara, Minas Gerais. 2005. p. 35.
- COSTA, J. B. A. Cultura, Natureza e Populações Tradicionais: o Norte de Minas como síntese da Nação Brasileira. **Revista Verde Grande**. v. 1, n.3, p. 8-45, 2005.
- COUTINHO, L. M. 1990. **Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado** (JG Goldammer, Ed.). IN: Fire in the Tropical Biota: Ecosystem processes and global challenges. Springer Verlag, Berlin, pp. 82-105, 1990.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A. & ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais**. Segunda Edição. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas. 2005.
- DURIGAN, G. Cerrado: o trade-off entre a conservação e o desenvolvimento. *Parc. Estrat.* . Ed. Esp. Brasília-DF, v. 15, n. 31, p. 245–250, 2010.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, n. 53, p. 11-15, 2016
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- FERREIRA, G. B. et al. Mamíferos de médio e grande porte do Parque Estadual Veredas do Peruaçu: riqueza, composição e estratégias de conservação. **MG-Biota**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 6-19, 2011.
- FUNATURA. Fundação Pró Natureza. **Plano de Desenvolvimento Territorial de Base Conservacionista do Mosaico Sertão Veredas – Peruaçu**. Brasília, 2008. 60 p.
- FUNATURA. Fundação Pró Natureza. **Plano de Desenvolvimento Territorial de Base Conservacionista do Mosaico Sertão Veredas – Peruaçu (2020/2032)**. Brasília, 2019. 198 p.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. 2005. Disponível em: <

https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/parna_cavernas_peruacu_pm_enc4.pdf> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Cochá e Gibão – APAECG**. p. 178, 2019a.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Rio Pandeiros – APAERP**. p. 183, 2019b.

IDESE. Instituto para o Desenvolvimento Social e Ecológico. **RPPN Porto Cajueiro completa mais um ano sem fogo**. 2009. Disponível em: < <http://www.idese.org/2009/11/rppn-porto-cajueiro-completa-mais-um-ano-sem-fogo/>> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão**. 2013a. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1771-area-de-protecao-ambiental-estadual-cocha-e-gibao->> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **APA Pandeiros**. 2013b. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1769-apa-pandeiros->> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros**. 2013c. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1768-refugio-estadual-da-vida-silvestre-do-rio-pandeiros->> Acesso em: 13 abr. 2021.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Relatório Anual: **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Rio Pandeiros – SF9**. Volume IB. Minas Gerais, 2014.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS. **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. 2015. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/florestas> > Acessado em: 25 de set. de 2017.

ISA. Unidades de Conservação. Instrumentos para gestão e planos de manejo. Disponível em <<https://uc.socioambiental.org/gest%C3%A3o/instrumentos-de-gest%C3%A3o>> Acesso em: 22 de ago. 2020.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate [The geographic system of climates]. In KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936 pp. 1–44.

MARAVALHAS, J.; VASCONCELOS, H. L. Revisiting the pyrodiversity-biodiversity hypothesis: Longterm fire regimes and the structure of ant communities in a Neotropical savanna hotspot. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 1661–1668, 2014.

MARTINS, G. I. **Conservação da Natureza e Modulação do espaço**: políticas ambientais de conservação e planejamento biorregional no Mosaico Sertão Veredas-Peruaçu. 2016. 463 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Mosaico de Unidades de Conservação. 2010. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/instrumentos-de-gestao/mosaicos>>. Acesso em: 26 set. 2020.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas úmidas para a redução de risco de desastres**. 2017. Disponível em <http://www.mma.gov.br/images/imagens/biodiversidade/biodiversidade_aquatica/DiaMundial-2017/areas_umidas_que_nos_ajudam_a_lidar_com_eventos_climticos_extremos_web.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

MOREIRA, H. F. “Se for pra morrer de fome, eu prefiro morrer de tiro”: O Norte de Minas e a formação de lideranças rurais. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PAGE, S. E. et al., The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. **Nature**. v. 420, p. 61-65, 2002.

PEREIRA, D. B.; MUNGAI, M. F. Estar lá, sem estar: conflitos no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu-Minas Gerais. **OLAM - Ciência & Tecnologia**. v. 8, n. 2, p. 56, 2008.

PIVELLO, V. R., FIDELIS, A. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no cerrado e campos sulinos?. **Biodiversidade Brasileira**. v.1, n. 2, p. 12-25, 2011.

PIVELLO, V. R. 2011. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, v. 7, p. 24–39, 2011.

RAMOS-NETO, M. B., PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, p. 675–684, 2000.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.(eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, Embrapa-CPAC. p. 89-166, 1998.

RIBEIRO, R. F. Florestas Anãs do Sertão - O Cerrado na História de Minas Gerais. Belo Horizonte: Autêntica, 2006. 376 p.

RIBEIRO, L.; et al., Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, Curitiba - Paraná, v. 38, n. 3, 2008.

SANTOS, G. R.; SOUTO, K. G. S. O desenvolvimento no Norte de Minas na perspectiva da SUDENE. **Revista Desenvolvimento Social**, n. 12, 2014.

SAWYER, D. et al. **Perfil do Ecossistema Hotspot de Biodiversidade do Cerrado**. Brasília, p. 495, 2016.

SANTOS, A. C. **Efeitos de diferentes regimes de queima sobre o estrato herbáceo-subarbustivo da vegetação em áreas de Manejo Integrado do Fogo no Cerrado**. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. p. 426, 2005.

SILVA, C. A. **Parque Nacional Cavernas do Peruaçu/PARNA – Januária/Itacarambi -MG - Comunidade do Janelão**: as comunidades tradicionais e o impacto da criação da Unidade de Conservação em seu território. 2007. 158 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Social) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Social, UNIMONTES, Montes Claros, 2007.

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, 20359–20364, 2009.

SOARES, J. A. P.; PEIXINHO, D. M. Fogo no cerrado e a vulnerabilidade em assentamentos rurais: o exemplo do assentamento Rio Paraíso em Jataí-GO. **CAMPO-TERRITÓRIO: Revista de geografia agrária**, v. 15, n. 37, p. 87-108, 2020.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**: síntese terminológica e relações florísticas. 2006. 390 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

WWF. World Wide Fund for Nature. **Mosaico Sertão Veredas Peruaçu pode se tornar o maior no bioma Cerrado**. 2018. Disponível em: < <https://www.wwf.org.br/?64102/Mosaico-Serto-Veredas-Peruau-pode-se-tornar-o-maior-no-bioma-Cerrado>> Acesso em: 28 mar. 2021.

3

ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E SUA RELAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CERRADO DO NORTE DE MINAS GERAIS.

Resumo:

Os fatores climáticos e a ocorrência de incêndios florestais possuem uma relação direta, podendo ser agentes causadores dos incêndios em alguns casos ou agentes de propagação do fogo em outros. Por apresentar um inverno seco, quente e com volume pluviométrico baixíssimo, as Áreas de Proteção Ambiental Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no Norte do Estado de Minas Gerais são regiões acometidas por intensos incêndios florestais todos os anos. O objetivo deste trabalho foi analisar a relação das variáveis climáticas e a ocorrência de incêndios florestais nestas Unidades de Conservação. Para tanto, foi realizada uma análise temporal da temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e velocidade do vento no período de 21 anos (1999-2019), para observar qual o comportamento destas variáveis ao longo dos anos nessas regiões e identificar quais períodos foram mais susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais. Além disso, foi elaborado um modelo de regressão logística, para prever ocorrências de incêndios nas áreas considerando apenas variáveis climáticas e índices de umidade de combustível provenientes do Sistema FWI. A partir dos resultados, foi possível concluir que o período em que ocorre o maior número de incêndios nas áreas é nos períodos de estiagem, principalmente nos meses de setembro e outubro. De acordo com o modelo de ocorrência de incêndios florestais, a temperatura, umidade do ar e precipitação são fatores impulsionadores de incêndios na região, mas não agentes causadores. Entretanto, são necessárias novas variáveis explicativas para identificar os agentes causadores de incêndios na área de estudo.

Palavras-chave: incêndios florestais; mudanças climáticas; FWI; regressão logística; áreas protegidas

Abstract:

Climatic factors and the occurrence of forest fires have a direct relationship and can be agents that cause fires in some cases or agents of fire propagation in others. Due to its dry, hot and very low rainfall winter, the Cochá and Gibão, Rio Pandeiros and Peruaçu Caves Environmental Protection Areas in the North of the State of Minas Gerais are affected by intense forest fires every year. The objective of this study was to analyze the relationship of climatic variables with the occurrence of forest fires in these Protected Areas. For this purpose, a temporal analysis of temperature, precipitation, relative humidity and wind speed was carried out over the 21-year period (1999-2019), to observe the behavior of these variables over the years in the region and identify which periods were more susceptible to the occurrence of forest fires. In addition, a logistic regression model was developed to predict the occurrence of fires in these areas, considering only climatic variables and fuel moisture indices from the FWI System. Based on the results, we were able to conclude that, the period in which the greatest number of fires occurs in the areas is during the dry season, mainly in September and October. According to the forest fire occurrence model, temperature, relative humidity and precipitation are fire drivers in the region, but not the causative agents. However, new explanatory variables are needed to identify the agents that cause fires in the study area.

Keywords: forest fires; climate change; FWI; logistic regression; protected areas

3.1 INTRODUÇÃO

Devido ao abuso exacerbado dos recursos naturais pelo homem, as mudanças climáticas chegaram a um ponto irreversível e o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) mostra um aquecimento de 1,5 °C a 2°C da temperatura global nas próximas duas décadas caso mudanças drásticas não sejam tomadas (IPCC, 2021). Ainda de acordo com o IPCC (2021) os últimos oito anos foram os mais quentes já registrados em relação ao período pré-industrial, esse aquecimento traz impactos climáticos graves para todas as regiões do planeta como ondas de calor, secas, inundações, furacões, aumento do nível do mar, além de interromper padrões climáticos naturais levando a oscilações entre extremos secos e úmidos.

O fogo ocorre naturalmente em vários ecossistemas ao redor do mundo, desde as florestas boreais até as savanas tropicais (OLIVEIRA et al., 2021). Em determinados ecossistemas o fogo tem o poder de moldar a vegetação, e os incêndios são controlados por fatores como a carga de combustível, condições ambientais e ignições (FIDELIS et al., 2018). Atualmente, os incêndios florestais tem demonstrado uma relação altamente dependente com as atividades humanas, resultando em impactos significativos nas esferas social, econômica e ecológica (DRISCOLL et al., 2010).

A relação entre as condições meteorológicas e a ocorrência de incêndios já é bem discutida, sendo que há o consenso que os incêndios florestais tendem a se concentrar nos meses que apresentam altas temperaturas e baixa umidade do ar e dos combustíveis disponíveis (PIÑOL; TERRADAS; LLORET, 1998). Os padrões de incêndio são fortemente sensíveis às variações e mudanças climáticas regionais (SILVA et al., 2016). O clima global está mudando e este fator pode ter um profundo e imediato impacto na ocorrência de incêndios florestais (FLANNIGAN et al., 2013).

A área queimada no Cerrado está relacionada principalmente à condição sazonal da precipitação, visto que as regiões apresentam uma estação seca marcada de maio a setembro com valores de precipitação baixíssimos (LIBONATI et al., 2015). Resultado destes eventos extremos de déficit de precipitação, a seca é um perigo natural, entretanto, as modelagens climáticas têm demonstrado um aumento global destes períodos resultando em futuro mais quente e seco (PANISSET, et al., 2017).

No Cerrado, as principais fontes de ignição estão associadas diretamente às ações humanas, seja utilizando o fogo para desmatar, limpar o terreno ou renovar o pasto, e estas atividades ocorrem principalmente durante a estação seca (OLIVEIRA et al., 2021). Estas fontes de ignição escapam para a vegetação nativa circundante causando grandes incêndios florestais (PIVELLO, 2011). Quanto mais ao norte do Brasil, mais as áreas de Cerrado cruzam

com a expansão da fronteira agrícola e áreas de vegetação nativa são perdidas devido à pressão antrópica (ROCHA et al., 2011).

Na região Norte do Estado de Minas Gerais, que abriga grandes remanescentes de Cerrado, foi diagnosticada uma suscetibilidade à desertificação não só devido às características físico geográficas deste território, mas também pelo crescente processo de expansão agrícola (MARQUES; MOREIRA; NERY, 2017). Entre os anos de 2011 e 2018, a região Norte de Minas Gerais atravessou um período extremo e severo de seca, com os valores de precipitação média anual muito baixos para este território, resultando em períodos de estiagem distribuídos por todo o ano e não apenas no “período de seca” de maio a setembro (CRUZ et al., 2020).

O Rio Peruaçu, importante afluente do Rio São Francisco na região, vem sofrendo uma grande sazonalidade do seu fluxo de água, fazendo com que em alguns pontos seu curso seja interrompido em períodos secos (SANTOS, 2020). Segundo relatos do gestor do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, o rio começou a secar há aproximadamente 10 anos, estando hoje completamente seco em alguns pontos. Este fator além de afetar diretamente as comunidades locais que necessitam do Rio Peruaçu também representa um sério risco para o ecossistema local.

O uso e manejo incorreto dos recursos renováveis dessa região, a retirada de água subterrânea, a forte pressão agrícola de grandes produtores somada às mudanças climáticas que vem ocorrendo e são intensificadas por estas ações antrópicas e resultam em intensos incêndios florestais, colocam a região do Cerrado do Norte de Minas Gerais sob um alto risco de atingir um ponto irreversível na sua conservação.

Dessa forma, o objetivo deste capítulo é compreender se há uma relação entre os ciclos periódicos do clima e a ocorrência de incêndios florestais nas Áreas de Proteção Ambiental Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu, a fim de entender se somente analisando estes fatores climáticos é possível antever suas interações e sua influência nos incêndios considerando áreas com pequena escala geográfica e pouca variação sazonal.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Área de Estudo

Para analisar a relação das variáveis climáticas com a ocorrência de incêndios florestais em regiões de Cerrado no norte do Estado de Minas Gerais, foram escolhidas três Áreas de Proteção Ambiental. Estas Unidades de Conservação de Uso Sustentável estão inseridas no Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas – Peruaçu (MSVP) e são conhecidas pelos nomes de Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão, Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros e Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu (Figura 3.1). Esta

região foi escolhida devido aos intensos períodos de incêndios que tem se agravado na última década.

O clima nesta região é definido por Alvares e colaboradores (2014) como Clima Tropical com inverno seco (Aw), que é descrito de acordo com a classificação climática de Köppen, como uma estação chuvosa no verão (novembro a abril) e uma estação seca no inverno (maio a outubro) (KÖPPEN, 1936).

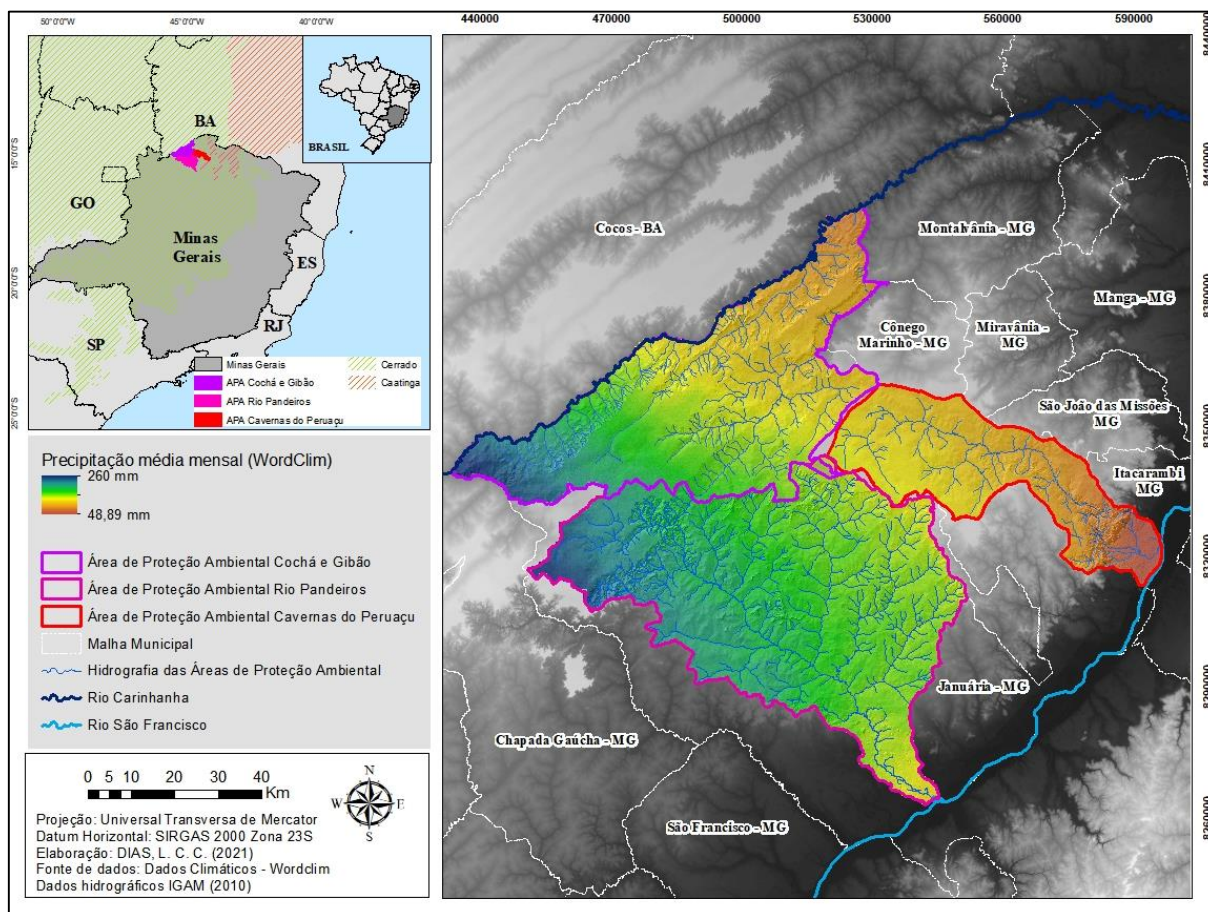


Figura 3.1: Localização geográfica das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais.

3.2.1.1 Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão

A Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão (APACG) possui uma área de cerca de 2.960km² e foi criada em 2004 com o objetivo de proteger as diferentes formações de Cerrado da região além das nascentes dos rios Cochá e Gibão (IEF, 2013a). Os rios Cochá e Gibão são grandes afluentes do Rio Carinhanha que é um contribuinte do Rio São Francisco. A APACG está inserida no território dos municípios de Bonito de Minas, Januária e Cônego Marinho no limite do Estado de Minas Gerais com o Estado da Bahia (Figura 3.1).

3.2.1.2 Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros

A Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros (APARP) abrange uma área de aproximadamente 3.960km², criada em 1995, destina-se principalmente à proteção da bacia do Rio Pandeiros que também é um importante afluente do Rio São Francisco (IEF, 2013b). Faz parte da região dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho no Estado de Minas Gerais e pela sua extensão é considerada a maior Unidade de Conservação deste estado até o momento.

3.2.1.3 Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu

A Área de Proteção Ambiental Federal (APACP) corresponde à extensão da bacia do Rio Peruaçu totalizando uma área em torno de 1.470km². Esta área protegida foi criada em 1989 principalmente para preservar as nascentes do Rio Peruaçu, além de promover o desenvolvimento das muitas comunidades tradicionais presentes neste território (ALENCAR; MAILLARD, 2011). Está inserida nos municípios de Januária, Bonito de Minas, Cônego Marinho e Itacarambi.

3.2.2 **Materiais**

Para a realização das análises deste capítulo, inicialmente foi necessário coletar, organizar e estruturar o banco de dados para que pudesse ser aplicada a metodologia escolhida.

Portanto, para que pudéssemos analisar a relação das variáveis climáticas com a ocorrência de incêndios florestais, utilizamos como indicadores da ocorrência de incêndios florestais os focos de incêndios disponibilizados pelo Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020). As variáveis climáticas foram obtidas a partir dos dados de reanálises ERA5. Os dados utilizados são descritos na Tabela 3.1, como sua resolução, fontes de obtenção e período de amostragem.

Tabela 3.1: Materiais utilizados nas análises deste capítulo

Material	Resolução	Satélite	Data	Fonte
Focos de Incêndio	1km a 4km**	TODOS*	1999-2019	INPE
Dados climáticos	31km		1999-2019	ECMWF

*Satélites utilizados pelo INPE: AQUA, GOES, NOAA, TERRA, ATSR, MSG, NPP e TRMM

**Como para este estudo estão sendo utilizados dados de todos os satélites, a resolução da detecção depende do satélite que identificou o foco.

3.2.2.1 Dados Climáticos

A reanálise global ERA5 é um produto de quinta geração produzido pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF - *European Centre for Medium-range Weather Forecasts*), que substituiu o ERA-Interim e oferece uma série de avanços em relação ao seu antecessor (COPERNICUS, 2017; HERSBACH et al., 2020). Para

este estudo nós obtivemos dados de superfície de hora em hora incluindo temperatura (Kelvin), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s) e umidade relativa do ar (%) para o período de 1999 a 2019 (disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>). Os valores da temperatura foram convertidos para graus celsius que é a unidade utilizada no Brasil.

Os dados de reanálise do ERA5 possibilitam que seja calculado o *Fire Weather Index* (FWI), que é um índice desenvolvido pelo Serviço Canadense de Florestas, que possibilita estimar o perigo de incêndio a partir de seis subíndices que quantificam os efeitos da umidade dos combustíveis e do vento no comportamento do fogo. De acordo com Arpaci e colaboradores (2013) o FWI pode apresentar um desempenho insatisfatório para identificar o perigo de incêndio em uma pequena escala, respondendo melhor em áreas mais expandidas. Todavia, não significa que os subíndices que compõem o FWI não possam ser utilizados em outros tipos de modelagem e análises de ocorrências de incêndios (McELHINNY, et al., 2020).

3.2.2.2 Componentes do Sistema FWI:

Dentre os componentes do FWI existem três categorias de umidade do combustível no solo (FFMC, DMC e DC) e três categorias de comportamento do fogo que consideram (ISI, BUI e FWI) (VAN WAGNER, 1987).

Índice de Umidade dos Combustíveis Finos (FFMC - Fine Fuel Moisture Code): Este índice é uma classificação numérica que representa o teor da umidade da serapilheira que fica sobre a superfície do solo, considerando a inflamabilidade desta serapilheira que se encontra na sombra do dossel da floresta. Para o cálculo deste subíndice são necessários os valores de temperatura, vento, umidade relativa do ar e precipitação (VAN WAGNER, 1987).

Índice de Umidade “Duff” (DMC – Duff Moisture Code): Este índice é uma classificação numérica do teor médio de umidade do combustível do material orgânico fracamente compactado em uma profundidade moderada no solo (camada “Duff”). É calculado a partir dos valores de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar (VAN WAGNER, 1987). A camada “Duff” é a camada de material orgânico entre o horizonte A do solo e a camada de serapilheira, a matéria orgânica encontrada apresenta um alto grau de decomposição não sendo possível identificar quais são os materiais orgânicos presentes (AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 2021).

Índice de Seca (DC – Drought Code): Este índice é um indicador útil dos efeitos da seca sazonal sobre os combustíveis florestais, é uma classificação numérica do teor médio de umidade das camadas orgânicas compactas e profundas. Para o seu cálculo são utilizados os valores de temperatura e precipitação (VAN WAGNER, 1987).

Índice de Propagação Inicial (ISI – Initial Spread Index): É também uma classificação numérica, mas diferente das anteriores não calcula a umidade e sim a taxa esperada de propagação do fogo para determinada área. Se baseia na velocidade do vento e no FFMC (VAN WAGNER, 1987).

Índice de acúmulo (BUI – Buildup Index): é uma classificação numérica da quantidade total de combustível disponível para alimentar a combustão, pode ser um fator de avaliação dos vegetais que podem alimentar um fogo. Para o seu cálculo são necessários dois subíndices anteriores, o DMC e o DC (VAN WAGNER, 1987).

Índice Climático de Incêndio (FWI – Fire Weather Index): É o índice final do Sistema FWI e é uma classificação numérica da intensidade do fogo. É também baseado em dois subíndices anteriores, no ISI e no BUI (VAN WAGNER, 1987). Este componente é utilizado como um índice geral de perigo de incêndio em várias áreas florestais do Canadá e da Europa.

Para algumas análises desta pesquisa, foram utilizadas três categorias de umidade de combustível no solo, FFMC, DMC e DC.

3.2.3 Método

Como mencionado anteriormente, as variáveis climáticas obtidas por meio dos dados globais de reanálise ERA5, são valores de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento por hora para todos os dias do período entre 1999 e 2019. Para que pudessem ser realizadas as análises necessárias, estes dados precisaram ser organizados e estruturados em um banco de dados. Dessa forma, foram estruturados três bancos de dados no formato .csv, sendo um para cada uma das APA's escolhidas para esta pesquisa. Após separar os bancos de dados, os valores que estavam por hora foram calculados para obter os valores diários para temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento. Sendo assim, obtivemos três matrizes de dados com 7670 linhas, sendo uma linha para cada dia do ano do período de estudo de 1999 a 2019.

Os componentes do Sistema FWI foram calculados usando o pacote cffdrs do software R (Versão 1.8.5; WANG et al., 2017) com elementos meteorológicos com dados de entrada (para uma lista completa dos pacotes do software R e versões utilizadas para o cálculo, consulte o Apêndice 7.1). Embora os componentes do FWI escolhidos para a análise terem sido o FFMC, DMC e DC, todos os componentes foram incorporados na matriz de dados final.

Para compreender a relação existente entre as variáveis climáticas e a ocorrência de incêndios florestais no período de estudo, neste capítulo optamos por realizar inicialmente uma análise temporal das variáveis climáticas. Posteriormente foi elaborado um modelo de

Ocorrência de incêndios florestais considerando apenas os fatores climáticos e os índices de combustível no solo FFMC, DMC e DC.

3.2.3.1 Comportamento das Variáveis Climáticas durante o período de estudo

Utilizamos valores descritivos das séries temporais dos dados de focos de incêndios e das variáveis climáticas. Dessa forma, pudemos avaliar ano a ano para o período de 1999 a 2019, qual a temperatura média anual, a umidade relativa do ar média anual e a precipitação total acumulada anual em cada uma das áreas de estudo.

Ao identificar o ano que apresentou o maior número de focos de incêndios, foi realizada uma análise mensal desse ano em questão para entender o comportamento das variáveis climáticas que podem ter influenciado no maior número de incêndios florestais.

3.2.3.2 Modelo de Ocorrência de Incêndios considerando fatores climáticos

Detectar os incêndios florestais o mais rápido possível, enquanto eles ainda são relativamente pequenos, é fundamental para possibilitar uma resposta rápida e eficaz (VAN BEUSEKOM et al., 2018). Prever a ocorrência de incêndios é importante para auxiliar no planejamento da preparação para o combate ao fogo, ou seja, aquisição de recursos e prontidão para a atividade de fogo esperada.

Modelos de previsão de ocorrência de incêndios frequentemente usam métodos de regressão, que pode ser considerada uma abordagem de *machine learning* para relacionar a variável resposta (relatórios de incêndios ou focos de incêndios) ao clima, relâmpagos ou outras variáveis explicativas para determinada unidade geográfica ou como uma probabilidade espacial (JAIN et al., 2020). Existem várias publicações disponíveis sobre incêndios florestais e mudanças climáticas que usam abordagens de *machine learning* (AMATULLI; CAMIA; SAN-MIGUEL-AYANZ, 2013; PARKS et al., 2016; MORITZ et al., 2012; STROH et al., 2018). A abordagem escolhida para este trabalho foi a regressão logística binária.

3.2.3.3 Estruturação do Banco de Dados

O modelo de regressão logística é representado por uma variável resposta (representada pelo vetor de resposta Y) e sua relação com um conjunto de variáveis explicativas (representadas pela matriz de dados X). Para esta análise foi proposto um modelo que considera uma entrada de dados diários para o período de 21 anos (1999 a 2019) em cada uma das três áreas de estudos separadamente.

- *Variável Resposta*

A variável resposta utilizada nesta modelagem foram os focos de incêndios do período de 1999 a 2019 (Figura 3.2). Estes dados estão disponíveis no Banco de Dados de Queimadas

do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), e como mencionado anteriormente foram utilizadas amostragens de todos os satélites disponíveis. O INPE recomenda o uso dos satélites referência quando se tem o objetivo de compor uma série temporal da ocorrência de incêndios em determinada região, entretanto a utilização de todos os satélites pode ser recomendada quando o objetivo do estudo considera relevante toda e qualquer detecção de fogo (INPE, 2020).

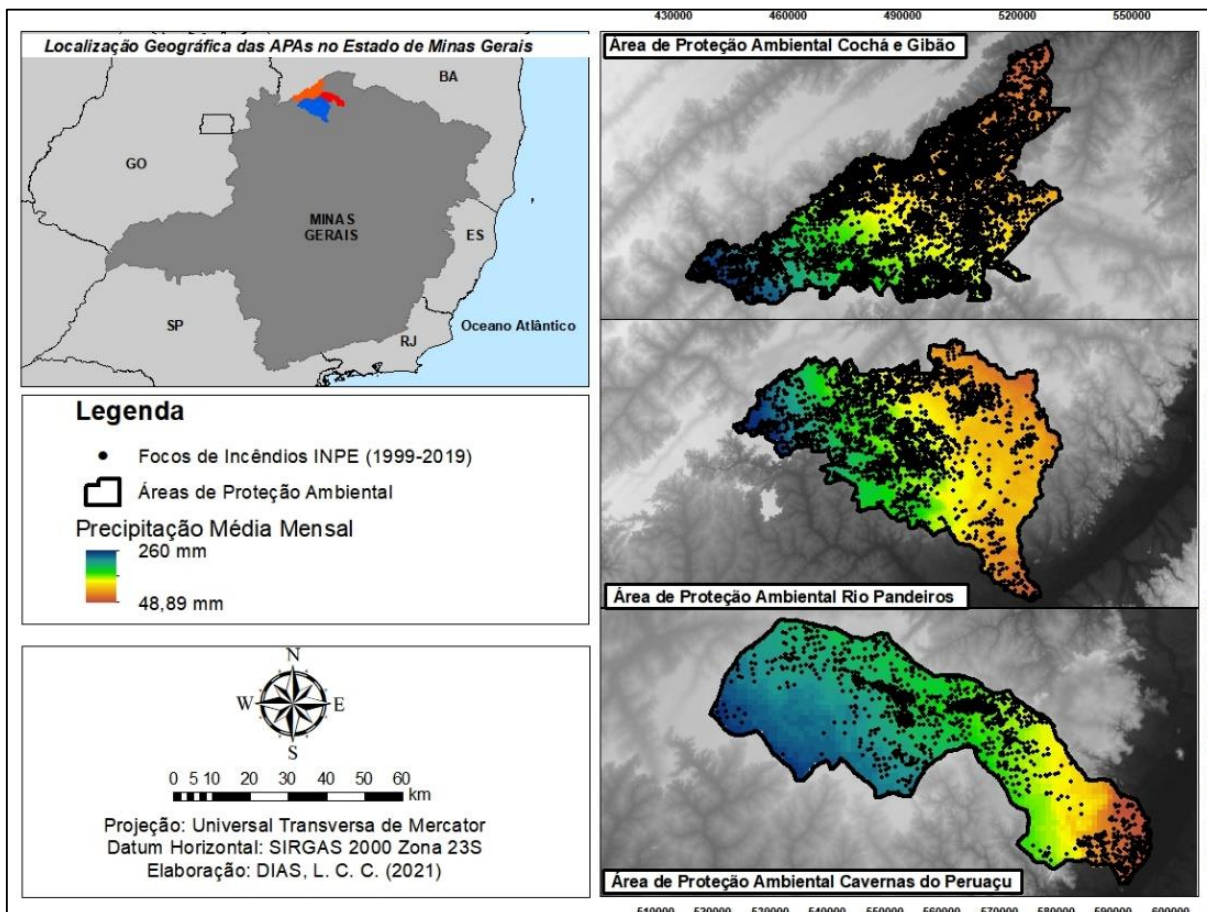


Figura 3.2: Distribuição dos focos de incêndios (1999-2019) no território das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu

Dado a metodologia de *machine learning* o volume de dados é de suma importância, e ao tentar considerar apenas os satélites referência a quantidade de focos caiu drasticamente e o modelo performou de maneira insatisfatória.

Em um modelo de regressão logística binária a variável resposta é representada por dados categóricos 1 (ocorrência do evento) e 0 (não ocorrência do evento). Como neste caso trata-se de uma modelagem considerando ocorrências diárias, para a composição da matriz de dados, os dias em que houve fogo, de acordo com os dados do INPE, foram atribuídos com a categoria 1 e os dias que não houve incêndio com a categoria 0. O número de ocorrências não

foi considerado neste modelo, apenas se ocorreu fogo ou não determinado dia com determinadas condições climáticas.

Deste modo, obtivemos três matrizes de dados com 7670 linhas (número de dias no período de 01/01/1999 a 31/12/2019), sendo que destas a APA Cochá e Gibão teve ocorrências em 1182 dias, a APA Rio Pandeiros teve ocorrências em 1237 dias e a APA Cavernas do Peruaçu teve ocorrências em 436 dias no período de estudo.

- *Variáveis Explicativas*

Como variáveis explicativas foram selecionados os dados climáticos de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, velocidade do vento e os índices de combustível do Sistema FWI que são o FFMC, DMC e o DC.

Temperatura: Foi utilizada a temperatura máxima diária. Temperaturas altas contribuem para a evapotranspiração e combinado com a falta de chuvas deixa o ambiente mais seco e sujeito a focos de incêndio.

Umidade Relativa do Ar: Para a umidade relativa do ar foi escolhido o seu valor médio diário. A umidade relativa é importante para estudos de ocorrência de incêndios pois ambientes secos apresentam maior propensão a fontes de ignição.

Precipitação: Consideramos a precipitação acumulada para cada dia. Baixa precipitação resulta em um ambiente com baixa umidade e conseqüentemente mais seco e suscetível a fontes de ignição.

Velocidade do Vento: Utilizamos a velocidade média do vento na área de estudo. O vento está mais relacionado à propagação de incêndios do que a sua ocorrência, mas foi mantido no modelo pois optamos por analisar todas as variáveis climáticas disponíveis.

Índice de Umidade dos Combustíveis Finos (FFMC); Índice de Umidade “Duff” (DMC); Índice de Seca (DC): Para os índices de combustível no solo utilizamos seus valores absolutos. Estes índices podem não ser considerados climáticos, mas apresentam uma forte relação com o clima e são um fator a mais para que possamos entender a ocorrência de incêndios na região.

3.2.3.4 Regressão Logística

Optamos por uma regressão logística binária, em que a variável resposta possui uma distribuição de Bernoulli (binomial). Assim sendo, trabalhamos com a ocorrência (1) ou não ocorrência (0) por dia de incêndios florestais, em uma relação de variável resposta categórica com variáveis explicativas numéricas.

O modelo de regressão logística binária é expresso pelas seguintes equações:

$$P = \frac{1}{(1 + e^{-\beta})}$$

$$\beta = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n$$

em que:

P : é a probabilidade de um ponto pertencer à classe 1 ou 0; a_n : é o coeficiente associado à variável explicativa n ; x_n : é o valor da variável explicativa n .

O modelo resultante da regressão logística é representado pelas variáveis que melhor descrevem o comportamento da ocorrência de incêndios na APA e um peso atribuído para cada uma destas variáveis.

3.2.3.5 Seleção do Modelo

As variáveis descritas acima foram sugeridas, baseadas na literatura, para responder a pergunta sobre a relação destas variáveis com os incêndios florestais na região. Entretanto, a escolha do melhor modelo é feita pelo algoritmo, que seleciona as variáveis que apresentam melhor desempenho na regressão logística.

A seleção do melhor modelo foi baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974), descrito pela equação:

$$AIC = -2\ln L(\hat{\theta}|y) + 2K$$

onde:

$L(\hat{\theta}|y)$: é o logaritmo da máxima verossimilhança; K : é o número de parâmetros do modelo.

Esse tipo de seleção demonstra a relação entre a verossimilhança e a quantidade de informação que se perde quando aproximamos os dados com um modelo, o AIC expressa esta perda de informação. Dessa forma o AIC fornece um critério simples de seleção, escolhendo o modelo que minimize a quantidade esperada de informação perdida. Sendo este modelo que se estima estar “mais próximo” da realidade desconhecida que gerou os dados, entre os modelos candidatos considerados (BURNHAM; ANDERSON, 1998). Quanto menor o valor do AIC melhor o modelo.

A seleção das melhores variáveis para compor o modelo de cada APA foi realizada utilizando a técnica de *Dredging*, que consiste em realizar todas as combinações possíveis de variáveis, executar o modelo gerado para cada combinação, calcular o AIC de cada execução e escolher o modelo com menor valor de AIC. A função *Dredge* utilizada faz parte do pacote de seleção automatizada de modelos MuMIn versão 1.43.17 do R (para uma lista completa dos pacotes do software R e versões utilizadas para a análise, consulte o Apêndice 7.1).

Com intuito de não descartar variáveis que poderiam vir a ser importantes, porém não foram consideradas no melhor modelo, utilizamos um valor delta menor que quatro. O delta é um valor que representa a diferença entre o AIC de um modelo qualquer para o melhor modelo, e quando o valor de delta é menor que quatro podemos considerar este modelo como sendo mais parcimonioso (PROVETE; SILVA; SOUZA, 2011). Como resultado do *Dredge*, é criada uma tabela que coloca os modelos em ordem crescente, sendo que o melhor modelo fica no topo desta tabela (uma prévia desta lista está disponível no Apêndice 7.3).

3.2.3.6 Avaliação do Modelo

O conjunto de 21 anos de dados para este estudo (1999-2019) foi dividido em dois grupos: dados de treinamento (1999-2015) e em dados de teste (2016-2019) do modelo. Dessa forma, obtivemos 80% da amostra para o treinamento do modelo e os 20% restantes foram utilizados para teste, ou seja, avaliar a capacidade preditiva dos modelos ajustados para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu.

A estimativa dos coeficientes da regressão logística é efetuada pelo uso da máxima verossimilhança, que busca encontrar as estimativas mais prováveis dos coeficientes e maximizar a probabilidade de que o evento ocorra. A qualidade do ajuste do modelo pode ser avaliada por diversas métricas, neste trabalho escolhemos o pseudo- R^2 (Tjur), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE – *Root Mean Squared Error*) e a Área sobre a Curva ROC (AUC – *Area Under the ROC Curve*).

✓ Pseudo- R^2 (Tjur)

Existem vários pseudo- R^2 implementados em diversos pacotes do R que foram desenvolvidos para regressão logística (variável binária, 0 ou 1). De acordo com as características do nosso modelo o pseudo- R^2 Tjur (TJUR, 2009) foi o selecionado. É semelhante ao coeficiente de determinação R^2 presente nas Regressões Lineares, e representa o ajuste geral do modelo proposto. Em outras palavras, essa métrica nos diz o quão próximo as medidas reais estão do nosso modelo. O seu valor varia entre 0 e 1, geralmente é representado por porcentagem, indicando que o modelo é bem ajustado e explicativo quanto maior for o seu valor.

✓ Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)

Esta é uma métrica comumente utilizada, e nada mais é que a diferença entre o valor previsto pelo modelo e o valor real observado. De modo mais detalhado, isso significa que no cálculo desta métrica, pega-se a diferença entre o valor predito pelo modelo e o valor real, eleva-se o resultado ao quadrado, o mesmo é feito com todos os pontos, soma-os e depois são

divididos pelo número de elementos preditos (BARNSTON, 1992). Quanto maior esse número, pior o modelo. Essa métrica apresenta valor mínimo 0, sem valor máximo definido.

✓ Área sobre a Curva ROC (AUC)

A performance do modelo foi avaliada nos termos de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área abaixo da Curva (AUC). ROC nada mais é que uma curva de probabilidade gerada traçando a sensibilidade (taxa de verdadeiros-positivos) versus a especificidade (taxa de falsos-positivos), ou seja, a taxa de acertos de previsão do modelo versus a sua taxa de erro. O AUC é o grau de separabilidade e resume a curva ROC em um único valor calculando a “área abaixo da curva” (HAND, 2012). O AUC tem valores de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 melhor é a capacidade do modelo em distinguir entre a ocorrência ou não ocorrência de determinado evento.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão demonstrados em duas etapas para melhor compreensão:

- Comportamento das Variáveis Climáticas durante o período de estudo.
- Performance do Modelo de Ocorrência de Incêndios Florestais.

Em ambas as etapas os resultados serão discutidos para cada uma das APA's individualmente visto que o número de focos de incêndios no interior de cada uma é diferente assim como as condições climáticas.

3.3.1 Comportamento das Variáveis Climáticas durante o período de estudo

Analisando os valores de temperatura e precipitação no decorrer dos 21 anos de amostra do estudo, é possível notar um nítido aumento na temperatura média anual. Em contrapartida a um declínio da precipitação anual na última década nas três áreas de estudo (Figuras 3.3 e 3.4).

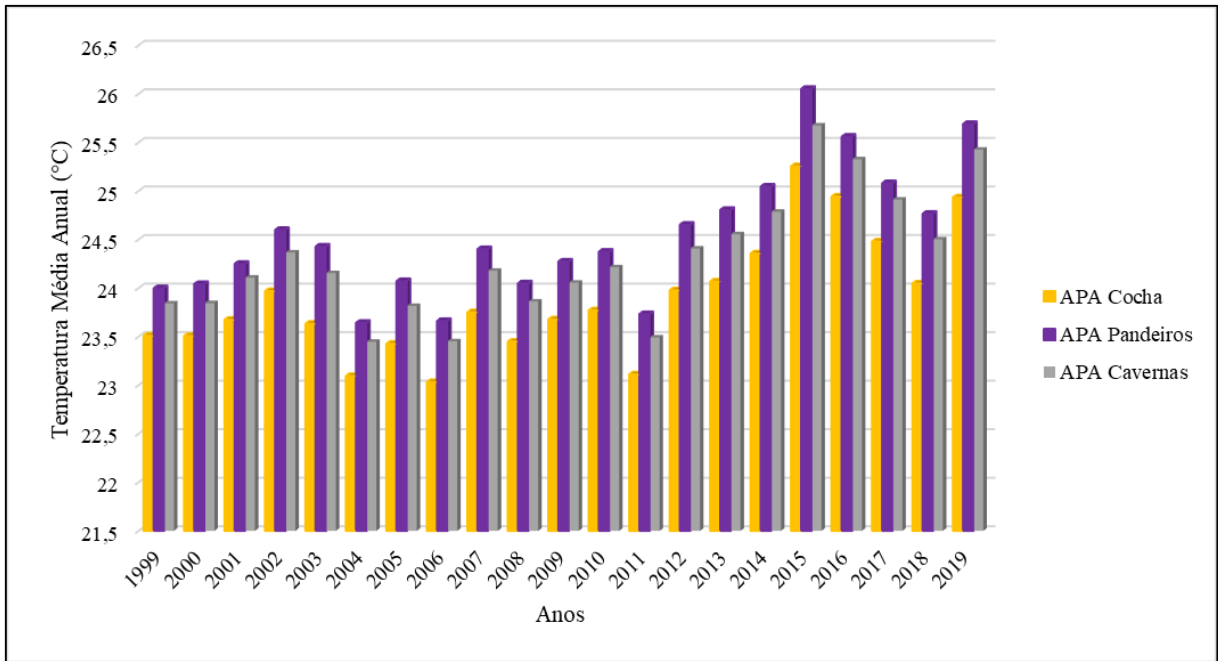


Figura 3.3: Temperatura Média Anual para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período de 1999 a 2019.

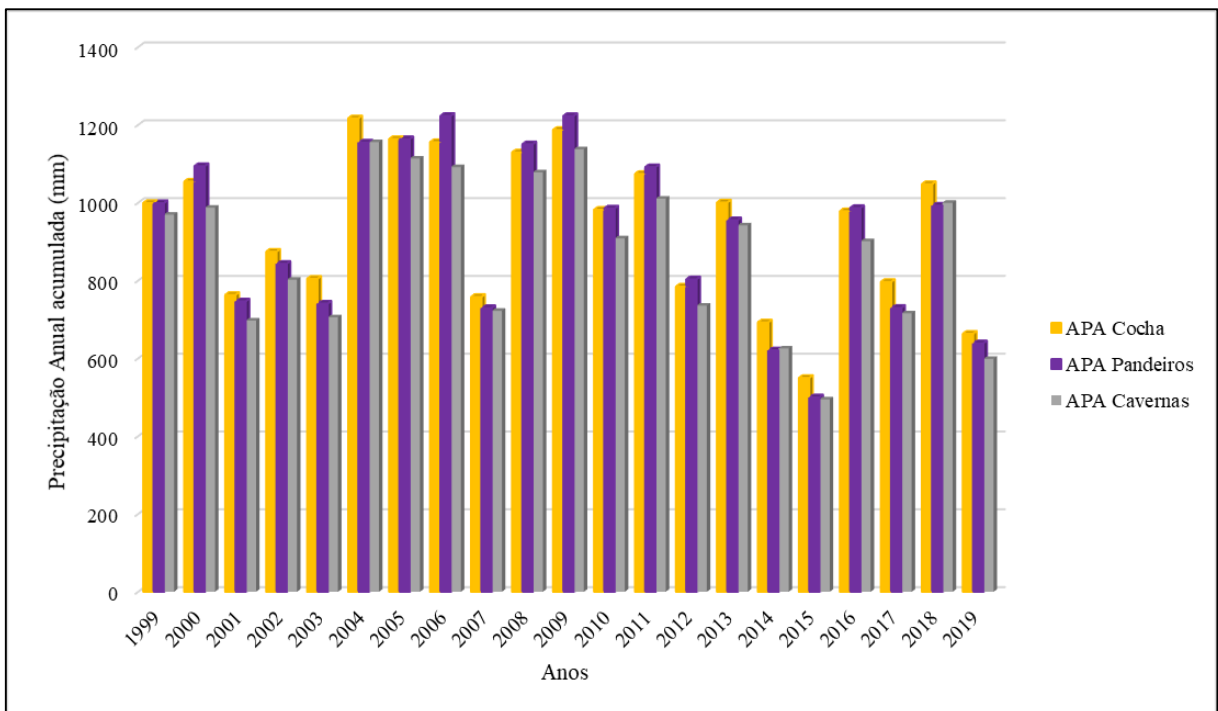


Figura 3.4: Precipitação Anual acumulada para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período de 1999 a 2019.

Os eventos climáticos do ano de 2015 resultaram na seca mais extrema do século 21 (ARAGÃO et al., 2018). Fato este que pode estar relacionado à ocorrência do fenômeno climático El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que ocorreu entre os anos de 2009-2010 e 2015-2016, incidindo altas temperaturas e baixa precipitação (PANISSET et al., 2017). A tendência geral

de aquecimento global de longo prazo, imputável às mudanças climáticas antrópicas, corresponde às projeções climáticas do relatório do IPCC de 2013 e as mais recentes do relatório de 2021, em que foi constatado que a temperatura do Planeta aumentou 1,07°C em relação ao período pré-industrial (1850-1900) (IPCC, 2021).

A região das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu apresenta um Clima Tropical com inverno seco (Aw), com uma estação chuvosa no verão (novembro a abril) e uma estação seca no inverno (maio a outubro) bem demarcadas (ALVARES et al., 2014). Podemos observar este padrão climático da Figura 3.5, em que os meses de junho, julho, agosto e setembro apresentam uma precipitação média mensal quase nula, com o período chuvoso iniciando timidamente em outubro e ganhando força apenas em novembro.

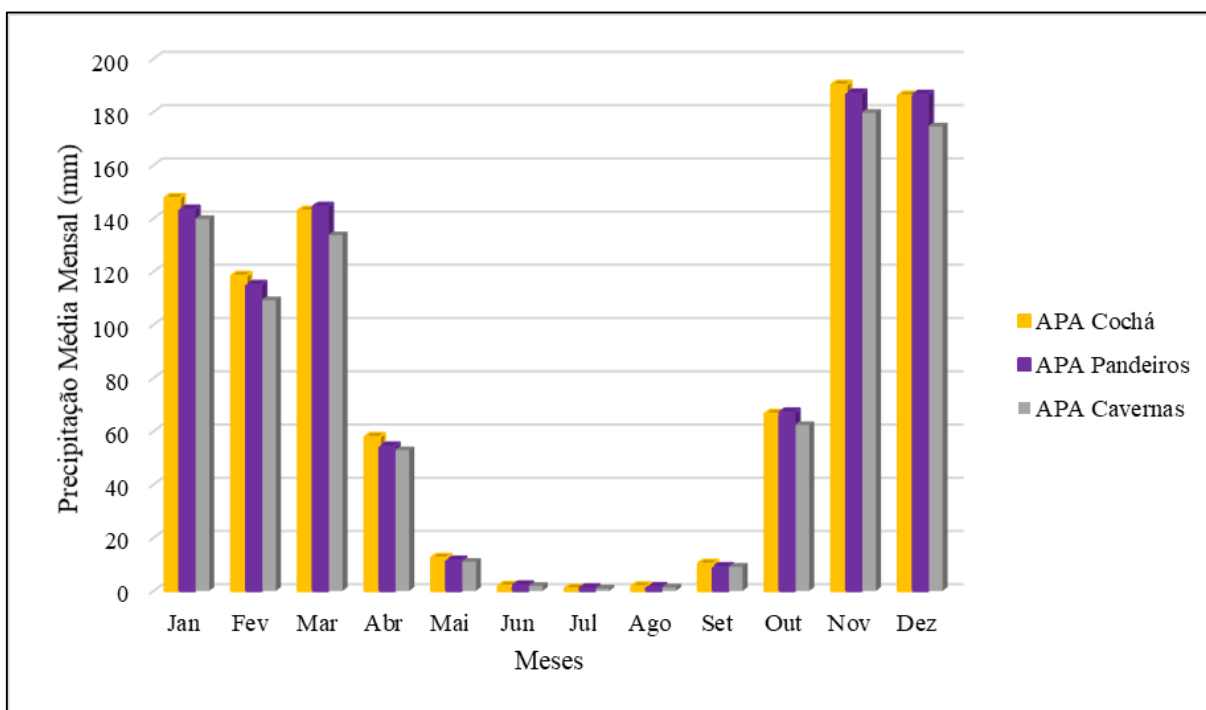


Figura 3.5: Precipitação Média Mensal para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período acumulado de 1999 a 2019.

Esse comportamento da precipitação na região, somado às temperaturas que apresentam um valor médio acima de 24 °C (Figura 3.3), resulta em um padrão sazonal nas taxas de umidade relativa do ar (Figura 3.6). Onde é possível notar um declínio destes valores a partir de abril, chegando aos percentuais mais baixos nos meses de agosto e setembro com taxas abaixo de 50 % e voltando a aumentar em novembro com a chegada das chuvas. Por este motivo os meses da estação seca, mas principalmente, agosto e setembro são considerados o período crítico de incêndios para a região, isso porque o clima e a vegetação secos são propícios para a ignição e

propagação dos incêndios florestais e não há chuvas que podem ajudar a controlar os incêndios mais rapidamente e amenizar as condições climáticas (SILVA et al., 2016).

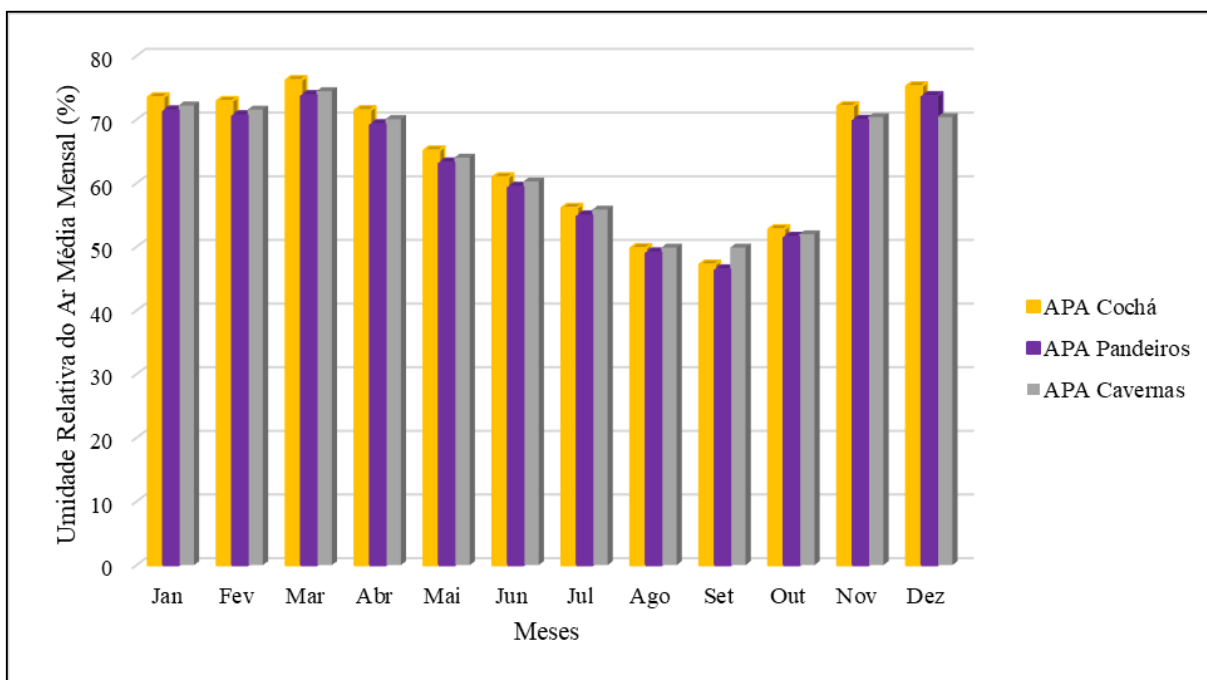


Figura 3.6: Umidade Relativa do Ar Média Mensal para as APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no período acumulado de 1999 a 2019.

De acordo com os dados de focos de incêndios do INPE, podemos inferir que há uma maior concentração destas ocorrências no período conhecido como estação seca que engloba os meses de maio a setembro (Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4). Este padrão ocorre na APA Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu sendo que os meses com os maiores números de focos são setembro e outubro (Figuras 3.7, 3.8 e 3.9). Outro padrão presente, é que para todas as APA's o ano de 2012 apresentou um alto número de focos de incêndios, sendo o ano que mais pegou fogo para as APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros e o segundo ano para a APA Cavernas do Peruaçu. Este fator pode estar relacionado ao lançamento de novos satélites de monitoramento de incêndios pelo INPE. O NPP foi lançado no final de 2011, o que pode resultar em uma maior cobertura e consequente maior detecção de focos (INPE, 2020).

Podemos notar para a APA Cochá e Gibão uma concentração das ocorrências de incêndios nos meses de setembro e outubro, demonstrando um crescimento inicial destas ocorrências em julho e agosto. Em setembro a APA Cochá e Gibão apresentou um total de 3880 focos de incêndios e 2586 focos em outubro no período de 1999 a 2019 (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Dados mensais de focos de incêndios do INPE referente aos anos de 1999 a 2019 para a Área de Proteção Ambiental Cochá e Gibão

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1999	0	0	0	0	0	0	3	4	7	7	0	0	21
2000	0	0	0	0	0	0	7	13	32	3	2	0	57
2001	1	0	0	0	0	3	3	9	30	5	0	0	51
2002	0	0	0	0	1	1	13	66	113	71	0	1	266
2003	1	1	0	0	0	0	4	16	126	126	10	2	286
2004	0	0	0	0	2	0	4	61	302	90	6	1	466
2005	0	0	0	0	0	0	17	18	33	105	38	11	222
2006	8	3	1	1	0	0	5	21	86	19	1	11	156
2007	0	0	1	0	0	2	5	58	194	93	21	10	384
2008	2	1	0	1	0	2	5	5	35	207	13	3	274
2009	0	3	1	0	1	0	2	3	25	11	2	0	48
2010	1	2	0	0	0	0	3	29	296	24	1	1	357
2011	0	0	0	0	2	6	4	79	301	29	0	0	421
2012	0	2	4	4	11	3	20	178	1294	369	63	4	1952
2013	0	7	7	1	3	3	13	57	116	54	5	2	268
2014	3	2	0	5	5	6	11	35	370	426	37	33	933
2015	37	10	6	6	2	16	22	138	384	431	31	7	1090
2016	0	38	31	12	6	41	17	21	12	81	2	2	263
2017	3	1	13	15	3	6	1	50	10	171	4	19	296
2018	2	1	6	2	3	11	5	3	44	31	2	2	112
2019	5	5	2	1	8	16	3	4	70	233	116	11	474
TOTAL	63	76	72	48	47	116	167	868	3880	2586	354	120	8397

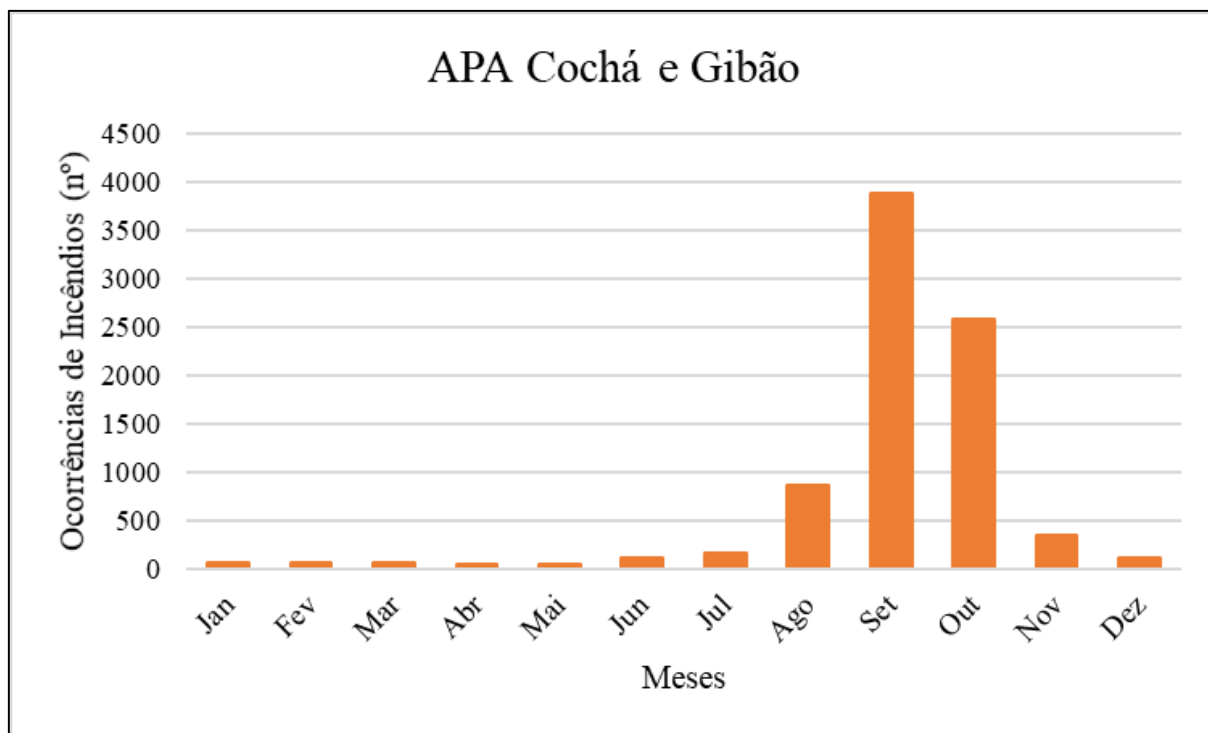


Figura 3.7: Focos de Incêndios acumulados por mês no período de 1999 a 2019 para a APA Cochá e Gibão.

Neste período os anos que destacamos, foram 2012 com 1952 ocorrências de incêndios e 2015 com 1090, sendo os anos que apresentaram os maiores números de focos de incêndios acumulados no intervalo de estudo. A partir de 2015 é possível observar que houveram ocorrências em praticamente todos os meses do ano, exceto janeiro de 2016, fato este que não era comum na década anterior.

Tabela 3.3: Dados mensais de focos de incêndios do INPE referente aos anos de 1999 a 2019 para a Área de Proteção Ambiental Rio Pandeiros

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1999	0	2	0	0	0	0	0	2	12	0	2	0	18
2000	0	0	0	0	0	1	2	4	17	14	0	0	38
2001	0	0	0	0	1	0	0	9	35	4	0	0	49
2002	0	0	0	0	1	3	4	40	105	65	8	1	227
2003	1	5	3	1	6	6	11	10	227	127	4	2	403
2004	0	0	0	0	0	6	3	58	242	61	2	0	372
2005	0	0	1	0	0	1	15	19	54	118	13	0	221
2006	0	0	0	1	0	2	4	19	90	2	2	0	120
2007	1	17	0	0	3	7	3	67	213	111	8	7	437
2008	0	0	0	1	1	2	1	15	25	70	25	1	141
2009	1	25	10	5	0	1	0	0	34	8	13	1	98
2010	2	1	0	3	0	1	4	61	176	71	1	0	320
2011	0	0	0	1	1	6	3	94	350	22	2	0	479
2012	1	6	3	2	3	11	11	111	650	250	15	10	1073
2013	5	5	3	6	7	18	9	25	128	70	8	2	286
2014	11	3	0	5	9	8	8	56	168	484	23	8	783
2015	22	7	10	19	9	49	22	34	378	392	28	30	1000
2016	1	9	24	9	15	4	5	9	71	44	50	8	249
2017	2	2	20	4	0	2	2	21	2	221	3	6	285
2018	11	0	3	1	1	5	4	0	67	65	1	3	161
2019	9	0	1	15	4	7	2	16	165	61	119	72	471
TOTAL	67	82	78	73	61	140	113	670	3209	2260	327	151	7231

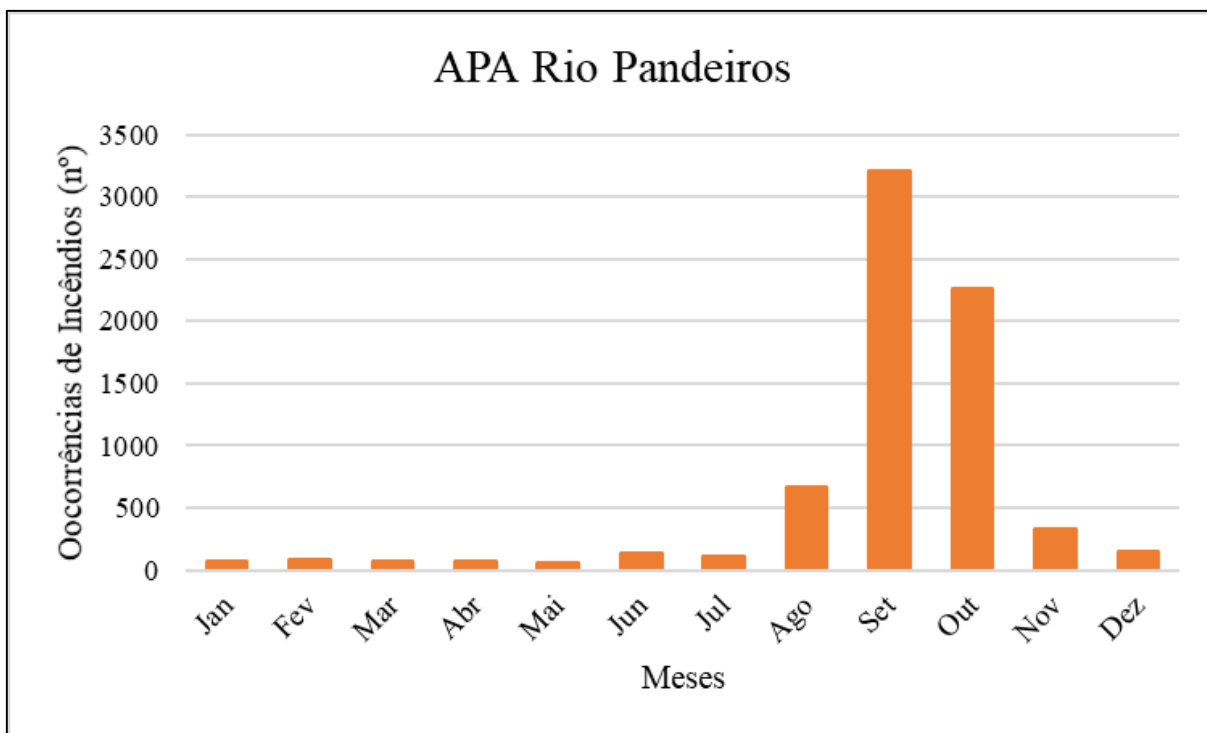


Figura 3.8: Focos de Incêndios acumulados por mês no período de 1999 a 2019 para a APA Rio Pandeiros.

Para a APA Rio Pandeiros observamos o mesmo padrão visto na APA Cochá e Gibão, com a concentração dos focos de incêndios nos meses de setembro e outubro. Como veremos posteriormente, setembro costuma ser cumulativamente o mês mais seco do ano, devido ao período de estiagem que se inicia em maio. Sendo Assim a APA Rio Pandeiros apresentou um total de 3209 focos de incêndios em setembro e 2260 em outubro (Tabela 3.3).

Os anos destacados com o maior número de ocorrências também foram 2012 e 2015 para a APA Rio Pandeiros, com um total de 1073 e 1000 focos respectivamente. Para esta APA, a partir de 2012 já podemos notar uma distribuição dos eventos de incêndios praticamente em todos os meses salvo algumas exceções em 2014, 2017, 2018 e 2019.

Tabela 3.4: Dados mensais de focos de incêndios do INPE referente aos anos de 1999 a 2019 para a Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	1	0	10
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	3	15	0	0	18
2001	0	0	0	0	0	1	0	0	8	6	0	3	18
2002	0	0	0	0	0	0	0	11	23	42	3	2	81
2003	0	0	0	0	4	0	1	2	21	26	1	0	55
2004	0	0	0	0	0	1	0	0	4	7	2	0	14
2005	0	0	0	0	3	0	6	1	0	67	1	1	79
2006	0	0	0	1	11	0	1	6	9	9	0	0	37
2007	0	0	0	0	0	0	3	5	57	39	15	2	121
2008	1	0	0	0	1	0	0	0	18	94	1	1	116
2009	0	0	0	0	0	0	1	0	4	7	14	0	26
2010	0	0	0	1	0	0	0	2	23	7	0	0	33
2011	0	1	0	0	1	1	2	14	6	5	0	1	31
2012	8	0	6	2	2	7	0	8	223	59	4	1	320
2013	4	1	0	0	2	0	3	0	3	334	15	0	362
2014	12	0	0	1	0	0	1	3	41	15	1	2	76
2015	2	0	0	0	4	1	0	2	22	25	26	107	189
2016	0	16	0	0	0	0	0	3	5	21	181	1	227
2017	1	155	15	1	1	0	0	0	1	4	0	1	179
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	6
2019	8	6	0	0	0	0	0	0	7	10	125	74	230
TOTAL	36	179	21	6	29	11	18	57	488	797	390	196	2228

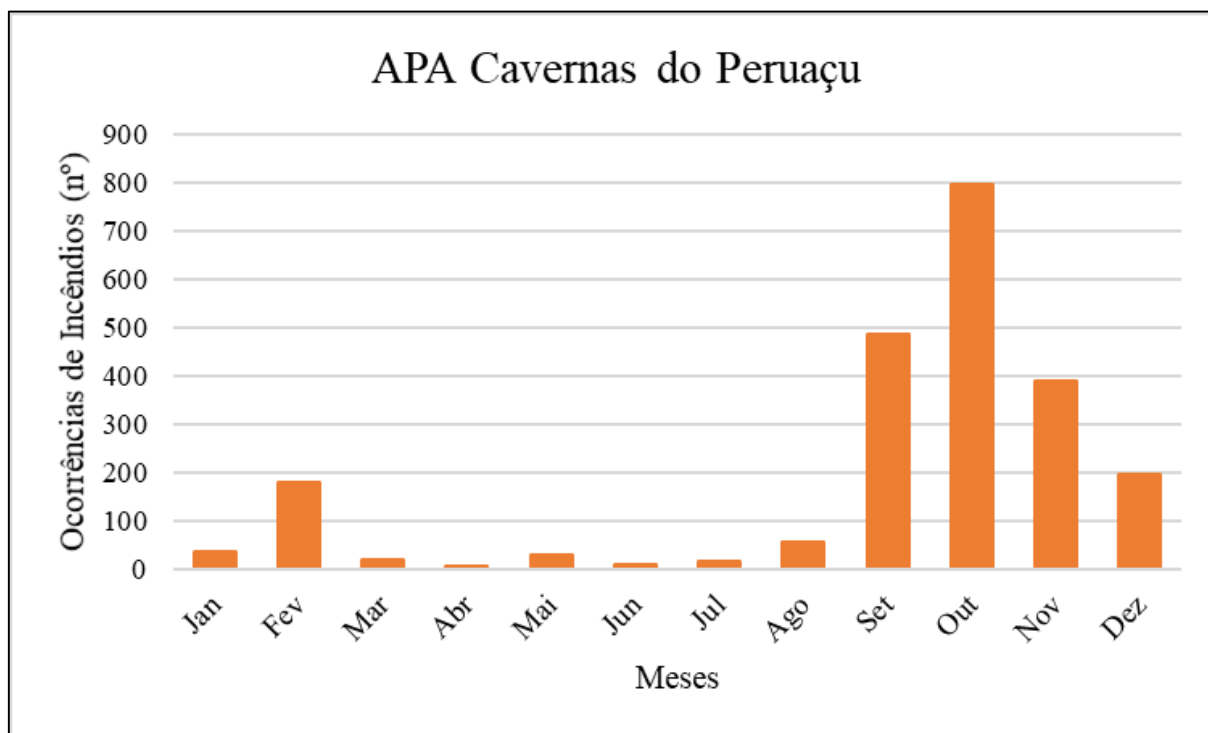


Figura 3.9: Focos de Incêndios acumulados por mês no período de 1999 a 2019 para a APA Cavernas do Peruaçu.

A APA Cavernas do Peruaçu, assim como as duas anteriores, apresenta os meses de setembro e outubro com os maiores números de focos de incêndios acumulados para o período de estudo. Setembro totalizou 488 ocorrências e outubro quase o dobro com 797, sendo os anos de 2012 e 2013 os que contabilizaram os valores mais altos para estes meses e para todo o período amostrado, com um total de 320 e 362 focos de incêndios respectivamente (Tabela 3.4).

Outro fator que podemos notar na APA Cavernas do Peruaçu é o alto número de focos de incêndios em fevereiro de 2017, por ser no período chuvoso poderíamos inferir que estes incêndios teriam causas naturais por raios, o que não é comum na região. Em fevereiro de 2017 um intenso incêndio florestal ocorreu na APA, iniciando-se nas imediações da Aldeia Peruaçu pertencente à Terra Indígena Xakriabá, e acabou destruindo 530 hectares da APA e inclusive dizimando a Vereda Grande uma das maiores veredas conservadas da região (ICMBIO, 2017).

3.3.2 Modelo de Ocorrência de Incêndios considerando fatores climáticos

Inicialmente foram indicadas quatro variáveis climáticas e três índices de umidade de combustível, sendo elas: temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento, FFMC, DMC e DC, com intuito de verificar se apenas estes fatores meteorológicos poderiam explicar a ocorrência de incêndios na região.

Foram gerados dois modelos: um apenas com as variáveis climáticas que vamos chamar de Modelo de Clima (Modelo A) das APA's e outro em que foi adicionado as variáveis dos índices de combustível que vamos chamar de Modelo de Clima e Combustível (Modelo B).

Utilizando a técnica *Dredging* o algoritmo escolheu as variáveis que apresentavam melhor performance nos modelos da APA Cochá e Gibão, da APA Rio Pandeiros e da APA Cavernas do Peruaçu (Tabela 3.5, 3.6).

Tabela 3.5: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo de Clima de cada uma das APA's

ÁREA	VARIÁVEIS DO MODELO A			
	Temperatura	Precipitação	Umidade Relativa do Ar	Velocidade do Vento
APA Cochá e Gibão	X		X	X
APA Rio Pandeiros	X		X	X
APA Cavernas do Peruaçu	X	X	X	X

Tabela 3.6: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo de Clima e Combustível de cada uma das APA's

ÁREA	VARIÁVEIS DO MODELO B						
	Temperatura	Precipitação	Umidade Relativa do Ar	Velocidade do Vento	FFMC	DMC	DC
APA Cochá e Gibão	X	X	X	X		X	X
APA Rio Pandeiros	X	X	X		X	X	X
APA Cavernas do Peruaçu	X	X	X	X		X	X

Para que o modelo seja replicado em outras áreas com características parecidas com as áreas de estudo, sugerimos que o grupo com todas as variáveis seja utilizado e dessa forma testes com diferentes combinações de variáveis podem ser realizados até obter o modelo com a melhor performance. Definir fatores que determinam a ocorrência de incêndios em determinada região exige uma análise complexa, e muitos testes até se atingir um resultado satisfatório.

3.3.3 Performance do Modelo

A performance do modelo é avaliada examinando-se a habilidade preditiva dos modelos em relação aos dados testes que foram selecionados para os anos de 2016 a 2019. Para tanto, comparamos os valores do AUC, sensibilidade (taxa de verdadeiros-positivos), especificidade (taxa de falsos-positivos), R^2 e do RMSE entre o Modelo A e o Modelo B e entre as três APA's (Tabela 3.7).

Tabela 3.7: Índices e métricas para analisar a performance dos modelos de predição de ocorrência de incêndios florestais

MODELOS	ÁREAS	AUC	Sensibilidade	Especificidade	R^2	RMSE
MODELO A	APA Cochá e Gibão	74%	85%	44,1%	0,293	0,3270756
	APA Rio Pandeiros	75,2%	84,5%	53,2%	0,284	0,3453797
	APA Cavernas do Peruaçu	77%	91,5%	36,6%	0,211	0,2908355
MODELO B	APA Cochá e Gibão	73%	85,5%	44,2%	0,311	0,3231317
	APA Rio Pandeiros	74,9%	84,5%	51%	0,309	0,3401868
	APA Cavernas do Peruaçu	76,8%	91,8%	35,9%	0,227	0,2878756

De modo geral, o comportamento das variáveis climáticas e sua relação com a ocorrência de incêndios teve uma resposta similar para as três APA's. Isso se deve ao fato de que as áreas são limítrofes e encontram-se na mesma região, portanto ocorre pouquíssima variação nas condições climáticas, quando ocorre.

Todavia quando comparamos o modelo A com o modelo B, podemos notar uma pequena diferença nos valores do pseudo- R^2 que sugerem que o modelo B é mais ajustado que o modelo A pois seus valores são mais distantes de 0. Isto pode ser pelo fato de o modelo B, por possuir mais variáveis explicativas, fornece mais informações para que o algoritmo possa associar ao acontecimento do evento estudado.

Quanto aos valores de AUC, estes dados são interpretados da seguinte forma: 0,5-0,6 (péssimo); 0,6-0,7 (ruim); 0,7-0,8 (pobre); 0,8-0,9 (bom) e >0,9 (excelente), o que representa a eficácia do modelo, ou seja, o seu sucesso em prever a ocorrência de determinado evento (POLO; MIOT, 2020). Todos os modelos, para ambas as APA's, demonstraram uma eficácia entre 70% e 80% o que representa uma performance considerada pobre para predição.

3.3.4 Influência das Variáveis Explicativas

Ao gerar os modelos, cada uma das variáveis explicativas recebe um valor de coeficiente que descreve a influência da variável explicativa sobre a variável resposta. Este coeficiente pode apresentar valores positivos ou negativos. Se o coeficiente tem valor negativo significa que possui uma influência inversa sobre a variável resposta, ou seja, quanto menor o seu valor maior as chances de ocorrer o evento esperado. Se o coeficiente tem o valor positivo, sua influência é direta, e quanto maior o seu valor maior as chances de ocorrer o evento, neste caso incêndios florestais.

Nas Tabelas 3.8 e 3.9 a seguir podemos ver os coeficientes das variáveis explicativas dos modelos gerados para este estudo.

Tabela 3.8: Coeficientes das variáveis explicativas do Modelo de Clima para cada uma das APA's

VARIÁVEIS	COEFICIENTES MODELO A		
	APA Cochá e Gibão	APA Rio Pandeiros	APA Cavernas do Peruçu
Temperatura	0,114133441	0,133989	0,275636
Precipitação	—	—	-0,0733
Umidade relativa do ar	-0,09814018	-0,0983	-0,06557
Velocidade do vento	0,096570877	0,05929	0,074473

Tabela 3.9: Coeficientes das variáveis explicativas do Modelo de Clima e Combustível para cada uma das APA's

VARIÁVEIS	COEFICIENTES MODELO B		
	APA Cochá e Gibão	APA Rio Pandeiros	APA Cavernas do Peruaçu
Temperatura	0,146260573	0,155704868	0,26887763
Precipitação	-0,063926935	-0,09330356	-0,17212216
Umidade relativa do ar	-0,056908526	-0,06414187	-0,031091316
Velocidade do vento	—	—	0,035796937
FFMC	—	-0,01619814	—
DMC	0,003208177	0,001940836	-0,00275646
DC	0,001214631	0,001535288	0,002134377

Neste estudo, a temperatura média diária foi o fator impulsionador de incêndios florestais nas três áreas de estudo. Estudos anteriores (GUO et al., 2017; SU et al., 2018; MA et al., 2020) já demonstraram a relação entre a temperatura e a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, e nosso trabalho também confirma este ponto. A probabilidade de incêndios florestais inicialmente aumenta, ou estabiliza em um valor mais alto, com o aumento da temperatura. As altas temperaturas podem aumentar a evapotranspiração das plantas, reduzindo assim o teor de umidade dos combustíveis de incêndios florestais.

A umidade relativa do ar apresentou uma tendência de influência semelhante nas três APA's, estando negativamente correlacionada com a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais. Observamos essa influência negativa pois o aumento da umidade relativa diminui o processo de evaporação, que acaba diminuindo a perda de água dos materiais combustíveis, o que acaba por reduzir a possibilidade de incêndios (ZUMBRUNNEN, 2011). Todavia, a maior parte dos incêndios florestais na região ocorrem na estação seca, quando encontramos os menores valores de umidade relativa do ar.

A precipitação apresentou uma correlação negativa com a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais. Isto porquê, a precipitação aumenta a umidade dos materiais combustíveis e contribui para o aumento da umidade relativa do ar, que são fatores que precisam estar com valores mais baixos para possibilitar a ocorrência de incêndios florestais, correspondendo com a sazonalidade climática da região, com uma estação chuvosa e outra seca bem demarcada, tendo os incêndios florestais mais concentrados na estação seca.

A velocidade do vento apresentou uma correlação positiva com a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais nas três áreas de estudo. Isso porque o vento aumenta a

capacidade de evaporação e quanto maior a sua velocidade, menor será o conteúdo de água dos combustíveis florestais (GUO et al., 2016).

Quanto aos índices de umidade de combustível do solo, apresentaram de forma geral uma correlação positiva com a ocorrência de incêndios para as áreas, ainda que foram notadas flutuações. Estes índices, determinam o quão seco o combustível está, ou seja, quanto maior o seu valor menor a umidade do combustível. A umidade do solo no período que pegou fogo afeta diretamente o conteúdo de água dos combustíveis florestais (OLIVEIRA et al., 2012).

Podemos concluir com estes resultados, que a análise temporal do comportamento das variáveis climáticas na região possibilitou entender quais os períodos do ano são mais vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais devido às características marcantes dos períodos de estiagem. E o modelo de ocorrências de incêndios florestais com dados climáticos permitiu inferir que as variáveis climáticas, principalmente a temperatura e a umidade relativa do ar, são fatores impulsionadores para a ocorrência de incêndios, mas não são os agentes causais das ignições nesta região.

Fatores como a intensidade de um incêndio florestal e a velocidade com que ele se propaga estão diretamente ligados à umidade relativa, precipitação e temperatura (NUNES et al., 2006). O conhecimento das variáveis climáticas é um passo importante para a elaboração de programas de prevenção e combate à incêndios florestais (TORRES et al., 2011).

3.4 CONCLUSÕES

As Áreas de Conservação Ambiental Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu apresentam a mesma sazonalidade climática, com uma estação chuvosa de novembro a abril e uma estação seca bem demarcada de maio a outubro. Nessa região, não só a vegetação é adaptada a esta sazonalidade, mas também diversas espécies animais e as populações tradicionais que dependem dos recursos naturais para sua sobrevivência.

A região apresenta temperaturas relativamente altas por todo o ano, com temperaturas médias acima de 24°C para o período de estudo de 1999 a 2019. O ano mais quente registrado neste intervalo foi 2015, que sofreu com secas severas e baixa precipitação. As temperaturas tem demonstrado um aumento contínuo enquanto que a precipitação tem mostrado um declínio, esse padrão se torna mais evidente a partir de 2012 e corrobora com os estudos que alertam para as mudanças climáticas globais.

Devido à sazonalidade climática, os meses mais secos são junho, julho, agosto e setembro, sendo que agosto e setembro atingiram médias mensais de umidade relativa do ar abaixo de 50%. Por este fator, este é o período em que são registrados a maior parte das ocorrências de incêndios florestais nestas áreas. Em números absolutos, a APA Cochá e Gibão

possui o maior número de ocorrências de incêndios, seguida da APA Rio Pandeiros e por último a APA Cavernas do Peruaçu durante o período de estudo.

O modelo de ocorrência de incêndios florestais possibilitou concluir que as variáveis climáticas são sim fatores impulsionadores dos incêndios florestais na região, mas para definir os agentes causadores outras variáveis devem ser incluídas na análise. O modelo pode auxiliar na preparação de ações para o combate de incêndios florestais, pois ajuda a prever os períodos de maior risco de incêndios. Entretanto, este modelo não poderia ser utilizado para evitar os incêndios, visto que os fatores climáticos são ocorrências naturais que não podem ser evitadas.

A regressão logística foi uma técnica de *machine learning* que atingiu os objetivos esperados com os dados disponíveis. Para melhorar a performance do modelo e seu poder de predição, são necessárias novas informações sobre as causas dos incêndios. Estas informações seriam novas variáveis explicativas somadas às variáveis climáticas que ajudem a explicar a ocorrência de incêndios nas áreas de estudo.

3.5 REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- ALENCAR, T. S.; MAILLARD, P. Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do Parque Estadual Veredas do Peruacu. **Geografias**, v. 7, n. 2, p. 24-39, 2011.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711-728, 2014.
- AMATULLI, G.; CAMIA, A; SAN-MIGUEL-AYANZ, J. Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. **Science of The Total Environment**, v. 450-451, p. 209-222, 2013.
- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 2021: "Duff". **Glossary of Meteorology**, Disponível em: <<http://glossary.ametsoc.org/wiki/>"term"> Acesso em: 02 set 2021.
- ARPACI, A.; EASTAUGH, C.S.; VACIK, H. Selecting the best performing fire Weather indices for Austrian ecoregions. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 114, p. 393–406, 2013.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H. et al., 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 536, 2018.
- BARNSTON, A. Correspondence among the Correlation, RMSE and Heidke Verification Measures; Refinement of the Heidke Score. Notes and Correspondence, **Climate Analysis Center**, v. 7, p. 699-709, 1992.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Information and Likelihood Theory: A Basis for Model Selection and Inference. In: BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. New York: Springer, 1998. p. 49-96.
- COPERNICUS. Copernicus Climate Change Service ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. **Copernicus Climate Change Service Data Store**. 2017. Disponível em: <<https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>> Acesso: 16 Mar 2020.
- CRUZ, G. C.; RIBEIRO, E. M.; ARAÚJO, V. M.; ASSIS, T. R. P. A seca no cotidiano familiar e estiagem em comunidades rurais dos gerais de Januária, MG. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 3, p. 700-720, 2020.
- CSR. Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais. Projeto: Desenvolvimento de sistemas de prevenção de incêndios florestais e monitoramento da cobertura vegetal no Cerrado brasileiro – Componente 2.2 - desenvolvimento de um sistema para prever o risco de espalhamento do fogo no Cerrado. 2020. Disponível em: <<https://csr.ufmg.br/fipcerrado/>> Acesso em: 26 Jul 2021.
- DRISCOLL, D. A.; LINDENMAYER, D. B.; BENNETT, A. F.; BODE, M.; BRADSTOCK, R. A.; CARY, G. J.; CLARKE, M. F.; DEXTER, N., FENSHAM, R., FRIEND, G.; GILL, M.; JAMES, S.; KAY, G.; KEITH, D. A.; MACGREGOR, C.; RUSSELL-SMITH, J.; SALT, D.; WATSON, J. E. M.; WILLIAMS, R. J.; YORK, A. Fire management for biodiversity conservation: key research questions and our capacity to answer them. **Biological Conservation**, v. 143, n. 9, p. 1928–1939, 2010.

- FIDELIS, A.; ALVARADO, S. T.; BARRADAS, A. C. S.; PIVELLO, V. R. The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado. **Fire**, v. 1, p. 49, 2018.
- FLANNIGAN, M.; CANTIN, S. A.; de GROOT, W. J.; WOTTON, M.; NEWBERY, A.; GOWMAN, L. M. Global wildland fire season severity in the 21st century. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 54-61, 2013.
- GUO, F.; WANG, G.; SU, Z.; LIANG, H.; LIU, A. What drives forest fire in Fujian, China? Evidence from logistic regression and random forests. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, p. 505–519, 2016.
- GUO, F.; SU, Z.; WANG, G.; SUN, L.; TIGABU, M.; YANG, X.; HU, H. Understanding fire drivers and relative impacts in different chinese forest ecosystems. **Science of the Total Environment**, v. 411, p. 605–606, 2017.
- HAND, D. J. Assessing the performance of classification methods. **International Statistical Review**, v. 80, p. 400–414, 2012.
- HERSBACH, H.; BELL B.; BERRISFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ-SABATER, J.; NICOLAS, J. et al. "The ERA5 global reanalysis." **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Fogo destrói 530 hectares em Peruacu**. 2017. Disponível em: < <https://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/8732-fogo-destroi-530-hectares-em-peruacu>> Acesso em: 08 set. 2021.
- IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão**. 2013a. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1771-area-de-protecao-ambiental-estadual-cocha-e-gibao->> Acesso em: 13 abr. 2021.
- IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **APA Pandeiros**. 2013b. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1769-apa-pandeiros->> Acesso em: 13 abr. 2021.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de queimadas**. 2020, Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 22 de jan. 2020
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI; A. PIRANI; S. L. CONNORS; C. PÉAN; S. BERGER; N. CAUD; Y. CHEN; L. GOLDFARB; M. I. GOMIS; M. HUANG; K. LEITZELL; E. LONNOY; J.B.R. MATTHEWS; T. K. MAYCOCK; T. WATERFIELD; O. YELEKÇI; R. YU; B. ZHOU (eds.)]. Cambridge University Press. In Press, 2021. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf> Acesso em: 27 ago. 2021
- JAIN, P.; COOGAN, S. C. P.; SUBRAMANIAN, S. G.; CROWLEY, M.; TAYLOR, S.; FLANNIGAN, M. A review of machine learning applications in wildfire Science and management. **Environmental Reviews**, v. 28, n. 4, p. 478-505, 2020.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate [The geographic system of climates]. In KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936 pp. 1–44.

- LIBONATI, R.; DACAMARA, C. C.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; MELCHIORI, A. E. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μm MODIS Imagery. **Remote Sensing**, v. 7, p. 15782-15803, 2015.
- MA, W.; FENG, Z.; CHENG, Z.; CHEN, S.; WANG, F. Identifying Forest Fire Driving Factors and Related Impacts in China Using Random Forest Algorithm. **Forest**, v. 11, p. 507, 2020.
- MARQUES, M. V. A.; MOREIRA, A. A.; NERY, C. V. M. Diagnóstico da desertificação na região Norte de Minas Gerais por meio de técnicas de geoprocessamento. **Boletim Geográfico**, v. 35, n. 2, 2017.
- McELHINNY, M.; BECKERS, J. F.; HANES, C.; FLANNIGAN, M.; JAIN, P. A high-resolution reanalysis of global fire weather from 1979 to 2018 – overwintering the Drought Code. **Earth System Science Data**, v. 12, p. 1823-1833, 2020.
- MORITZ, M. A.; PARISIEN, M. A.; BATLLORI, E.; KRAWCHUK, M. A.; VAN DORN, J.; GANZ, D. J.; HAYHOE, K. Climate change and disruptions to global fire activity. **Ecosphere**, v. 3, n. 6, p. art49, 2012.
- NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Especificação de um sistema computacional integrado de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 201-211, 2006.
- OLIVEIRA, A. S.; SOARES-FILHO, B. S.; OLIVEIRA, U.; VAN der HOFF, R.; CARVALHO-RIBEIRO, S. M.; OLIVEIRA, A. R.; SCHEEPERS, L. C.; VARGAS, B. A.; RAJÃO, R. G. Costs and effectiveness of public and private fire management programs in the Brazilian Amazon and Cerrado. **Forest Policy and Economics**, v. 127, p. 102447, 2021.
- OLIVEIRA, S.; OEHLER, F.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; CAMIA, A.; PEREIRA, J. M. C. Modeling spatial patterns of fire occurrence in mediterranean europe using multiple regression and random forest. **Forest Ecology and Management**, v. 275, p. 117–129, 2012.
- OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, F.; COSTA, W. L. S.; GOMES, L.; BUSTAMANTE, M.; MIRANDA, H. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 11889, 2021.
- PANISSET, J. S.; LIBONATI, R.; GOUVEIA, M. P.; MACHADO-SILVA, F.; FRANÇA, D. A.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Contrasting patterns on the extreme drought episodes of 2055, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 1096-1104, 2017.
- PARKS, S. A.; MILLER, C.; ABATZOGLOU, J. T.; HOLSINGER, L. M.; PARISIEN, M. A.; DOBROWSKI, S. Z. How will climate change affect wildland fire severity in the western US? **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 3, p. 035002, 2016.
- PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal Eastern Spain. **Climate Change**, v. 38, p. 345-357, 1998.
- PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.
- POLO, T. C. F.; MIOT, H. A. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 19, 2020.
- PROVETE, D. B.; SILVA, F. R.; SOUZA, T. G. **Estatística aplicada à ecologia usando o R**. Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós-Graduação Biologia Animal. São José do Rio Preto, SP. 2011. Disponível em <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Provete-Estatistica_aplicada.pdf> Acesso em 04/09/2021.

- ROCHA, G. F.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.; Detecção de desmatamento no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, Tendências e Impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 3, p. 341–349, 2011.
- SANTOS, M. S. **Paleoinundações do Rio Peruaçu-MG e sua relação com eventos climáticos de escala global durante o Holoceno Médio**. 2020. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.
- SILVA, P.; BASTOS, A.; DaCAMARA, C. C.; LIBONATI, R. Future projections of fire occurrence in Brazil using EC-Earth Climate Model. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 288-297, 2016.
- STROH, E. D.; STRUCKHOFF, M. A.; STAMBAUGH, M. C.; GUYETTE, R. P. Fire and Climate Suitability for Woody Vegetation Communities in the South Central United States. **Fire Ecology**, v. 14, n. 1, 106-124, 2018.
- SU, Z.; HU, H.; WANG, G.; MA, Y.; YANG, X.; GUO, F. Using GIS and random forests to identify fire drivers in a forest city, Yichun, China. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 9, p. 1207–1229 2018.
- TJUR, T. Coefficients of Determination in Logistic Regression Models—A New Proposal: The Coefficient of Discrimination. **The American Statistician**, v. 63, n. 4, p. 366-372, 2009.
- TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2011.
- VAN BEUSEKOM, A. E.; GOULD, W. A.; MONMANY, A. C.; KHALYANI, A. H.; QUIÑONES, M.; FAIN, S. J.; ANDRADE-NÚÑEZ, M. J.; GONZÁLEZ, G. Fire weather and likelihood: characterizing climate space for fire occurrence and extent in Puerto Rico. **Climatic Change**, v. 146, p. 117-131, 2018.
- VAN WAGNER, C. E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, **Forestry Technical Report**, v. 35, Ottawa, ON, Canadá, 1987.
- WANG, X.; WOTTON, B. M.; CANTIN, A.; PARISIEN, M. A.; ANDERSON, K.; MOORE, B.; FLANNIGAN, M. D.: Cffdrs: an R package for the Canadian Forest Fire Danger Rating System, **Ecological Processes**, v. 6, n. 5, 2017.
- ZUMBRUNNEN, T.; PEZZATTI, G.B.; MENÉNDEZ, P.; BUGMANN, H.; BÜRGI, M.; CONEDERA, M. Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of switzerland. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 2188–2199, 2011.

4

MODELO DE SUSCETIBILIDADE A
INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS APA'S DO
MOSAICO SERTÃO VEREDAS-PERUAÇU
UTILIZANDO REGRESSÃO LOGÍSTICA

Resumo:

Prever a ocorrência de incêndios florestais é uma etapa crucial para o planejamento da prevenção e do combate destes incêndios. Assim o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de suscetibilidade a incêndios florestais considerando a relação de variáveis topográficas (altitude, declividade, hidrografia), vegetacionais (NDVI), antrópicas (uso e ocupação do solo, rodovias, densidade populacional, distância de habitações) e climáticas (temperatura, umidade, vento e precipitação) com a ocorrência dos incêndios florestais. Para isto, foi aplicada uma técnica de *machine learning* utilizada na predição de incêndios florestais - a regressão logística foi aplicada em três Áreas de Proteção Ambiental que fazem parte do Mosaico Sertão Veredas-Peruaçu. Utilizei focos de incêndios disponibilizados pelo INPE para gerar a variável dependente do modelo, e oito variáveis explicativas descritas como topográficas, vegetacionais e antrópicas. A escolha do melhor modelo foi baseada no Critério de Informação de Akaike. Para cada APA foi gerado um modelo com um conjunto de variáveis diferentes, mas todos os modelos apresentaram alta performance na predição de incêndios florestais. As variáveis mudaram entre os modelos, mas ficou evidente que a influência antrópica é um dos aspectos determinante para a ocorrência de incêndios florestais. Os resultados mostraram que a AUC, que é a taxa de acerto do modelo foi maior na seguinte ordem APA Pandeiros (AUC=99.5%), APA Cochá e Gibão (AUC=99.6%) e APA Cavernas do Peruaçu (AUC=99.9%). Apesar deste tipo de estudo ainda ser escasso para áreas de Cerrado, no Brasil atualmente há um alto número de dados disponíveis e tecnologias que possibilitam o avanço e desenvolvimento da pesquisa brasileira neste tema.

Palavras-chave: modelo preditivo binário; AIC; incêndios florestais; sensoriamento remoto; áreas protegidas

Abstract:

Predicting the occurrence of wildfires is a crucial step in planning for fire prevention and fighting. Thus, the objective of this work was to develop a susceptibility model to forest fires considering the relationship of topographic (elevation, slope, hydrography), vegetation (NDVI), anthropic (LULC, road distance, population density, house distance) and climatic (temperature, humidity, wind and precipitation) variables with the occurrence of forest fires. In this work, we apply a machine learning technique used in the prediction of wildfires – the logistic regression that was applied in three Environmental Protection Areas that are part of the Sertão Veredas-Peruaçu Mosaic. We use fire spots provided by INPE to generate a model-dependent variable, and eight explanatory variables such as topographic, vegetational and anthropic. The choice of the best model was based on the Akaike Information Criterion. For each Environmental Protection Areas, a model was generated with a set of different variables, but all models showed high performance in predicting forest fires. The variables changed from one model to another, but it was evident that anthropic influence is one of the main aspects in determining the occurrence of fires. The results impaired that the AUC, which is a hit rate of the model, was higher in the following order APA Pandeiros (AUC = 99.5%) <APA Cochá and Gibão (AUC = 99.6%) <APA Cavernas do Peruaçu (AUC = 99.9%). Although this type of study is still scarce for Cerrado areas, in Brazil there is currently a high number of available data and technologies that enable the advancement and development of Brazilian research on this topic.

Keywords: binomial predictive model; AIC; forest fires; remote sensing; protected areas

4.1 INTRODUÇÃO

Recentemente extensas temporadas de incêndios têm resultado em impactos negativos em ecossistemas de diferentes biomas do Brasil, como Pantanal, Amazônia e o Cerrado. Em especial no Cerrado, conhecido como a maior Savana da América do Sul e um dos 25 hotspots de biodiversidade para a conservação (MYERS et al., 2000), o fogo que ocorre de forma natural tem um papel bem definido que pode resultar em diversos benefícios para esse ecossistema (KUHLMANN; RIBEIRO, 2016). Isso porque o Cerrado é um ecossistema dependente do fogo e sua vegetação apresenta inúmeras adaptações morfológicas e fisiológicas resultado de anos de evolução (SIMON et al., 2009).

As políticas de supressão de fogo, principalmente em Unidades de Conservação, pode resultar em um alto acúmulo de combustíveis terrestres inflamáveis, ocasionando no aumento da incidência de incêndios florestais (MOURA et al., 2019). Somado a isso, e principal fator, o avanço acelerado da fronteira agrícola em áreas de cerrado e a crescente influência antrópica neste bioma tem aumentado a ocorrência de incêndios florestais, e a recorrência deste evento prejudica os benefícios do fogo e danifica o ecossistema mais rápido do que ele pode se recuperar (PIVELLO, 2011).

A ocorrência de incêndios florestais tem sido um componente crítico na dinâmica terrestre e atmosférica do nosso planeta (FLANNIGAN et al., 2009). De acordo com dados de sensoriamento remoto, mais de 30% da superfície terrestre apresenta atividade significativa de fogo (CHUVIECO; GIGLIO; JUSTICE, 2008). Segundo estes autores os continentes com atividade de fogo mais intensa são a África e o Sudeste da América, que são regiões associadas a condições cíclicas de seca e que mudam sua disponibilidade hídrica sazonalmente (CHUVIECO; GIGLIO; JUSTICE, 2008).

Os incêndios florestais podem ser influenciados por diferentes fatores como, clima, combustível, agentes de ignição e presença antrópica (FLANNIGAN et al., 2009). Nas últimas décadas, fatores como aquecimento global e a industrialização intensificados pelas ações humanas, aumentaram a ocorrência e a gravidade dos incêndios florestais ao redor do mundo (GHOLAMNIA et al., 2020). Alguns ecossistemas são adaptados a incêndios florestais, mas quando os mesmos afetam comunidades, infraestruturas e habitats naturais, tornam-se desastres substanciais (TYMSTRA et al., 2020).

Existem diferentes vias de ação para interromper a propagação de incêndios florestais e várias medidas de precaução podem ser empregadas para reduzir as chances de ignição, mas deve ser prioridade definir as zonas prioritárias de alto risco de incêndio (de BEM et al., 2019). De acordo com Chuvieco e colaboradores (2014), o termo “risco de incêndio” está relacionado

à chance de o início de incêndio ser determinado pela presença e atividade de agentes causadores (por exemplo raios ou fatores antrópicos), enquanto o perigo de incêndios refere-se à potencialidade de ocorrência de incêndio associado às propriedades estáticas do combustível naquele determinado ambiente independente de outros fatores.

De modo geral, o risco depende do combustível e de sua suscetibilidade à queima (“perigo”) e da presença de causas externas (antrópicas ou naturais) que levarão à ignição do fogo (SAN-MIGUEL-AYANZ et al., 2003). A estimativa do risco de incêndios florestais envolve a identificação das variáveis potencialmente contribuintes e sua integração em uma expressão matemática que quantifica e indica o nível de risco, e uma forma de fazer isso é por meio do uso dos métodos de previsão (SAN-MIGUEL-AYANZ et al., 2003).

Os padrões de ocorrência de incêndios costumam ser aleatórios, e os modelos estocásticos e estatísticos que incorporam variáveis aleatórias em seus algoritmos são estruturas naturais para modelar a ocorrência de incêndios florestais (NADEEM et al., 2020). Estes métodos podem definir áreas vulneráveis com base na correlação entre a ocorrência de incêndios florestais e o conjunto de variáveis ambientais e antrópicas.

O sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta valiosa na aquisição de dados de incêndios pois pode auxiliar na construção de modelos focados em causas específicas e deve ser considerado uma meta global de gestão de incêndios, com potencial para mitigação de risco mais eficiente associado a investigações e coleta de campo (COSTAFREDA-AUMEDES; COMAS; VEJA-GARCIA, 2017).

Diante deste cenário, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um modelo de regressão logística a fim de estimar possíveis áreas de risco de incêndio nas Áreas de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu, Rio Pandeiros e Cochá e Gibão, pertencentes ao Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas Peruaçu e localizadas no Cerrado da região do Estado de Minas Gerais. Além de determinar a eficiência do modelo, também buscou-se a determinação dos principais fatores causadores de incêndios florestais na região.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Área de Estudo

O Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu (MSVP) localiza-se na margem esquerda do Rio São Francisco nas regiões norte e noroeste de Minas Gerais e em uma pequena porção do sudoeste da Bahia, sendo reconhecido pela Portaria n° 128 de 24 de abril de 2009 (BRASIL, 2009). Engloba um total de 13 Unidades de Conservação em um ecótono de caatinga e cerrado, além de contemplar também 11 municípios da região (FUNATURA, 2008).

Para a análise da ocorrência de incêndios florestais na região do MSVP foram escolhidas as três Áreas de Proteção Ambiental, pelo fato destas serem Unidades de Conservação da categoria de Uso Sustentável e, portanto, apresentarem um cenário mais realista no que diz respeito à ameaça dos incêndios florestais, isto porque Unidades de Proteção Integral possuem maiores restrições e a fiscalização acaba sendo mais rígida. As Unidades de Conservação escolhidas foram: Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão, Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros e Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu (Figura 4.1).

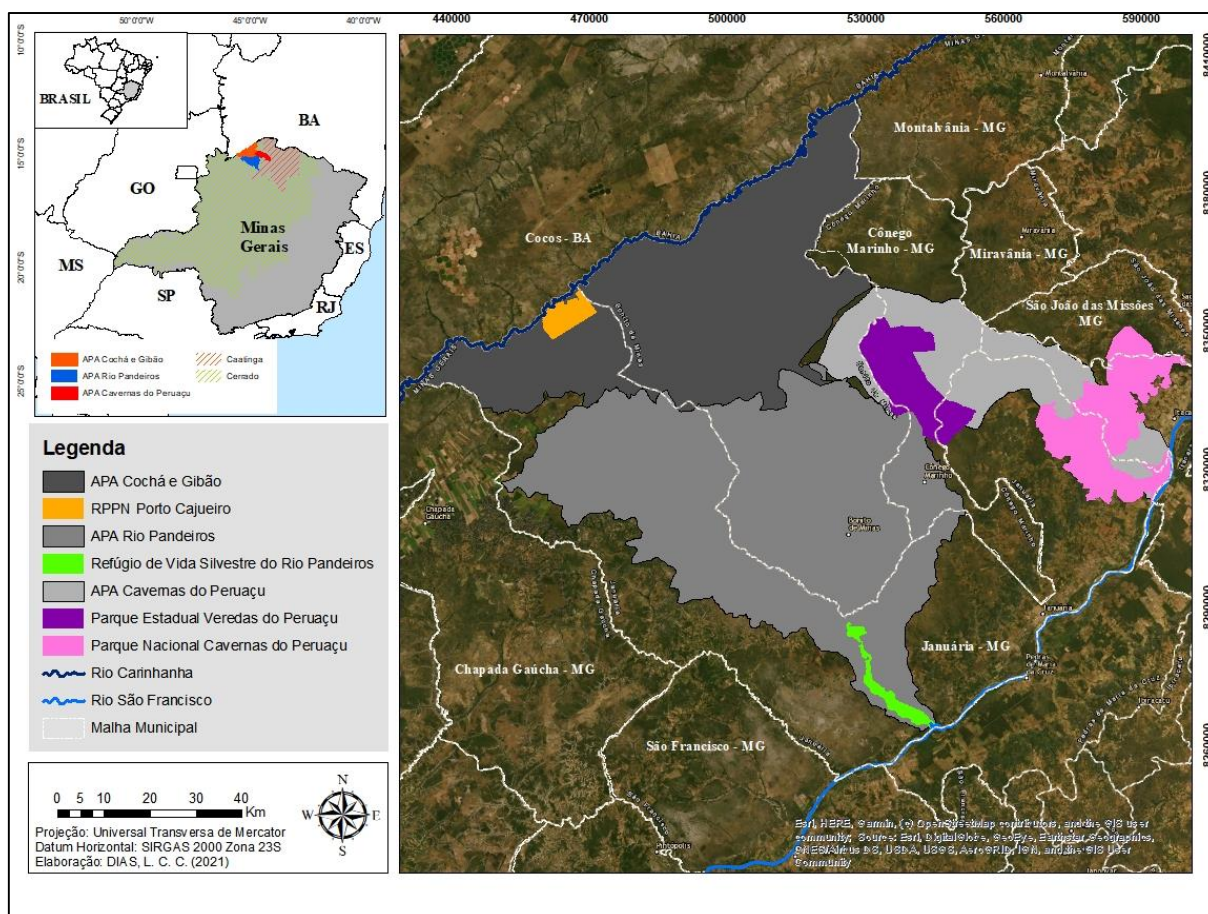


Figura 4.1: Localização geográfica das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu no Estado de Minas Gerais.

4.2.1.1 Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão

A Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão (APACG) foi criada pelo Decreto nº 43.911 de 05 de novembro de 2004, está localizada na região dos municípios de Bonito de Minas, Januária e Cônego Marinho e abrange cerca de 2.960km². Os rios Cochá e Gibão, que dão nome à APA, encontram-se no interior da mesma e são os maiores afluentes do rio Carinhonha que por sua vez é um importante contribuinte do Rio São Francisco, por isso é uma área de extrema importância para a conservação (IEF, 2013a). A finalidade da APA Cochá e Gibão é proteger as formações de cerrado do ecossistema local.

Inserida na área da APA Cochá e Gibão, encontra-se a Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Porto Cajueiro que possui uma área de aproximadamente 60km² de cerrado preservado. A RPPN Porto Cajueiro foi criada em 2005 e desde então tem auxiliado na manutenção e proteção da diversidade biológica, além de buscar ações que evitem ao máximo a ocorrência de incêndios no interior da RPPN (IDESE, 2009).

4.2.1.2 Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros

A Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros (APARP) foi criada pela Lei Estadual nº 11.901 de 01 de setembro de 1995 e destina-se principalmente à proteção da bacia do Rio Pandeiros, que integra a bacia do rio São Francisco. Ocupa parte dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho e possui uma área de 3.960km², sendo a maior unidade de conservação do Estado de Minas Gerais (IEF, 2013b). Está inserida no domínio cerrado com ocorrência de todas as suas diferentes fitofisionomias, onde as veredas representam a mais importante.

No interior da APA Rio Pandeiros, no município de Januária, localiza-se o Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros. Com uma área de aproximadamente 61km², esta é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral foi criada em 2004 com o intuito de contribuir com a proteção do Rio Pandeiros, sua área alagável e suas lagoas marginais (IEF, 2013c).

4.2.1.3 Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu

A Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu (APACP) ocupa uma área de 1.468km² correspondendo à totalidade da extensão da bacia do Rio Peruaçu. Esta unidade foi criada pelo Decreto nº 98.182 de 26 de setembro de 1989 e abrange os municípios de Januária, Bonito de Minas, Miravânia, Cônego Marinho e Itacarambi, com o propósito de preservar as nascentes do Rio Peruaçu e promover o desenvolvimento socioambiental das comunidades existentes no território (ALENCAR; MAILLARD, 2011).

Na área da APA Cavernas do Peruaçu estão inseridas duas Unidades de Conservação de Proteção Integral muito importantes para a região, são elas o Parque Estadual Veredas do Peruaçu e o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. O Parque Estadual Veredas do Peruaçu foi criado em 1994 com uma área de aproximadamente 310km², está situado na região da nascente do Rio Peruaçu e abriga um complexo de veredas e lagoas formando um ambiente de textura argilosa (ALENCAR, 2007). O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu foi criado em 1999, possui uma área de aproximadamente 560km² e tem a finalidade de proteger o patrimônio geológico, arqueológico e natural da região. Abriga mais de 180 cavernas catalogadas e inúmeros sítios arqueológicos com pinturas rupestres datadas de até 9 mil anos atrás e recentemente o Parque foi todo estruturado para a visitação pública (IBAMA, 2005).

De acordo com Alvares e colaboradores (2014) o clima dominante na região das áreas de estudo corresponde ao Clima Tropical com inverno seco (Aw), que é descrito de acordo com a classificação climática de Köppen (KÖPPEN, 1936), apresentando uma estação chuvosa no verão (novembro a abril) e nítida estação seca no inverno (maio a outubro), sendo julho o mês mais seco.

4.2.2 Materiais

Para a elaboração do modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais proposto neste capítulo, inicialmente foi necessário realizar a coleta, organização e estruturação de todo o banco de dados nos padrões necessários para que a metodologia escolhida fosse aplicada.

Os dados brutos adquiridos estão descritos na Tabela 4.1, estes foram os dados base para a elaboração e organização dos dados e mapas de entrada do modelo, exceto a área queimada, que foi utilizada apenas para quantificar a área que queimou nas áreas protegidas no período de estudo, mas não foi utilizada como variável no modelo.

O dado de área queimada foi obtido na plataforma do projeto FIP-Cerrado do Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR, 2020), e é representada pelo número de eventos de fogo de 2001 a 2019, por ano, no bioma Cerrado. Todas as camadas (mês a mês) da base de dados do MODIS *Global Burned Area Product - Collection 6* (MCD64A1) foram somadas para gerar os mapas anuais (CSR, 2020) disponível em (<https://csr.ufmg.br/fipcerrado/>). Estes mapas anuais do bioma Cerrado foram processados e reprojeto para as áreas de estudo deste trabalho e para o período de 2005 a 2019.

Os dados brutos deste trabalho foram processados e adequados de modo que pudessem ser utilizados nas análises, seja gerando outros dados, como é o caso da hidrografia e rodovia que calculamos a distância, ou apenas correções e adequações espaciais.

Tabela 4.1: Materiais utilizados como base para as análises realizadas neste trabalho

Material	Ano	Resolução/Escala Aproximada	Fonte	Formato
Dados Climáticos ERA5	1999-2019	31km	ECMWF	NetCDF → .csv
Focos de Incêndio	1999-2019	1km a 4km	INPE	Point shapefile
NDVI (MOD13Q1)	2005-2019 (mensal)	250m	NASA	Raster
Área Queimada	2005-2019	1:50.000	CSR*	Vetor
Altitude	2008	1:50.000	TOPODATA	Raster
Declividade	2008	1:50.000	TOPODATA	Raster
Hidrografia	2010	1:50.000	IGAM	Vetor
Rodovias	2017	1:50.000	IBGE	Vetor
Censo Demográfico	2010	Dado descritivo	IBGE	.csv
Uso do solo coleção 5.0	2005, 2009, 2013, 2017	1:50.000	MapBiomias	Raster

*Centro de Sensoriamento Remoto - UFMG

Na Tabela 4.2 podemos ver todos os dados de entrada utilizados no modelo. Diferente da tabela anterior, a maior parte dos dados encontram-se no formato *raster* devido aos procedimentos metodológicos que serão descritos posteriormente.

Tabela 4.2: Materiais utilizados na elaboração do modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais

Material	Ano	Resolução	Fonte	Formato
Focos de Incêndio	1999-2019	1km a 4km**	INPE	Point shapefile
Dados Climáticos ERA5	1999-2019	-----	ECMWF*	.csv
NDVI (MOD13Q1)	2005-2019 (mensal)	30m	NASA	Raster
Altitude	2008	30m	TOPODATA	Raster
Declividade	2008	30m	TOPODATA	Raster
Distância de Hidrografia	2010	30m	A autora	Raster
Distância de Rodovias	2017	30m	A autora	Raster
Densidade Populacional	2010	30m	A autora	Raster
Distância de Habitações	2010	30m	A autora	Raster
Uso do solo coleção 5.0	2005, 2009, 2013, 2017	30m	MapBiomias	Raster

* *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*; **Como para este estudo estão sendo utilizados dados de todos os satélites, a resolução da detecção depende do satélite que identificou o foco.

Foi adicionada a distância de hidrografia proveniente de análises dos dados de hidrografia do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a distância de rodovias resultante dos dados de rodovias do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),

Densidade Populacional obtida a partir dos dados do censo demográfico do IBGE e Distância de Habitações também proveniente dos dados de habitações do censo demográfico do IBGE.

4.2.3 Método

4.2.3.1 Análise de Área Queimada

Os dados de área queimada coletados na Plataforma do Projeto FIP Cerrado do CSR, calculam a área queimada para todo o bioma Cerrado e não para Unidades de Conservação individuais. Para utilizar este dado a critério de informação neste trabalho, nós recortamos as camadas disponibilizadas apenas para as nossas áreas de estudo, dessa forma a escala que foi utilizada para realizar este cálculo para todo o bioma pode não ter identificado áreas queimadas menores presentes apenas em pequenas áreas das Unidades de Conservação. O CSR utiliza um método avançado de identificação automatizada das áreas queimadas, mesmo que não tenha sido possível identificar todas as áreas impactadas pelo fogo nas áreas de estudo, optamos por utilizar estes dados para acrescentar informações sobre incêndios florestais na região e consequentemente complementar os resultados deste trabalho.

4.2.3.2 Modelo de Ocorrência a Incêndios Florestais

Prever e mapear a ocorrência de incêndios florestais é de suma importância para o planejamento das ações de prevenção e de combate ao fogo. Os modelos de ocorrência de incêndios florestais costumam utilizar métodos de regressão, que pode ser considerada uma abordagem de *machine learning*, que relaciona uma variável dependente ou resposta representada por focos de incêndios às variáveis explicativas ou independentes que podem ser fatores climáticos, topográficos, antrópicos, entre outros (JAIN et al., 2020).

A abordagem de *machine learning* escolhida para este trabalho foi a regressão logística binária. Existem vários trabalhos em localidades por todo mundo, em que a regressão logística é utilizada. Como por exemplo, no Brasil (DE BEM et al., 2018), Irã (ADAB, 2017), Espanha (BISQUERT et al., 2012), Portugal (PERESTRELLO DE VASCONCELOS et al., 2001), China (GUO et al., 2016a; GUO et al., 2016b)

A regressão logística é muito utilizada pois permite associações a partir de conjuntos de variáveis que podem ser contínuas (numéricas), discretas (categóricas) ou uma mistura de qualquer um desses tipos, além possibilitar o conhecimento sobre as relações e os pontos fortes entre as variáveis (GHOLAMNIA et al., 2020).

O desenvolvimento do modelo de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais será descrito em três etapas: seleção das variáveis e compilação de dados, seleção do modelo,

e avaliação do modelo. Previamente revisamos a influência do clima, topografia, vegetação, fontes de ignição, combustível e ocorrência de fogo que auxiliaram na seleção das variáveis (MA et al., 2020; GHOLAMNIA et al., 2020; NADEEM et al., 2020).

4.2.3.3 Seleção das Variáveis e Compilação dos Dados

O modelo de regressão logística representa a relação entre um conjunto de variáveis explicativas (representadas pela matriz de dados X) e a variável resposta/dependente (representada pelo vetor de resposta Y). Foi elaborado um modelo de ocorrência de incêndios florestais para cada APA individualmente, utilizando a mesma metodologia, desta forma apesar de apresentarem modelos diferentes como resultado final a metodologia pode ser replicada utilizando os mesmos padrões de variáveis nas outras áreas.

- *Variável Resposta*

Para criar a nossa variável dependente, nós utilizamos focos de incêndios do período de 2005 a 2019 (Figura 4.2, 4.3, 4.4). Estes focos estão disponíveis no Banco de Dados de Queimadas do INPE, e são representados por pixels cujo tamanho varia de acordo com o satélite utilizado (INPE, 2020). Para o modelo de regressão logística optamos por utilizar as detecções de focos de todos os satélites disponíveis e não apenas os “satélites de referência”. Quando o objetivo do estudo considera relevante toda e qualquer detecção de fogo, o INPE recomenda a utilização de todos os satélites (INPE, 2020).

Apesar dos focos de incêndios serem disponibilizados pelo INPE desde o ano de 1999, algumas variáveis explicativas como a densidade populacional, tem dados fornecidos apenas para um ou dois anos. Dessa forma, usar o mesmo dado que deveria ser variável, para um intervalo de estudo maior poderia prejudicar os resultados e, portanto optamos por este período de estudo de 2005 a 2019.

No modelo de regressão logística binária a variável resposta é representada por dados categóricos 1 = ocorrência do evento e 0 = não ocorrência do evento. Neste caso, os focos de incêndios do INPE representam a variável resposta de categoria 1 (ocorrência de incêndios), para a categoria 0 (não ocorrência de incêndios) foi gerado, de forma randômica, um número igual ao número de focos do INPE em regiões que não haviam ocorrências de incêndios e este procedimento foi realizado para cada APA e para cada ano de amostragem individualmente.

Dessa forma, para a APA Cocha e Gibão obtivemos um total de 14.500 pontos (7.250 focos do INPE e 7.250 gerados randomicamente), 12.246 pontos (6.123 focos do INPE e 6.123 gerados randomicamente) para a APA Rio Pandeiros e 4.062 pontos (2.031 focos do INPE e 2.031 gerados randomicamente) para a APA Cavernas do Peruaçu, ou seja, 50% da variável

resposta são 1's e 50% são 0's, no intervalo de 15 anos (2005 a 2019). Esta etapa foi realizada utilizando Sistemas de Informação Geográfica no ArcGis ®10.5.

- *Variáveis Explicativas*

Um total de quinze variáveis explicativas foram sugeridas para os modelos baseado no conhecimento prévio das áreas de estudo e em sua aplicação em estudos relacionados à previsão do risco de incêndios (CIPRIANI et al., 2011; ALVARADO et al., 2017; de BEM et al., 2019).

As variáveis explicativas podem entrar no modelo como dados numéricos ou categóricos: os dados numéricos, neste caso, são representados por valores contínuos e os categóricos podem assumir apenas um número limitado, geralmente fixo, de valores possíveis com base em alguma propriedade qualitativa.

As variáveis explicativas foram divididas em quatro grupos principais que foram demonstradas na Tabela 4.3 e descritas a seguir.

Tabela 4.3: Variáveis explicativas incluídas no desenvolvimento do modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais nas APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu

Tipo de variável	Nome da variável	Unidade
Climática	Temperatura máxima (diária)	°C
	Precipitação acumulada (diária)	mm
	Umidade Relativa do ar média (diária)	%
	Velocidade do Vento média (diária)	m/s
Índice de combustível	Fine Fuel Moisture Code (FFMC)	-
	Duff Moisture Code (DMC)	-
	Drought Code (DC)	-
Ambiental	Altitude	m
	Declividade	graus
	NDVI	-
	Distância de Hidrografia	m
Antrópica	Distância de Rodovias	m
	Distância de Habitações	m
	Densidade Populacional	hab/km ²
	Uso e Cobertura do Solo	-

Considerando as características da variável de uso e cobertura do solo, a mesma foi considerada uma variável do tipo categórica, sendo que cada uma das classes de uso foi considerada uma categoria para o modelo e teve uma relação independente com a variável resposta. As demais variáveis explicativas foram consideradas numéricas.

Variáveis Climáticas:

Temperatura:

Foi utilizada a temperatura máxima diária. Temperaturas altas contribuem para a evapotranspiração e combinado com a falta de chuvas deixa o ambiente mais seco e sujeito a focos de incêndio.

Umidade Relativa do Ar:

Para a umidade relativa do ar, foi escolhido o seu valor médio diário. A umidade relativa é importante para estudos de ocorrência de incêndios pois ambientes secos apresentam maior propensão a fontes de ignição.

Precipitação:

Consideramos a precipitação acumulada para cada dia. Baixa precipitação resulta em um ambiente com baixa umidade e conseqüentemente mais seco suscetível a fontes de ignição.

Velocidade do Vento:

Utilizamos a velocidade média do vento na área de estudo. O vento está mais relacionado à propagação de incêndios do que a sua ocorrência, mas foi mantido no modelo pois optamos por analisar todas as variáveis climáticas disponíveis. Além disso o vento pode contribuir para a evapotranspiração da vegetação.

Índice de Combustível:

Índice de Umidade dos Combustíveis Finos (FFMC):

Classificação numérica que representa o teor da umidade da serapilheira que fica sobre a superfície do solo, considerando a inflamabilidade desta serapilheira que se encontra na sombra do dossel da floresta (VAN WAGNER, 1987).

Índice de Umidade “Duff” (DMC):

É uma classificação numérica do teor médio de umidade do combustível do material orgânico fracamente compactado em uma profundidade moderada no solo (camada “Duff”) (VAN WAGNER, 1987).

Índice de Seca (DC):

É um indicador útil dos efeitos da seca sazonal sobre os combustíveis florestais, é uma classificação numérica do teor médio de umidade das camadas orgânicas compactas e profundas (VAN WAGNER, 1987).

Para os índices de combustível no solo utilizamos seus valores absolutos. Estes índices, podem não ser considerados climáticos, mas apresentam uma forte relação com o clima e são um fator a mais para que possamos entender a ocorrência de incêndios na região.

Variáveis Ambientais:

Altitude e Declividade:

A topografia afeta os incêndios florestais indiretamente pois exerce influência sobre o clima e a vegetação. Foi observado que, a umidade e a temperatura têm maior influência sobre o fogo em áreas com menor altitude, e que áreas com maior altitude tendem a ter uma maior precipitação (HERNANDEZ-LEAL et al., 2016; BATISTA et al., 2014).

A inclinação do terreno está bastante relacionada com a propagação do fogo, quando o fogo se inicia na parte inferior de um aclive ocorre maior proximidade do material combustível com as chamas, e o ar quente tende a subir por ser mais leve, secando o material combustível da parte superior (PRASAD et al., 2008).

Além destes fatores, consideramos altitude e declividade como variáveis explicativas devido às características da região e a distribuição da população local pelo território das APA's, e além disso os tipos de ocupações do solo mudam a depender da altitude e declividade.

As camadas de altitude e declividade consistem em *rasters* extraídos da plataforma TOPODATA com resolução espacial de 30m e foram organizadas em um banco de dados georreferenciado.

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI):

Esse índice permite identificar a presença de vegetação verde sadia baseado em como a vegetação reflete a luz solar em frequências específicas (LOBATO et al., 2010). Quando a luz solar atinge a vegetação, a clorofila absorve fortemente a luz visível enquanto que a estrutura celular das folhas reflete a luz do infravermelho próximo. O índice pode ser calculado de acordo com a equação 1:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

onde:

o Infravermelho próximo (NIR) e o Vermelho (RED) são as bandas espectrais correspondentes. Os NDVI's utilizados neste trabalho são derivados das séries temporais do produto de dados de Índices de Vegetação (MOD13Q1) do *Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que são gerados a cada 16 dias com resolução espacial de 250 metros e foram obtidos da base de dados da NASA EOSDIS *Land Processes DAAC* (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>) (DIDAN, 2015).

O NDVI foi obtido para todos os meses em que houve ocorrência de incêndios florestais no período de 2005 a 2019, dessa forma era possível obter o valor do índice de vegetação mais próximo de quando ocorreu a queimada para cada foco de incêndio. Sendo assim, o NDVI não

foi considerado uma variável estática, mas teve a sua variação associada. Não utilizamos critérios para considerar tipo vegetacional, inflamabilidade da vegetação ou se era vegetação natural ou plantada.

Distância de Hidrografia:

O cálculo de distância de hidrografia resultou em camadas raster em que cada pixel continha a distância euclidiana, em metros, do corpo hídrico mais próximo. Essa distância foi calculada com base em dados fornecidos pelo Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM, 2010).

A distância de hidrografia, assim como as variáveis antrópicas a seguir foram escolhidas pois estão relacionadas à infraestrutura e presença humana. Em diversos estudos a presença humana foi pontuada como um fator de forte influência na ocorrência de incêndios florestais, e por isso, seguindo esta tendência (CHANG et al., 2013; GUO et al., 2015; SYPHARD et al., 2008; MIRANDA et al., 2012; CATRY et al., 2009; GARCIA et al., 2010; PRASAD et al., 2008).

Variáveis Antrópicas

Distância de Rodovias:

Da mesma forma que o anterior, o cálculo de distância de rodovias também resultou em camadas raster em que cada pixel continha a distância euclidiana, em metros, da rodovia mais próxima. Essa distância foi calculada com base em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

Densidade Populacional:

Para gerar essa camada, adquirimos dados tabulares de população do Censo 2010 (IBGE, 2010), distribuídos por setor censitário. Para calcular a densidade demográfica a população total é dividida pela área. Os valores foram então vinculados aos respectivos polígonos vetoriais e convertidos em um raster contendo o número de habitantes por quilômetro quadrado.

Distância de Habitações:

Para esta camada foram utilizados dados de habitações estimadas no Censo de 2010 disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), estes dados foram vetorizados e então foi gerada a distância euclidiana. Nesta camada, cada pixel possui o valor da distância em metros da habitação mais próxima.

Uso e Cobertura do Solo:

Para a variável do uso e cobertura do solo das APA's, foram utilizados os produtos de mapeamento da Coleção 5 do MapBiomas (<https://mapbiomas.org/>) com escala de 1:50.000.

Sendo os dados de mapeamento anual fornecidos para o período de 1985 a 2019 (PROJETO MAPBIOMAS, 2020).

Consideramos que, assim como a vegetação, o uso e cobertura do solo também varia ao longo dos anos, acompanhando a mudança da paisagem e o crescimento populacional. Dessa forma, optamos por utilizar um produto que correspondesse a essa variação temporal.

Para cada APA obtemos o produto de uso e cobertura do solo para os anos de 2005, 2009, 2013 e 2017 e consideramos um intervalo de transição da paisagem entre os anos para a mudança do uso. Assim, o uso e cobertura do ano de 2005 foi considerado para os anos 2005, 2006, 2007 e 2008; o uso e cobertura do ano de 2009 foi considerado para os anos 2009, 2010, 2011 e 2012; o uso e cobertura do ano de 2013 foi considerado para os anos 2013, 2014, 2015 e 2016 e o uso e cobertura do ano de 2017 foi considerado para os anos 2017, 2018 e 2019.

As classes de uso e cobertura do solo são descritas na tabela a seguir (Tabela 4.4):

Tabela 4.4: Classes de uso e cobertura do solo da classificação do MapBiomas utilizadas no modelo das APA's Pandeiros e Cochá e Gibão

Classe	Subclasse	Subclasse 2	Descrição
Floresta	Floresta Natural	Formação Florestal	Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas com dossel contínuo de alta densidade, áreas que foram perturbadas por incêndios e / ou extração de madeira e floresta resultante de rebrota natural.
Floresta	Floresta Natural	Formação Savânica	Tipos de vegetação com uma camada arbórea de densidade variável, distribuída sobre uma camada arbustiva-herbácea contínua.
Floresta	Floresta Plantada	-	Espécies de árvores plantadas para uso comercial.
Formação Natural não Florestal	Formação Campestre	-	Tipo de vegetação com predomínio de estrato herbáceo, incluindo manchas com estrato arbustivo-herbáceo bem desenvolvido.

Área não vegetada	Outras Áreas não vegetadas	-	Áreas de superfície não vegetadas (infraestrutura, áreas urbanas ou mineração) não mapeadas em suas classes e áreas de solo exposto (principalmente solo arenoso) não classificadas como formação de pastagem ou pastagem.
Agropecuária	Agricultura	Outras Lavouras Temporárias	Áreas cultivadas com algum tipo de lavoura temporária não identificada.
Agropecuária	Pastagem	-	Áreas de pastagem, natural ou plantada, vinculadas à atividade agropecuária.

*Tabela adaptada de SOUZA et al., 2020.

Modelos de Ocorrência de Incêndios Florestais

A elaboração do modelo de suscetibilidade a ocorrências de incêndios florestais de cada uma das APA's se desenvolveu de forma gradual. Isso significa que, para analisarmos quais os fatores determinantes para a ocorrência de incêndios na região, combinamos as variáveis em três possíveis modelos, sendo eles:

Modelo Ambiental/Antrópico: Chamaremos este de Modelo C. Neste modelo utilizamos as variáveis altitude, declividade, NDVI, distância de hidrografias, distância de rodovias, distância de habitações, densidade populacional e uso e cobertura do solo. A proposta foi analisar se apenas fatores ambientais e/ou antrópicos eram capazes de esclarecer a ocorrência de incêndios florestais nestas APA's, sem a interferência dos fatores climáticos na análise.

Modelo Ambiental/Antrópico + Clima: Este é o Modelo D, neste modelo adicionamos variáveis climáticas como temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Pois era necessário agora levar em consideração as características climáticas da região, e entender como que, associadas às variáveis ambientais e antrópicas, os incêndios florestais poderiam, ou não, ser impulsionados na região.

Modelo Ambiental/Antrópico + Clima + Combustível: Por fim o Modelo E, aqui adicionamos as variáveis FFMC, DMC e DC que são os índices de umidade de combustível no solo. Por ser uma variável que se envolve diretamente com as variáveis climáticas, mas ainda assim possui características peculiares, optamos por adicioná-la ao modelo posteriormente. Dessa forma, podemos analisar o seu comportamento no modelo e sua influência nas análises.

A seguir as Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 que exemplificam as variáveis e os focos de incêndios florestais para o período de estudo em cada uma das APA's.

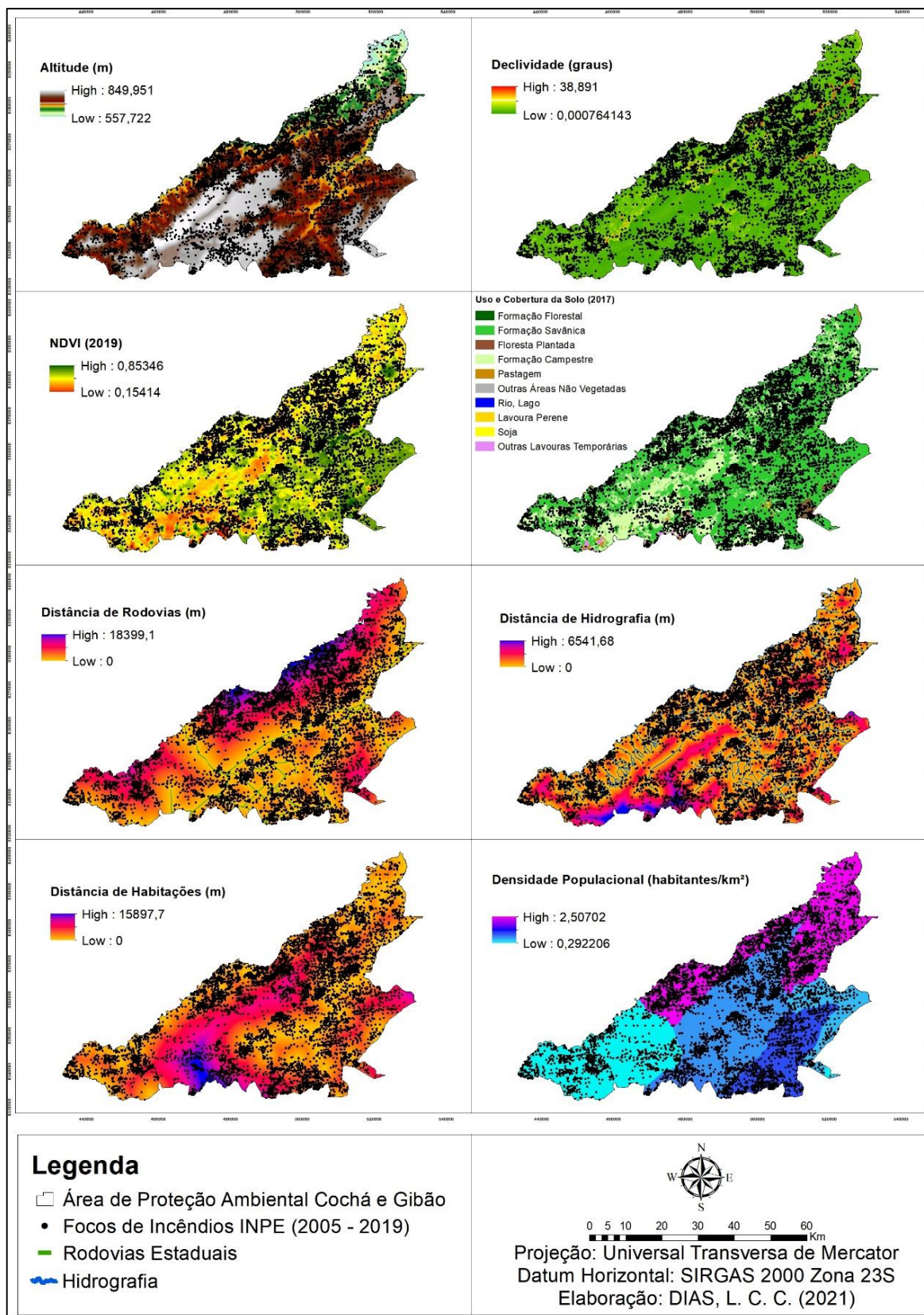


Figura 4.2: Variáveis Ambientais e Antrópicas da APA Cochá e Gibão e os focos de incêndios do INPE para o período de estudo de 2005 a 2019. *O mapa de uso e cobertura do solo representado é do ano de 2017, os mapas dos anos 2005, 2009 e 2013 podem ser vistos no Apêndice 7.4. **Os mapas das variáveis sem os focos de incêndios podem ser vistos no Apêndice 7.5.

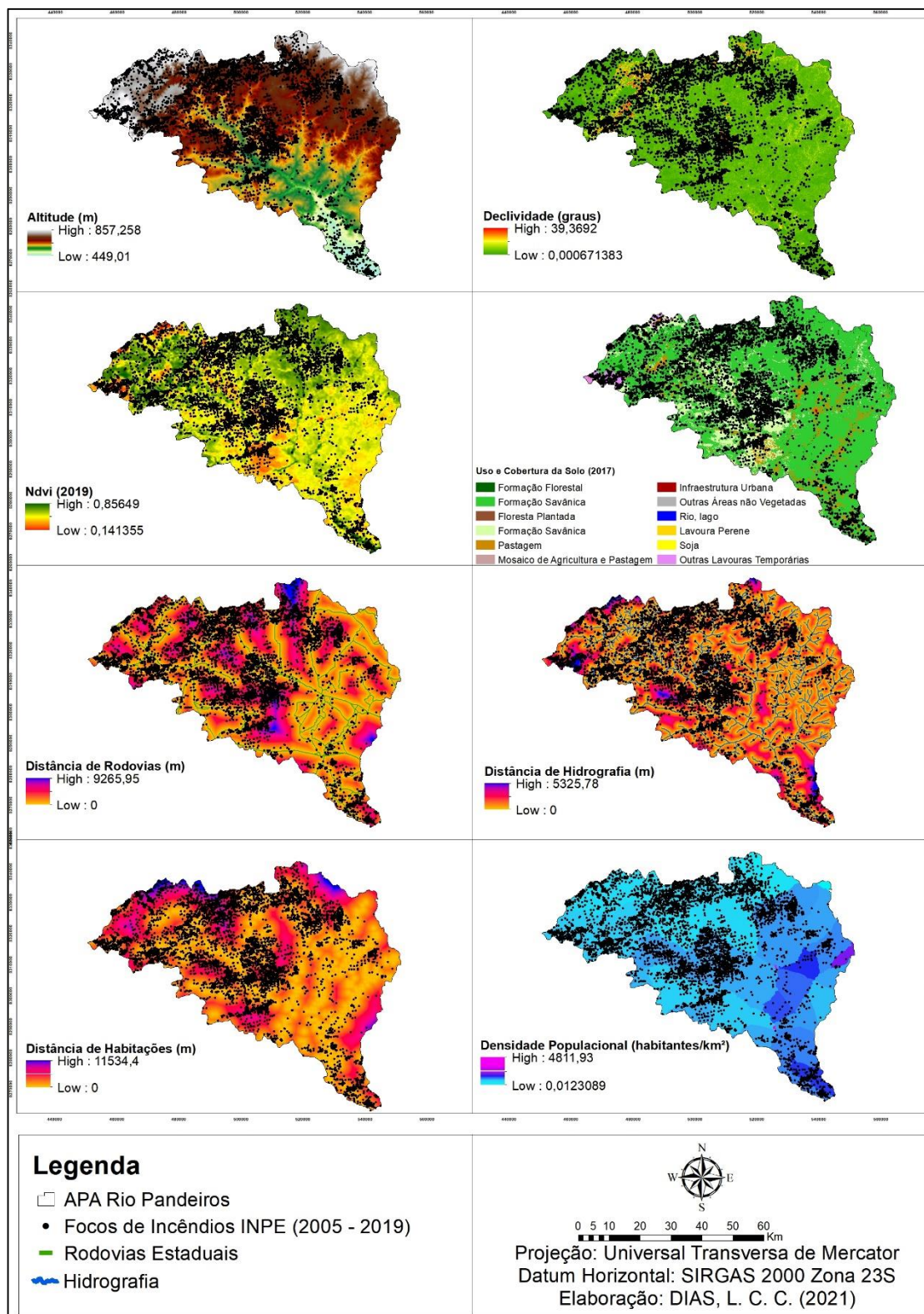


Figura 4.3: Variáveis Ambientais e Antrópicas da APA Rio Pandeiros e os focos de incêndios do INPE para o período de estudo de 2005 a 2019. *O mapa de uso e cobertura do solo representado é do ano de 2017, os mapas dos anos 2005, 2009 e 2013 podem ser vistos no Apêndice 7.4. **Os mapas das variáveis sem os focos de incêndios podem ser vistos no Apêndice 7.5.

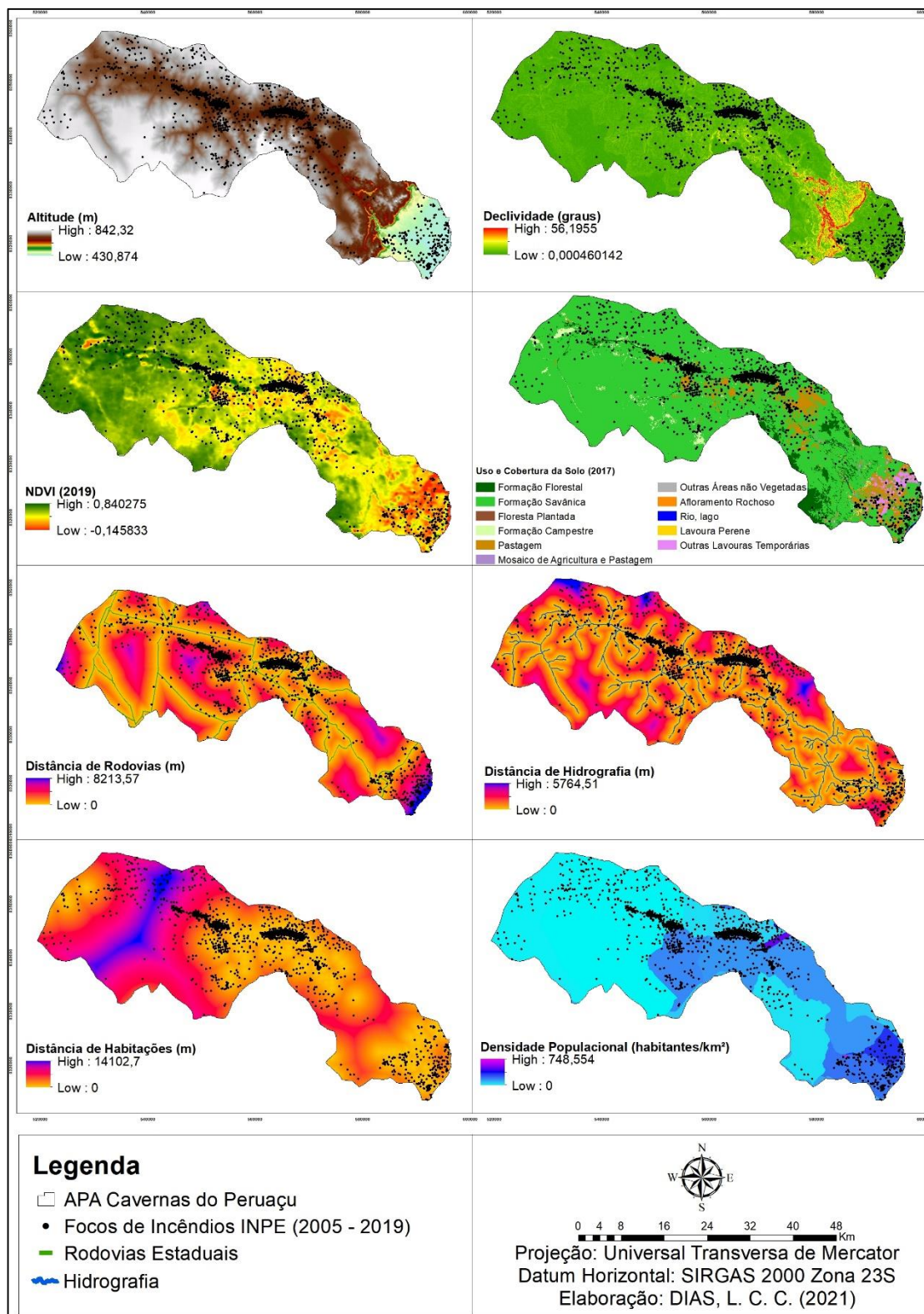


Figura 4.4: Variáveis Ambientais e Antrópicas da APA Cavernas do Peruaçu e os focos de incêndios do INPE para o período de estudo de 2005 a 2019. *O mapa de uso e cobertura do solo representado é do ano de 2017, os mapas dos anos 2005, 2009 e 2013 podem ser vistos no Apêndice 7.4. **Os mapas das variáveis sem os focos de incêndios podem ser vistos no Apêndice 7.5.

Todos os rasters das variáveis foram mantidos ou reamostrados para a resolução de 30 metros. O tratamento e organização do banco de dados destas variáveis foi realizado utilizando Sistemas de Informação Geográfica no ArcGis ®10.5.

Após o tratamento inicial destes dados, os valores dos rasters foram extraídos para cada foco de incêndio e para cada ponto de não incêndio. Dessa forma criamos uma matriz de dados em que cada linha representava uma ocorrência de incêndio (1) ou não ocorrência de incêndio (0) e os respectivos valores dos pixels onde encontravam-se estes pontos de cada uma das variáveis.

4.2.3.4 Seleção do Algoritmo

Regressão Logística

A técnica escolhida para este estudo foi a Regressão Logística Binária utilizando a linguagem R, que é uma ferramenta estatística muito utilizada em análises preditivas. Estudos vêm mostrando que a regressão logística é uma forma efetiva de prever ocorrência de incêndios florestais (CHANG et al., 2013; ESKANDARI e CHUVIECO, 2015; GUO et al., 2016c; LEVI e BESTELMEYER, 2016; ZHANG et al., 2016).

A regressão logística é um dos algoritmos de *machine learning* que além de lidar com questões de classificação, também trabalha com conceitos de estatística e probabilidade. A regressão logística apresenta-se como um método da determinação da probabilidade de ocorrência dos valores preditos de uma variável dicotômica.

Neste estudo realizamos uma regressão logística binária, pois a variável dependente ou variável resposta tem distribuição de Bernoulli (binomial). Portanto estamos trabalhando com a ocorrência (1) ou não ocorrência (0) de incêndios florestais, sendo a variável dependente binária com duas categorias (1 e 0 ou “fogo” e “não fogo”), enquanto que as variáveis explicativas independentes podem ser tanto numéricas quanto categóricas, a fim de explicar a sua relação com a ocorrência de incêndios florestais.

Portanto, o modelo que estima a probabilidade de que um determinado evento possa ocorrer com base em um conjunto de variáveis explicativas independentes, é expresso pela seguinte equação:

$$P = \frac{1}{(1 + e^{-\beta})}$$

$$\beta = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n$$

em que:

P : é a probabilidade de um ponto pertencer à classe 1 ou 0, respectivamente fogo ou não fogo neste estudo; a_n : é o coeficiente associado à variável explicativa n ; x_n : é o valor da variável explicativa n .

O modelo que resulta da regressão logística pode não conter todas as variáveis sugeridas, mas sim as variáveis que melhor respondem ao comportamento da ocorrência de incêndios nas APA's. Para cada variável escolhida pelo modelo, um peso é atribuído que representa a importância desta variável para a efetividade do evento esperado.

4.2.3.5 Seleção do Modelo

Para prever as áreas mais susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais de forma individual em cada uma das APA's, foi necessário avaliar quais variáveis explicativas se correlacionaram melhor com a variável resposta. Para tanto, o algoritmo seleciona as melhores variáveis, ou seja, aquelas que possibilitam a melhor performance do modelo.

A seleção das variáveis e consequentemente a escolha do melhor modelo foi baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974), descrito pela equação:

$$AIC = -2\ln L(\hat{\theta}|y) + 2K$$

onde:

$L(\hat{\theta}|y)$: é o logaritmo da máxima verossimilhança; K : é o número de parâmetros do modelo.

Esse tipo de seleção demonstra a relação entre a verossimilhança e a quantidade de informação que se perde quando aproximamos os dados com um modelo, o AIC expressa esta perda de informação. Dessa forma o AIC fornece um critério simples de seleção, escolhendo o modelo que minimize a quantidade esperada de informação perdida (BURNHAM; ANDERSON, 1998). Quanto menor o valor do AIC, melhor é o modelo. Todas as combinações de conjuntos de variáveis foram testadas, mas o critério que utilizamos para decidir qual o modelo melhor para determinada APA foi o menor valor de AIC.

A seleção das melhores variáveis para compor o modelo de cada APA foi realizada utilizando a técnica de *Dredging*, que consiste em realizar todas as combinações possíveis de variáveis, executar o modelo gerado para cada combinação, calcular o AIC de cada execução e escolher o modelo com menor valor de AIC. A função *Dredge* utilizada faz parte do pacote de seleção automatizada de modelos MuMIn versão 1.43.17 do R. Para uma lista completa dos pacotes do software R e versões utilizadas para a análise (Apêndice 7.1).

O delta é um valor que representa a diferença entre o AIC de um modelo qualquer para o melhor modelo, e quando o valor de delta é menor que quatro podemos considerar este modelo

como sendo mais parcimonioso (PROVETE; SILVA; SOUZA, 2011). Como resultado do *Dredge* é criada uma tabela que coloca os modelos em ordem crescente, sendo que o melhor modelo fica no topo desta tabela (Apêndice 7.3).

4.2.3.6 Avaliação do Modelo

Foram divididos os 15 anos do conjunto de dados de estudo (2005-2019) em dois grupos: dados de treinamento (2005-2015) e em dados de teste (2016-2019) do modelo. Desse modo, ficamos com 84%, 80% e 68% do total das observações de ocorrência de incêndios nas APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu para o treinamento do modelo, e o restante para avaliar a habilidade preditiva dos modelos ajustados em temporadas futuras de incêndios. Optou-se desta forma, para que os dados testes fossem compostos pelos valores dos anos mais atuais.

Ao gerar os modelos, cada uma das variáveis explicativas recebe um valor de coeficiente que descreve a influência da variável explicativa sobre a variável resposta. Este coeficiente apresenta valores positivos ou negativos. Se o coeficiente tem valor negativo significa que possui uma influência inversa sobre a variável resposta, ou seja, quanto menor o seu valor maior as chances de ocorrer o evento esperado. Se o coeficiente tem o valor positivo, sua influência é direta, e quanto maior o seu valor maior as chances de ocorrer o evento, neste caso incêndios florestais.

A estimação dos coeficientes da regressão logística é efetuada pelo uso da máxima verossimilhança, que busca encontrar as estimativas mais prováveis dos coeficientes e maximizar a probabilidade de que o evento ocorra. A qualidade do ajuste do modelo pode ser avaliada por diversas métricas, neste trabalho escolhemos o pseudo- R^2 (Tjur), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE – *Root Mean Squared Error*) e a Área sobre a Curva ROC (AUC – *Area Under the ROC Curve*).

✓ Pseudo- R^2 (Tjur)

Existem vários pseudo- R^2 implementados em diversos pacotes do R que foram desenvolvidos para regressão logística (variável binária, 0 ou 1), de acordo com as características do nosso modelo o pseudo- R^2 Tjur (TJUR, 2009) foi o selecionado. É semelhante ao coeficiente de determinação R^2 presente nas Regressões Lineares, e representa o ajuste geral do modelo proposto. Desta forma, essa métrica reflete o quão próximo as medidas reais estão do nosso modelo. O seu valor varia entre 0 e 1, geralmente é representado por porcentagem, indicando que o modelo é bem ajustado e explicativo quanto maior for o seu valor.

✓ Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)

Esta é uma métrica comumente utilizada, e nada mais é que a diferença entre o valor previsto pelo modelo e o valor real observado. De modo mais detalhado, isso significa que no cálculo desta métrica, considera-se a diferença entre o valor predito pelo modelo e o valor real, eleva-se o resultado ao quadrado, o mesmo é feito com todos os pontos, soma-os e depois são divididos pelo número de elementos preditos (BARNSTON, 1992). Quanto maior esse número, pior o modelo. Essa métrica apresenta valor mínimo 0, sem valor máximo definido.

✓ Área sobre a Curva ROC (AUC)

A performance do modelo foi avaliada nos termos de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área abaixo da Curva (AUC). ROC nada mais é que uma curva de probabilidade gerada traçando a sensibilidade (taxa de verdadeiros-positivos) versus a especificidade (taxa de falsos-positivos), ou seja, a taxa de acertos de previsão do modelo versus a sua taxa de erro. Enquanto que o AUC é o grau de separabilidade e resume a curva ROC em um único valor calculando a “área abaixo da curva” (HAND, 2012).

O AUC tem valores de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 melhor o modelo é em distinguir entre a ocorrência ou não ocorrência de determinado evento.

Espacializando a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais

Baseado na probabilidade de ocorrência de incêndios calculados pela regressão logística e os coeficientes resultantes de cada variável do modelo, foi possível atribuir os pesos aos rasters das variáveis no ArcGis gerando os mapas de probabilidade de incêndios florestais para cada APA.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos modelos de regressão logística realizados apenas com os satélites de referência podem ser visualizados no Apêndice 7.6. Quando utilizamos os critérios de avaliação do modelo, os resultados não apresentaram uma performance satisfatória como obtivemos com todos os satélites e por isso ele não foi mantido nas análises deste trabalho.

4.3.1 Focos de Incêndios Florestais e Área Queimada

Considerando o período de 2005 a 2019, de acordo com os dados do INPE, foram registrados um total de 7250 focos de incêndios para a APA Cochá e Gibão, 6123 ocorrências para a APA Rio Pandeiros e 2031 focos para a APA Cavernas do Peruaçu. Como vimos no capítulo anterior, a maior parte destes focos ocorreu nos meses de setembro e outubro, que são meses com baixa precipitação na região e por isso acreditamos que a ignição destes focos esteja relacionada com ações antrópicas e não a ocorrências naturais como por exemplo, relâmpagos.

É possível notar que as APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros apresentam um número muito maior de focos de incêndios comparado com a APA Cavernas do Peruaçu, isso pode se dar por dois importantes fatores: Primeiro, a APA Cavernas do Peruaçu é uma Unidade de Conservação de jurisdição federal, sob a responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) enquanto que as APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros são de jurisdição estadual sob a responsabilidade do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG).

Isto implica na questão do quanto de recurso é destinado para o manejo destas áreas, geralmente o Estado divide o recurso que recebe da União entre todas as Unidades de Conservação, o que resulta em menos dinheiro para materiais, veículos e contratação de pessoal para fiscalização e combate dos incêndios, além das outras questões inerentes da conservação destas áreas. As APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros, que somadas possuem uma área de quase 7.000 km² dividem o mesmo gestor, enquanto que a APA Cavernas do Peruaçu além de possuir uma gestora também conta com o apoio dos gestores do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu.

O fato da APA Cavernas do Peruaçu ser menor que as outras duas poderia facilitar a sua fiscalização, mas muitas áreas também são de difícil acesso. O segundo fator que parece demonstrar forte influência no menor número de ocorrências de incêndios nesta APA, é a presença dos dois Parques que são Unidades de Conservação de Proteção Integral. Isto porque estas áreas não permitem a presença humana e, portanto, não há comunidades rurais em seu interior, além disso a fiscalização é mais rígida do que nas APA's e a manutenção das áreas com abertura de aceiros por exemplo, é realizada periodicamente. Os Parques em área ocupam aproximadamente 60% da área total da APA, e pouquíssimos focos de incêndios foram registrados no interior destas Unidades de Conservação (Figura 4.5). A maior parte dos focos presentes na região do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu é na entrada do Parque que fica muito próximo das comunidades do Fabião I e Fabião II.

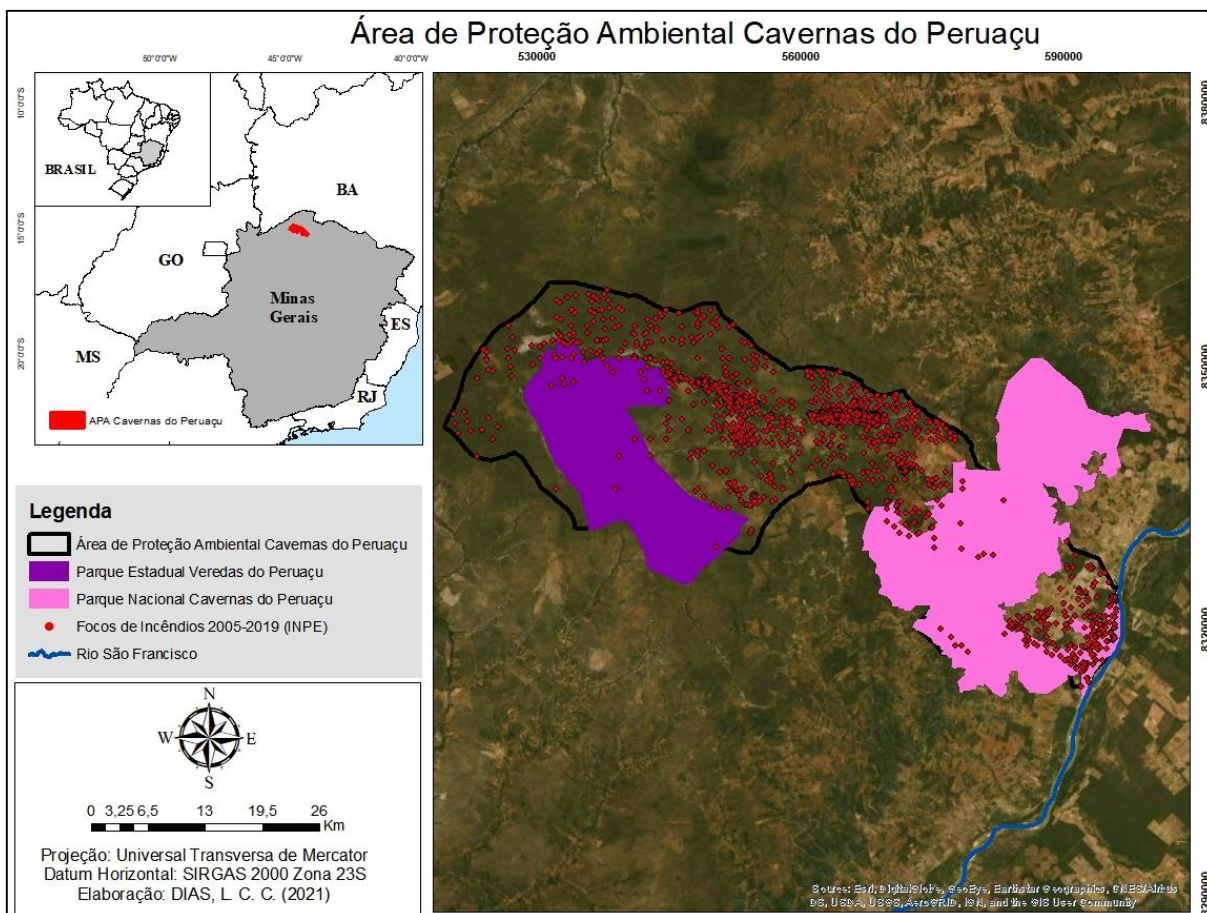


Figura 4.5: Focos de Incêndio nas áreas da APA Cavernas do Peruaçu, do Parque Estadual Veredas do Peruaçu e do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu no período de 2005 a 2019.

De acordo com o INPE (2020), a relação foco de calor *versus* incêndio florestal não é direta, isto porque um foco de calor indica a existência de fogo em um pixel de imagem, mas neste único pixel pode haver uma ou várias frentes de fogo distintas que representam um incêndio florestal. Devido a este fator, para que pudéssemos associar estes focos de incêndios a uma perda de área para os incêndios florestais, utilizamos os dados de área queimada disponibilizados pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR).

Podemos concluir a partir destes dados que assim como os focos de incêndios, a APA Cochá e Gibão também é a APA que apresenta maior área queimada no período de estudo totalizando 1.698,23 km² de área queimada, seguido da APA Rio Pandeiros com 986,36 km² e a APA Cavernas do Peruaçu com 121,07 km² (Figura 4.6).

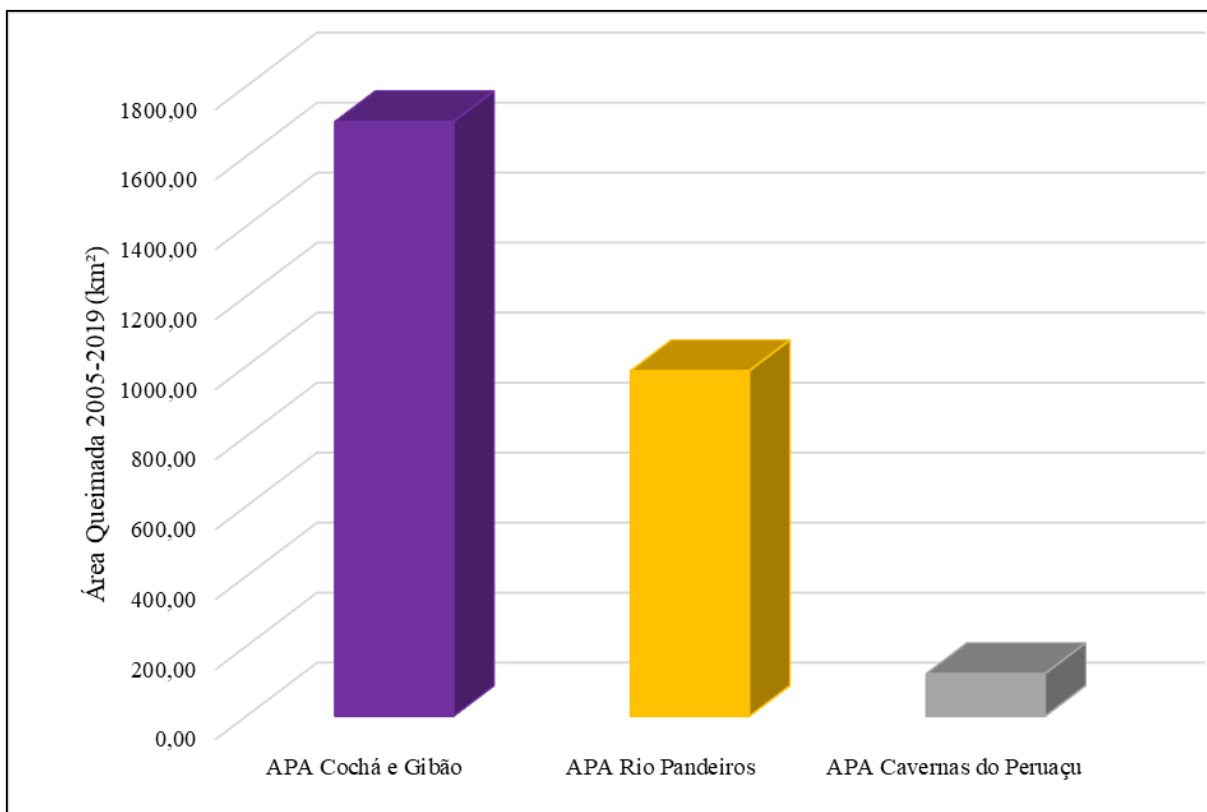


Figura 4.6: Área queimada total das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu para o período de 2005 a 2019. Fonte: CSR, 2020.

Ao olhar a área queimada de cada APA individualmente ano a ano, podemos inferir que talvez a metodologia utilizada pelo CSR que foi aplicada para o bioma do Cerrado inteiro, necessite de adaptações para áreas com escala reduzida e que apresentem características mais particulares.

De todo modo, os dados de área queimada do CSR acrescentam as informações sobre a área e complementam os resultados deste trabalho. Todavia, ressaltamos que para uma análise mais aprofundada sobre as áreas impactadas pelo fogo destas APA's seria necessário gerar novos dados de área queimada considerando o histórico de incêndios da região e as peculiaridades da área.

Para a APA Cochá e Gibão, os resultados fornecidos de área queimada demonstram a mesma tendência que os focos de incêndios. Podemos observar que o ano de 2012, foi o que registrou mais focos de incêndios (1952), e também a maior área queimada (373,6 km²) para o período de estudo. Outro ano que chamou atenção foi 2007 que registrou uma área queimada 269,2 km², entretanto o número de focos de incêndios (384) não estava entre os maiores para o período (Figura 4.7).

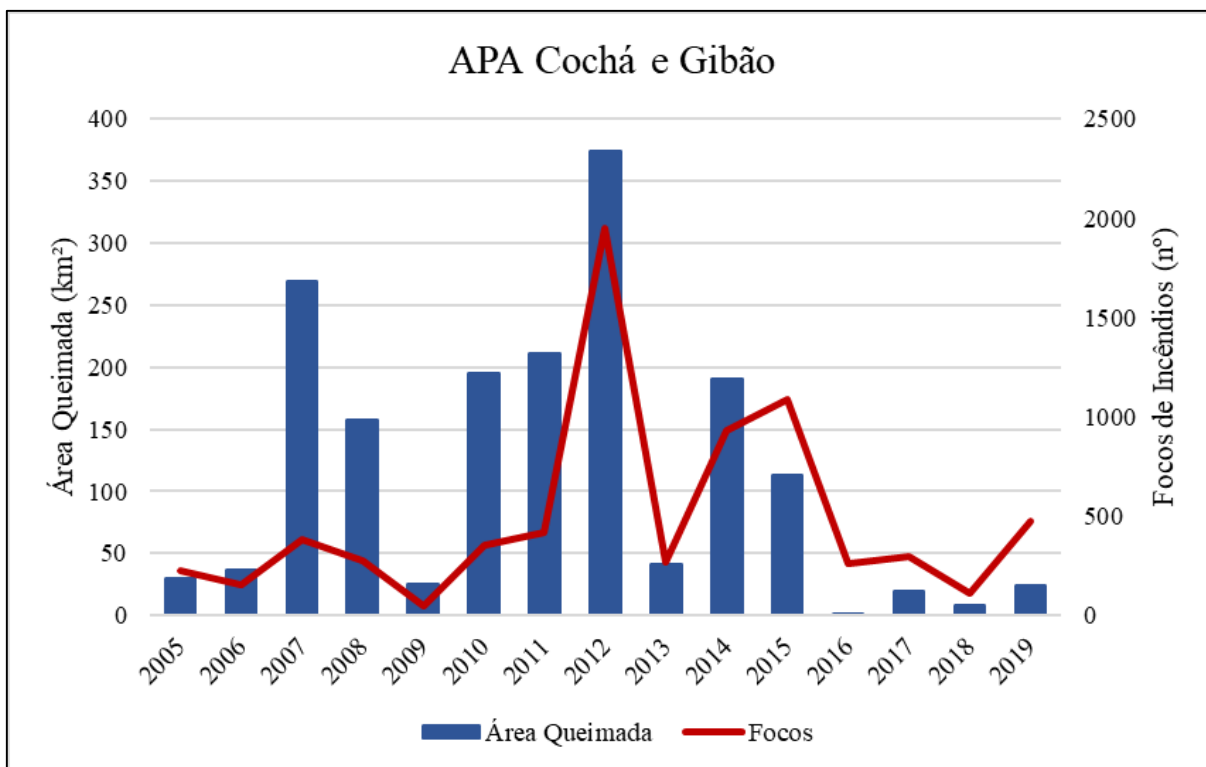


Figura 4.7: Área queimada (km²) e número de focos de incêndios na APA Cochá e Gibão por ano no período de 2005 a 2019. Fonte: CSR, 2020; INPE, 2020.

Os dados de área queimada da APA Rio Pandeiros já demonstram maiores flutuações em relação aos focos de incêndios, como por exemplo no ano de 2015 que foram registrados 1000 focos de incêndios, mas a área queimada correspondeu a aproximadamente 50 km². Do ano de 2014 em diante não foram observadas extensas áreas queimadas na análise do CSR (Figura 4.8).

Entre as principais causas de ocorrências de incêndios na região, a maior parte está relacionada à negligência no uso do fogo para manejo agropecuário (renovação de pasto e limpeza de área para cultivo), além de fogueiras abandonadas por caçadores e litígio entre propriedades vizinhas (IBAMA, 2007).

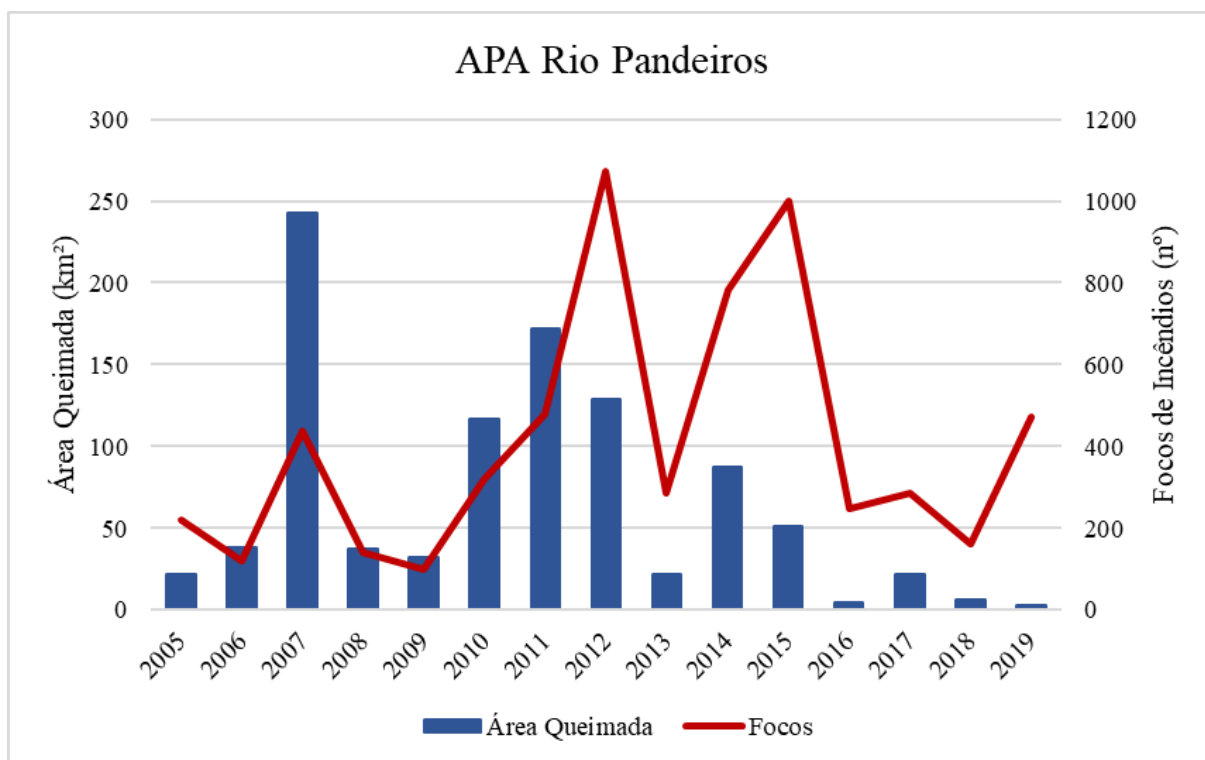


Figura 4.8: Área queimada (km²) e número de focos de incêndios na APA Rio Pandeiros por ano no período de 2005 a 2019. Fonte: CSR, 2020; INPE, 2020.

A APA Cavernas do Peruaçu, foi a área que apresentou menos registros de área queimada da mesma forma que foi a APA que apresentou menos focos de incêndios entre as três áreas de estudo. Podemos notar alguns incêndios mais extensos em 2007 com 35 km² de área queimada e em 2008 com aproximadamente 70 km². Entretanto a partir de 2009 pouca área queimada foi contabilizada nas análises do CSR (Figura 4.9). Inclusive o ano de 2017, que não apresenta nenhuma área queimada nestes dados apresentados, sofreu um incêndio que destruiu cerca de 53 km² de área de vereda no mês de fevereiro (ICMBIO, 2017).

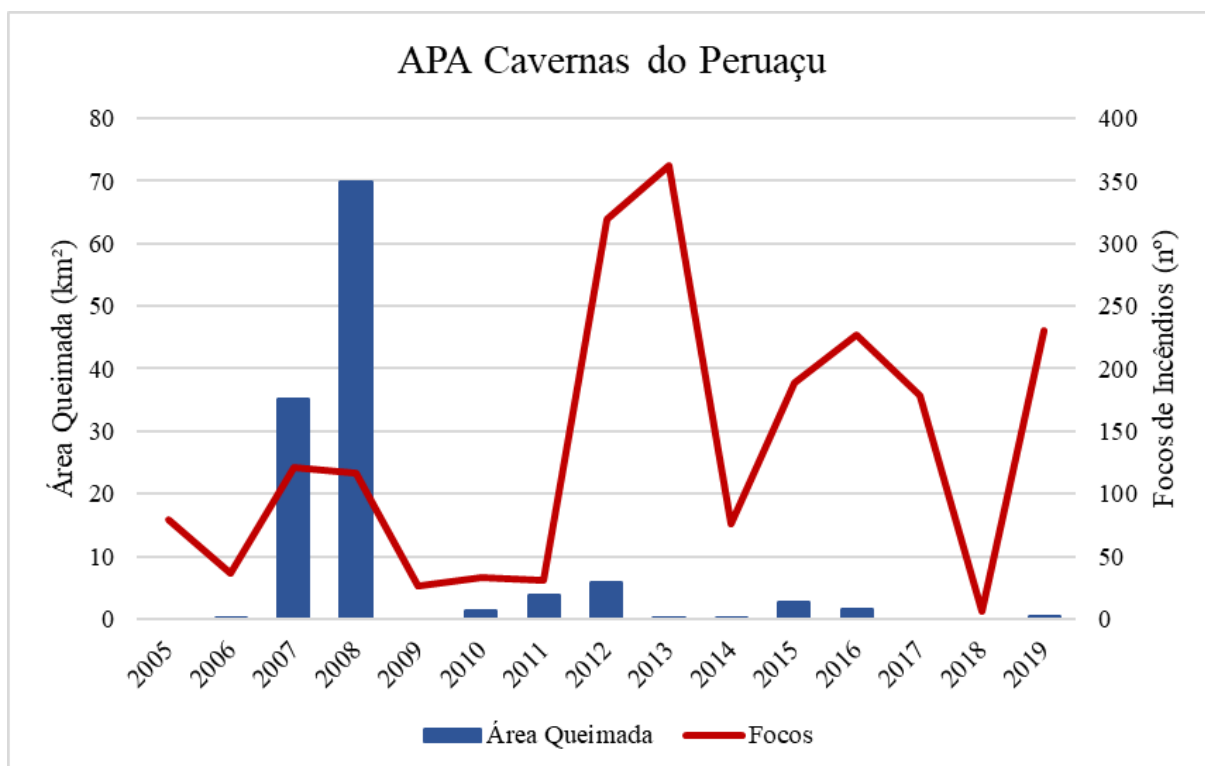


Figura 4.9: Área queimada (km²) e número de focos de incêndios na APA Cavernas do Peruaçu por ano no período de 2005 a 2019. Fonte: CSR, 2020; INPE, 2020.

4.3.2 Modelo de Ocorrência de Incêndios Florestais

As variáveis escolhidas utilizando a técnica *Dredging* para os modelos da APA Cochá e Gibão, da APA Rio Pandeiros e da APA Cavernas do Peruaçu estão descritas nas tabelas a seguir (Tabela 4.5, 4.6 e 4.7).

Tabela 4.5: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo Ambiental/ Antrópico – Modelo C: Altitude (Alt), declividade (Decl), NDVI, distância de hidrografia (Dist. Hidro), distância de rodovias (Dist. Rod), distância de habitações (Dist. Hab), densidade populacional (Dens. Pop) e uso e cobertura do solo (Uso)

Áreas	Variáveis do Modelo C							
	Alt	Decl	NDVI	Dist. Hidro	Dist. Rod	Dist. Hab	Dens. Pop	Uso
APA Cochá e Gibão		X	X	X	X	X	X	X
APA Rio Pandeiros	X	X	X		X	X	X	X
APA Cavernas do Peruaçu		X	X	X	X	X		X

Tabela 4.6: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo Ambiental/ Antrópico + Clima – Modelo D: Altitude (Alt), declividade (Decl), NDVI, distância de hidrografia (Dist. Hidro), distância de rodovias (Dist. Rod), distância de habitações (Dist. Hab), densidade populacional (Dens. Pop) e uso e cobertura do solo (Uso), temperatura (Temp.), precipitação (Prec), umidade relativa do ar (Umid.) e velocidade do vento (vento)

Áreas	Variáveis do Modelo D											
	Alt	Decl	NDVI	Dist. Hidro	Dist. Rod	Dist. Hab	Dens. Pop	Uso	Temp.	Prec.	Umid.	Vento
APA Cochá e Gibão			X		X	X		X	X	X	X	
APA Rio Pandeiros			X	X				X	X	X	X	X
APA Cavernas do Peruaçu		X	X	X		X				X	X	X

Tabela 4.7: Variáveis explicativas que foram selecionadas pelo algoritmo para o Modelo Ambiental/ Antrópico + Clima + Combustível – Modelo E: Altitude (Alt), declividade (Decl), NDVI, distância de hidrografia (Dist. Hidro), distância de rodovias (Dist. Rod), distância de habitações (Dist. Hab), densidade populacional (Dens. Pop) e uso e cobertura do solo (Uso), temperatura (Temp.), precipitação (Prec), umidade relativa do ar (Umid.), velocidade do vento (vento), fine fuel moisture code (FFMC), duff moisture code (DMC) e drought code (DC).

Áreas	Variáveis do Modelo E														
	Alt	Decl	NDVI	Dist. Hidro	Dist. Rod	Dist. Hab	Dens. Pop	Uso	Temp.	Prec.	Umid.	Vento	FFMC	DMC	DC
APA Cochá e Gibão			X	X		X	X	X			X	X	X	X	X
APA Rio Pandeiros	X	X	X	X	X				X		X	X	X	X	X
APA Cavernas do Peruaçu		X	X	X						X		X	X	X	

4.3.3 Performance do Modelo

Examinando a habilidade preditiva dos modelos em relação aos dados testes selecionados para os anos de 2016 a 2019, pudemos avaliar algumas métricas que consideramos importantes para constatar se determinado modelo é eficaz ou não. Para realizarmos essa análise comparamos os valores do AUC, sensibilidade (taxa de verdadeiros-positivos), especificidade (taxa de falsos-positivos), R^2 e do RMSE entre o Modelo C, Modelo D e o Modelo E, relacionando as três APA's (Tabela 4.8).

Tabela 4.8: Índices e métricas para analisar a performance dos modelos de predição de ocorrência de incêndios florestais: Área Abaixo da Curva ROC (AUC), Sensibilidade, Especificidade, pseudo- R^2 (tjur) e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)

MODELOS	ÁREAS	AUC	Sensibilidade	Especificidade	R^2	RMSE
MODELO C	APA Cochá e Gibão	80,9%	73,8%	81,2%	0,416	0,377996
	APA Rio Pandeiros	75,9%	70,6%	78,9%	0,386	0,3869197
	APA Cavernas do Peruaçu	63,9%	59,7%	63,4%	0,373	0,3921192
MODELO D	APA Cochá e Gibão	99,6%	96,3%	97,4%	0,920	0,1386698
	APA Rio Pandeiros	99,5%	97,5%	96,6%	0,904	0,1512115
	APA Cavernas do Peruaçu	99,7%	99,5%	96,9%	0,894	0,1623071
MODELO E	APA Cochá e Gibão	97,2%	87,4%	93,5%	0,823	0,2060679
	APA Rio Pandeiros	96,5%	88,9%	91,4%	0,789	0,2227717
	APA Cavernas do Peruaçu	99,9%	99,5%	98,3%	0,946	0,1131466

Analisando os valores supracitados de forma ampla, podemos concluir que o Modelo C apresentou uma eficácia inferior comparado aos Modelos D e E para as três APA's objetos deste estudo. Os Modelos D e E apresentaram uma resposta similar para as três APA's, demonstrando a influência das variáveis climáticas na ocorrência de incêndios florestais em áreas protegidas do bioma Cerrado.

De modo geral, os valores de AUC são interpretados como: 0,5-0,6 (péssimo); 0,6-0,7 (ruim); 0,7-0,8 (pobre); 0,8-0,9 (bom) e $>0,9$ (excelente), o que representa a eficácia do modelo em porcentagem, ou seja, uma AUC de 0,7 reflete uma chance de classificação correta de 70% do evento (POLO; MIOT, 2020). A eficácia do modelo representada pelo AUC foi maior nos Modelos D e E do que no Modelo C.

A sensibilidade (taxa de verdadeiros-positivos) representa a capacidade do modelo em avaliar o evento $\hat{Y}=1$ (estimado) dado que ele é evento real $Y=1$, ou seja, a capacidade do modelo em acertar os eventos em que houve a ocorrência de fogo. A especificidade (taxa de falsos-positivos) representa o poder de predição do modelo em avaliar o “não evento” $\hat{Y}=0$

(estimado) dado que ele é evento real $Y=0$, ou seja, a capacidade do modelo acertar quando não houve a ocorrência de fogo. As taxas de sensibilidade e especificidade também foram maiores nos Modelos D e E em comparação ao Modelo C.

O R^2 representa o ajuste geral do modelo proposto, quanto mais próximo de 1 mais ajustado é o modelo e melhor a sua performance e quanto mais próximo de 0 pior o modelo. A partir destes resultados podemos observar que o Modelo C é o menos ajustado entre os três, isso demonstra que apenas as variáveis ambientais/antrópicas não são suficientes para explicar a ocorrência de incêndios nestas áreas de estudo. Este modelo pede mais informações (várias explicativas) ou pelo menos mais dados (números de focos).

Resumidamente o RMSE representa o erro do modelo, quanto mais próximo de 0 menor é o erro e melhor é o modelo. Podemos observar que os Modelos D e E apresentam os menores valores de RMSE para as três APA's demonstrando também que quanto mais ajustados estão os modelos ($>R^2$) menor é o erro apresentado ($<RMSE$).

Destacando os resultados dos Modelos que foram considerados os melhores para cada uma das APA's, é possível discutir mais detalhadamente como as variáveis utilizadas em cada modelo se relacionam com a ocorrência de incêndios florestais em cada uma das APA's. Dessa forma, podemos observar na Tabela 4.8 que de acordo com as métricas para a avaliação dos modelos, o Modelo D foi o que apresentou o melhor desempenho para as APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros e o Modelo E foi o melhor para a APA Cavernas do Peruaçu. Os resultados dos outros modelos podem ser conferidos no Apêndice 7.7.

A curva ROC (*Receiver Operating Characteristic Curve*), é obtida por meio da relação da sensibilidade e da especificidade. No gráfico, o ponto inferior esquerdo (0,0) significa que não é predita uma classificação positiva, no canto oposto (1,1) são classificados os resultados incondicionalmente positivos e o ponto (0,1) representa uma excelente classificação. Portanto, quanto mais a noroeste do gráfico o ponto estiver, melhor a predição do modelo. O AUC compara os classificadores a partir da performance da curva em único valor escalar.

Sendo assim, o Modelo D da APA Cochá e Gibão apresentou uma AUC de 99,6%, o que demonstra uma acurácia de predição excelente (Figura 4.10), Hosmer e Lemeshow (2004) sugerem a aplicação acima de AUC 0,7 como aceitável. Mesmo os focos de incêndios possuindo uma distribuição espacial por praticamente toda a área da APA, com as informações fornecidas pelas variáveis o modelo apresentou um poder de predição alto e bastante confiável.

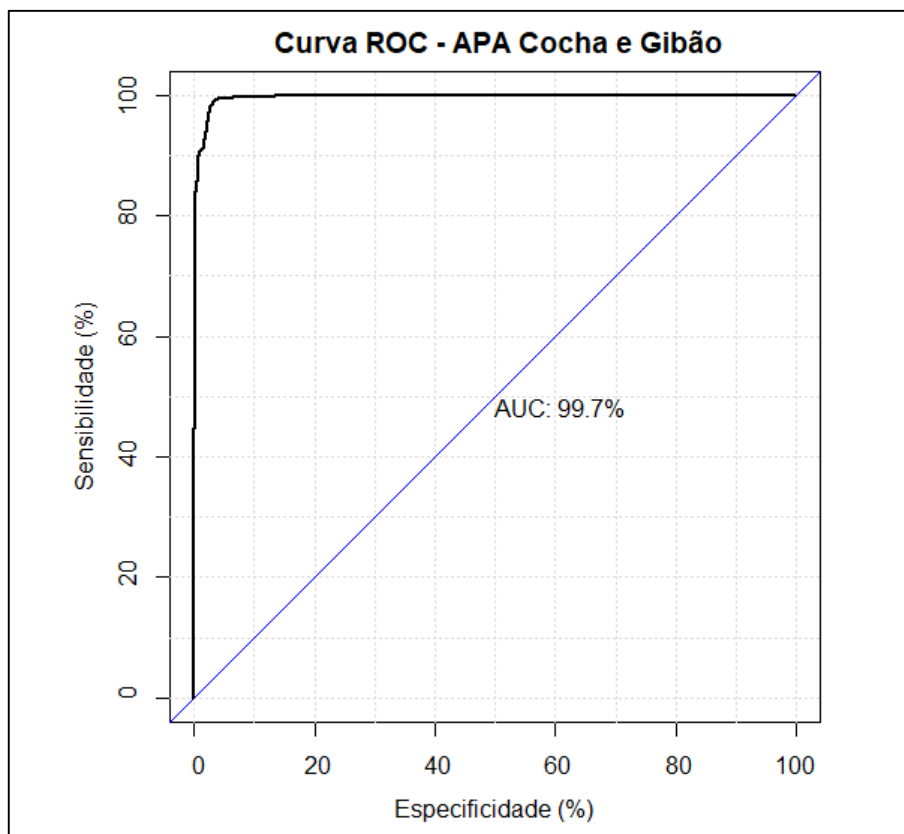


Figura 4.10: Curva de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área Abaixo da Curva (AUC) para o modelo da APA Cochá e Gibão.

Tanto a sensibilidade quanto a especificidade apresentaram taxas acima de 95% para o Modelo D da APA Cochá e Gibão, o que significa que poucas vezes o modelo errou ao prever incêndios quando estes realmente não aconteceram. O modelo da APA Cochá e Gibão também se mostrou bem ajustado com um $R^2 = 0,920$ e um erro baixo com um $RMSE = 0,1386698$.

Para a APA Rio Pandeiros, o melhor modelo obtido também foi o Modelo D, com uma AUC de 99,5% que representa uma alta taxa de acurácia e confiança do modelo (Figura 4.11). A APA Rio Pandeiros também apresenta focos de incêndios distribuídos por grande parte de seu território, mas este fator não interferiu na predição do modelo e ele se mostrou capaz de diferenciar os fatores causadores dos incêndios nesta região.

As taxas de especificidade e sensibilidade também foram altas acima de 95% para este modelo da APA Rio Pandeiros, com um erro baixo sendo o $RMSE = 0,1512115$. O modelo também está ajustado e não demonstrou apresentar um padrão enviesado com um $R^2 = 0,904$.

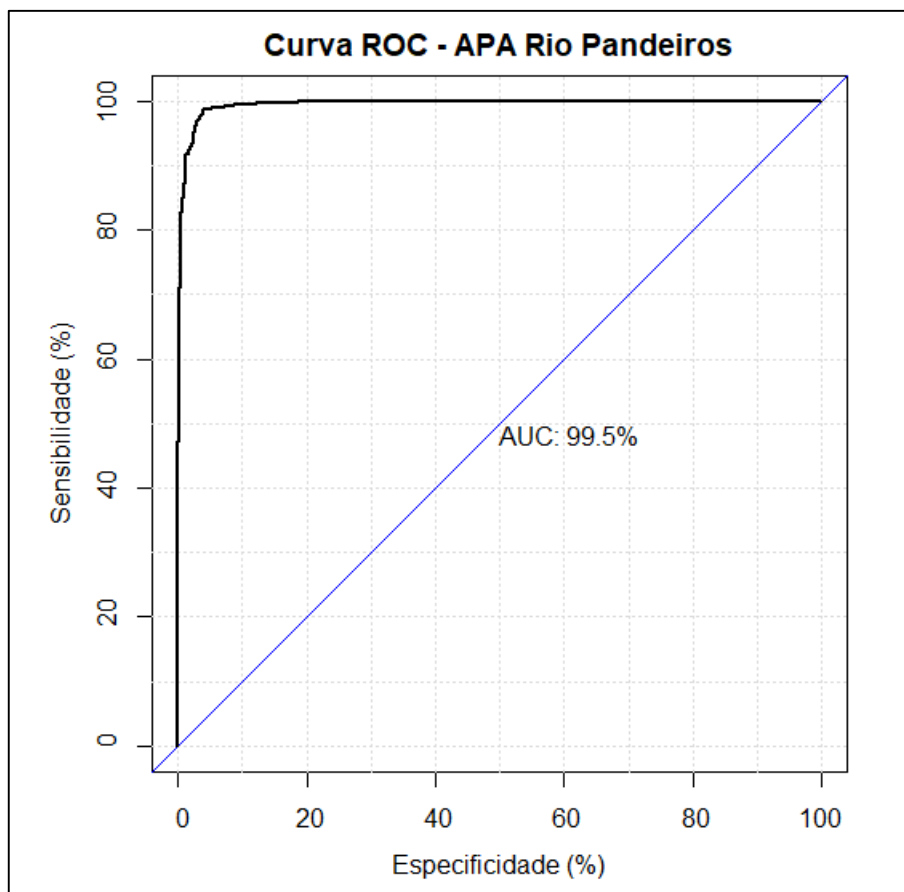


Figura 4.11: Curva de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área Abaixo da Curva (AUC) para o modelo da APA Rio Pandeiros.

Para a APA Cavernas do Peruaçu o melhor foi o Modelo E, em que foram adicionadas as variáveis de combustível no solo.

Essa diferença nos modelos pode ser pelo fato de que, entre as três APA's a APA Cavernas do Peruaçu é a que apresenta características topográficas e até mesmo vegetacionais diferentes das outras. Além da declividade acentuada em vários pontos, devido aos Parques que oferecem uma proteção maior às áreas verdes, muitas áreas de Cerrado da APA apresentam uma formação mais florestal do que campestre. Além disso, a ocupação humana é distribuída de forma diferente também por causa da presença dos Parques, o que mesmo em menor grau, pode acabar alterando a estrutura da vegetação.

Para a APA Cavernas do Peruaçu o Modelo E apresentou um poder de predição bem alto, com um valor de AUC de 99,9%, sendo o modelo com a eficácia mais alta entre todos os modelos testados (Figura 4.12). As taxas de sensibilidade e especificidade também foram as mais altas, com valores acima de 97%. O $R^2=0,946$ demonstra que o modelo está ajustado, que os dados não são enviesados e que é confiável corroborado pelo erro baixíssimo representado pelo $RMSE=0,1131466$.

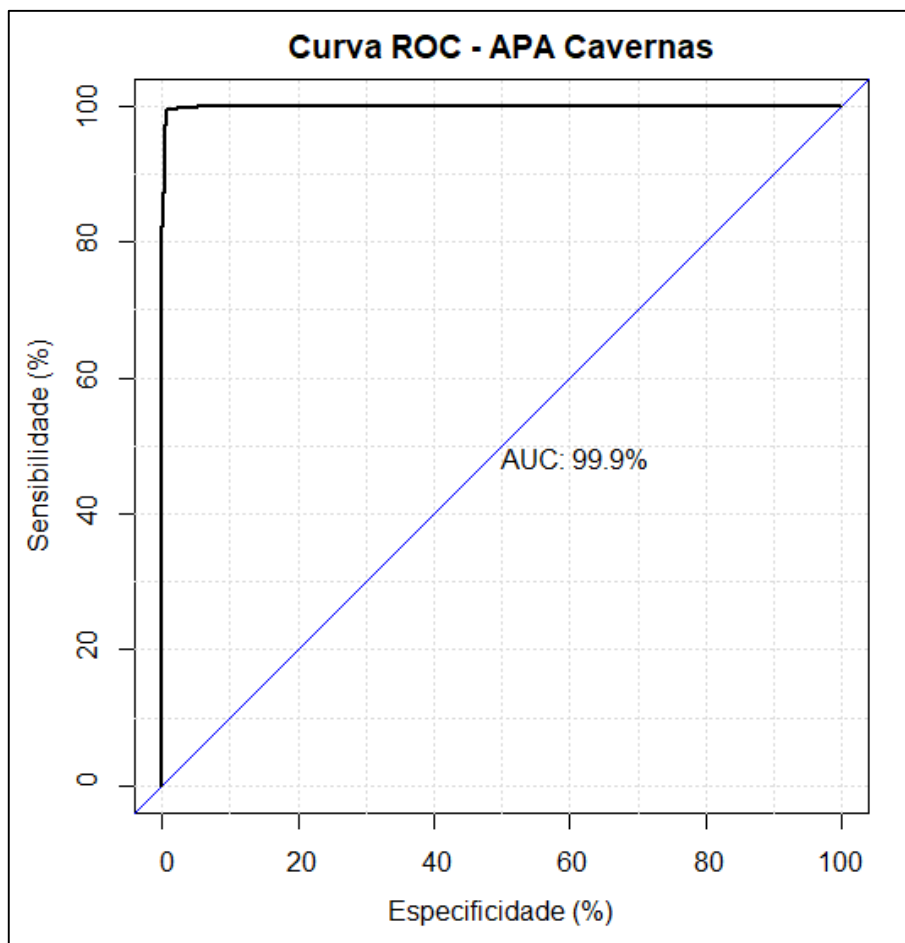


Figura 4.12: Curva de Características Operacionais do Receptor (ROC) da Área Abaixo da Curva (AUC) para o modelo da APA Cavernas do Peruaçu.

A critério de comparação, entre as três as APA's, o modelo da APA Cavernas do Peruaçu foi o que obteve melhor performance e entre todos os modelos testados também foi o que apresentou a melhor resposta. É importante ressaltar que o método para se encontrar o melhor modelo nesta metodologia baseia-se não apenas nas escolhas das variáveis que conhecidamente tenham relação com o evento a ser estudado, como por exemplo incêndios florestais, mas testes devem ser realizados até que se obtenha o melhor desempenho e assim será possível compreender a relação das variáveis com a ocorrência do evento.

Os resultados descritos acima são evidenciados quando analisamos o gráfico residual (Figura 4.13).

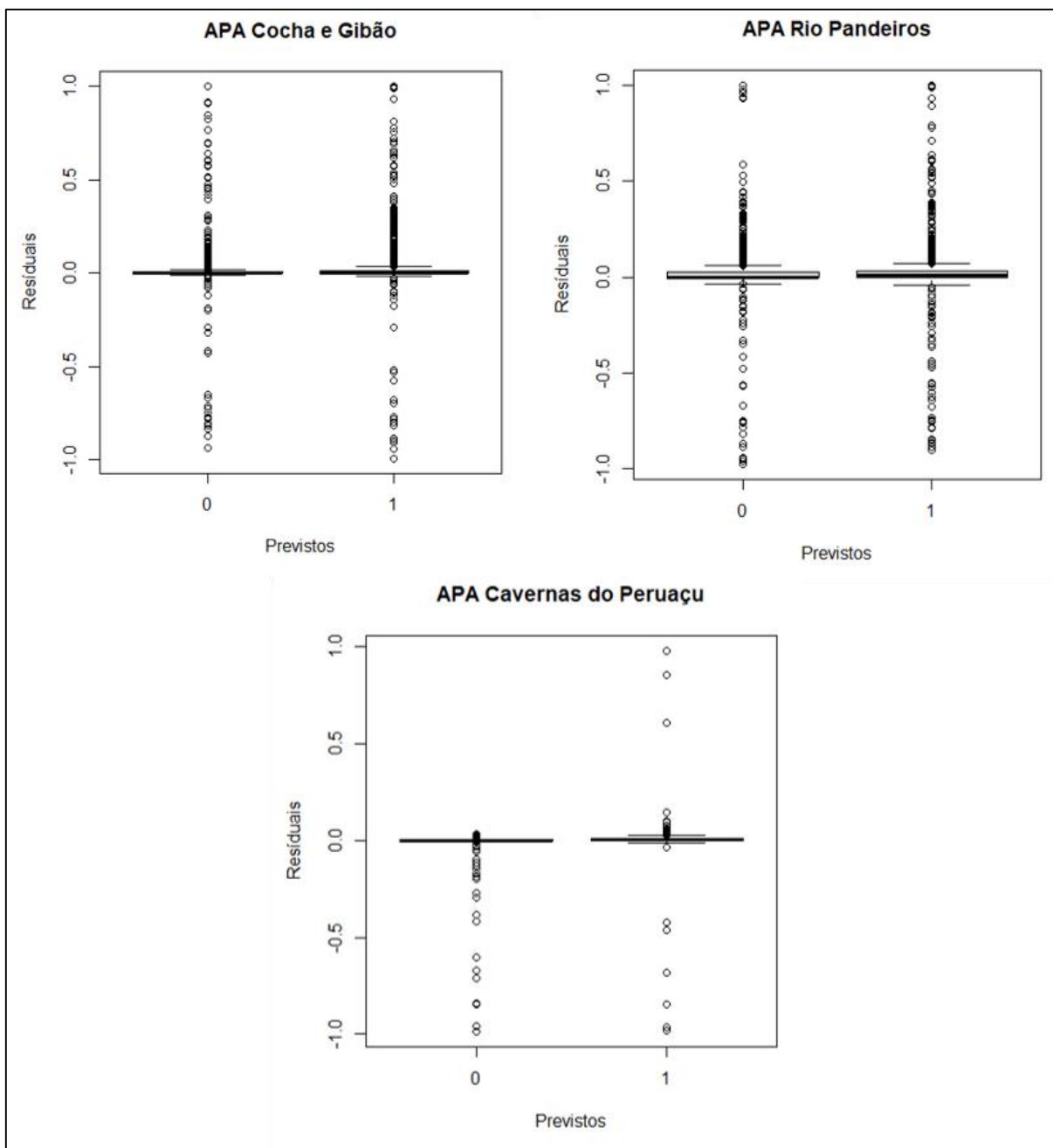


Figura 4.13: Distribuição da contagem espacial observada *versus* contagem de ocorrência prevista dos resíduos agrupados dos anos de teste (2016-2019), para o Modelo D da APA Cochá e Gibão, para o Modelo D da APA Rio Pandeiros e para o Modelo E da APA Cavernas do Peruaçu.

Podemos observar na distribuição dos resíduos espaciais (contagens de incêndios previstos e observados ao longo dos anos de teste), que a mesma não é enviesada, com a maioria dos resíduos fortemente concentrados em torno de zero e um desvio padrão pequeno.

4.3.4 Importância das Variáveis

Vamos descrever inicialmente qual a tendência de cada uma das variáveis nos modelos de cada uma das APA's, se apresentou um valor negativo ou positivo. Caso a variável não tenha sido utilizada em nenhum modelo será classificada com uma "(/)." Dessa forma, podemos

analisar o comportamento das variáveis em cada APA independente do modelo que foi utilizado. Apenas a variável “Uso e cobertura do solo” será descrita posteriormente, pois, por ser uma variável categórica cada uma de suas classes foi considerada como uma variável independente, portanto sua tendência será discutida apenas no modelo final, caso tenha sido utilizada.

A tendência das variáveis será demonstrada nas tabelas a seguir, começando pela APA Cochá e Gibão, seguindo para a APA Rio Pandeiros e por fim a APA Cavernas do Peruaçu (Tabela 4.9).

Tabela 4.9: Tendência das variáveis explicativas para os modelos da APA Cochá e Gibão. Nomes das variáveis seguidos de (-) indicam que o sinal do coeficiente é negativo; Nomes das variáveis seguidos de (+) indicam que o sinal do coeficiente é positivo; Nomes das variáveis seguidos de (/) indicam que ela não foi utilizada em nenhum dos três modelos.

Variáveis explicativas	APA Cochá e Gibão	APA Rio Pandeiros	APA Cavernas do Peruaçu
Altitude	(/)	(+)	(/)
Declividade	(-)	(+)	(-)
NDVI	(-)	(-)	(-)
Distância de Hidrografia	(-)	(+)	(-)
Distância de Rodovias	(+)	(+)	(-)
Distância de Habitações	(-)	(-)	(-)
Densidade Populacional	(+)	(-)	(-)
Temperatura	(+)	(-)	(-)
Precipitação	(-)	(-)	(-)
Umidade Relativa do Ar	(-)	(-)	(-)
Velocidade do Vento	(-)	(-)	(-)
FFMC	(+)	(+)	(+)
DMC	(-)	(-)	(-)
DC	(+)	(+)	(/)

Podemos observar que a tendência de uma mesma variável não é igual para as três as APA's (Tabela 4.10), isso se deve ao fato de que o modelo de regressão logística leva em consideração vários fatores, ou seja, todas as outras variáveis. Por exemplo, a distância de rodovias, apresentou uma tendência positiva para as APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros e negativa para a APA Cavernas do Peruaçu. Em outros trabalhos foi observado que a distância de rodovias apresenta uma correlação negativa com a variável resposta (CARDILLE; VENTURA; TURNER, 2001; MARTÍNEZ; VEJA-GARCÍA; CHUVIECO, 2009), por estar

associada a atividades humanas, normalmente quanto menor o seu valor (menor a distância da rodovia até o ponto) maiores as chances de ocorrer incêndios. Entretanto olhando exclusivamente para a sua tendência, para as APA's Cochá e Gibão e Rio Pandeiros ela demonstra que quanto maior o seu valor (maior a distância) maiores as chances de ocorrer os eventos incêndios. Para entender esta relação precisaremos analisar o quanto esta variável influencia na ocorrência de incêndios, qual o valor do seu coeficiente, qual seu grau de importância para o modelo.

A distância de hidrografia também apresentou diferença, sendo positiva para a APA Rio Pandeiros e negativa para as outras duas APA's. Esta correlação negativa pode ser entendida pelo fato de que muitas atividades antrópicas ocorrem próximo a corpos d'água como caça, pesca, atividades de recreação e assim podem ocasionar focos de incêndios acidentais ou intencionais. Para a APA Rio Pandeiros muitas comunidades rurais vivem e dependem desses corpos d'água, isso faz com que a maioria dos focos ocorra distante das residências. Observando o mapa de uso e cobertura do solo, podemos ver que há muitas estruturas rurais em áreas de vereda e próximos de água, ressaltamos que para entender a ocorrência do fogo nestas APA's todas as variáveis do modelo deverão ser analisadas de forma conjunta. Aqui neste ponto propomos apenas uma discussão sobre como a tendência das variáveis pode mudar de uma área para outra.

A distância de habitações apresentou uma correlação negativa, demonstrando que a proximidade humana pode influenciar na ocorrência de incêndios. Ressaltamos que além de entender se a correlação é negativa ou positiva é preciso saber qual o grau dessa importância para o modelo por meio dos valores dos coeficientes.

A densidade populacional apresentou correlação positiva apenas para a APA Cochá e Gibão que é a que apresenta menor densidade populacional, isso pode ser porque a APA Cochá e Gibão é uma área muito isolada não apresentando centros urbanos em seu território, apenas comunidades rurais. Enquanto que nas outras APA's, as áreas que tem uma maior densidade populacional são pequenos centros urbanos em que não há atividades de produção relacionadas a florestas, o que leva estas atividades para áreas com menor densidade populacional e mais áreas verdes. Em áreas economicamente prósperas e de alta densidade populacional a taxa de cobertura florestal é baixa e há poucas atividades conduzidas por humanos nas florestas, portanto, a probabilidade de incêndios diminui (GUO et al., 2016a; GUO et al., 2017; TIAN et al., 2013).

A temperatura demonstrou um padrão interessante, geralmente a temperatura apresenta uma correlação positiva como vemos na APA Cochá e Gibão, assim como em outros estudos

(MA et al., 2020) quanto maior a temperatura maior as chances de ocorrer os incêndios florestais. Entretanto, para a APA Rio Pandeiros e para a APA Cavernas do Peruaçu a temperatura apresenta uma correlação negativa, isto pode ser devido ao fato de que a maioria dos incêndios florestais na região ocorrem na estação seca que é o período de inverno no Brasil. Por mais que as temperaturas na região não sejam baixas nem no inverno, para os modelos essa relação foi observada.

Umidade relativa do ar apresenta uma correlação negativa, pois quanto menor a umidade, mais seco o combustível e maiores as chances de ocorrer um incêndio florestal. Assim como a precipitação que também apresenta uma tendência negativa, já que a precipitação está diretamente relacionada com a umidade, pois, quanto menor a precipitação menor a umidade.

FFMC e DC são índices de umidade do solo cujo valor demonstra o quão seco está o combustível, portanto quanto maior o seu valor, mais seco está combustível no solo e maiores as chances de ocorrer uma ignição, por isso apresentam a tendência positiva.

O NDVI apresentou uma correlação negativa para todas as APA's, isso porque ele que é o índice de vegetação e quanto menor o seu valor menos vegetação tem naquele pixel, e quanto maior o seu valor maior a cobertura vegetal. Geralmente a vegetação tem um importante impacto na ocorrência de incêndios florestais (GUO et al, 2017; CHUVIECO et al., 2004), pois, quanto maior a cobertura vegetal, mais combustível está disponível e, portanto, alta cobertura vegetal pode levar a alta probabilidade de ocorrer incêndios florestais. Entretanto neste estudo, provavelmente devido aos períodos de detecção do satélite MODIS, foram considerados dados de NDVI muitas vezes após a ocorrência do incêndio e possivelmente por isso os menores valores de NDVI foram relacionados à maior possibilidade de ocorrência de incêndios florestais. Além disso, os menores valores de NDVI ocorrem na estação seca que é o período que ocorre a maior parte dos incêndios na região.

Para entender a relação das variáveis explicativas com a ocorrência de incêndios florestais nas APA's é necessário analisar o grupo de variáveis dos modelos que foram escolhidos como o modelo final de cada uma das APA's. Dessa forma, avaliamos não apenas se a variável apresenta uma tendência positiva ou negativa, mas também o seu grau de importância naquele modelo e para o resultado final.

Os coeficientes das variáveis, os valores de significância (P valor) e a razão de chances (*Odds ratio*) do modelo final estão descritos na Tabela 4.10 para a APA Cochá e Gibão, na Tabela 4.11 para a APA Rio Pandeiros e na Tabela 4.12 para a APA Cavernas do Peruaçu.

A *odds ratio* nada mais é que a exponenciação das variáveis da regressão logística, para que seja possível uma interpretação mais enriquecida das variáveis explicativas com a

ocorrência de incêndios florestais. De modo simplificado, a *odds ratio* nos informa quais as chances daquela variável favorecer a ocorrência do evento que estamos estudando. Importante ressaltar que o modelo também prevê a possibilidade de o evento não ocorrer, portanto, a *odds ratio* demonstra a tendência da variável tanto para a chance de ocorrer o evento quanto para a chance da não ocorrência do evento.

O P valor das variáveis indica o teste da hipótese da nula, que nos revela a significância estatística da variável explicativa para o modelo, sendo que o valor usual para considerá-la estatisticamente significativa é 5% ($\leq 0,05$) (BURNHAM; ANDERSON, 1998). Quanto menor o valor do P valor mais significativa é a variável para o modelo.

Tabela 4.10: Variáveis explicativas que foram mantidas no modelo de regressão logística final associado a incêndios florestais (Modelo D) na APA Cochá e Gibão.

Variável explicativa	Coefficiente	P valor	Odds ratio
NDVI	-10,010976	<10 ^{-6*}	0,000045
Formação savânica ¹	-0,349009	0,404495	0,705387
Floresta plantada ¹	-1,138149	0,312909	0,320412
Formação campestre ¹	-1,191315	0,006376*	0,303821
Pastagem ¹	-1,221788	0,073073	0,294703
Área não vegetada ¹	0,612196	0,695944	1,844478
Lavoura temporária ¹	-0,707274	0,633460	0,492986
Precipitação	-1,701658	<10 ^{-6*}	0,182381
Temperatura	0,091665	0,000114*	1,095998
Umidade relativa do ar	-0,041813	<10 ^{-6*}	0,959049
Distância de habitações	-0,000046	0,024640*	0,999954
Distância de rodovias	0,000031	0,048953*	1,000031

¹Classes da variável categórica uso e cobertura do solo que foram utilizadas no modelo.

*Variáveis que apresentaram P valor menor que 0,05.

De acordo com os resultados da APA Cochá e Gibão podemos concluir que nem todas as variáveis apresentam individualmente alta significância para o modelo, mas para todo o conjunto contribuem para o resultado final. O NDVI por exemplo, possui um P valor baixíssimo, sendo uma variável de alta significância, apresenta uma correlação negativa alta, o que demonstra que quanto menor foi o índice do NDVI maior a probabilidade de ocorrer incêndios florestais. Este fato é corroborado pela *odds ratio*, que podemos ler da seguinte maneira: a variável NDVI tem 99,99% $((0,000045-1)*100)$ menos chances de favorecer um incêndio florestal ou a variável NDVI aumenta em 0,000045 vezes as chances de ocorrer um incêndio florestal. Isto demonstra que a variável NDVI foi uma variável que influenciou mais na predição da não ocorrência de incêndios (0) do que na ocorrência de incêndios florestais.

Entre as classes de uso e ocupação do solo, apenas a “formação campestre” apresentou significância para o modelo. Em áreas de formação campestre há um aumento de 0,303821

vezes na chance de ocorrer um incêndio florestal. A temperatura apresentou uma correlação positiva, também baixa, mas com alta significância para o modelo. As chances de ocorrer um incêndio florestal influenciado pela temperatura é de 9,5%.

De modo geral para a APA Cochá e Gibão a única variável que apresentou uma alta correlação de acordo com os valores dos coeficientes foi o NDVI, as outras variáveis apresentaram valores baixos, mas todas com seu grau de importância.

Tabela 4.11: Variáveis explicativas que foram mantidas no modelo de regressão logística final associado a incêndios florestais (Modelo D) na APA Rio Pandeiros.

Variável explicativa	Coefficiente	P value	Odds ratio
NDVI	-7,302035	<10 ^{-6*}	0,000674
Formação savânica ¹	-0,237514	0,595193	0,788586
Floresta plantada ¹	1,624271	0,472025	5,074721
Formação campestre ¹	-0,493982	0,290833	0,610192
Pastagem ¹	-1,128316	0,024704*	0,323578
Área não vegetada ¹	2,193200	0,463981	8,963848
Lavoura temporária ¹	0,389198	0,586901	1,475797
Precipitação	-1,485025	<10 ^{-6*}	0,226497
Temperatura	-0,038524	0,109499	0,962209
Umidade relativa do ar	-0,044178	<10 ^{-6*}	0,956784
Velocidade do Vento	0,000120	0,127030	1,000120
Distância de hidrografia	-0,121635	<10 ^{-6*}	0,885471

¹Classes da variável categórica uso e cobertura do solo que foram utilizadas no modelo.

*Variáveis que apresentaram P valor menor que 0,05.

A partir dos resultados da APA Rio Pandeiros, podemos notar também que não foram todas as variáveis que apresentaram alta significância. Sendo NDVI, precipitação, umidade relativa do ar, distância de hidrografia e a classe de uso “Pastagem” que apresentaram maior significância.

O NDVI apresentou uma correlação alta e negativa e esta variável aumenta a chance de ocorrer incêndios florestais em 0,000674 vezes. A classe de pastagem aumenta as chances de ocorrer um incêndio florestal em 0,323578 vezes. A distância de hidrografia influencia na ocorrência de incêndios da APA Rio Pandeiros aumentando as chances em 0,885471 vezes, com uma significância alta, mas um grau de correlação baixo de acordo com o valor do coeficiente. E dessa forma, cada uma das variáveis fornece a sua contribuição para o modelo de forma a contribuir para a compreensão da relação destas variáveis com a ocorrência de incêndios florestais em cada uma das APA's.

Tabela 4.12: Variáveis explicativas que foram mantidas no modelo de regressão logística final associado a incêndios florestais (Modelo E) na APA Cavernas do Peruaçu.

Variável explicativa	Coefficiente	P value	Odds ratio
NDVI	-9,940703	<10 ^{-6*}	0,000048
Precipitação	-1,017367	<10 ^{-6*}	0,361546
Velocidade do vento	-0,114942	0,012638*	0,891418
Distância de hidrografia	-0,000341	0,031159*	0,999659
Declividade	-0,264829	0,000097*	0,767337
FFMC	0,141389	<10 ^{-6*}	1,151873
DMC	-0,010010	0,000001*	0,990040

*Variáveis que apresentaram P valor menor que 0,05.

Para a APA Cavernas do Peruaçu podemos observar que todas as variáveis apresentaram alta significância, utilizando sete das quinze variáveis explicativas sugeridas na sua composição final. Sendo o Modelo E da APA Cavernas do Peruaçu, considerado o melhor modelo entre todos dado os valores de AUC, R² e RMSE, podemos inferir que a quantidade de variáveis não é diretamente proporcional à qualidade do modelo, mas sim à capacidade que as variáveis escolhidas tem de explicar a ocorrência de incêndios.

Neste modelo da APA Cavernas do Peruaçu foram utilizadas as variáveis de índice de umidade do solo FFMC e DMC que não foram utilizadas nos modelos das outras duas APA's. Fator interessante que o FFMC aumenta em 15% as chances de ocorrer incêndios florestas na APA Cavernas do Peruaçu, provavelmente pelo fato desta APA apresentar mais áreas de vegetação mais densa e florestada em vez de campestre, o que favorece uma maior camada de serapilheira e, portanto, mais combustível no solo. Além disso, a presença do Parque Estadual Veredas do Peruaçu e do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, faz com que porções da APA sejam mais preservadas e muitas vezes intocadas. O cerrado tende para uma vegetação mais florestal e fechada quando não é manejado (WALTER, 2006) o que pode justificar a importância dessa variável e do DMC para esta APA.

De maneira ampla, o NDVI foi a variável que apareceu em todos os modelos e apresentou uma alta correlação negativa e alta significância. Para avaliar melhor a cobertura vegetal e sua relação com a ocorrência de incêndios florestais, sugerimos testar outras variáveis que considerem melhor a biomassa viva como um combustível para a ignição de incêndios florestais. A sazonalidade do NDVI também demonstrou grande importância, visto que nos períodos de seca os valores do índice tendem a ser mais baixos e na estação chuvosa mais altos, sendo que esta sazonalidade coincide com a ocorrência de incêndios florestais na região (ALVARADO et al., 2017).

4.3.5 Mapas de Suscetibilidade a incêndios florestais

Os mapas de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais, demonstram a distribuição espacial das probabilidades das associações das variáveis explicativas dos modelos finais de cada uma das APA's, em que a regressão logística apresenta as probabilidades dentro de uma faixa intermediária de valores que foi apresentada como áreas de risco baixo a alto. Também sobrepusemos os focos de incêndios dos anos teste (2016-2019) para analisar se a predição se aproximou da realidade.

O Modelo D da APA Cochá e Gibão, como discutido anteriormente, possui um alto poder de predição. Os focos de incêndios dos anos de treinamento (2005-2015) eram distribuídos por todo o território da APA, e por isso podemos notar um mapa de probabilidades que apresenta várias regiões com uma chance razoável de que ocorra incêndios florestais (Figura 4.14).

Entretanto, a área com mais alto risco de incêndios encontra-se na porção mais baixa da APA Cochá e Gibão e condiz com a região da Comunidade do Gibão e do Sumidouro, e como o modelo considerou a distância de habitações como uma variável relevante, podemos considerar esta relação direta com uma maior probabilidade de incêndios florestais nesta região. Na região mais a oeste da APA, há culturas de grandes produtores, diferente das pequenas agriculturas rurais da Comunidade do Gibão nestas áreas criam gado e a limpeza de pastos e lavouras para novas plantações utilizando fogo é muito comum.

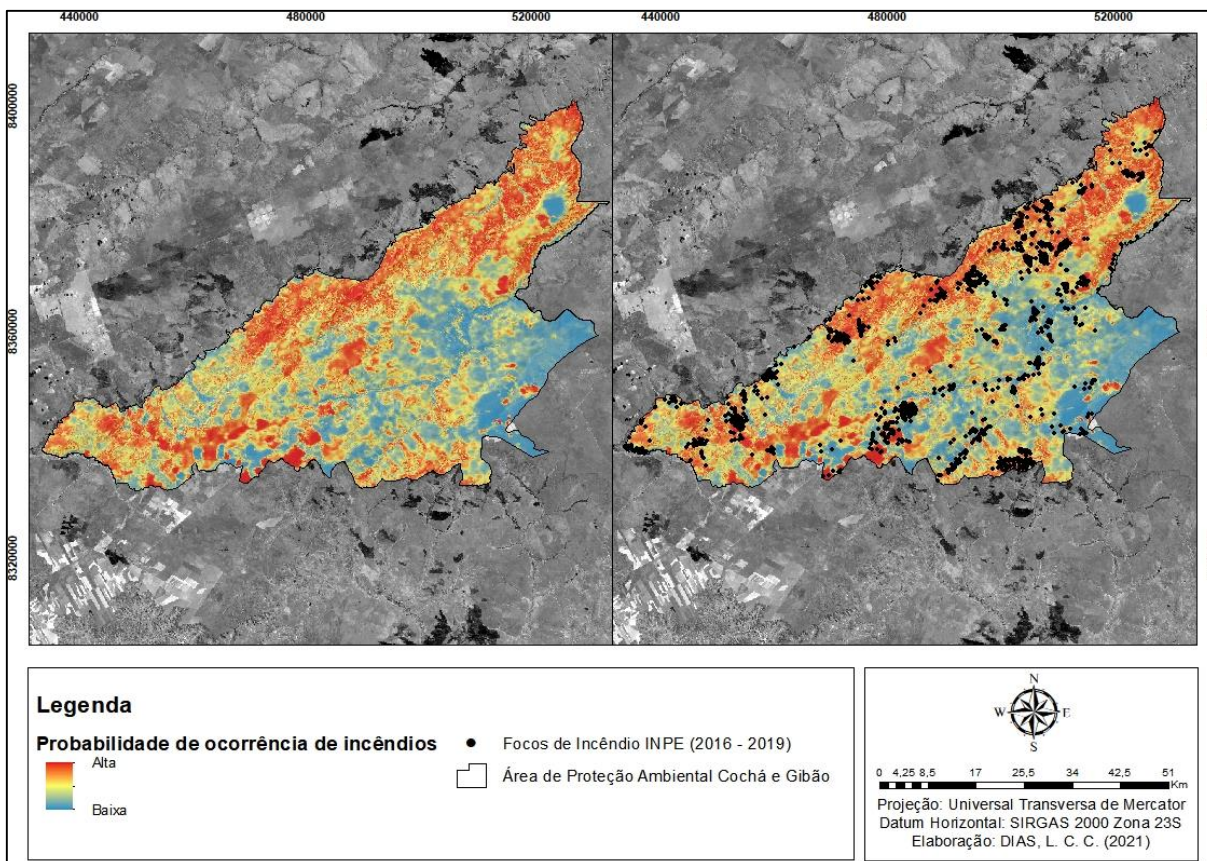


Figura 4.14: Mapa de probabilidade de incêndios florestais para a APA Cochá e Gibão

Assim como para a APA Cochá e Gibão, o Modelo D da APA Rio Pandeiros demonstrou muita eficácia em dizer quais áreas da APA seriam mais propícias à ocorrência de incêndios florestais (Figura 4.15). Relacionando com os focos de incêndio do período teste (2016-2019), em poucas regiões da APA podemos observar um erro de predição com focos de incêndios em áreas que o modelo não previu.

No cenário de ocupação da APA Rio Pandeiros temos pequenas comunidades acompanhando rios e veredas, mas nessas regiões não há uma intensa ocorrência de incêndios. Podemos observar que as áreas de maior risco de incêndios se concentram na parte oeste da APA, onde encontramos também as fazendas com grandes extensões de terra ocupando boa parte do território da APA. Nota-se a concentração dos focos de incêndios exatamente destas áreas de maiores riscos, em que assim como na APA Cochá e Gibão é realizada a limpeza de pastos e lavouras por meio de queimadas.

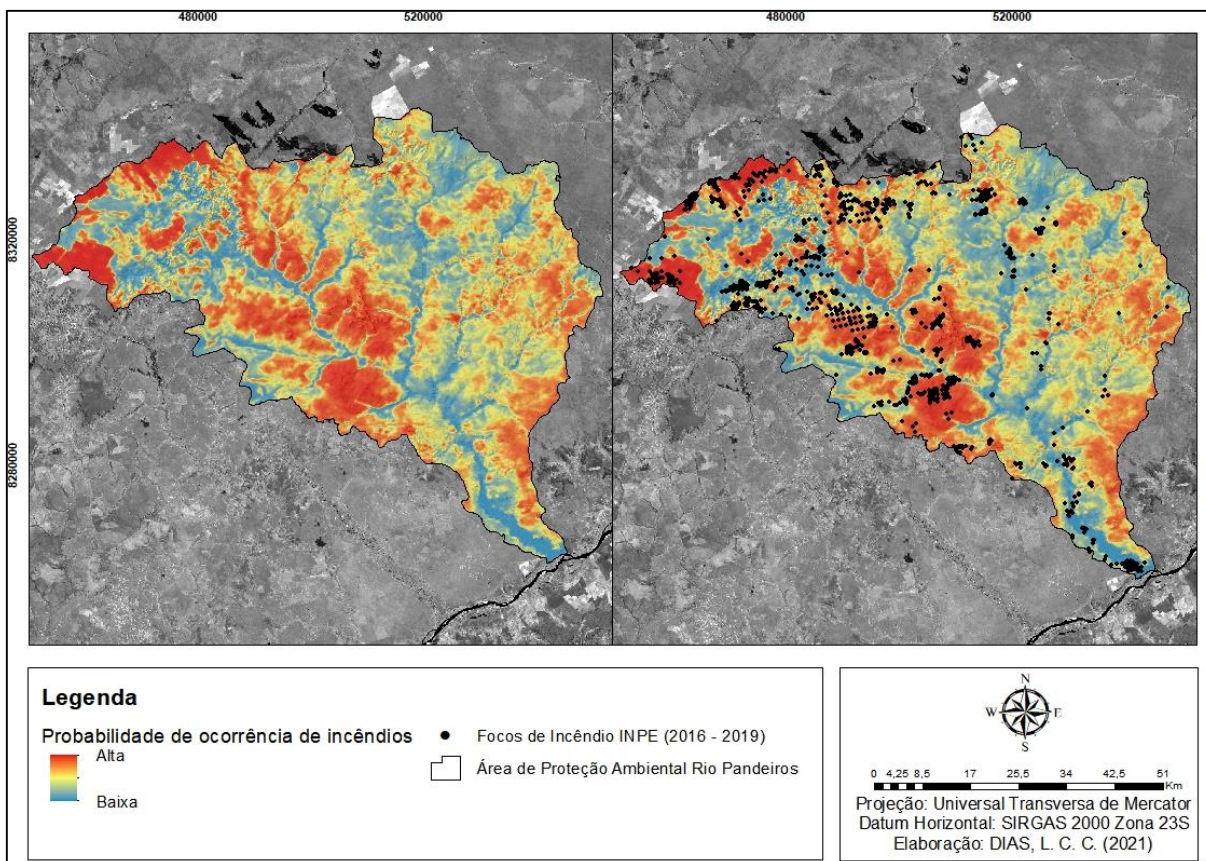


Figura 4.15: Mapa de probabilidade de incêndios florestais para a APA Pandeiros

De modo geral, o modelo da APA Cavernas do Peruaçu demonstrou que as variáveis explicativas se relacionaram de forma satisfatória com a variável dependente que são os focos de incêndios. Podemos notar que as áreas de maior risco se concentram quase que totalmente onde os focos estão localizados, corroborando o fato de que essas áreas são sim mais suscetíveis à ocorrência de incêndios florestais (Figura 4.16).

A área mais ao sul da APA e que apresenta uma alta chance de ocorrência de incêndios está em uma região da APA onde se localizam as grandes comunidades, Retiro, Fabião I e II. Outra área que chama a atenção é que há uma alta probabilidade de incêndios ao longo de uma parte do Rio Peruaçu, isso ocorre devido à topografia da APA. As comunidades tradicionais da região da APA Cavernas se distribuem em áreas ao longo do Rio Peruaçu e como pudemos analisar no modelo a distância de hidrografias é uma das variáveis que têm relevância para a ocorrência de incêndios nesta área. Esses resultados corroboram as áreas de maior risco de incêndio propostas para a região do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, que englobam a comunidade do Retiro, Vargem Grande, Terra Brava e algumas áreas na Reserva Indígena Xakriabá (IBAMA, 2017).

Outro ponto a se ressaltar para o modelo da APA Cavernas do Peruaçu, é que as áreas onde se localizam o Parque Estadual Veredas do Peruaçu e o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu apresentam baixa probabilidade à ocorrência de incêndios florestais, e isso demonstra a importância de Unidades de Conservação de Proteção Integral com o manejo adequado na prevenção e mitigação da ocorrência de incêndios em áreas protegidas.

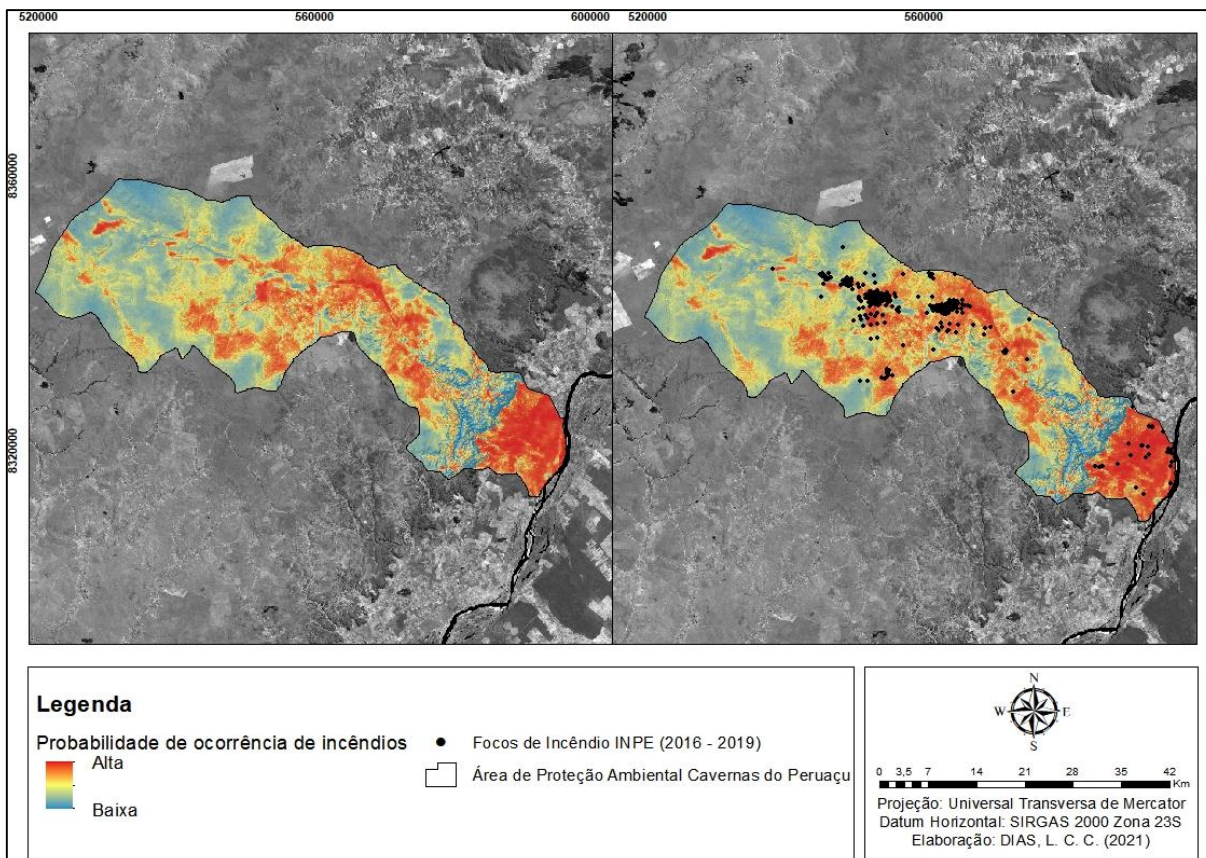


Figura 4.16: Mapa de probabilidade de incêndios florestais para a APA Cavernas do Peruaçu

De modo geral os modelos finais das três APA's nos propiciam um panorama de quais áreas são mais suscetíveis à ocorrência de incêndios florestais e possibilidades do porque os incêndios ocorrem nestas APA's. Podemos concluir que é necessário um conjunto diverso de variáveis explicativas para entendermos a relação com ocorrência de incêndios, não seria possível inferir que apenas a temperatura ou a baixa umidade são as responsáveis pelos incêndios nestas áreas. Concluimos, portanto, que um conjunto de fatores associados resultam na ocorrência dos incêndios florestais, e que estes fatores se relacionam diferentemente em cada uma das APA's.

Esta metodologia pode ser replicada em outras áreas, assim como o conjunto de quinze variáveis explicativas sugeridas. Para se atingir a melhor performance possível do modelo, devem-se testar todas as variáveis para assim definir qual o melhor modelo para determinada

área. Para repetir a metodologia para estas mesmas áreas em outros períodos, as variáveis aqui escolhidas nos melhores finais possivelmente fornecerão os melhores resultados.

O fogo é de fato um elemento natural no Cerrado, e sua ocorrência é importante para manter processos ecológicos neste bioma (PIVELLO, 2011). Já é de conhecimento comum que a supressão do fogo, fato comum em Unidades de Conservação de Proteção Integral, resulta no acúmulo de biomassa combustível, que quando acometida pelo fogo pode levar a incêndios florestais de grandes proporções e difíceis de controlar (FIDELIS et al., 2018).

Entretanto, as Áreas de Proteção Ambiental que são Unidades de Conservação de Uso Sustentável, apresentam outro tipo de manejo e diretrizes de conservação e os incêndios que ali ocorrem nem sempre estão relacionados com a supressão do fogo, mas sim causas antrópicas. Dessa forma, é necessário propor um plano de conservação que vise a participação das comunidades rurais que vivem daqueles recursos e que podem auxiliar na sua conservação, além de focar em ações que visem a colaboração dos latifundiários da região que vivem em conflito direto com as ações de manejo sustentável.

As Áreas de Proteção Ambiental são tão importantes quanto os Parques, e a existência de um depende da conservação do outro, caso contrário estaremos caminhando para preservação de ilhas verdes e não para a consolidação de áreas protegidas, perpetuação de espécies, biodiversidade genética e cultural. As comunidades rurais fazem parte da criação, conservação e perpetuação destes territórios, e a educação ambiental entra como uma forte aliada nesta missão. (PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

É mais vantajoso os conservacionistas trabalharem em conjunto com as comunidades locais do que simplesmente colocá-las como vilãs e expulsá-las de suas terras de origem, assim as comunidades passariam a ser valorizadas e recompensadas pelo seu conhecimento e manejo da paisagem (CHICCÓN, 2000). Um novo modelo de conservação deve ser realizado pelas interações do conhecimento e práticas das comunidades locais com o manejo e conhecimento da ciência moderna, visando à conservação das atividades de manutenção, proteção e restauração do ambiente natural (SILVA, 2013).

E é neste sentido que a proposta do Plano de Desenvolvimento Territorial de Base Conservacionista do MSVP (FUNATURA, 2018) propõe as atividades integradas de manejo das Unidades de Conservação do Mosaico a fim de incluir a comunidade local na conservação desta região.

4.4 CONCLUSÕES

Áreas de Proteção Ambiental são áreas de grande importância para a conservação da biodiversidade. Mesmo que não possuam regras extremamente rígidas para a utilização de seus recursos renováveis, essas áreas possibilitam a promoção de um uso sustentável dos seus recursos conectando o homem habitante daquele meio à conservação.

Entretanto, a permanência do homem nestes ambientes também implica em certas consequências relacionadas à sua presença. As APA's do Mosaico Sertão Veredas-Peruaçu sofrem enorme pressão antrópica resultante da presença humana na região e de conflitos fundiários. Os incêndios florestais são uma das consequências mais comuns da presença humana em áreas protegidas.

Os resultados deste trabalho demonstram que os incêndios florestais são um sério problema para esta região, que expõe estas Unidades de Conservação de Uso Sustentável a suscetíveis impactos ambientais e consequentemente a perda significativa de sua biodiversidade.

Notamos com este estudo que ao modelar incêndios florestais em Unidades de Conservação, inúmeros fatores devem ser levados em consideração muito além da paisagem. Porém estudos que preveem a ocorrência de incêndios no Cerrado, principalmente em Unidades de Conservação, estão crescendo devido ao cenário atual de incêndios florestais. Assim como em outras áreas do mundo, a Regressão Logística apresentou resultados satisfatórios para a modelagem de incêndios florestais.

A utilização de um conjunto diverso de variáveis explicativas proporcionou um resultado muito satisfatório para este trabalho. A metodologia utilizada pode ser replicada em outras áreas, inclusive as variáveis sugeridas neste trabalho são recomendadas. Entretanto, assim como neste estudo, para se atingir os melhores resultados desta metodologia, diferentes combinações devem ser testadas. O mesmo grupo de variáveis foi testado em cada uma das APA's, mas os melhores resultados foram obtidos com as combinações aqui apresentadas devido às particularidades de cada área.

Para ações futuras seria interessante utilizar outros métodos de *machine learning* a critério de comparação entre modelos. No Brasil este tipo de metodologia tem se ampliado bastante e tem se mostrado um campo de pesquisa muito promissor.

Por fim, podemos afirmar que com os resultados obtidos, os mapas de ocorrência espacial e as estimativas correspondentes de novos incêndios obtidos poderão ser ferramentas valiosas para a prevenção e planejamento de tomada de decisões. Isto inclui compartilhamento de recursos entre os gestores das Unidades de Conservação e os órgãos ambientais, avisos

públicos e restrições de acessos, pré-posicionamento de equipes de brigadistas, e preparação de material para o combate aos incêndios. Além disso, há toda uma base de dados gerada com potencial para maiores e diversas análises.

4.5 REFERÊNCIAS

- ADAB, H. Landfire hazard assessment in the Caspian Hyrcanian forest ecoregion with the long-term MODIS active fire data. **Natural Hazards**, v. 87, n. 3, p. 1807-1825, 2017.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- ALENCAR, T. S.; MAILLARD, P. Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do Parque Estadual Veredas do Peruaçu. **Geografias**, v. 7, n. 2, p. 24-39, 2011.
- ALENCAR, T. S. **Proposta metodológica para delimitação e classificação do ambiente de vereda utilizando imagens orbitais**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- ALVARADO, S. T.; FORNAZARI, T.; CÓSTOLA, A.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, T. S. F. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270-281, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711-728, 2014.
- BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; DEPPE, F.; GRODZKI, L.; GRASSI, J. T. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 104, p. 491-501, 2014.
- BARNSTON, A. Correspondence among the Correlation, RMSE and Heidke Verification Measures; Refinement of the Heidke Score. Notes and Correspondence, **Climate Analysis Center**, v. 7, p. 699-709, 1992.
- BISQUERT, M.; CASELLES, E.; SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V. Application of artificial neural networks and logistic regression to the prediction of forest fire danger in Galicia using MODIS data. **International Journal of Wildland Fire**, v. 21, n. 8, p. 1025, 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gabinete da Ministra. Portaria nº 128, de 24 de abril de 2009. Reconhece o Mosaico de Unidades de Conservação Sertão Veredas-Peruaçu. 2009. Disponível em: < <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/mosaicos/portaria-grande-sertao.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2021.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Information and Likelihood Theory: A Basis for Model Selection and Inference. In: BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. New York: Springer, 1998. p. 49-96.
- CARDILLE, J. A.; VENTURA, S. J.; TURNER, M. G. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper midwest, united states. **Ecological Applications**, v. 11, n. 1, p. 111–127, 2001.
- CATRY, F. X.; REGO, F. C.; BACÃO, F. L.; MOREIRA, F. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. **International Journal of Wildland Fire**, v. 18, p. 921–931, 2009.
- CHANG, Y.; ZHU, Z.; BU, R.; CHEN, H.; FENG, Y.; LI, Y.; HU, Y.; WANG, Z. Predicting fire occurrence patterns with logistic regression in Heilongjiang Province, China. **Landscape Ecology** v. 28, p. 1989–2004, 2013.
- CHICCHÓN, A. Conservation theory meets practice. **Conservation Biology**, v. 14, p. 1368-1369, 2000.
- CHUVIECO, E.; GIGLIO, L.; JUSTICE, C. Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data. **Global Change Biology**, v. 14, p. 1488-1502, 2008.

CHUVIECO, E.; ALLGÖWER, B.; SALAS, F. J. Integration of physical and human factors in fire danger assessment. In: CHUVIECO, E. **Wildland fire danger estimation and mapping**. Singapore: World Scientific Publishing, 2003. p. 197–218.

CHUVIECO, E.; AGUADO, I.; JURDAO, S.; PETTINARI, M. L.; YEBRA, M.; SALAS, F. J.; HANTSON, S.; DE LA RIVA, J.; IBARRA, P.; RODRIGUES, M. M. T.; ECHEVERRÍA, M.; AZQUETA, D.; ROMÁN, M. V.; BASTARRIKA, A.; MARTÍNEZ, S.; RECONDO, C.; ZAPICO, E.; MARTÍNEZ-VEGA, F. J.; Integrating geospatial information into fire risk assessment. **International Journal of Wildland Fire**, v. 23, p. 606–619, 2014.

CHUVIECO, E.; COCERO, D.; RIAÑO, D.; MARTIN, P.; MARTÍNEZ-VEGA, J.; DE LA RIVA, J.; PÉREZ, F. Combining ndvi and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 322–331, 2004.

CIPRIANI, H. N.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R.A. de FREITAS, S. G.; DE OLIVEIRA, L. T. Fire risk map for the Serra de São Domingos municipal park, Poços de Caldas, MG. **Cerne** v. 17, p. 77–83, 2011.

COSTAFREDA-AUMEDES, S.; COMAS, C.; VEGA-GARCIA, C. Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, p. 983-998, 2017.

CSR. Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais. **Projeto: Desenvolvimento de sistemas de prevenção de incêndios florestais e monitoramento da cobertura vegetal no Cerrado brasileiro** – Componente 2.2 - desenvolvimento de um sistema para prever o risco de espalhamento do fogo no Cerrado. 2020. Disponível em: <<https://csr.ufmg.br/fipcerrado/>>; Acesso em: 26 Jul 2021.

de BEM, P. P.; CARVALHO-JÚNIOR, O. A.; MATRICARDI, E. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Predicting wildfire vulnerability using logistic regression and artificial neural networks: a case study in Brazil's Federal District. **International Journal of Wildland Fire**, v. 28, p. 35-45, 2019.

DIDAN, K. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. Distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC, <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>. 2015. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>> Acesso em 13 jul. 2020.

ESKANDARI, S.; CHUVIECO, E. Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 42, p. 57-64, 2015.

FIDELIS, A.; ALVARADO, S.; BARRADAS, A.; PIVELLO, V.; The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado. **Fire** v. 1, n. 49, 2018.

FLANNIGAN, M. D.; KRAWCHUK, M. A.; de GROOT, W. J.; WOTTON, B. M.; GOWMAN, L. M. Implications of changing climate for global wildland fire. **International Journal of Wildland Fire**, v. 18, p. 483-507, 2009.

FUNATURA. Fundação Pró Natureza. **Plano de Desenvolvimento Territorial de Base Conservacionista do Mosaico Sertão Veredas – Peruaçu**. Brasília, 2008. 60 p.

GARCÍA, C. V.; TATAY-NIETO, J.; BLANCO, R.; CHUVIECO, E. Evaluation of the influence of local fuel homogeneity on fire hazard through Landsat-5 TM texture measures. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 76, p. 853–864, 2010.

GHOLAMNIA, K.; NACHAPPA, T. G.; GHORBANZADEH, O.; BLASCHKE, T. Comparisons of Diverse Machine Learning Approaches for Wildfire Susceptibility Mapping. **Symmetry**, v. 12, p. 604, 2020.

GUO, F. T.; INNES, J. L.; WANG, G. Y.; MA, X. Q.; SUN, L.; HU, H. Q.; SU, Z. W. Historic distribution and driving factors of human-caused fires in the Chinese boreal forest between 1972 and 2005. **Journal of Plant Ecology**, v. 8, n. 5, p. 480–490, 2015.

GUO, F.; WANG, G.; SU, Z.; LIANG, H.; WANG, W.; LIN, F.; LIU, A. What drives forest fire in Fujian, China? Evidence from logistic regression and Random Forests. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, n. 5, p. 505, 2016a.

GUO, F.; ZHANG, L.; JIN, S.; TIGABU, M.; SU, Z.; WANG, W. Modeling Anthropogenic Fire Occurrence in the Boreal Forest of China Using Logistic Regression and Random Forests. **Forests**, v. 7, n. 11, p. 250, 2016b.

GUO, F.; SU, Z.; WANG, G.; SUN, L.; LIN, F.; LIU, A. Wildfire ignition in the forests of south-east China: identifying drivers and spatial distribution to predict wildfire likelihood. **Applied Geography**, v. 66, p. 12–2, 2016c.

GUO, F.; SU, Z.; WANG, G.; SUN, L.; TIGABU, M.; YANG, X.; HU, H. Understanding fire drivers and relative impacts in different chinese forest ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 411, p. 605–606, 2017.

HAND, D. J. Assessing the performance of classification methods. **International Statistical Review**, v. 80, p. 400–414, 2012.

HERNANDEZ-LEAL, P. A.; ARBELO, M.; GONZALEZCALVO, A. Fire risk assessment using satellite data. **Advances in Space Research**, v. 37, n. 4, p. 741-746, 2006.

HOSMER, D. W.; LEMESCHOW, S. **Applied Logistic Regression**. 2 ed. New York: Wiley, pp. 392, 2004.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. 2005. Disponível em: < https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/parna_cavernas_peruacu_pm_enc4.pdf> Acesso em: 13 abr. 2021.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano Operativo de Prevenção e Combate aos incêndios florestais no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. 2007. Disponível em: < http://ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/19-parque_nacional_cavernas_peruacu-mg.pdf> Acesso em: 13 set. 2021

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**, Rio de Janeiro: 3ª ed., 2013. 171 p.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Geociências downloads**. 2017 Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>> Acesso em: 10 jun 2020.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010 Disponível em < <https://censo2010.ibge.gov.br>> Acesso em: 15 jun 2020.

IDESE. Instituto para o Desenvolvimento Social e Ecológico. **RPPN Porto Cajueiro completa mais um ano sem fogo**. 2009. Disponível em: < <http://www.idese.org/2009/11/rppn-porto-cajueiro-completa-mais-um-ano-sem-fogo/>> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **Área de Proteção Ambiental Estadual Cochá e Gibão**. 2013a. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1771-area-de-protecao-ambiental-estadual-cocha-e-gibao->> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **APA Pandeiros**. 2013b. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1769-apa-pandeiros->> Acesso em: 13 abr. 2021.

IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros**. 2013c. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1768-refugio-estadual-da-vida-silvestre-do-rio-pandeiros->> Acesso em: 13 abr. 2021.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Bases Cartográficas digitais**. 2010 Disponível em < http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=147> Acesso em: 09 jun 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de queimadas**. 2020, Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 22 de jan. 2020

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate [The geographic system of climates]. In KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936 pp. 1–44.

KUHLMANN, M.; RIBEIRO, J. F. Evolution of seed dispersal in the cerrado biome: ecological and phylogenetic considerations. **Acta Botanica Brasílica**, v. 30, p. 271-282, 2016.

LEVI, M. R.; BESTELMEYER, B. T. Biophysical influences on the spatial distribution of fire in the desert grassland region of the southwestern USA. **Landscape Ecology** v. 31, p. 2079–2095, 2016.

LOBATO, R.; MENEZES, J.; DE LIMA, L. A.; SAPIENZA, J. A. Índice de Vegetação por diferença normalizada para análise da redução da Mata Atlântica na região costeira do Distrito de Tamoios, Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais - CADEGEO**, Niterói, v. 1, n. 1, p.14-22, 2010.

MA, W.; FENG, Z.; CHENG, Z.; CHEN, S.; WANG, F. Identifying Forest Fire Driving Factors and Related Impacts in China Using Random Forest Algorithm. **Forest**, v. 11, p. 507, 2020.

MARTÍNEZ, J.; VEGA-GARCIA, C.; CHUVIECO, E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 1241–1252, 2009.

MOURA, L. C.; SCARIOT, A. O.; SCHMIDT, I. B.; BEATTY, R.; RUSSEL-SMITH, J. The legacy of colonial fire management policies on traditional livelihoods and ecological sustainability in savannas: Impacts, consequences, new directions. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 600-606, 2019.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; da FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NADEEM, K.; TAYLOR, S. W.; WOOLFORD, D. G.; DEAN, C. B. Mesoscale spatiotemporal predictive models of daily human- and lightning-caused wildland fire occurrence in British Columbia. **International Journal of Wildland Fire**, v. 29, p. 11-27, 2020.

PERESTRELLO DE VASCONCELOS, M. J.; SLLVA, S.; TOME, M.; ALVIM, M.; MLGUEL, J.; PERELRA, C. Spatial Prediction of Fire Ignition Probabilities: Comparing Logistic Regression and Neural Networks. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 67, n. 1, p. 73-81, 2001.

PIVELLO, V. R. The use of fire in cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, p. 24-39, 2011.

POLO, T. C. F.; MIOT, H. A. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 19, 2020.

PRASAD, V. K.; BADARINATHB, K. V. S.; EATURU, A. Biophysical and anthropogenic controls of forest fires in the Deccan Plateau, India. **Journal of Environmental Management**, v. 86, p. 1–13, 2008.

PRIMACK, R. **Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. In: *Biologia da Conservação*. [Org. PRIMACK, R. B; RODRIGUES, E.]. Ed. Planta, Londrina. 8ª ed. pp. 328, 2001.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, Projeto MapBiomias - é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>> Acesso em 25 set. 2020.

PROVETE, D. B.; SILVA, F. R.; SOUZA, T. G. **Estatística aplicada à ecologia usando o R**. Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós-Graduação Biologia Animal. São José do Rio Preto, SP. 2011. Disponível em <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Provete-Estatistica_aplicada.pdf> Acesso em 04/09/2021.

- SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; CARLSON, J. D.; ALEXANDER, M.; TOLHURST, K.; MORGAN, G.; SNEEUWJAGT, R.; DUDLEY, M. Current methods to assess fire danger potential. In: CHUVIECO, E. Wildland fire danger estimation and mapping. Singapore: World Scientific Publishing, 2003. p. 20–61.
- SILVA, F. R. **Populações Tradicionais e Conservação**. In: Conservação da Biodiversidade: dos conceitos às ações. [Org. PIRATELLI, J. A.; FRANCISCO, M. R.]. Ed. Technical Books Editora, 1. ed. Rio de Janeiro. pp. 272, 2013.
- SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON R. T.; HUGHES C. E. Recent assembly of the cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 106, p. 20359-20364, 2009.
- SOUZA JR et al., Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, p. 2735, 2020.
- SYPHARD, A. D.; RADELOFF, V. C.; KEULER, N. S.; TAYLOR, R. S.; HAWBAKER, T. J.; STEWART, S. I.; CLAYTON, M. K. Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape. **International Journal of Wildland Fire**, v. 17, p. 602-613, 2008.
- TIAN, X.; ZHAO, F.; SHU, L.; WANG, M. Distribution characteristics and the influence factors of forest fires in China. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 460–467, 2013.
- TYMSTRA, C.; STOCKS, B. J.; CAI, X.; FLANNIGAN, M. D. Wildfire management in Canada: Review, challenges and opportunities. **Progress in Disaster Science**, v. 5, p. 100045, 2020.
- VAN WAGNER, C. E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, **Forestry Technical Report**, v. 35, Ottawa, ON, Canadá, 1987.
- CARDILLE, J., A.; VENTURA, S. J.; TURNER, M. G. Environmental and social factors influencing wildfires in the upper Midwest, United States. **Ecological Applications**, v. 11, n. 1, p. 111-127, 2001.
- WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 390 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- ZHANG, Y.; LIM, S.; SHARPLES, J. J. Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in south-eastern Australia. Geomatics, **Natural Hazards & Risk**, v. 5705, p. 1–16, 2016.

5

CONCENTRAÇÃO DE CARBONO E MATÉRIA
ORGÂNICA NO SOLO DE VEREDAS EM
DIFERENTES ESTÁGIOS DE CONSERVAÇÃO
NA APA RIO PANDEIROS, MG

Resumo

As veredas são fitofisionomias do bioma cerrado, muito sensíveis e complexas. São caracterizadas pela presença da palmeira buriti e conhecidas como “oásis do sertão” por serem reservatórios de água perene, principalmente durante a estação seca no cerrado. Seus solos são turfosos, úmidos e ricos em matéria orgânica, potenciais armazenadores de carbono orgânico. Nas últimas décadas as veredas têm sofrido degradação devido à pressão antrópica. Considerando estes fatores, o objetivo deste trabalho foi quantificar a concentração de carbono orgânico e matéria orgânica em veredas com diferentes estágios de conservação. Os pontos de coleta consideraram todas as áreas do ambiente de vereda, desde o cerrado até a sua área arbórea onde encontra-se a palmeira buriti. Os resultados mostraram que o solo da vereda tem sim capacidade de armazenar carbono orgânico diferente do solo do cerrado *strictu sensu*, que não demonstrou essa capacidade. A concentração de carbono orgânico na área arbórea da vereda é 5 vezes maior que na sua área de transição e até 20 vezes maior que na área de cerrado *stricto sensu*. Estes resultados reforçam a necessidade de se preservar a vereda, pois o solo desta formação vegetal demonstra potencial para o estoque de carbono orgânico, e deste modo, conservar este ambiente também contribui para a prevenção das mudanças climáticas.

Palavras-chave: estoque de carbono; turfa; mudanças climáticas; incêndios florestais; cerrado

Abstract

The veredas are phytophysionomies of the cerrado biome, very sensitive and complex. They are characterized by the presence of the buriti palm and known as the “oasis of the sertão” as they are perennial water reservoirs, especially during the dry season in the cerrado. Its soils are peaty, moist and rich in organic matter, potential storage of organic carbon. In recent decades the veredas have suffered degradation due to anthropogenic pressure. Considering these factors, the objective of this work was to quantify the concentration of organic carbon and organic matter in veredas with different stages of conservation. The survey points considered all areas of the vereda environment, from the cerrado to its arboreal area where the buriti palm is found. The results showed that the soil of the vereda has the capacity to store organic carbon, different from the soil of the cerrado *stricto sensu*, which did not demonstrate this capacity. The concentration of organic carbon in the arboreal area of the vereda is 5 times higher than in its transition area and up to 20 times higher than in the cerrado area. These results reinforce the need to preserve the vereda, as the soil of this vegetational formation demonstrates the potential to store organic carbon, and thus, conserving this environment also contributes to the prevention of climate change.

Keywords: carbon stock; peat; climate changes; forest fires; cerrado

5.1 INTRODUÇÃO

No bioma Cerrado, há uma grande diversidade de ambientes associados a aspectos físico-químicos do solo, relevo e topografia (RIBEIRO; WALTER, 1998). Apesar das fitofisionomias mais comuns serem as associadas a solos mais drenados, também ocorrem áreas úmidas, como os campos úmidos, as matas de galeria inundáveis e as veredas (RATTER et al., 1997). As veredas ocorrem frequentemente nas proximidades das nascentes ou nas bordas das matas de galeria acompanhando o curso dos rios (RIBEIRO; WALTER, 1998), sendo muito importantes na manutenção dos processos biogeoquímicos que regulam a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos (SOUSA et al., 2011).

As veredas compõem um ecossistema úmido associado a solos hidromórficos e ao afloramento do lençol freático, sendo responsáveis por manter a disponibilidade e a qualidade da água, garantindo a regularização da vazão dos rios do cerrado durante os períodos mais secos do ano (SALES, 2016). Por ser uma fonte perene de água no período de estiagem, a vereda exerce importante papel como fixador do homem na região árida do norte mineiro, além de estabelecer ligações fundamentais para a manutenção da fauna e flora do cerrado e o papel de corredores ecológicos naturais (ALENCAR, 2007). Portanto, não é sem motivo que a vereda é denominada o “oásis do sertão”, apresentando uma importância que não é restrita apenas à área que ocupa.

Considerando a vereda como um ambiente complexo, Alencar (2007) definiu o ambiente de vereda da seguinte maneira.

A vereda é uma fitofisionomia do cerrado sempre associada à rede de drenagem local, que ocorre em regiões de maior umidade. Sua origem se dá por condicionantes geológicos, devido à sobreposição de camadas litológicas de permeabilidade diferenciada, que ocasiona a exsudação do lençol freático. É constituída por vales rasos de vertentes arenosas de pouca declividade, fundo plano e solos do tipo organossolos. Sua flora se caracteriza pela presença de espécies disposta em estratos. Partindo do cerrado em direção ao curso d'água existe o estrato herbáceo, seguido pelo estrato arbustivo e por fim o estrato arbóreo, que apresenta a presença da palmeira buriti (*Mauritia flexuosa*).

Ainda que exista um arcabouço de Leis, Decretos e Resoluções de diferentes esferas políticas, essas não têm sido suficientes para conter os impactos ambientais negativos que as veredas vêm sofrendo (CARVALHO, 2015). De acordo com Melo (1992), as veredas vêm sendo degradadas de várias formas como, por exemplo: construção de barragens, queimadas, drenagens, aterros e utilização das regiões de gramínea como pastagem natural.

As áreas limítrofes às veredas são representadas por formações vegetais típicas do bioma Cerrado, muitas destas áreas costumam ser agricultadas ou utilizadas como pastagens, o que acaba resultando na supressão do cerrado do entorno e promovendo o assoreamento das

veredas e modificações nos solos (GUIMARÃES et al., 2002). Além disso os incêndios florestais que têm ocorrido intensamente em áreas de Cerrado, atingem também os ambientes de vereda destruindo esta vegetação tão sensível que, diferente das outras fitofisionomias do Cerrado, não regenera facilmente após um evento de fogo.

Somando isso ao déficit de informações específicas a respeito das características físicas das veredas, encontramos um cenário de crescente degradação deste ambiente. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), as veredas são áreas úmidas de extrema importância para que possamos lidar com eventos climáticos extremos, e seus solos geralmente turfosos, com alto teor de material vegetal em decomposição contribuem com o estoque de carbono do domínio Cerrado.

Os solos turfosos são potenciais reservas de carbono orgânico na superfície terrestre e, portanto, sua estabilidade tem implicações importantes para as mudanças climáticas (SORENSEN, 1993). Mudanças ambientais persistentes, principalmente drenagem e desmatamento, ameaçam a estabilidade destes solos turfosos tornando-os suscetíveis ao fogo (PAGE; RIELEY, 1998). Os solos turfosos de regiões tropicais contribuíram para o modo de vida dos povos indígenas durante séculos, por meio do fornecimento de recursos para alimentação, abrigo, remédios e bem-estar cultural, e podem continuar fornecendo suporte para a socioeconomia das comunidades locais a longo prazo se suas características forem compreendidas e manejadas de maneira sustentável (PAGE; RIELEY; WÜST, 2006).

Apesar da importância das veredas tanto cultural quanto biológica para o Cerrado, existem ainda poucas pesquisas focadas neste ambiente. Melo (1992) caracterizou os aspectos morfológicos e evolutivos das veredas, assim como Boaventura (1988) e Alencar (2007). Ribeiro e Walter (1998) caracterizaram a vegetação das veredas. Alguns estudos de perfis do solo foram realizados pela EMBRAPA (1982) e Couto e colaboradores (1985), além de outros trabalhos disponíveis, mas que ainda não são suficientes para que possamos compreender inteiramente este ambiente tão complexo (FERREIRA, 2003; RAMOS et al., 2006; CARVALHO, 2015).

Portanto, buscamos com o presente trabalho, quantificar a concentração de carbono orgânico no solo de veredas em diferentes estágios de conservação comparado com áreas de cerrado, a fim de avaliar a capacidade do solo de vereda em estocar carbono orgânico e se o estágio de conservação deste ambiente interfere de alguma forma.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Área de Estudo

Para realizar as análises do solo de vereda, foi escolhida a Área de Proteção Ambiental Rio Pandeiros. Esta Unidade de Conservação de Uso Sustentável está inserida no Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas – Peruaçu (MSVP). Esta região foi escolhida pois além de ser a maior APA da região, é composta pelo bioma Cerrado com ocorrência de todas as suas diferentes fitofisionomias, sendo a vereda a mais importante.

A Área de Proteção Ambiental Estadual Rio Pandeiros (APARP) foi criada pela Lei Estadual nº 11.901 de 01 de setembro de 1995 e destina-se principalmente à proteção da bacia do Rio Pandeiros, que integra a bacia do Rio São Francisco. Ocupa parte dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho e possui uma área de 3.960km² sendo a maior unidade de conservação do Estado de Minas Gerais (IEF, 2013a) (Figura 5.1).

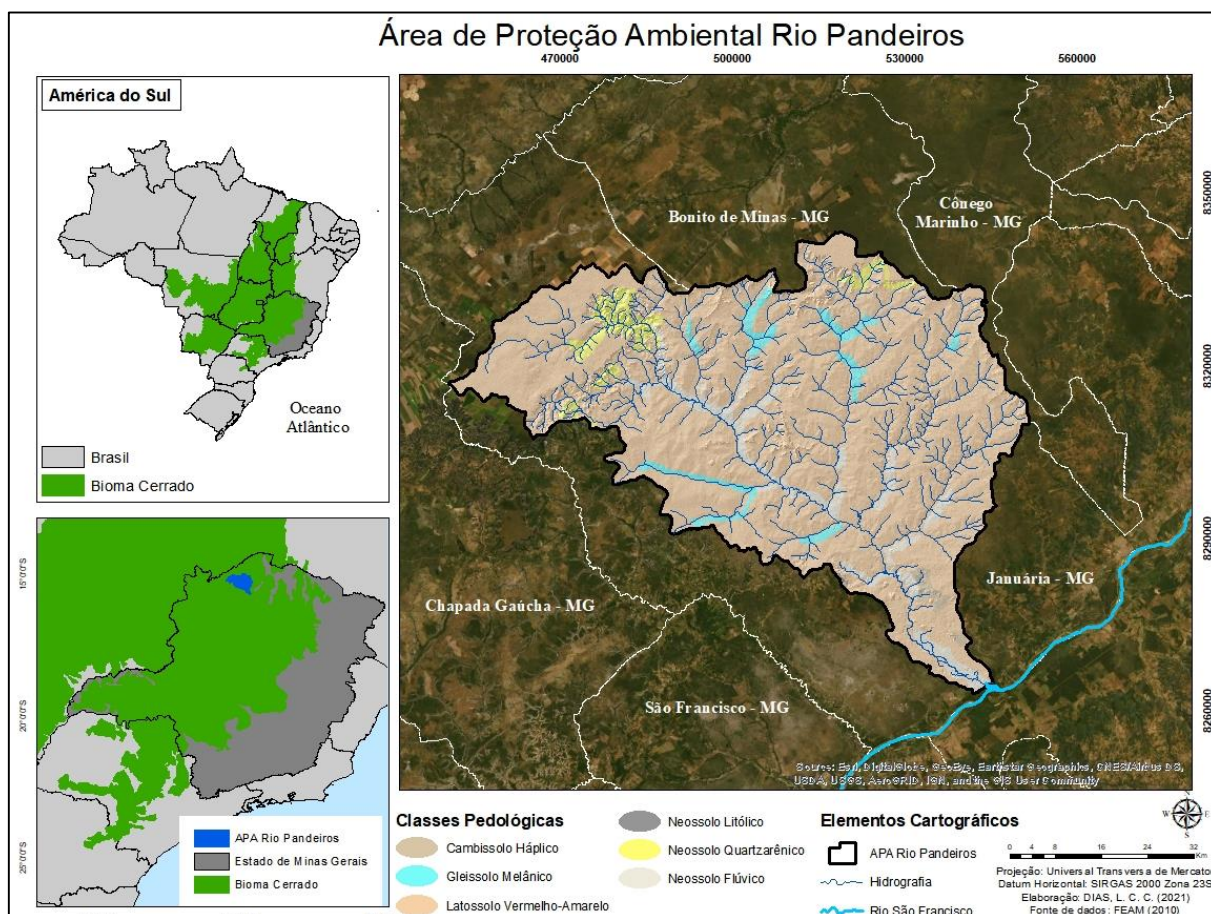


Figura 5.1: Localização da APA Rio Pandeiros no Estado de Minas Gerais e descrição do tipo de solo encontrado na região

A APA Rio Pandeiros apresenta muitas veredas por toda sua extensão. A maioria das veredas algum grau de degradação relacionado à pressão antrópica pois estão devido à presença das comunidades rurais na região, sendo em sua maioria a única fonte de água próxima. Mas

ainda existem algumas veredas preservadas e intactas na região, mantendo não apenas suas belezas cênicas, mas também suas funções na manutenção da biodiversidade.

Na região da APA Rio Pandeiros predomina na paisagem natural a classe de solo Latossolo Vermelho-Amarelo, ocupando mais de 70% do território da APA as outras classes identificadas estão distribuídas uniformemente. Esse solo é amplamente utilizado para pecuária extensiva e silvicultura (EMBRAPA, 2013). Mas pesquisas recentes mostraram que, o uso inadequado do solo da região desde 1970 com a exploração da vegetação nativa para a produção do carvão vegetal e atualmente pela agropecuária, agricultura familiar e as atividades de silvicultura, tem resultado no assoreamento e vários pontos de erosão (KONDO et al., 2017). Esta sedimentação nas encostas proveniente da erosão está soterrando os solos orgânicos das áreas de planícies, como das veredas (KONDO et al., 2016).

Em áreas de veredas além do Latossolo Vermelho-Amarelo, em alguns pontos podemos encontrar o Gleissolo Melânico, que são solos relacionados ao afloramento de água, conhecidos como solos hidromórficos. São geralmente encontrados onde o relevo é plano e é um solo que se encontra permanentemente ou periodicamente saturado por água (EMBRAPA, 2013), sendo encontrado em pequena porção no território da APA Rio Pandeiros.

5.2.2 Métodos

5.2.2.1 Coleta de dados em campo

Foi realizada uma campanha de campo na APA Rio Pandeiros no período de 02 de setembro de 2019 a 13 de setembro de 2019. Nesta campanha foi realizado o reconhecimento da área de estudo validação de pontos de interesse e a escolha de veredas para a coleta de solo para as análises físicas e químicas. Foi escolhido este período por fazer parte da estação seca, e para a coleta de solos em área de vereda, este período de maior déficit hídrico seria o ideal pois no período chuvoso o solo está saturado o que dificulta a coleta.

Em parceria com o gestor da APA Rio Pandeiros e com os funcionários da APA que auxiliaram nas atividades de campo, escolhemos quatro veredas para a realizar a coleta de solo com diferentes estágios de conservação, sendo elas:

Vereda preservada: A vereda escolhida foi a Vereda Capivara, na região nordeste da APA Rio Pandeiros no município de Bonito de Minas, situando-se na latitude 15°7'33,804"S e longitude 44°47'27,028"O. É uma vereda de grande extensão e não apresenta nenhum tipo de uso antrópico nas áreas de Cerrado do seu entorno. A sua área arbórea é bem consolidada e densa, com a presença da palmeira buriti, dispostas no interior do fragmento assim como a presença do corpo d'água e sem sinais de assoreamento, o solo é úmido com uma camada significativa de serapilheira. A área de transição da área arbórea para o cerrado limítrofe é

extensa e ampla, apresentando vegetação graminosa típica desta região. O cerrado *sensu stricto* do entorno estava conservado e sem sinais de intervenção (Figuras 5.2a e 5.2b).

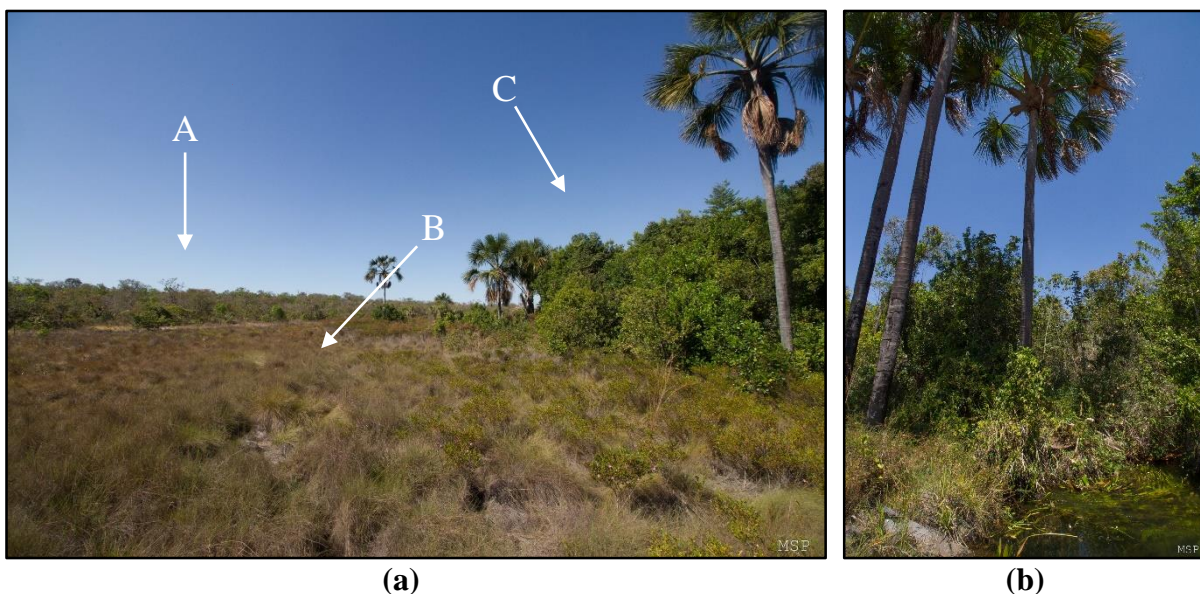


Figura 5.2: Fotografias ilustrando a Vereda Preservada. (a) destacando os diferentes estratos do ambiente de vereda: A) Área de Cerrado, B) Área de transição (gramíneas), C) Área arbórea com a presença da palmeira buriti; (b) Destaque para o corpo hídrico presente na vereda. Foto: Marcell Soares Pinheiro – set/2019

Vereda com uso antrópico: A vereda escolhida para esta categoria é a Vereda Água Doce que se localiza na área da Comunidade que leva o mesmo nome que a vereda, visto que os moradores desta área, pequenos agricultores e com pequenas criações de gado dependem da água proveniente desta vereda para as suas atividades diárias. O local de coleta situa-se na latitude 15°13'36,8"S e longitude 44°55'55,162"O, também na região do município de Bonito de Minas. Esta vereda, em sua área arbórea ainda mantém algumas características estruturais e vegetais, mas a presença antrópica resultou em modificações significativas, a camada de serapilheira é fina, o solo pisoteado pela presença do gado e o corpo hídrico apresenta sinais de assoreamento. A área de transição com o cerrado foi transformada em pasto para o gado, as gramíneas típicas do Cerrado servem de alimento para o gado, o solo é seco e bastante compactado. O Cerrado limítrofe ficou distante por causa da extensão do pasto (Figuras 5.3a e 5.3b). A coleta foi realizada na área da propriedade particular, sendo que o proprietário autorizou a realização desta atividade.

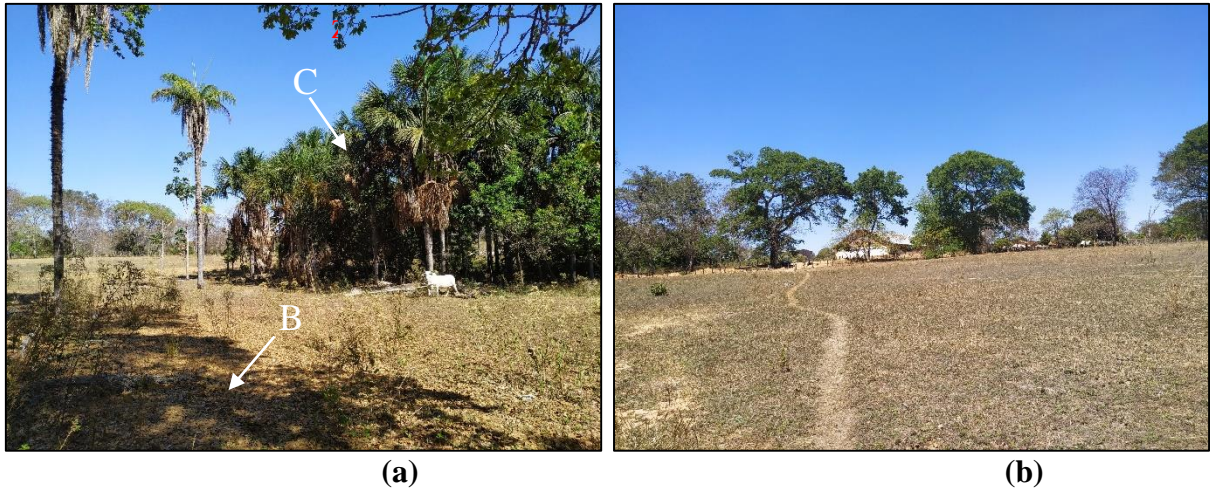


Figura 5.3: Fotografias ilustrando a Vereda com uso antrópico. (a) destacando os diferentes estratos do ambiente de vereda: B) Área de transição (gramíneas) convertida em pasto, C) Área arbórea com a presença da palmeira buriti; (b) Infraestrutura da Comunidade Rural Água Doce presente no entorno da vereda. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019

Vereda Queimada: Esta era a vereda Tabocas, que de acordo com os funcionários da APA havia queimado aproximadamente um ano antes do período da nossa coleta. Situa-se na latitude 15°14'41,235"S e longitude 44°56'6,776"O, também em Bonito de Minas. Esta vereda já não apresentava mais as características estruturais e vegetais em decorrência do incêndio que sofreu, o solo estava seco e havia muita matéria orgânica depositada proveniente dos buritis secos e da vegetação que caiu com o fogo. O local onde originalmente estaria a área arbórea, encontrava-se totalmente impactado com a ausência de sua vegetação característica, apesar de algumas palmeiras buritis ainda resistirem mesmo com a ausência de água no solo. Como já havia algum tempo desde o incêndio, na área de transição onde comumente havia gramíneas já era possível notar a entrada do cerrado *sensu stricto*. O cerrado do entorno também sofreu com este incêndio, mas já mostrava sinais de regeneração, devido à sua adaptação para o fogo (Figuras 5.4a e 5.4b). As veredas não possuem esta particularidade e por serem ambientes sensíveis, quando sofrem degradação acabam permitindo a “invasão” do cerrado.

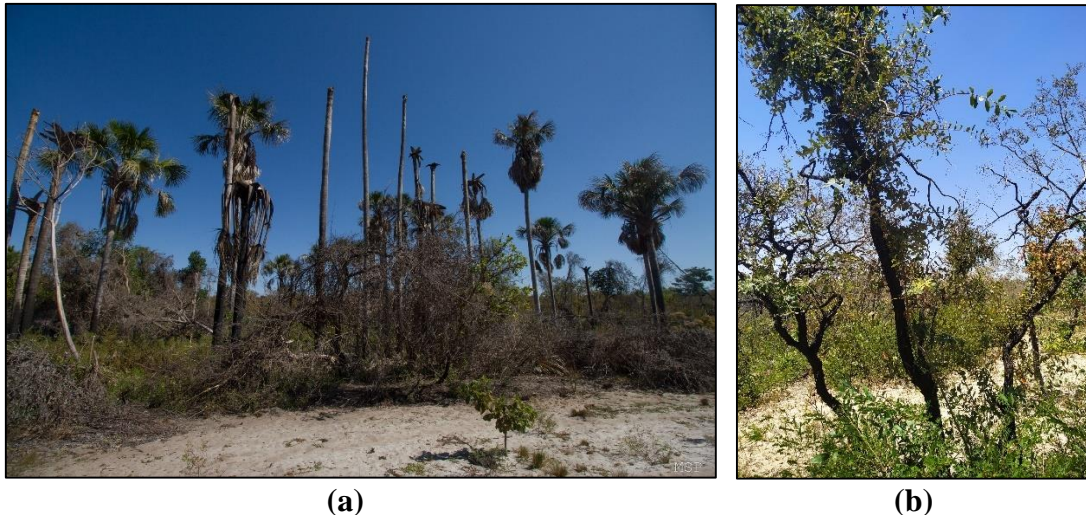


Figura 5.4: Fotografias ilustrando a Vereda Queimada. (a) visão da vegetação da vereda queimada, palmeira buriti morrendo pela ausência de água e como consequência do fogo; (b) Vegetação típica de cerrado do entorno da vereda já em recuperação do incêndio. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019

Vereda Descaracterizada: Não foi possível identificar esta vereda na região, nós a encontramos em busca ativa por uma vereda que apresentasse estas características. Situa-se na latitude 15°16'8,467"S e longitude 44°51'41,774"O na região do município de Bonito de Minas. Estamos considerando como vereda neste estudo, mas já não há mais características estruturais para tanto. Esta vereda, por motivos desconhecidos, não apresenta mais os parâmetros de uma vereda com a área arbórea com a presença da palmeira buriti e um corpo d'água que corre mais ao centro desta área arbórea. Podemos afirmar que foi uma vereda pela presença dos troncos secos da palmeira buriti, e assim conseguimos delimitar a área onde seria a área arbórea e a área de transição hoje tomada pelo cerrado (Figuras 5.5a e 5.5b).

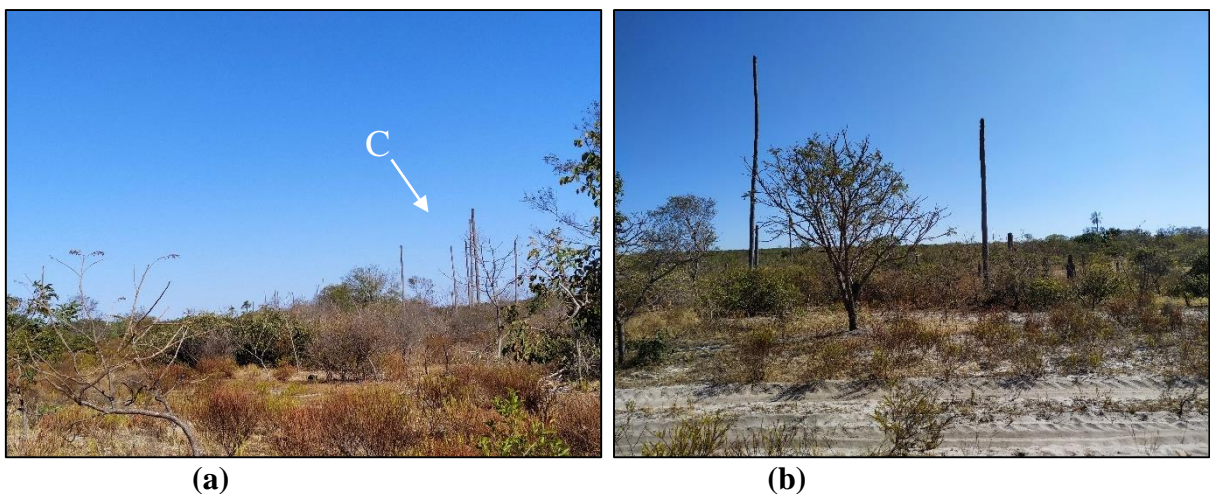


Figura 5.5: Fotografias ilustrando a Vereda Descaracterizada. (a) destacando o que deveria ser o ambiente de vereda que foi invadido pelo cerrado e só pode ser identificado pela presença do tronco da palmeira buriti - C; (b) Troncos da palmeira buriti, quando não há mais água na vereda o buriti morre assim como a vereda deixa de existir. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019

Definição dos pontos de coleta

Os pontos de coleta nas veredas foram definidos considerando que poderia haver diferença na concentração de carbono orgânico nos diferentes solos dos gradientes que compõem o ambiente de vereda.

Alencar (2007) descreve estes ambientes, que partindo do Cerrado em direção ao corpo d'água, temos o estrato herbáceo, o estrato arbustivo e por fim o estrato arbóreo com a presença da palmeira buriti na região mais saturada de água. Devido a essa diferenciação escolhemos três pontos para coleta, para que pudéssemos comparar a quantificação de carbono orgânico no solo, sendo eles:

Área arbórea da vereda: Esta é a área com a presença da palmeira buriti e mais próxima do corpo hídrico. Também é a área da vereda onde a camada de serapilheira é mais espessa devido à composição vegetal mais densa e florestal, o solo é visivelmente úmido na estação seca e no período chuvoso tende a ser encharcado e até alagado. O solo apresenta uma coloração escura devido à deposição de matéria orgânica, somado à alta concentração de água é então conhecido como solo turfoso.

Área de transição da vereda: Este ainda é um ambiente de vereda, mas que está fazendo uma transição para a vegetação de cerrado do entorno. Apresenta vegetação composta por gramíneas quase que em sua totalidade e algumas áreas arbustivas. O solo desta área também apresenta certa umidade, em menor grau que a área arbórea, mas também é uma área que fica encharcada e alagada em alguns pontos no período chuvoso. O solo ainda apresenta coloração escura, influenciada pela proximidade com a área arbórea, mas não há uma alta deposição de matéria orgânica.

Área de Cerrado: Esta é uma área de cerrado *strictu senso*, com vegetação típica de cerrado sem influência do ambiente de vereda. O solo é seco e bastante arenoso nessa região, apresentando alta drenagem o que impede a retenção da umidade como no ambiente de vereda. Não apresenta coloração escura como o solo da vereda, o que já sinaliza não haver muita concentração de matéria orgânica. Demonstra como as fitofisionomias peculiares da vereda quebram a monotonia do cerrado.

Na Figura 5.6 podemos observar a distribuição e localização dos pontos de coletas nas quatro veredas escolhidas na APA Rio Pandeiros.

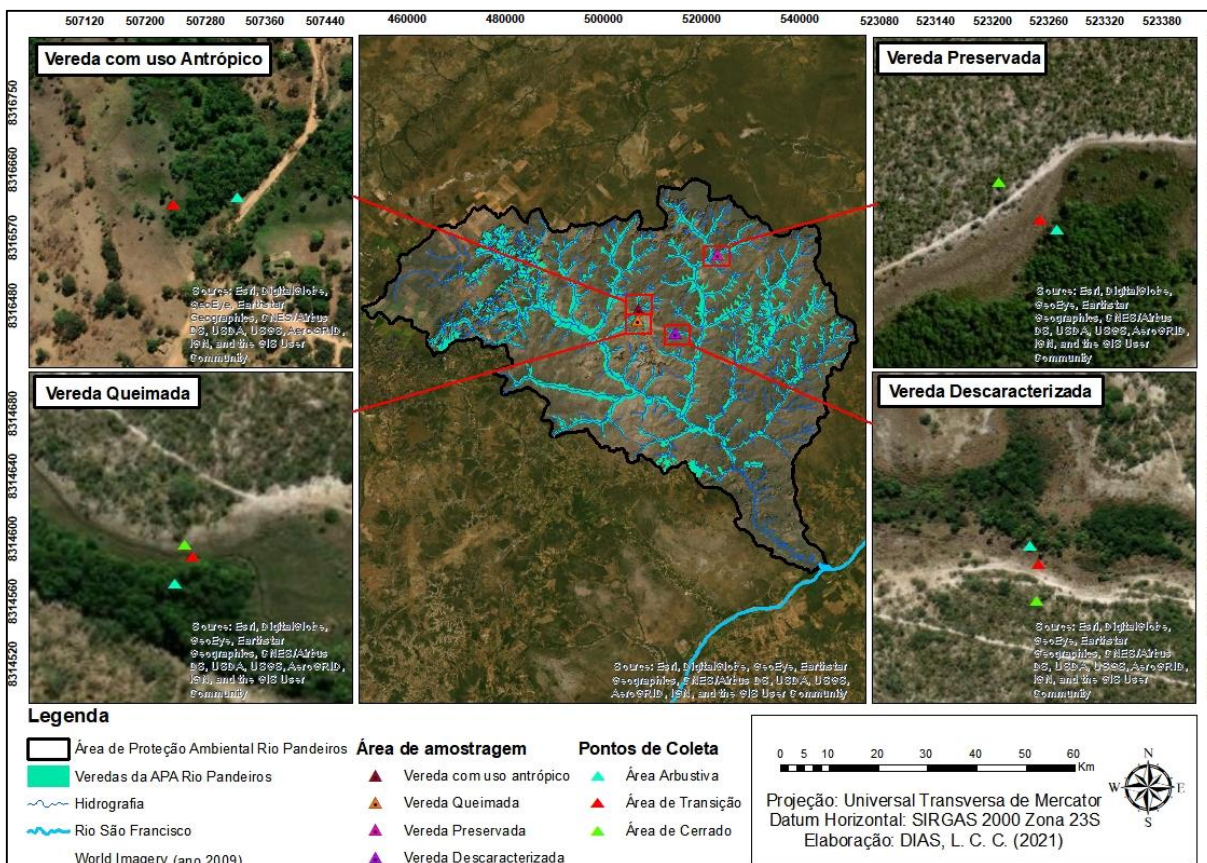


Figura 5.6: Desenho amostral da coleta de solo nas veredas da APA Rio Pandeiros. As imagens do World Imagery do Basemap do ArcGis® são do ano de 2009, apenas para critério de ilustração.

Como descrito anteriormente a coleta foi realizada na área arbórea, na área de transição da vereda e na área de cerrado do entorno, exceto na vereda com uso antrópico onde não houve coleta na área de cerrado. Na vereda de uso antrópico, o cerrado do entorno estava muito distante da vereda, devido às áreas de pastagens e da infraestrutura rural presente e por isso a coleta foi realizada apenas na área arbórea e na área de transição.

5.2.2.2 Metodologia de coleta de solo

Para a coleta utilizamos o Trado tipo castelinho para auxiliar na retirada das amostras. As amostras foram coletadas na profundidade de 10-20 cm, abaixo disso já era possível notar mudanças na textura e coloração do solo (Figura 5.7 e 5.8). Além disso, de acordo com alguns estudos a maior concentração de carbono pode ser encontrada nas camadas de 0 a 10 cm (ROMÃO, 2012; KARHU et al., 2011)

Com o auxílio do trado coletamos amostras de solo indeformada utilizando anéis volumétricos em aço-inox de 100 cm³, estes anéis foram vedados com tampas de plásticos e embrulhados em filme de PVC para preservar a umidade das amostras. Também foram coletadas outras amostras de solo deformadas, utilizando sacos plásticos Ziplock, estas

amostras foram pesadas para manter o padrão de peso entre 60-80 gramas recomendado pelo laboratório de análises de solos, e todas as amostras foram marcadas com um código de identificação (Figura 5.7 e 5.8). O tipo da coleta, se ela é indeformada ou não, interfere no tipo de análise que pode ser realizada e por isso a diferença.



Figura 5.7: Materiais utilizados na coleta de solos nas veredas da APA Rio Pandeiros. a) Trena; b) enxada; c) pá; d) marreta; e) anel volumétrico 100cm³; f) trado castelinho; g) balança; h) saco plástico. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019



**Figura 5.8: Fotografias ilustrando a coleta de solo nas veredas da APA Rio Pandeiros.
Foto: Acervo de Lívia Caroline César Dias – set/2019**

5.2.2.3 Análises das amostras de solo

As amostras foram enviadas para o Laboratório de Solos do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP), seguindo as instruções de coleta e transporte. Foram solicitadas cinco análises, duas químicas sendo elas: concentração de carbono orgânico e concentração de matéria orgânica e três físicas que foram, umidade, densidade e análise granulométrica. Para a determinação da densidade e da umidade, as amostras precisavam necessariamente ser indeformadas, portanto, foram utilizadas as amostras coletadas com anel volumétrico, enquanto que para as outras análises as amostras poderiam ser deformadas. As metodologias utilizadas nas análises pelo Laboratório de Solos da ESALQ são baseadas no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (2017).

Matéria Orgânica

Para a determinação do teor de matéria orgânica da amostra, inicialmente a amostra é submetida a um processo de combustão com aquecimento programado e perda de massa pela

incineração em mufla. Posteriormente, o teor de matéria orgânica é quantificado pela diferença entre a massa do solo seco em estufa e a massa do resíduo obtido após a incineração em mufla (EMBRAPA, 2017).

Carbono Orgânico

A determinação da matéria orgânica e do carbono orgânico foi feita empregando o método de dicromato/titulométrico. Este método consiste na oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e do aquecimento em fonte externa. O dicromato reduzido na reação durante a oxidação da matéria orgânica equivale ao carbono orgânico da amostra. O cálculo do teor de carbono orgânico é efetuado pelo volume de dicromato de potássio utilizado na oxidação da matéria orgânica, e o excesso desse dicromato é titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA, 2017).

Umidade Volumétrica da Amostra

A umidade volumétrica da amostra representa o conteúdo de água presente na amostra nas condições de coleta (anel volumétrico), sendo transportada para o laboratório em embalagem impermeável e bem vedada para não perder umidade para o ambiente. Para tanto, da forma que a amostra é recebida ela é pesada, em seguida é determinada a massa da amostra de solo seca em estufa e a massa de água presente na amostra é então obtida por diferença de pesos entre as amostras úmidas e secas (EMBRAPA, 2017).

Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo são necessárias duas etapas, primeiro a pesagem da amostra e segundo a determinação de seu volume. A massa da amostra é obtida por meio de sua pesagem após a secagem em estufa e o volume pode ser obtido pela média do volume interno do cilindro metálico utilizado para a coleta do solo. Com estes dois dados é realizado o cálculo da densidade do solo da amostra (EMBRAPA, 2017).

Análise Granulométrica

Visa a quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo. Para tanto é realizada uma dispersão mecânica e estabilização da amostra por meio de agitador em solução dispersante adequada, seguida da separação das frações por peneiramento e sedimentação, depois estas frações são secas em estufa e pesadas (EMBRAPA, 2017).

5.2.2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($<0,05$), para comparar os dados quantitativos das diferentes áreas foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e a homogeneidade foi avaliada pelo

teste de Levene. A análise estatística foi realizada utilizando o software RStudio®. Outros estudos demonstraram que esse tipo de análise estatística apresentou resultado satisfatório para trabalhos relacionados a análises do solo e quantificação de carbono orgânico no solo (SAMPAIO et al., 2012; ARAÚJO, et al., 2020; MENEZES, 2016).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletadas 22 amostras de solo, destas, 11 eram amostras de solo indeformada (anéis volumétricos) as outras 11 amostras eram deformadas, todas as amostras foram marcadas com um código de identificação (Figura 5.9). Em cada ponto que definimos previamente, foram coletadas duas amostras de solo sendo, um anel volumétrico (indeformada) e um saco plástico (deformada), resultando em seis amostras por vereda, exceto na vereda com uso antrópico que resultou em quatro amostras por ter somente dois pontos de coleta e não três como as outras.



Figura 5.9: Amostras de solo coletadas nas veredas da APA Rio Pandeiros embaladas, separadas, etiquetadas e preparadas para serem entregues ao laboratório de análises de solos. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019

5.3.1 Análises das amostras de solo

A Classe de Textura identificada nas amostras de solo das veredas escolhidas na APA Rio Pandeiros é arenosa (Tabela 5.1). Apesar da coloração escura dos solos na área arbórea da

vereda, este solo é basicamente composto por areia, como era de se esperar considerando que a classificação pedológica da APA Rio Pandeiros em sua maioria é composta por Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico.

Entretanto nas amostras de solos das áreas arbóreas, há uma maior concentração de silte e argila do que nas outras áreas. O que explica a diferença de textura do solo de vereda, para o solo do cerrado *strictu sensu*.

Na vereda com uso antrópico, em uma profundidade maior do que a que utilizamos para coletar as amostras de solo (0 a 20 cm), pudemos notar que a coloração do solo da área arbórea muda e areia predomina (Figura 5.10). isso porque nesta vereda, a compactação do solo pelo pisoteio do gado fez com que a matéria orgânica ficasse apenas em camadas superficiais, além disso esta área sofria com assoreamento e algumas pequenas erosões.

A análise granulométrica das amostras pode está descrita na Tabela 5.1.



Figura 5.10: Fotografias ilustrando os solos da área arbórea da vereda com uso antrópico em uma profundidade maior que 20 cm; evidenciando a alta concentração de areia que compõe o solo. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019

Tabela 5.1: Análise Granulométrica das amostras de solo coletadas em veredas com diferentes estágios de conservação na APA Rio Pandeiros

Vereda	Pontos de coleta	Areia Total (g.kg⁻¹)	Silte (g.kg⁻¹)	Argila (g.kg⁻¹)	Classe de Textura
Vereda Preservada	Área Arbórea	430	341	229	Médio-arenosa
	Área de Transição	765	109	126	Arenosa
	Área de Cerrado	953	22	25	Arenosa
Vereda com uso Antrópico	Área Arbórea	941	34	25	Arenosa
	Área de Transição	906	18	75	Arenosa
Vereda Queimada	Área Arbórea	703	220	77	Arenosa
	Área de Transição	960	27	13	Arenosa
	Área de Cerrado	921	28	51	Arenosa
Vereda Descaracterizada	Área Arbórea	669	228	103	Arenosa
	Área de Transição	906	18	76	Arenosa
	Área de Cerrado	922	27	50	Arenosa

O teor de matéria orgânica e carbono orgânico estão diretamente relacionados, quando avaliamos estes parâmetros em função do estágio de conservação da vereda, neste estudo não obtivemos diferença significativa. Entretanto, quando relacionamos estes fatores com a localização dos pontos de coleta (área arbórea, área de transição ou cerrado) podemos notar uma mudança interessante.

A quantificação de matéria orgânica e carbono orgânico no solo e a determinação da umidade, densidade e análise granulométrica da amostra estão descritos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Determinação da matéria orgânica, carbono orgânico, densidade e umidade das amostras de solo coletadas em veredas com diferentes estágios de conservação na APA Rio Pandeiros

Vereda	Pontos de coleta	Matéria orgânica (g.kg ⁻¹)	Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)	Densidade do solo (g/cm ³)	Umidade volumétrica da amostra (cm ³ /cm ³)
Vereda Preservada	Área Arbórea	251	146	0,87	0,4073
	Área de Transição	41	24	1,12	0,2502
	Área de Cerrado	12	7	1,52	0,025
Vereda com uso Antrópico	Área Arbórea	25	14	1,5	0,1439
	Área de Transição	16	9	1,54	0,0617
Vereda Queimada	Área Arbórea	195	113	0,68	0,2418
	Área de Transição	3,9	1	1,47	0,006
	Área de Cerrado	11	6	1,54	0,0219
Vereda Descaracterizada	Área Arbórea	216	125	0,81	0,0853
	Área de Transição	16	9	1,52	0,0271
	Área de Cerrado	8	5	1,53	0,0226

Quanto à densidade do solo, não foram observadas grandes variações entre as veredas, sendo que podemos notar o mesmo padrão para as quatro veredas escolhidas. Neste estudo a densidade demonstrou uma tendência conforme se aproxima da área de cerrado, sendo menor na área arbórea da vereda e com valores similares na área de transição e no cerrado. Segundo Reinert e colaboradores (2008), a menor densidade na área arbórea pode estar relacionada ao maior teor de matéria orgânica e maior concentração de raízes superficiais.

Já a umidade volumétrica da amostra de solo é possível observar que para a vereda preservada, a vereda com uso antrópico e a vereda queimada, a área arbórea é a que apresenta a maior umidade. Isso devido à presença do corpo d'água nesta área, além disso o solo nesta região é a turfa que pode ter exsudação do lençol freático. Nas outras áreas a umidade é baixa como é esperado para o solo de arenoso alta drenagem do cerrado (ANDRADE; STONE, 2011). A vereda descaracterizada apresentou baixa umidade em todos os pontos, provavelmente por não apresentar mais as estruturas de vereda e estar mais semelhante ao cerrado *strictu sensu*.

Como podemos observar a partir dos resultados quantitativos das análises das amostras de solo em relação ao carbono orgânico e à matéria orgânica, não há uma diferença significativa entre a concentração nas amostras da vereda preservada, da vereda queimada e da vereda

descaracterizada. Podemos notar nestas três veredas que os resultados foram semelhantes para os três pontos de coleta (Área arbórea, área de transição e área de cerrado), ou seja, os mesmos pontos em veredas diferentes apresentam uma proporção semelhante de carbono orgânico. Todavia a vereda com uso antrópico apresentou um padrão muito diferente das outras três veredas no ponto de coleta da área arbórea.

No que diz respeito aos pontos de coleta, era esperado que a área arbórea apresentasse uma maior concentração de matéria orgânica devido à cor escura desse solo (Figura 5.11). Como esperado a área arbórea da vereda preservada apresentou as maiores concentrações de matéria orgânica e carbono orgânico no solo, pelo fato desta ser uma vereda sem interferência antrópica e apresentar toda estrutura vegetal preservada. A área arbórea desta vereda apresentava uma vegetação mais densa, diversa, um solo bastante úmido e coberto por uma camada espessa de serapilheria. Essa deposição de biomassa em decomposição somada a todos os outros fatores descritos contribuem para este solo rico em matéria orgânica e carbono orgânico.

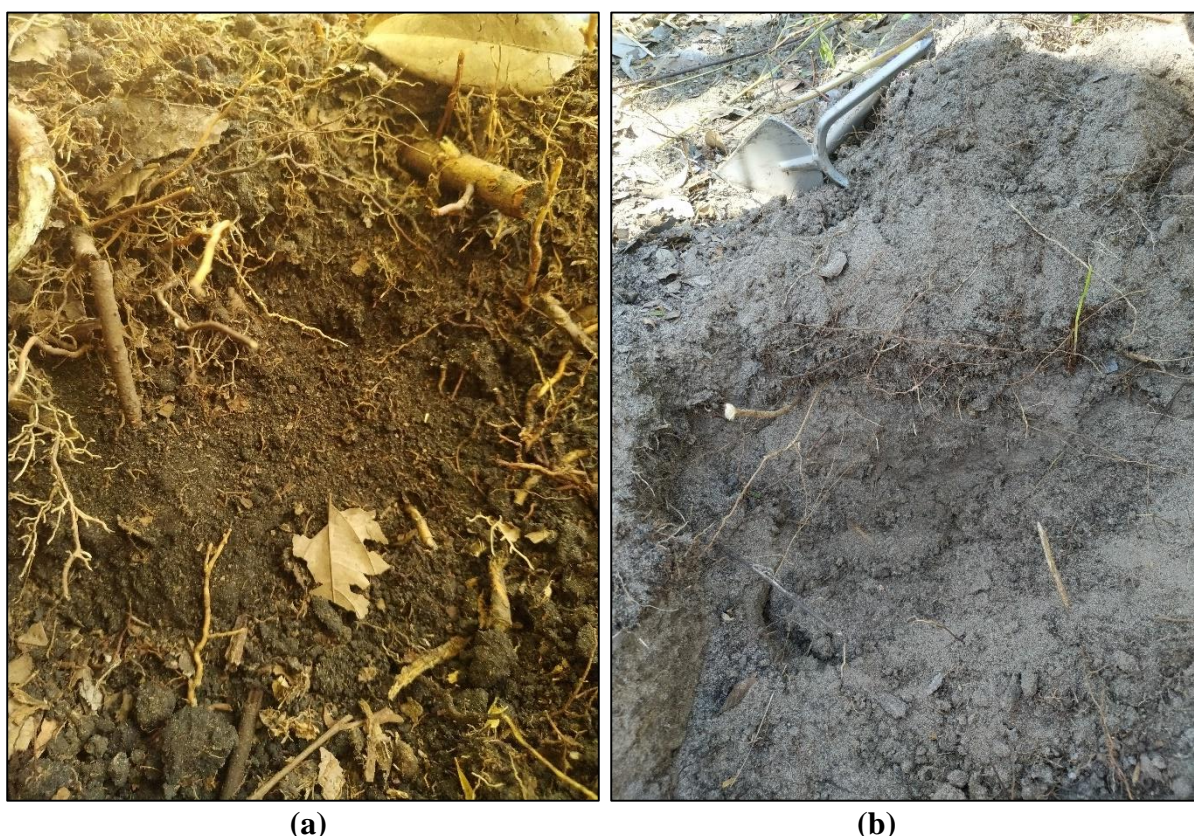


Figura 5.11: Fotografias ilustrando os solos do ambiente da Vereda Preservada em uma profundidade de 0 a 20 cm; a) solo da área arbórea versus b) solo da área de cerrado.

Foto: Livia Caroline César Dias – set/2019

Porém, a área arbórea da vereda queimada e da vereda descaracterizada apresentaram valores altos de matéria orgânica e carbono orgânico também, ainda que menores que os valores da preservada. No caso da vereda queimada, havia muito material em decomposição presente na área desta vereda (Figura 5.12). Diferente da vereda preservada que apresentava na superfície do solo a biomassa que se perde diariamente naquela vegetação, neste caso era toda a vegetação que foi destruída pelo fogo e era incapaz de se regenerar como no cerrado e estava em um estágio de decomposição lenta cumprindo o ciclo final. Assim como na vereda descaracterizada, que já não apresentava tanta matéria orgânica depositada, apenas a lembrança do que um dia foi uma palmeira buriti, um solo seco, mas ainda assim uma alta concentração de matéria orgânica.



Figura 5.12: Fotografias ilustrando a deposição de matéria orgânica na Vereda Queimada resultante do incêndio florestal. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019

A área arbórea da vereda com uso antrópico apresentou teores muito baixos de matéria orgânica e carbono orgânico no solo, mas esta vereda era utilizada pelos moradores locais para atividades de agricultura e pequena criação de gado. Podemos inferir, a partir da visita a campo e destes resultados que o pisoteio do gado prejudicou o solo da vereda causando compactação que acabava diminuindo a camada de matéria orgânica superficial. De acordo com Dias e colaboradores (2017), a compactação também diminui a qualidade do solo e a porosidade, o que prejudica o escoamento da água das chuvas e faz com que os nutrientes dos solos sejam perdidos.

A interferência humana na vereda parece ser mais prejudicial para sua conservação e conseqüentemente a preservação desse estoque de carbono no solo, do que eventos negativos possivelmente naturais (fogo, déficit hídrico). Esses valores demonstram que, a vereda apesar de ser um ambiente extremamente sensível é também muito complexo, e que a sua capacidade no estoque de carbono é importante. Para que possamos responder perguntas como: Em alguns

anos quando esta área for analisada novamente será que iremos obter um resultado diferente? Sem intervenção humana, o carbono permanece no solo da vereda por quanto tempo?

5.3.2 Análise estatística

A seguir podemos observar os resultados da análise de variância (ANOVA) realizada para comparar os resultados de cada uma das áreas e analisar se eles eram significativamente diferentes (Tabela 5.3 e 5.4).

Foram realizadas comparações entre os resultados de cada uma das análises dos solos com a localização dos pontos de coleta, para saber se a concentração de carbono orgânico no solo da área arbórea era significativamente diferente da concentração no solo da área de cerrado por exemplo.

Tabela 5.3: Análise de variância (ANOVA), teste de homogeneidade de Levene e teste de normalidade de Shapiro-Wilk

	F value	Pr (>f)	Levene	Shapiro-Wilk
Matéria orgânica (g.kg⁻¹)	8,031	0,0122	0,259	0,006026
Carbono orgânico (g.kg⁻¹)	7,944	0,0126	0,2602	0,006611
Densidade do solo (g/cm³)	5,061	0,038	0,4533	0,1899
Umidade volumétrica da amostra (cm³/cm³)	2,983	0,108	0,2371	0,1421

Os resultados demonstram que a concentração da matéria orgânica, do carbono orgânico e a densidade do solo são diferentes para cada uma das áreas de coleta (área arbórea, área de transição e área de cerrado) pois apresentam o valor de $p < 0,05$. Para a umidade volumétrica da amostra não foi possível provar essa diferença entre os pontos de coleta.

Entretanto, o teste de Levene demonstrou que todas as variâncias são homogêneas ($p > 0,05$), ou, seja, não há uma variação grande no padrão das amostras, sendo o carbono orgânico distribuído de forma semelhante entre todas as áreas por exemplo.

Os dados de carbono orgânico e matéria orgânica nas diferentes áreas passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, comprovando que os dados se comportam de forma normal ($p < 0,05$), enquanto que os dados de densidade e umidade se comportam de forma não normal ($p > 0,05$).

Tabela 5.4: Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade

	Matéria orgânica	Carbono orgânico	Densidade do solo	Umidade volumétrica da amostra
	P adj			
Área de Transição X Área Arbórea	0,0207764	0,0211191	0,0860202	0,2585853
Área de Cerrado X Área Arbórea	0,0229646	0,0238545	0,0463588	0,1074705
Área de Transição X Área De Cerrado	0,9809806	0,9840435	0,8214622	0,7418481

O teste de Tukey, observando os valores do $P \text{ adj} < 0,05$, confirmou que a área arbórea da vereda é diferente da área de cerrado e da área de transição no que diz respeito à concentração de carbono orgânico e matéria orgânica principalmente, enquanto que estas duas últimas apresentam mais semelhanças entre si e não foram consideradas diferentes pelo teste de Tukey.

Estes resultados estatísticos não foram capazes de nos mostrar se, o estágio de conservação da vereda interfere na concentração de carbono orgânico e matéria orgânica, apesar de estar demonstrado nos resultados quantitativos. Para tanto seriam necessárias novas campanhas de campo com mais áreas amostrais.

Estas análises estatísticas ajudam a compreender a importância das veredas para o estoque de carbono, visto que pudemos provar que a concentração de carbono tem sim relação com o solo turfoso da vereda que se encontra na sua área arbórea/arbustiva próximo ao corpo d'água e onde há a presença da palmeira buriti. De acordo com Neves (2011), a palmeira buriti é a principal fonte de entrada de carbono no solo, pois produz uma grande quantidade de biomassa e suas folhas são ricas em material fibroso de difícil decomposição. A associação entre a produção de biomassa pelo buriti e a saturação constante por água garante um fluxo de carbono superior ao das demais áreas (SALES, 2016).

Nas últimas décadas, uma grande quantidade do estoque de carbono de solos turfosos tropicais tem sido convertida em fonte de carbono por meio do desmatamento, mudanças no uso da terra e incêndios florestais (PAGE; RIELEY; WÜST, 2006). Essa transferência de uma

grande quantidade de carbono para a atmosfera impacta diretamente nos processos de mudanças climáticas (PAGE; RIELEY; WÜST, 2006).

Preservar as veredas, significa preservar primariamente o cerrado que também contribui com o estoque de carbono total. Os solos do cerrado são responsáveis por armazenar mais de 90% do carbono abaixo da serapilheira, em profundidades de até 3 metros (PAIVA; FARIA, 2007).

5.4 CONCLUSÕES

As veredas são uma fitofisionomia do bioma Cerrado extremamente sensível e complexa, devido a isso ainda hoje existem poucos estudos que descrevam detalhadamente estes ambientes. Além de serem de grande importância para a biodiversidade, também possui um importante papel cultural e como recurso para populações locais.

As veredas da APA Rio Pandeiros sofrem com diferentes pressões antrópicas, como drenagens, pastagens, pisoteio de gado e principalmente os incêndios florestais. Por ser um ambiente sensível, a vereda não se regenera facilmente como o cerrado e pequenas perturbações podem causar o seu desaparecimento.

As amostras de solos do ambiente de vereda e do cerrado apresentam textura arenosa, que corresponde com os tipos de solos mais encontrados na APA Rio Pandeiros que é o Latossolo vermelho-Amarelo e o Neossolo Quartzarênico.

Devido ao número pequeno de amostras de solo e de repetições consideramos essa análise preliminar, entretanto obtivemos resultados satisfatórios comprovados pelos testes estatísticos. O solo da área arbórea da vereda tem a capacidade de armazenar uma maior concentração de carbono do que a área de transição e a área de cerrado. Isso reforça a necessidade da preservação das veredas, considerando-as importantes aliadas na prevenção das mudanças climáticas além de seus outros atributos. Os resultados não demonstraram relação entre o estágio de conservação da vereda e a concentração de carbono.

Preservar veredas significa conservar o Cerrado primariamente, um bioma que vem sofrendo com o avanço da fronteira agrícola perdendo grandes áreas para pastagens e agriculturas sem que a sua importância para o meio ambiente seja considerada.

Os incêndios florestais da forma como tem acontecido, são uma das maiores ameaças para o cerrado e, principalmente para as veredas, que não tem a resiliência do cerrado *stricto sensu*. Pois destroem rapidamente este ambiente e possibilitam que o carbono estocado seja devolvido para a atmosfera. Há tanta matéria orgânica no solo da vereda que em casos de incêndio resulta no fogo subterrâneo que pode durar semanas.

É imprescindível a tomada de decisões e o planejamento de ações para traçar estratégias a fim de reduzir os impactos que a vereda e o cerrado vem sofrendo, principalmente os incêndios florestais. É necessário envolver a população por meio de atividades de educação ambiental, a fim de atingir o objetivo que é preservar este ambiente tão peculiar.

Para resultados mais robustos, que reforcem os obtidos neste estudo seria necessário um número maior de amostras e repetições. Infelizmente por questões de logística, novas campanhas de campo não puderam ser realizadas. Portanto fica como sugestão futura que as análises sejam repetidas nas mesmas localidades e os resultados acompanhados.

5.5 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, T. S. **Proposta metodológica para delimitação e classificação do ambiente de vereda utilizando imagens orbitais**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- ANDRADE, R. D.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 111-116, 2011.
- ARAÚJO, E. C. G.; SILVA, T. C.; COELHO, J. B. M.; NETO, E. B.; BARRETO, L. P. Determinação do teor de carbono orgânico total em amostra vegetal pelo método volumétrico com diferentes volumes de ácido sulfúrico. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 50-53, 2020.
- BOA VENTURA, R. S. Contribuição aos estudos sobre evolução das veredas. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 3., 1978, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: AGB/ UFC, 1978.
- CARVALHO, A. C. A. **Análise ambiental de um subsistema de vereda em unidades de conservação: reserva ecológica do IBGE - Recor e Estação Ecológica de Águas Emendadas - ESECAE / DF**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, 2015.
- COUTO, E. G.; RESENDE, M.; REZENDE, S. B. Terra ardendo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 16, p. 48-57, 1985.
- DIAS, L. C. C.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; A influência das Atividades Antrópicas na Paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG-Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 2, p. 85-105, 2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. [Editores: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.], 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. 577 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- FERREIRA, I. M. **O afogar das Veredas: uma análise comparativa espacial e temporal das veredas do Chapadão de Catalão (GO)**. 2003. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2003.
- GUIMARÃES, A. J. M.; ARAÚJO, G. M.; CORR A, G. F. Estrutura fitossociologia em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG. **Acta Botanica Brasilica**, v.16, n.3, p. 317-329, 2002.
- IEF. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. **APA Pandeiros**. 2013a. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/3306-nova-categoria/1769-apa-pandeiros->> Acesso em: 13 abr. 2021.
- KARHU, K.; WALL, A.; VANHALA, P.; LISKI, J.; ESALA, M.; REGINA, K. Effects of afforestation and deforestation on boreal soil carbon stocks - Comparison of measured C stocks with Yasso07 model results. **Geoderma**, v.164, p.33-45, 2011.
- KONDO, M. K.; ALVES, P. F. S.; SILVA, R. F.; FERREIRA, G. V.; OLIVEIRA, H. F. A.; MAIA, V. M. Levantamento e Vulnerabilidades dos solos na bacia do Rio Pandeiros. Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. SBCS: Belém/PA, 2017. 2p.
- KONDO, M. K.; ALVES, P. F. S.; OLIVEIRA, W. F.; FERREIRA, V. G.; SANTOS, S. R. Relações entre uso do solo e os recursos hídricos na bacia do Rio Pandeiros. Anais da XX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. SBCS: Curitiba/PR, 2016. 5p.

- MELO, D. R. **As veredas nos planaltos do noroeste mineiro**: caracterização pedológica e os aspectos morfológicos e evolutivos. 1992. 218 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Rio Claro, Rio Claro, 1992.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Áreas úmidas para a redução de risco de desastres. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/imagens/biodiversidade/biodiversidade_aquatica/DiaMundial-2017/areas_umidas_que_nos_ajudam_a_lidar_com_eventos_climaticos_extremos_web.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.
- NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas, em diferentes estádios de conservação, na Apa do Rio Pandeiros, MG**. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
- PAGE, S.; RIELEY, J. Tropical peatlands: A review of their natural resource functions with particular reference to Southeast Asia. **International Peat Journal**, v.8, p. 95-106, 1998.
- PAGE, S.; RIELEY, J.; WÜST, R. Lowland tropical peatlands os Southeast Asia. In: Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climate Changes. [Org. MARTINI, I. P.; MASTÍNEZ CORTIZAS, A.; CHESWORTH, W.], 1. Ed. Elsevier, pp. 606, 2006.
- PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. de. Estoque de carbono do solo sob Cerrado *Sensu Stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, p. 59-65, 2007.
- RAMOS, M V. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F; VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; SILVA, M. L. N. Veredas do Triângulo Mineiro: Solos, Água e Uso. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 283-293, 2006.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, Exeter, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, M. AITA.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma cerrado**. In: Cerrado: ambiente e flora. [Editores: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.], ed. EMBRAPA, p. 89-166, 1998.
- ROMÃO, L. R. **Carbono orgânico em função do uso do solo**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- SALES, G. B. Dinâmica da serapilheira e estoques de nutrientes, carbono e nitrogênio em solos de veredas na APA do Rio Pandeiros. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2016.
- SAMPAIO, T. F.; FERNANDES, D. M.; GUERRINI, I. A.; BOGIANI, J. C.; BACKES, C. Comparação entre métodos para determinação de carbono orgânico em amostras de solo mensuradas por volume ou massa. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 517-523, 2012
- SORENSEN, K. W. Indonesian peat swamp forests and their role as a carbon sink. **Chemosphere**, v. 27, p. 1065–1082, 1993.
- SOUSA, R. F.; NASCIMENTO, J. L.; FERNANDES, E. P.; LEANDRO, W. .M; CAMPOS, A. B. Matéria Orgânica e textura do solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 861-866, 2011.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Mosaico de Áreas Protegidas Sertão Veredas-Peruaçu por meio do seu Plano de Desenvolvimento Territorial de Base Conservacionista propõe a conservação, gestão e manejo de forma integrada das Unidades de Conservação que o compõem. As Áreas de Proteção Ambiental por permitirem o uso sustentável de seus recursos, propiciam um ambiente favorável para este tipo de manejo envolvendo a população local, gestores e comunidade científica.

Entretanto, por serem regiões extensas e o orçamento das instituições ambientais, federais e estaduais, reduzido, a fiscalização destas áreas fica comprometida. Além disso, não existem apenas pequenas comunidades rurais que vivem de agricultura familiar nas APA's do norte de Minas Gerais, parte do território das APA's é ocupado por fazendas de grandes latifundiários que mantêm suas terras trancadas a cadeados e com seguranças particulares.

As APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu foram criadas principalmente para contribuir com a preservação das bacias hidrográficas dos rios que compõem os nomes destas APA's. Isto porque desde a década de 1970 este território vem sofrendo com o avanço da fronteira agrícola, foram criadas como Unidades de Conservação de Uso Sustentável a fim de atender também as necessidades das comunidades locais já existentes. Estas comunidades carregam a cultura da região e suas tradições, conhecimentos tradicionais e medicinais sobre os recursos naturais presentes e devem ser consideradas em ações de conservação e manejo das áreas.

As atividades antrópicas nestas áreas, em pequena ou grande escala, têm causado grandes impactos negativos no ecossistema local. Desmatamentos, assoreamentos de rios, erosões, drenagem de veredas e principalmente incêndios florestais. Estes incêndios florestais tem aumentado em intensidade consideravelmente nas últimas décadas e ocorrido com mais frequência. Diversos fatores podem estar relacionados à ocorrência de incêndios florestais, condições climáticas, topografia, atividades antrópicas, cobertura vegetal e infraestrutura humana.

Para identificar quais fatores são determinantes para ocorrência de incêndios florestais em uma região, e tentar prever esta ocorrência para planejar ações de prevenção e combate a incêndios florestais já existem diversas técnicas disponíveis. A utilização de ferramentas de sensoriamento remoto combinadas a técnicas de *machine learning* tem se mostrado muito eficiente na previsão de áreas suscetíveis a ocorrências de incêndios florestais em vários estudos ao redor do mundo.

A regressão logística é uma técnica de *machine learning* muito utilizada na elaboração de modelos de suscetibilidade a ocorrências de incêndios florestais. Em que se associa a uma

variável resposta com diversas variáveis explicativas, com o objetivo de explicar a ocorrência do determinado evento. Neste estudo nossa variável resposta foram os focos de incêndios florestais disponibilizados pelo INPE no período de 1999 a 2019, e as variáveis explicativas foram: a) Climáticas: temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento; b) Umidade de combustível no solo: FFMC, DMC, DC; c) Ambientais: altitude, declividade, NDVI, distância de hidrografias; d) Antrópicas: distância de rodovias, distância de habitações, densidade populacional, uso e cobertura do solo.

Foram desenvolvidos os modelos com diferentes conjuntos de variáveis para cada uma das APA's. O modelo apenas com variáveis climáticas mostrou, que são necessárias mais informações para prever os incêndios nas APA's, mas as variáveis climáticas exercem um papel determinante na ocorrência de incêndios florestais. Isso significa que o clima tem influência na ocorrência dos incêndios florestais, mas para que ocorra a ignição do fogo são necessários outros fatores. Neste modelo as três APA's apresentaram resultados semelhantes.

Para os modelos que consideravam as variáveis ambientais, antrópicas e climáticas foram utilizados os focos de incêndios de 2005 a 2019. Desta forma foi possível concluir que o Modelo C (variáveis ambientais/antrópicas), entre todos os modelos foi o que apresentou os resultados menos satisfatórios que evidenciavam um baixo poder de previsão do modelo. Demonstrando que apenas este grupo de variáveis também não era suficiente para explicar a ocorrência de incêndios florestais nas APA's do Mosaico Sertão Veredas-Peruaçu.

Já para o Modelo D que acrescentou as variáveis climáticas ao grupo e o Modelo E que considerava todos conjuntos de variáveis obtivemos excelentes resultados, evidenciando que a previsão de ocorrência de incêndios florestais é uma metodologia complexa. Além da necessidade de um alto volume de dados, também é necessário entender as características da região e associar diferentes fatores. Todas as variáveis sugeridas foram utilizadas nas análises, mas ao elaborar o modelo final de cada APA um grupo de variáveis com melhor desempenho e performance do modelo, foi escolhido pelo algoritmo.

É importante ressaltar que a metodologia pode e deve ser replicada, assim como a utilização das variáveis. Entretanto, cada área de estudo apresentará as combinações de variáveis que melhor representem a realidade daquela área de estudo.

Os mapas de áreas suscetíveis a ocorrências de incêndios florestais podem auxiliar os gestores das Unidades de Conservação no planejamento da prevenção e do combate a incêndios florestais, a partir destes é possível identificar as áreas de maior risco e que necessitam de maior atenção.

Uma das grandes consequências dos incêndios florestais nesta região é a perda de áreas de veredas, que são um ambiente importantíssimo e sensível presente no cerrado. O solo das veredas é turfoso, úmido, rico em matéria orgânica com alto potencial para o estoque de carbono. Os resultados deste trabalho também demonstraram que, o solo da área arbórea de veredas presentes na APA Rio Pandeiros, possui uma alta concentração de carbono orgânico e matéria orgânica em comparação com os solos do cerrado e da área de transição da vereda (gramínea).

A degradação das veredas nesta região vem se intensificando ao longo do tempo, e a ocorrência dos incêndios florestais é um dos fatores mais preocupantes. Resultados como estes demonstram ainda mais a importância das veredas não só para o seu ecossistema, mas também por auxiliar na prevenção das mudanças climáticas devido à capacidade dos seus solos em estocar carbono.

É necessário aumentar os esforços de conservação nestas áreas e em todas áreas de cerrado que estão sendo cada vez mais dizimadas. O fogo no cerrado tem uma importância histórica e natural de adaptação neste ambiente, mas na frequência em que tem ocorrido não há tempo para uma recuperação completa da vegetação antes de ser acometida por outro incêndio.

No planejamento de prevenção a incêndios florestais, ações de manejo do fogo podem ser consideradas nestas APA's para reduzir o acúmulo de biomassa onde ocorrer. É necessário maior investimento para contratação de mais funcionários para realizar a fiscalização e manutenção dos aceiros. As comunidades locais devem ser envolvidas em atividades de educação ambiental para que saibam como proceder dentro de uma Unidade de Conservação e os grandes latifundiários devem ser cobrados de suas obrigações legais.

Os gestores das APA's Cochá e Gibão, Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu fazem um grande esforço para gerir estas áreas com pouco recurso, poucos funcionários e muita resistência encontrada no contato com os grandes fazendeiros. Mantém um contato constante com os representantes das comunidades locais, além da existência do Conselho Consultivo do MSVP que promove reuniões periódicas entre gestores, comunidade e órgãos municipais.

Os resultados deste trabalho podem orientar políticas públicas locais a partir de um viés conservacionista, considerando as fragilidades desta região e oferecendo subsídio para que o poder público busque ações integrativas visando a conservação deste ambiente.

7 APÊNDICE

7.1 Pacotes do software R utilizados

Tabela 7.1: Pacotes do R e suas versões, utilizados nas modelagens deste estudo

Nome	Versão
boot	1.3-25
tibble	3.1.3
glmnet	4.1-2
coefplot	1.2.7
MuMIn	1.43.17
sjPlot	2.8.9
performance	0.7.3
dplyr	1.0.7
pROC	1.17.0.1
graphics	4.0.3
caret	6.0-88
rlist	0.4.6.1

7.2 Exemplo da Matriz de dados utilizada nos modelos

1	HAS_FIRE	Elevation	Slope	NDVI	Road	Hydrogra	Pop_dens	Occupatior	LULC	Temperat	RH	Precipitat	Wind Spe	FMC	DMC	DC	year
65	1	727,666	1,66829	0,378	2312,18	3127,63	5,75277	2610,314	15	28,56856	30,78409	0	10,33462	92,38625	117,2322	957,758	2005
66	1	814,098	0,115094	0,4894	4719,32	1252,31	0,292206	5829,472	4	28,56856	30,78409	0	10,33462	92,38625	117,2322	957,758	2005
67	1	763,293	4,0579	0,5174	367,322	475,832	5,43856	990,2123	4	28,05189	34,73485	0	16,09689	92,43639	120,6209	964,0114	2005
68	1	737,423	8,17412	0,5006	573,582	155,009	5,43856	487,3457	4	28,05189	34,73485	0	16,09689	92,43639	120,6209	964,0114	2005
69	1	772,503	3,1836	0,3935	590,257	980,364	5,43856	932,5356	4	28,56856	30,78409	0	10,33462	92,38625	117,2322	957,758	2005
70	1	738,59	0,715344	0,3029	1135,02	1462,35	5,75277	1336,554	15	27,78485	33,68561	0	9,207159	91,97175	113,5749	951,4117	2005
71	1	706,485	4,18304	0,3715	853,363	3806,9	5,75277	121,5992	15	29,425	34,17803	0	11,14337	92,39822	133,8245	988,8682	2005
72	1	757,009	4,81266	0,3128	490,182	815,712	5,75277	275,2818	4	27,68485	39,7197	0	10,9697	91,35547	99,84698	926,5383	2005
73	1	742,718	0,422055	0,3904	2287,27	2549,42	5,75277	1555,151	4	28,12841	37,32576	0	14,72148	91,01516	78,82057	883,8996	2005
74	1	804,835	0,925153	0,5892	2818,01	1629,44	6,43874	3254,056	4	26,37235	52,73106	0,040347	10,45451	87,76537	60,97088	846,7071	2005
75	1	727,497	2,45404	0,4455	1913,26	1553,66	5,75277	523,0178	4	29,425	34,17803	0	11,14337	92,39822	133,8245	988,8682	2005
76	1	832,148	0,211841	0,5899	109,608	2535,6	0,012309	6313,869	4	31,09129	34,20455	0,010022	10,28409	92,87	148,7904	1015,101	2005
77	1	776,234	0,449273	0,465	2116,88	3496,11	5,75277	2252,458	4	28,12841	37,32576	0	14,72148	91,01516	78,82057	883,8996	2005
78	1	506,404	0,796974	0,3759	303,998	151,999	7,64196	257,9508	4	22,68523	52,95076	1,67E-13	11,9136	88,5369	161,7109	746,8593	2005
79	1	459,887	1,72186	0,3715	2804,86	821,357	7,64196	571,1602	15	28,35152	33,63258	0	10,28625	91,77668	103,3287	932,8456	2005
80	1	714,819	4,46589	0,4437	3722,21	60,7996	1,01067	3978,542	4	27,78485	33,68561	0	9,207159	91,97175	113,5749	951,4117	2005
81	0	765,18	1,49368	0,6835	1237,84	1975,99	0,292206	4944,244	4	29,99365	82,14466	6,089984	12,36865	41,89033	165,5875	382,9815	2005
82	0	755,42	1,65816	0,68208	339,88	2686,21	0,292206	4853,505	4	26,17807	83,28409	15,11741	5,19561	30,77407	194,4531	107,2062	2005
83	0	807,17	0,609492	0,670392	4680,09	4519,25	0	9388,861	4	22,96657	57,38027	7,990168	15,26881	50,14956	61,52167	786,635	2005
84	0	761,448	1,96017	0,690747	1077,37	1855,38	0,292206	4772,283	4	31,08417	73,2783	10,09236	10,46263	49,83514	34,09238	341,6254	2005
85	0	741,401	0,255179	0,727186	435,259	425,597	0,292206	1620,625	4	24,47081	78,69038	32,59803	7,187188	79,81899	117,2582	880,3433	2005
86	0	773,103	1,28725	0,675218	1010,54	2301,77	0	6915,468	4	22,84561	60,08136	0,953978	14,99865	62,32147	50,56279	167,4545	2005
87	0	814,001	0,472102	0,66724	3863,65	2249,58	0	8701,99	4	28,48964	62,73176	17,93417	3,988211	49,06575	77,20707	23,72274	2005
88	0	732,915	4,08169	0,722586	1002,73	85,9836	0,012309	3758,28	3	20,55315	80,51917	27,81119	10,72802	17,46074	197,8612	380,1813	2005
89	0	766,965	2,89954	0,696856	930,055	1795,9	0,292206	5680,208	4	25,46994	66,66346	2,666446	14,9718	76,26639	159,751	555,5124	2005
90	0	782,196	0,794726	0,688754	2053,06	1699,4	0	10352,06	4	23,48494	49,06442	29,72831	13,90021	50,47001	124,699	453,5436	2005
91	0	735,163	0,530926	0,610188	936,491	30,3998	0,292206	3933,808	4	21,41905	52,12854	28,90383	14,16028	74,50486	183,1889	651,9388	2005
92	0	794,337	1,27018	0,693218	1497,02	2523,92	0	9401,992	4	19,6915	56,69116	29,55142	4,281451	20,37616	101,4991	831,6841	2005
93	0	774,972	1,76073	0,678605	2109,01	2923,76	0	10487,05	4	23,1728	79,24762	19,62818	15,6738	37,23351	33,98682	220,2027	2005
94	0	779,442	1,98406	0,678914	395,197	2311,18	0	9005,729	4	25,94894	82,08547	34,78125	13,32746	27,85222	217,0833	998,6325	2005
95	0	758,388	1,60885	0,655408	584,752	2477,54	0	9696,39	4	28,79456	55,87911	31,16098	6,642258	60,99379	200,2047	11,26049	2005
96	0	727,334	2,0804	0,620638	1741,04	871,048	0	4568,979	4	21,4795	35,88567	33,30631	5,718525	38,26473	1,153737	398,9049	2005
97	0	780,008	2,1831	0,661323	795,639	1333,44	0	8065,289	4	22,33461	62,17143	16,30808	6,200917	19,68791	203,0178	668,7661	2005
98	0	792,077	1,51759	0,643145	3127,63	1357,48	1,96147	2986,77	4	20,45256	36,91599	22,2455	15,41923	80,42276	125,4107	178,0246	2005
99	0	787,342	2,16448	0,684645	395,197	1634,25	1,96147	3117,572	4	20,41719	61,72716	30,49624	3,731454	53,06824	182,9311	443,3108	2005
100	0	739,316	1,52676	0,59851	3191,98	705,118	0,012309	9490,677	4	25,89888	49,62807	21,67888	12,06763	78,25287	58,75029	378,0285	2005

Figura 7.1: Recorte de matriz de dados utilizada como dado de entrada para os modelos.

7.3 Exemplo de lista gerada após a análise da função *Dredge* no R

Model	(Intercept)	Wind Speed	DC	DMC	FMC	Hydrophyty	LULC	NDVI	Occupations	Precipitation	RH	Road	Slope	Temperature	df	loglik	AICc	delta	weight
2398	0.62595904	-0.1149420	NA	-0.010010290	0.1413890	-0.0003409259	NA	-9.940703	NA	-1.0173670	NA	NA	-0.2648287	NA	8	-150.8704	317.7928	0.00000	1.084092e-01
2910	1.422108138	-0.1118618	NA	-0.010550910	0.1383716	-0.000292998	NA	-9.802466	NA	-1.0130230	-0.01098104	NA	-0.2606836	NA	NA	-150.4392	318.9434	1.150650	6.099256e-02
2526	0.60812030	-0.1230704	NA	-0.010139330	0.1433345	-0.0003683667	NA	-10.163453	3.144153e-05	-1.0215256	NA	NA	-0.2610090	NA	9	-150.6382	319.3414	1.548616	4.997908e-02
3422	0.57324286	-0.1132922	NA	-0.010146588	0.1414922	-0.0003658300	NA	-10.014444	NA	-1.0148399	NA	5.567092e-05	-0.2604130	NA	9	-150.7155	319.4960	1.703215	4.626127e-02
2400	0.50726829	-0.1167912	2.666936e-04	-0.01045431	0.1401309	-0.0003404449	NA	-9.747279	NA	-1.0142785	NA	NA	-0.2598502	NA	9	-150.7786	319.6223	1.829547	4.342952e-02
5494	1.21206428	-0.1170954	NA	-0.010020257	0.1418977	-0.0003401293	NA	-9.984504	NA	-1.0215291	NA	NA	-0.2665314	-2.184014e-02	NA	-150.8151	319.6953	1.902571	4.187241e-02
3038	1.47367234	-0.1215910	NA	-0.010768552	0.1427049	-0.0003600190	NA	-10.182782	3.757201e-05	-1.0174476	-0.01226352	NA	-0.2536980	NA	7	-153.1146	320.2695	2.476784	3.142239e-02
3934	1.41734535	-0.1095320	NA	-0.010785832	0.1382811	-0.0003584630	NA	-9.871745	NA	-1.0092518	-0.01204343	6.945989e-05	-0.2549721	NA	10	-150.2069	320.4934	2.700609	2.808547e-02
2912	1.29749117	-0.1137666	2.580654e-04	-0.010981171	0.1372211	-0.0003285097	NA	-9.618892	NA	-1.0102343	-0.01092095	NA	-0.2558692	NA	10	-150.3519	320.7832	2.990478	2.430480e-02
7006	1.03074191	-0.1138656	NA	-0.010539678	0.1388268	-0.0003290589	NA	-9.842578	NA	-1.0107286	-0.01099999	NA	-0.2624758	-2.283668e-02	NA	-150.3798	320.8391	3.046388	2.363477e-02
3550	0.55601559	-0.1217787	NA	-0.010301278	0.1435082	-0.0003971073	NA	-10.262942	3.314592e-05	-1.01917273	NA	6.001426e-05	-0.2560743	NA	10	-150.4567	320.9928	3.200086	2.188649e-02
2894	1.26289751	-0.1136244	NA	-0.010888515	0.1390997	-0.0003563632	NA	-10.001500	NA	-1.0052786	-0.01293996	NA	-0.2439700	NA	8	-152.5052	321.0624	3.269657	2.113825e-02
2528	0.47892088	-0.1251490	2.755648e-04	-0.010594944	0.1420772	-0.0003686448	NA	-9.965683	3.190262e-05	-1.0184408	NA	NA	-0.2557568	NA	10	-150.5393	321.1581	3.395304	2.015114e-02
6622	1.23108393	-0.1255217	NA	-0.010134409	0.1439039	-0.0003681301	NA	-10.217623	3.203585e-05	-1.0260244	NA	NA	-0.2627161	-2.328549e-02	NA	-150.5747	321.2289	3.436193	1.944940e-02
3424	0.45899482	-0.1150700	2.514136e-04	-0.010566138	0.1403078	-0.0003646555	NA	-9.829477	NA	-1.0119631	NA	5.394370e-05	-0.2559196	NA	10	-150.6338	321.3471	3.554338	1.833376e-02
7518	1.04179619	-0.1151225	NA	-0.010130843	0.1418879	-0.0003636312	NA	-10.046099	NA	-1.0182072	NA	5.229149e-05	-0.2620445	-1.743310e-02	NA	-150.6809	321.4412	3.648465	1.749089e-02
6496	1.21173738	-0.1196295	3.076361e-04	-0.010515087	0.1405530	-0.0003966610	NA	-9.772368	4.054458e-05	-1.0188676	-0.01360664	7.686651e-05	-0.2490460	NA	11	-149.8294	321.4718	3.679029	1.722563e-02
4062	1.49053825	-0.1198089	NA	-0.011063549	0.1409551	-0.0003965086	NA	-9.972446	NA	-1.0062589	NA	NA	-0.2425946	NA	8	-152.9979	322.0478	4.255086	1.291474e-02
3284	0.19213264	-0.1186221	3.002623e-04	-0.010809597	0.1412117	-0.0003590958	NA	-9.864416	3.801856e-05	-1.0146556	-0.01221914	NA	-0.2505573	NA	11	-150.0195	322.1344	4.341650	1.236770e-02
3040	1.34424901	-0.1237486	2.678861e-04	-0.011210724	0.1394082	-0.0003590958	NA	-9.864416	NA	-1.0139492	-0.01221914	NA	-0.2507321	-2.414487e-02	NA	-153.0473	322.1466	4.353893	1.229222e-02
6478	0.96380886	-0.1184332	NA	-0.010313640	0.1431638	-0.00035531290	NA	-10.222747	NA	-1.0139492	NA	NA	-0.2507321	NA	7	-154.0654	322.1713	4.378553	1.224159e-02
2397	-0.33847564	NA	NA	-0.011343337	0.1362550	-0.00035531290	NA	-9.415372	NA	-0.9549223	NA	NA	-0.27356413	NA	11	-150.0457	322.1868	4.394043	1.204791e-02
7134	2.13084296	-0.1239962	NA	-0.010759574	0.1410712	-0.0003605026	NA	-10.102841	3.817700e-05	-1.0220583	-0.01228864	NA	-0.2575225	-2.451865e-02	NA	-153.0992	322.2504	4.457632	1.167088e-02
2510	0.30906867	-0.1188174	NA	-0.010352505	0.1432025	-0.0003579159	NA	-10.244103	7.680311e-06	-1.0101343	NA	NA	-0.2471663	NA	8	-153.1145	322.2811	4.488345	1.149303e-02
3406	0.31694354	-0.1164125	NA	-0.010310879	0.1427050	-0.0003578338	NA	-10.182293	NA	-1.0090497	NA	-3.187056e-07	-0.2484169	NA	11	-150.1334	322.3622	4.569470	1.103617e-02
3936	1.30253228	-0.1112874	2.364789e-04	-0.011177579	0.1372418	-0.0003578338	NA	-9.701639	6.749936e-05	-1.0077717	-0.01194034	6.749936e-05	-0.2508172	NA	11	-150.1728	322.4410	4.648247	1.060992e-02
3030	1.88433769	-0.1112069	NA	-0.010764186	0.1386232	-0.0003578338	NA	-9.900079	NA	-1.0125347	-0.01201053	6.614171e-05	-0.2566025	-1.746520e-02	NA	-150.2671	322.6296	4.836853	9.655102e-03
7008	2.01622977	-0.1164805	2.965577e-04	-0.011031223	0.1375688	-0.0003284210	NA	-9.640729	NA	-1.0148673	-0.01090825	NA	-0.2573001	-2.760569e-02	NA	-150.2671	322.6296	4.836853	9.655102e-03
3552	0.43543881	-0.1237143	2.595013e-04	-0.010730105	0.1423232	-0.000366264	NA	-10.073330	3.352441e-05	-1.0168238	NA	5.829476e-05	-0.2513436	NA	11	-150.3687	322.8329	5.040169	8.721821e-03
2896	1.13578479	-0.1158893	2.951336e-04	-0.011379464	0.1374709	-0.0003950814	NA	-9.798551	NA	-1.0027961	-0.01290954	NA	-0.2383907	NA	9	-152.3905	322.8461	5.053302	8.664740e-03
7646	1.05280023	-0.1237595	NA	-0.010285558	0.1439387	-0.0003950814	NA	-10.300899	3.346038e-05	-1.0232695	-0.01292895	5.634314e-05	-0.2573382	-1.842018e-02	NA	-150.4417	322.9307	5.137912	8.305821e-03
6990	1.89159377	-0.1155147	NA	-0.010879974	0.1394947	-0.0003423231	NA	-10.036425	NA	-1.0092835	-0.01285872	NA	-0.2461505	NA	9	-152.4417	322.9485	5.155706	8.232252e-03
3022	1.28949810	-0.1180528	NA	-0.010997971	0.1400026	-0.0003423231	NA	-10.114659	1.535379e-05	-1.0073732	-0.01358300	NA	-0.2413586	NA	9	-152.4458	322.9565	5.163779	8.199089e-03
2909	0.67074800	-0.1130365	NA	-0.012032418	0.1325563	-0.0003423231	NA	-9.278398	NA	-0.9523045	-0.01298935	NA	-0.2696422	NA	8	-153.4454	322.9828	5.190037	8.092148e-03
6624	1.22923683	-0.1283740	3.193061e-04	-0.010661730	0.1425412	-0.0003687195	NA	-10.001546	3.271083e-05	-1.0233813	NA	NA	-0.2570132	-2.873750e-02	NA	-150.4454	323.0860	5.193232	8.079232e-03
3918	1.26085427	-0.1103065	NA	-0.010948399	0.1390437	-0.0003687195	NA	-10.018651	NA	-1.0243036	-0.01318552	1.465204e-05	-0.2424671	NA	9	-152.4491	323.0533	5.260509	7.819179e-03
7520	1.05806688	-0.1176006	2.895001e-04	-0.010610130	0.1406222	-0.0003619670	NA	-9.843949	NA	-1.0158916	NA	4.958031e-05	-0.2573386	-2.290949e-02	NA	-150.5758	323.2471	5.454390	7.090231e-03
1064	1.37035779	-0.1217535	2.441839e-04	-0.011462890	0.1395520	-0.0003954875	NA	-9.984559	4.084759e-05	-1.0121635	-0.01358047	7.485743e-05	-0.2464481	NA	12	-149.7499	323.6126	5.819851	5.906108e-03

Figura 7.2: Lista de modelos possíveis geradas pelo algoritmo a partir da função *Dredge*.

7.4 Mapas de Uso e Ocupação do Solo das APA's

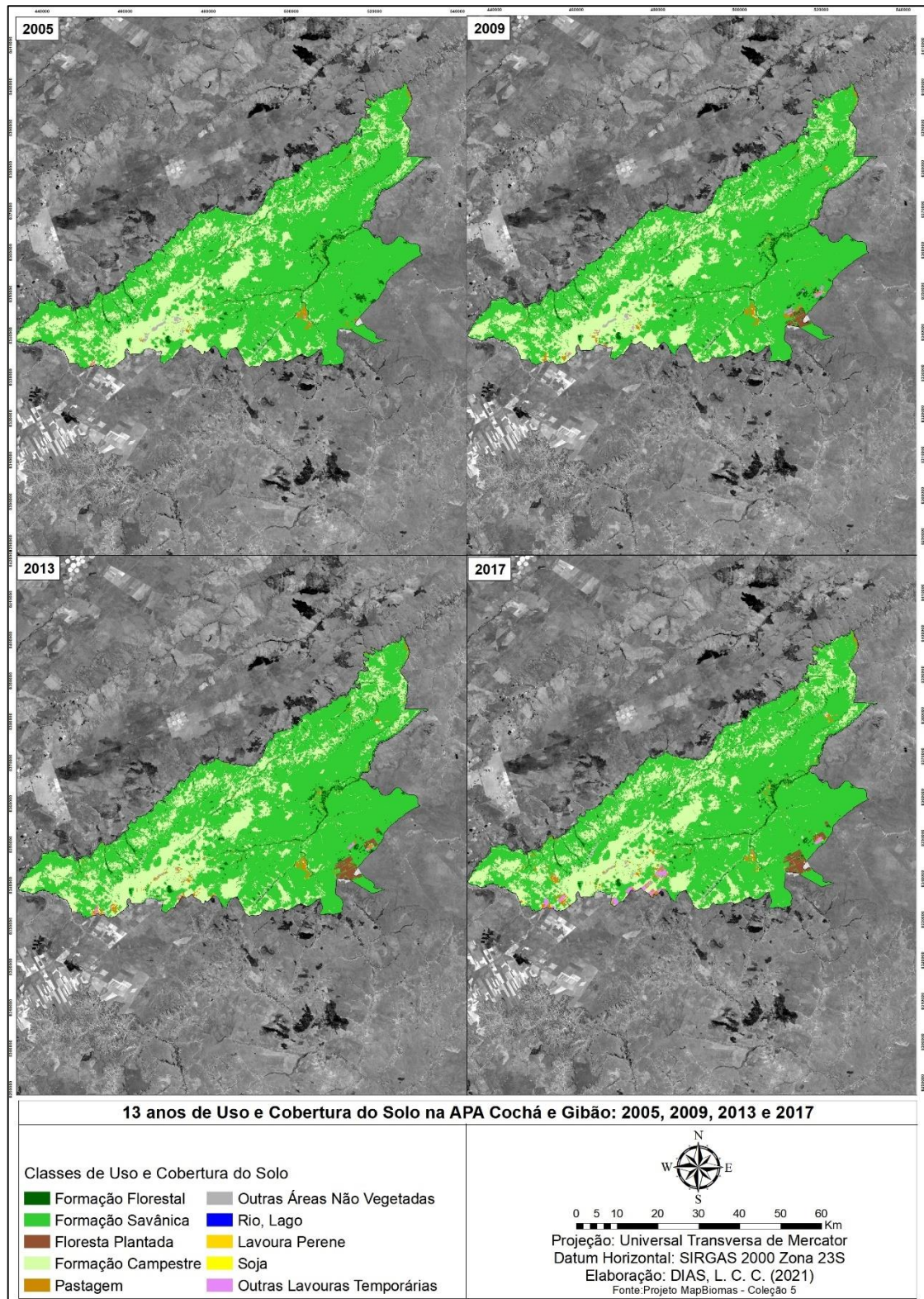


Figura 7.3: Mapa de Usos e Cobertura do solo da APA Cochá e Gibão para os anos de 2005, 2009, 2003 e 2017, utilizado no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais. Fonte: MapBiomias-Coleção 5, 2020.

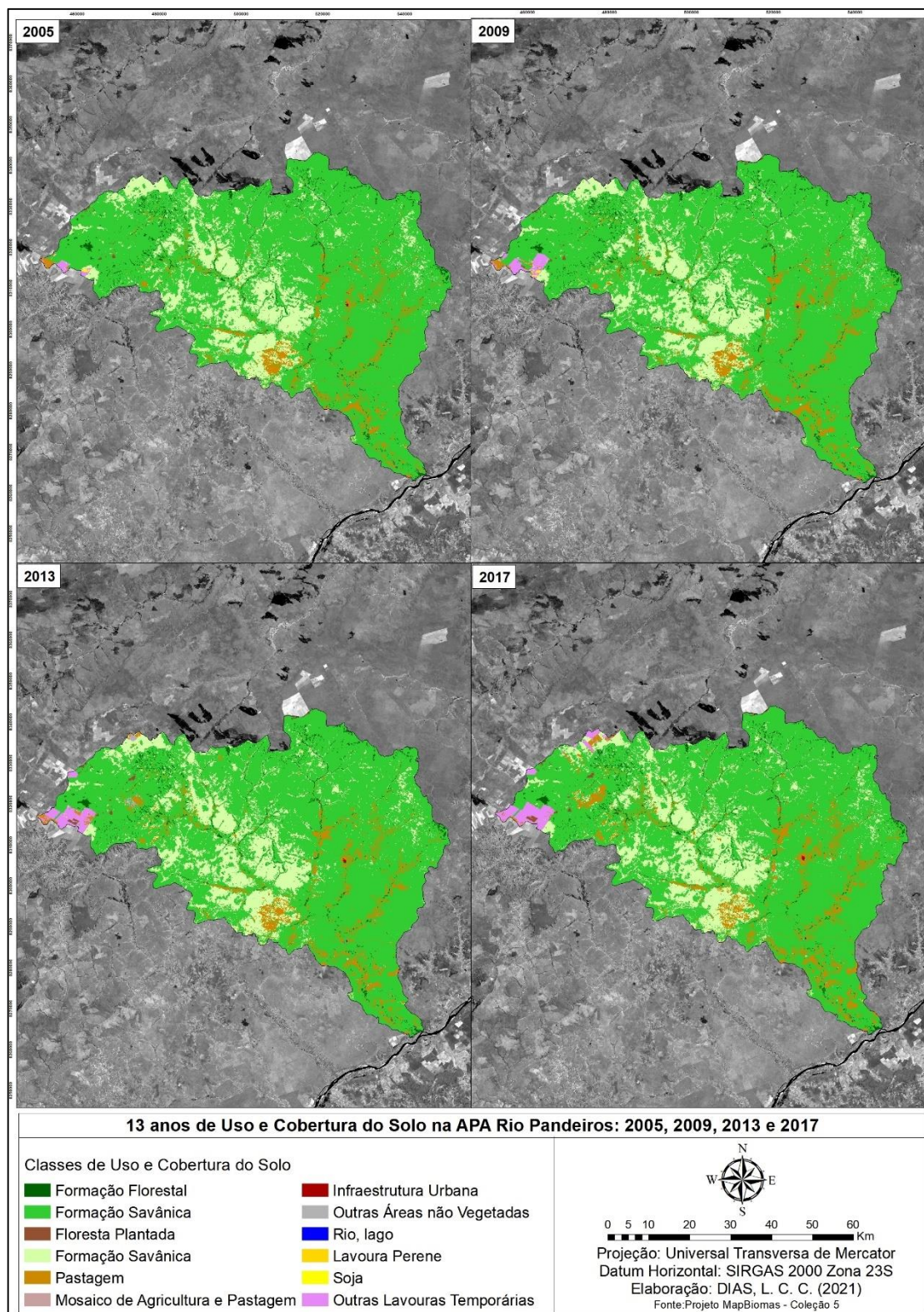


Figura 7.4: Mapa de Usos e Cobertura do solo da APA Rio Pandeiros para os anos de 2005, 2009, 2003 e 2017, utilizado no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais. Fonte: MapBiomas-Coleção 5, 2020.

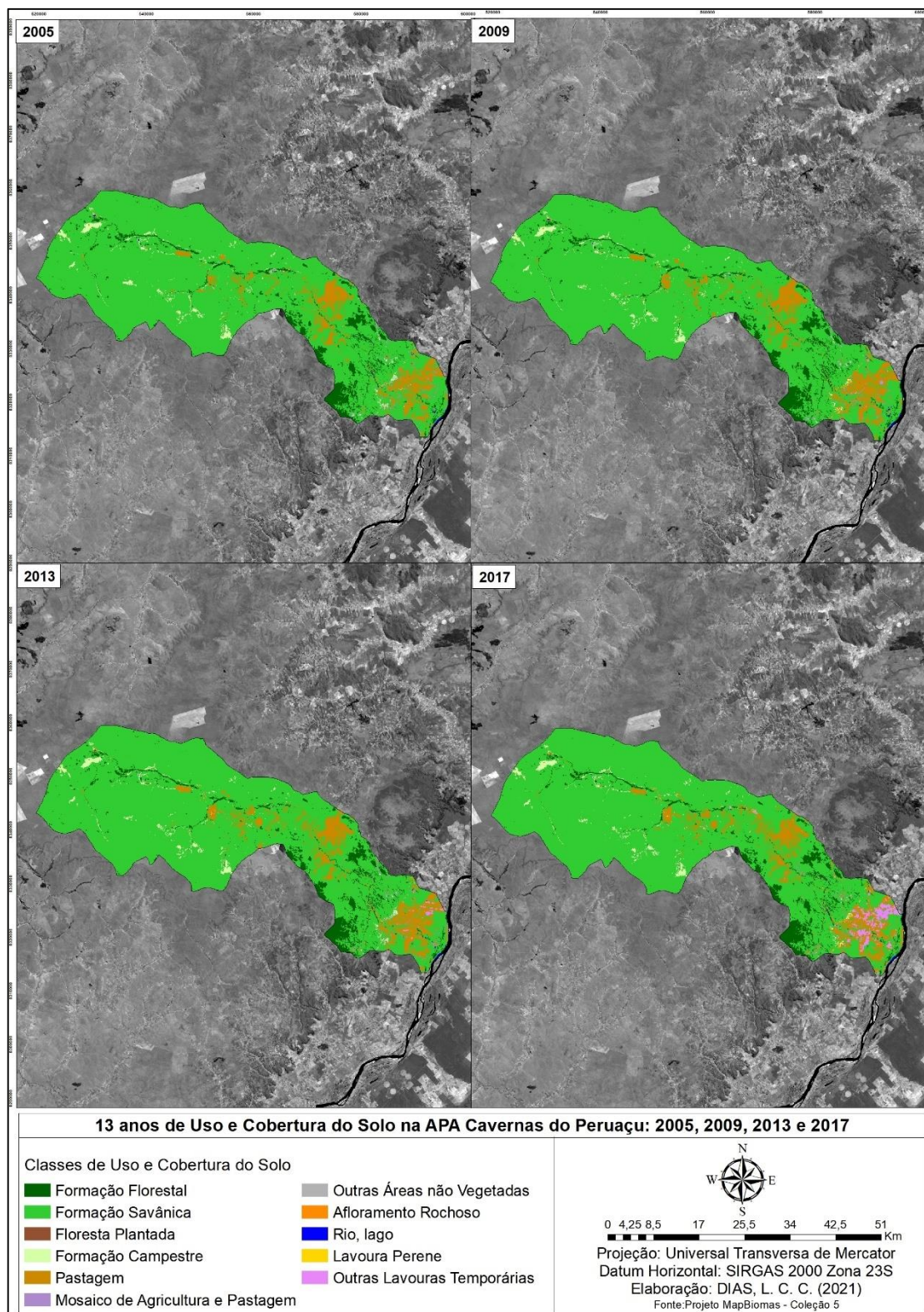


Figura 7.5: Mapa de Usos e Cobertura do solo da APA Cavernas do Peruaçu para os anos de 2005, 2009, 2003 e 2017, utilizado no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais. Fonte: MapBiomias-Coleção 5, 2020.

7.5 Mapas das variáveis utilizadas sem a sobreposição dos focos de incêndios

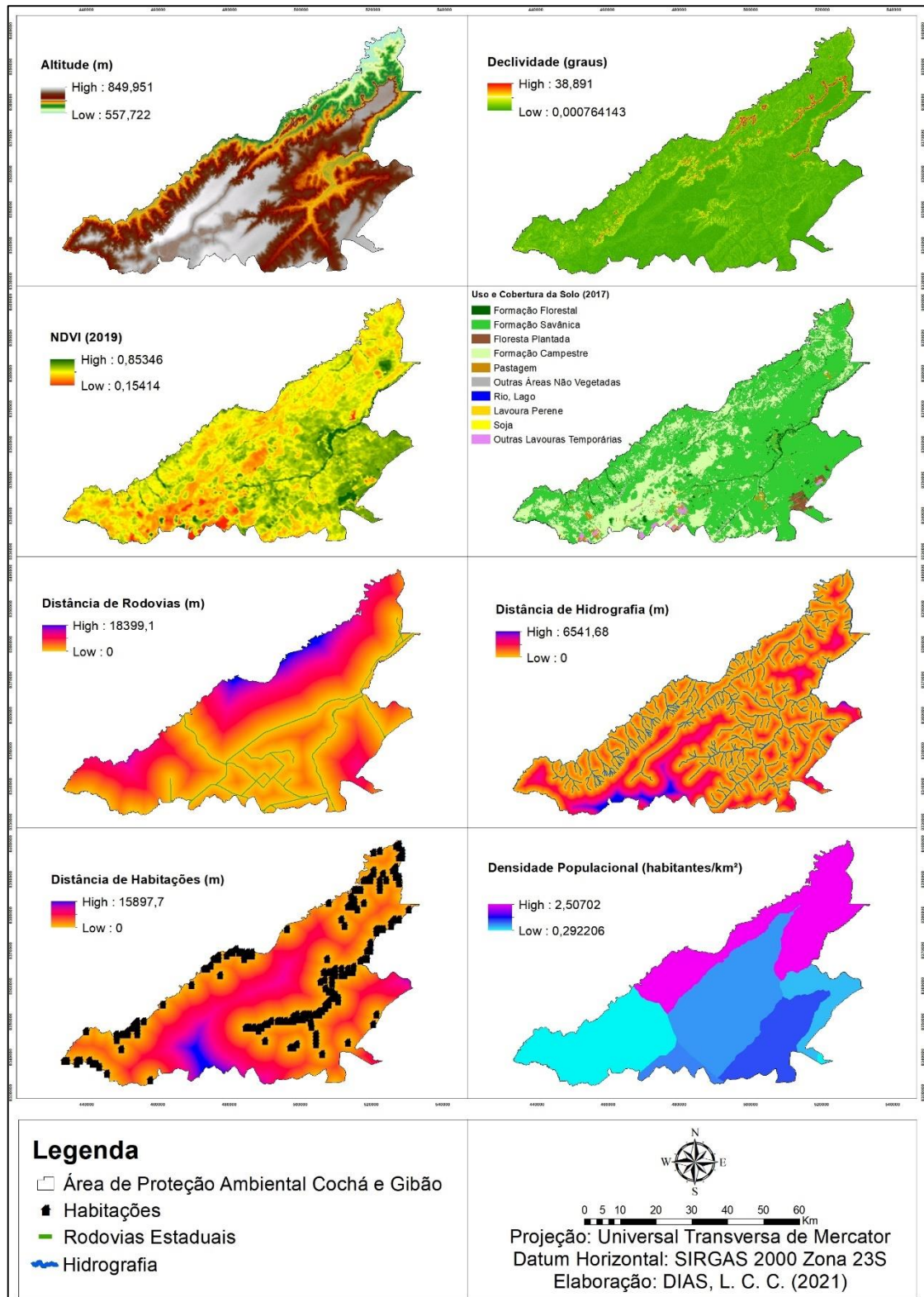


Figura 7.6: Mapa das variáveis utilizadas no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais da APA Cochá e Gibão, sem a sobreposição dos focos de incêndios.

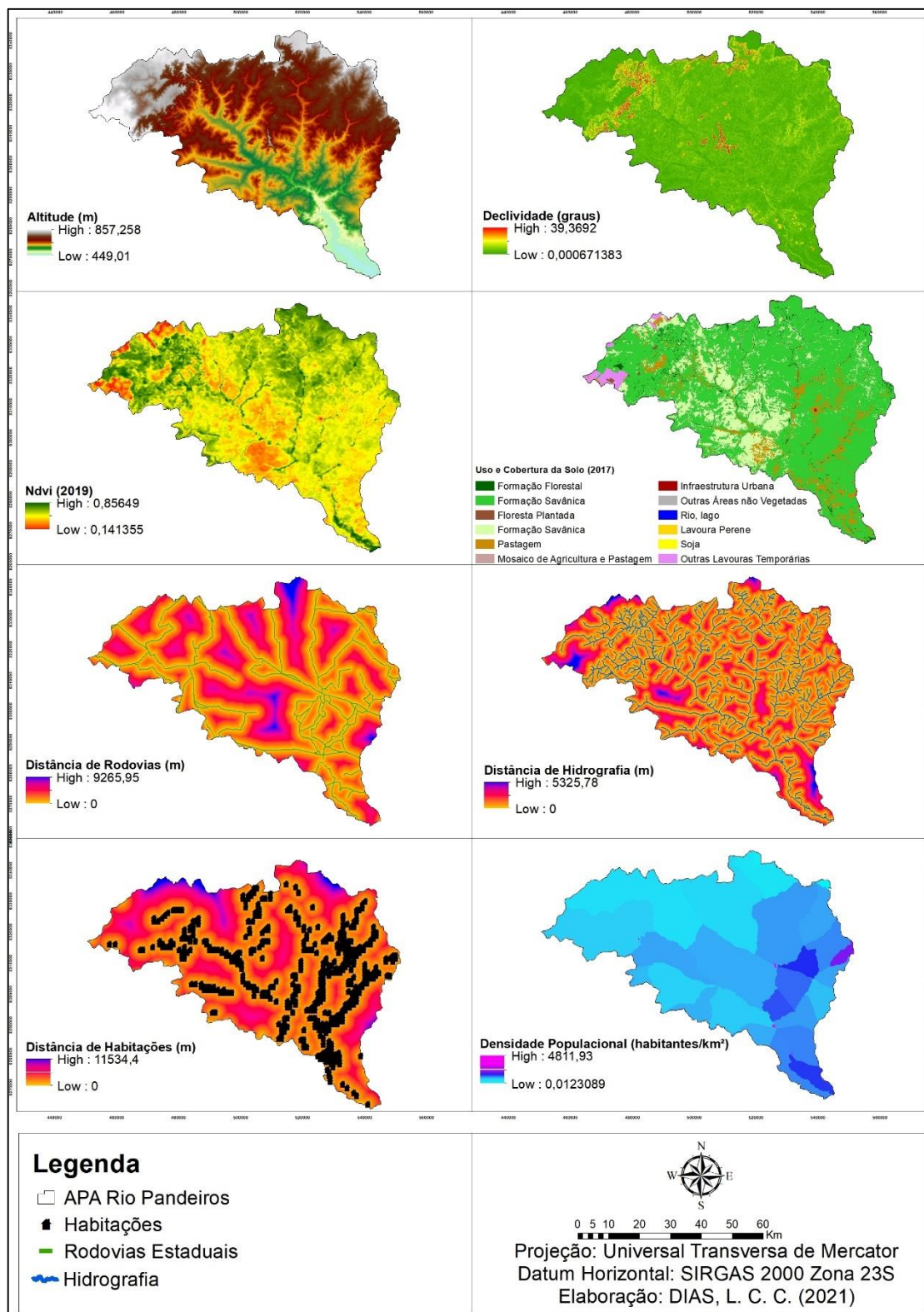


Figura 7.7: Mapa das variáveis utilizadas no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais da APA Rio Pandeiros, sem a sobreposição dos focos de incêndios.

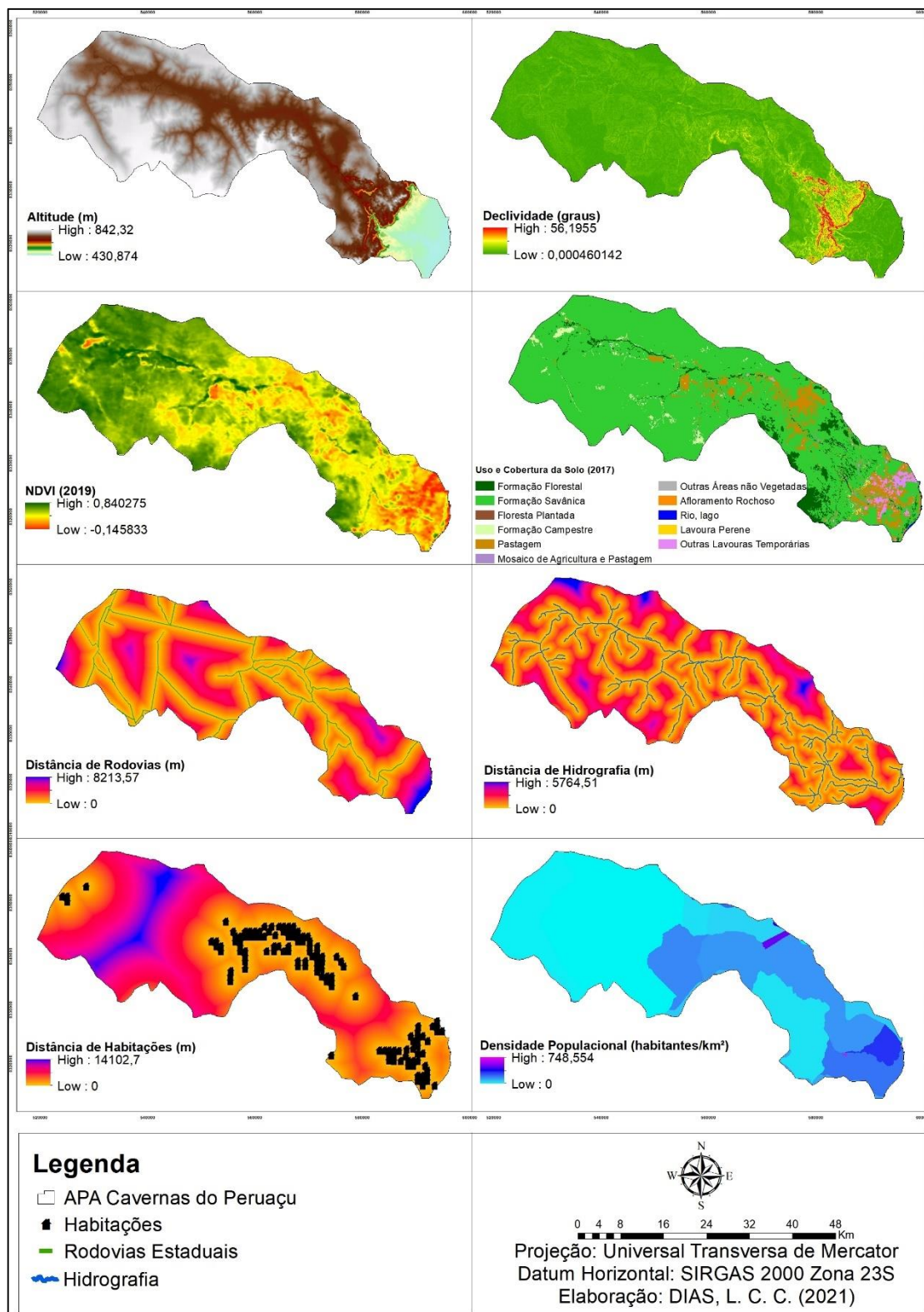


Figura 7.8: Mapa das variáveis utilizadas no modelo de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais da APA Cavernas do Peruaçu, sem a sobreposição dos focos de incêndios.

7.6 Resultados da regressão logística utilizando satélites de referência

Tabela 7.2: Índices e métricas para analisar a performance dos modelos de predição de ocorrência de incêndios florestais utilizando os satélites de referência: Área Abaixo da Curva ROC (AUC), Sensibilidade, Especificidade, pseudo-R² (tjur) e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)

MODELOS	ÁREAS	AUC	Sensibilidade	Especificidade	R ²	RMSE
MODELO C	APA Cochá e Gibão	79,9%	73,8%	81,2%	0,497	0,3490125
	APA Rio Pandeiros	65,5%	70,6%	78,9%	0,164	0,4541959
	APA Cavernas do Peruaçu	58,7%	59,7%	63,4%	0,560	0,3217171
MODELO D	APA Cochá e Gibão	86,5%	96,3%	97,4%	0,587	0,3179575
	APA Rio Pandeiros	81,8%	97,5%	96,6%	0,436	0,03738881
	APA Cavernas do Peruaçu	78,7%	99,5%	96,9%	0,621	0,3001247
MODELO E	APA Cochá e Gibão	95,5%	87,4%	93,5%	0,817	0,2078033
	APA Rio Pandeiros	93,5%	88,9%	91,4%	0,824	0,2035931
	APA Cavernas do Peruaçu	96,9%	99,5%	98,3%	0,817	0,2078033

7.7 Resultados gráficos dos outros modelos de regressão logística gerados para cada APA

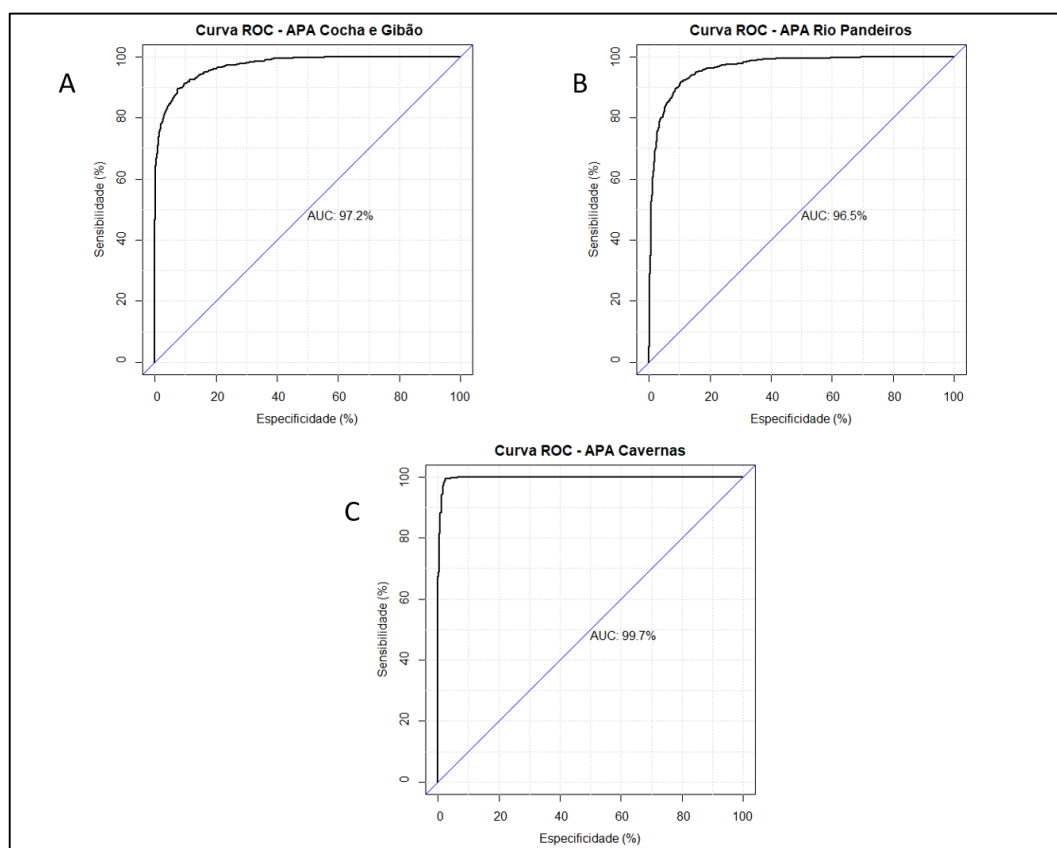


Figura 7.9: Gráficos representando a Curva ROC e o AUC dos modelos: A) Modelo E da APA Cochá e Gibão; B) Modelo E da APA Rio Pandeiros; C) Modelo D da APA Cavernas do Peruaçu

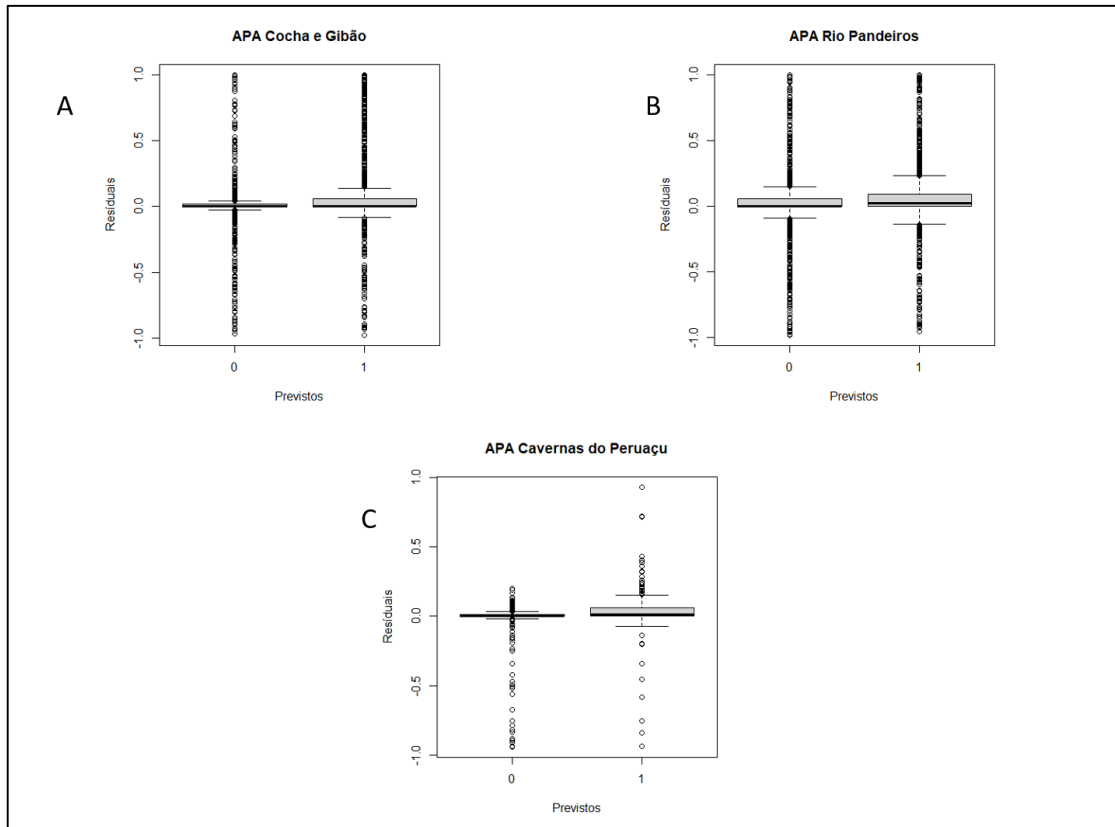


Figura 7.10: Distribuição da contagem espacial observada versus contagem de ocorrência prevista dos resíduos agrupados dos anos de teste (2016-2019), para os modelos: A) Modelo E da APA Cochá e Gibão; B) Modelo E da APA Rio Pandeiros; C) Modelo D da APA Cavernas do Peruaçu.

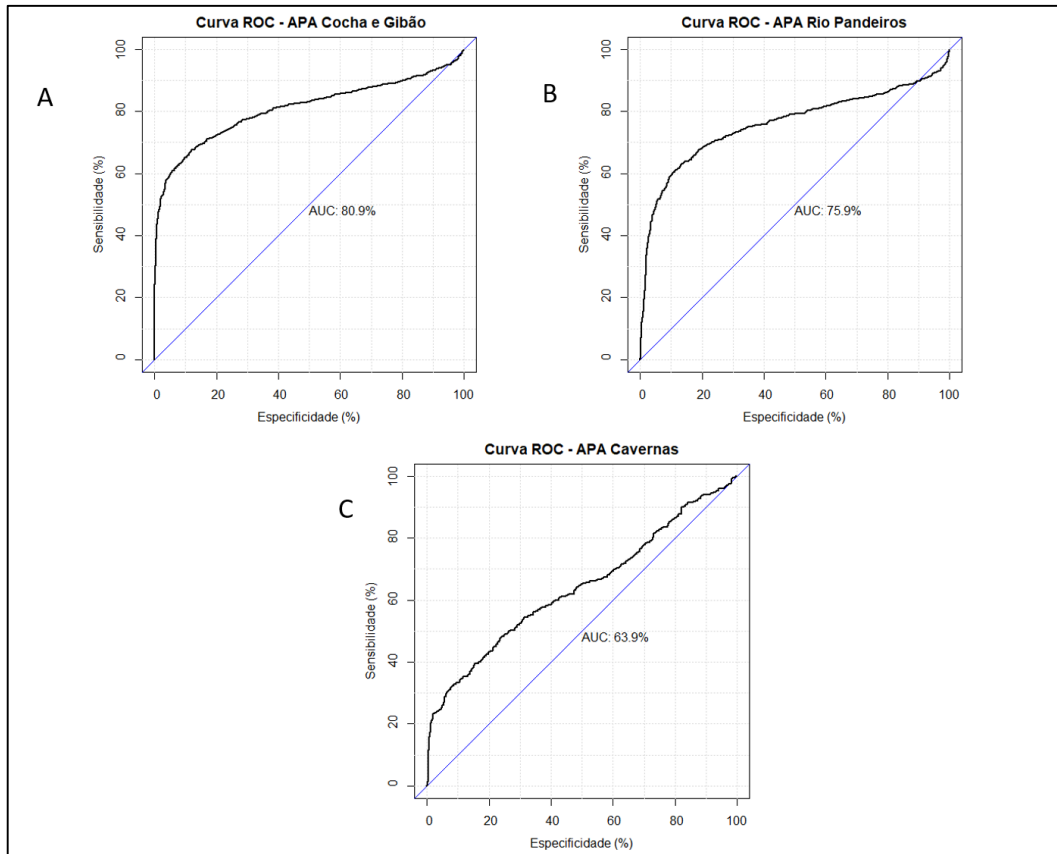


Figura 7.11: Gráficos representando a Curva ROC e o AUC do Modelo C das APA's: A) Cochá Gibão; B) Rio Pandeiros; C) Cavernas do Peruaçu

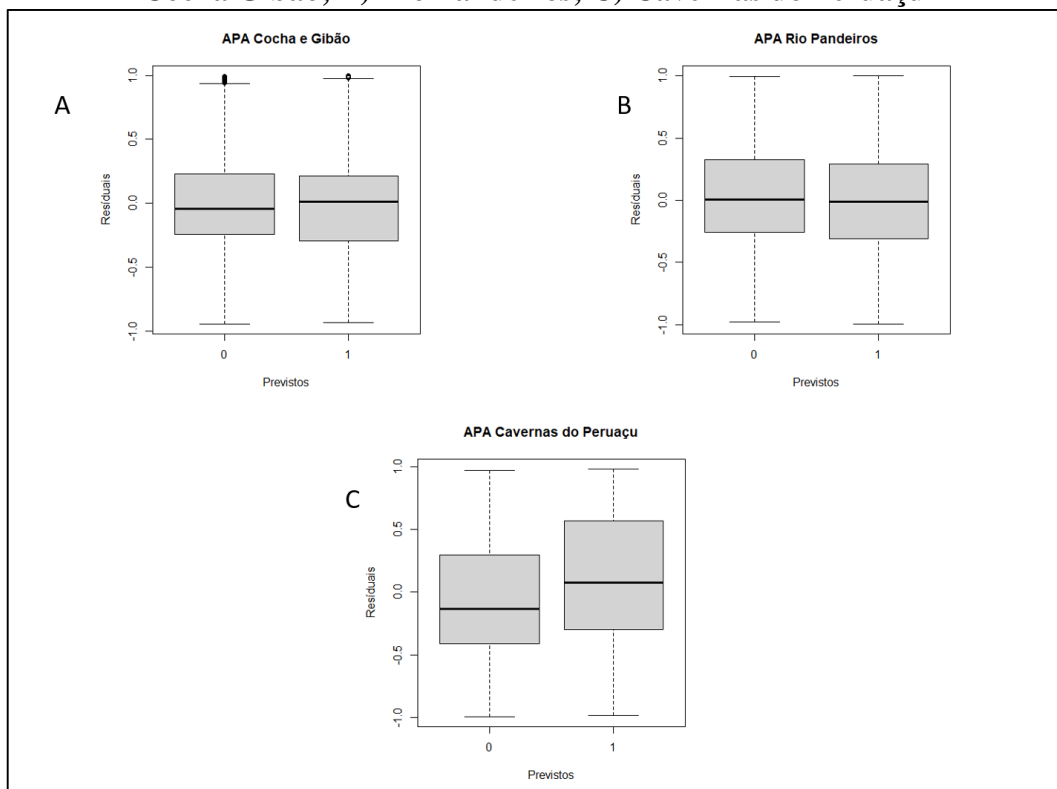


Figura 7.12: Distribuição da contagem espacial observada versus contagem de ocorrência prevista dos resíduos agrupados dos anos de teste (2016-2019), para o Modelo C das APA's: A) Cochá e Gibão; B) Rio Pandeiros; C) Cavernas do Peruaçu.

7.8 Aplicativo de Celular – Brigada Online

Nesta sessão iremos descrever o aplicativo de celular, que desenvolvemos com o intuito de auxiliar no registro de incêndios florestais na região. Foi desenvolvido juntamente às atividades do projeto “Desafios e ações para o manejo do fogo em áreas de cerrado no norte do estado de Minas Gerais” financiado pelo CNPq - Processo: 381361/2020-9. A elaboração deste aplicativo teve o intuito de auxiliar no armazenamento de informações sobre os incêndios florestais na região, a fim de criar uma base de dados que auxilie no trabalho dos gestores das Unidades de Conservação.

O bolsista ATP do projeto, Adams Vietro Codignotto da Silva, foi responsável pela elaboração de toda a parte técnica deste aplicativo. A idealizadora deste aplicativo foi Livia Caroline César Dias bolsista DTI-B deste mesmo projeto e autora desta tese de doutorado. A descrição técnica deste aplicativo ainda em versão Beta segue abaixo.

Este aplicativo foi desenvolvido para facilitar o aviso de novos focos de queimada na região, bem como auxiliar no acompanhamento dos mesmos e criar uma base de dados utilizando estes avisos.

A tela inicial possui dois botões, um para criar uma conta e outro para realizar o login, uma vez que a conta já tenha sido criada (Figura 7.13).

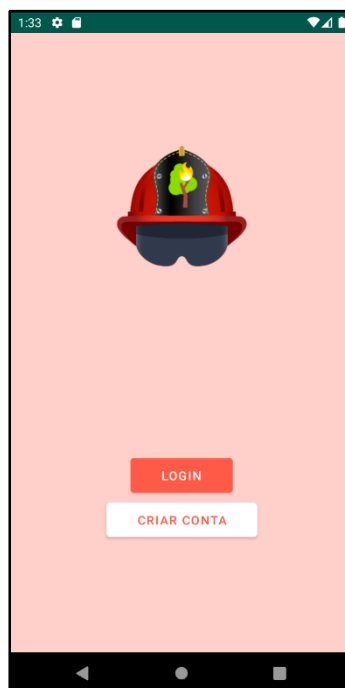


Figura 7.13: Tela inicial do aplicativo Brigada Online

Ao clicar no botão de fazer login, o usuário pode entrar com o usuário e senha criados. Caso não tenha, ele pode voltar à tela anterior e clicar em Criar Conta, ou clicar em “Registre-se aqui”, no final da tela (Figura 7.14);

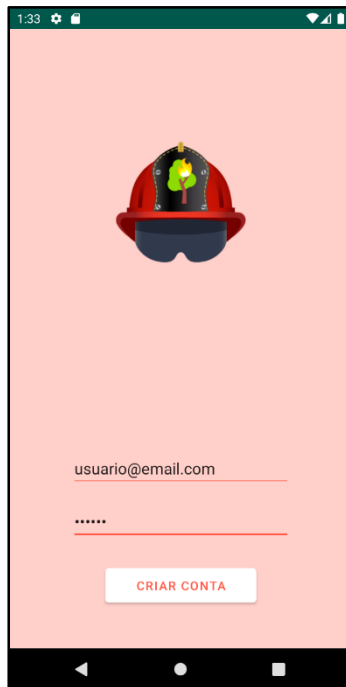


Figura 7.14: Tela de login do aplicativo Brigada Online

Ao clicar em Criar Conta, o usuário é redirecionado para uma tela com um formulário simples, e basta utilizar qualquer e-mail válido para cadastro. Após isso, ele é redirecionado para a página inicial (Figura 7.15).

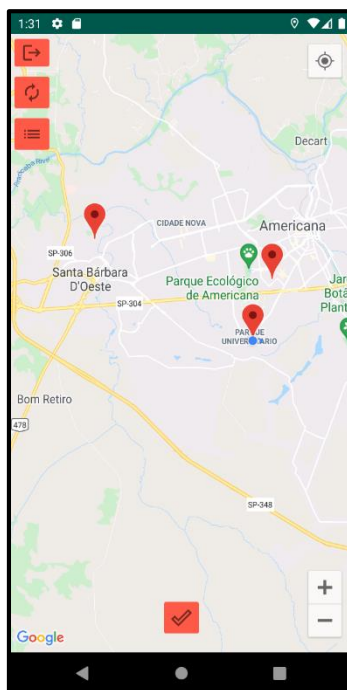


Figura 7.15: Página inicial do aplicativo Brigada Online

Nesta página, temos como principal elemento o Google Maps, contendo a localização atual, e marcações onde foram registrados os focos de incêndios. Na parte inferior, com o símbolo de ✓, temos o botão de Registrar Ocorrência. Atualmente, ele apenas salva a localização atual do usuário, registrando-a na base de dados. Ao lado esquerdo, temos em sequência: botão de sair do aplicativo, levando à tela inicial; botão de listar novas ocorrências, atualizando o aplicativo com a base de dados (Figura 7.15); e o botão de listar ocorrências, mostrando todas as ocorrências já registradas e algumas informações adicionais como endereço, latitude e longitude, data e quem reportou (Figura 7.16).

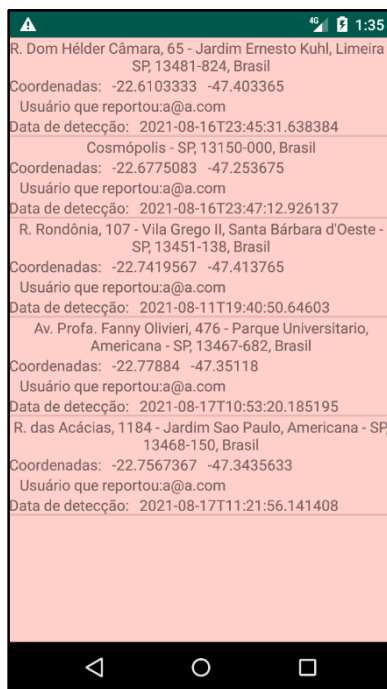


Figura 7.16: Página dos registros de ocorrências do aplicativo Brigada Online

7.9 Visita a campo nas APA's Rio Pandeiros e Cavernas do Peruaçu



Figura 7.17: Torres que auxiliam na visualização e localização de incêndios florestais na APA Cavernas Do Peruaçu. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.



Figura 7.18: Centro de Apoio à Pesquisa na APA Cavernas do Peruaçu. Alojamento equipado com cozinha, camas e banheiros para até 10 pesquisadores. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.



Figura 7.19: Placa na sede do ICMBIO, na entrada da APA e do Parque Cavernas do Peruaçu, sinalizando o risco de incêndios florestais na região. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.



Figura 7.20: Trecho do Rio Peruaçu que passa embaixo de uma rodovia, quase seco. Foto esquerda: Lívia Caroline César Dias – set/2019. Foto direita: Marcell Soares Pinheiro – set/2019.



Figura 7.21: Área de carvoejamento associada a plantação de Pinus (área privada) no interior da APA Cavernas do Peruaçu. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.



Figura 7.22: Criação de gado solto e infraestrutura rural na APA Rio Pandeiros. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.



Figura 7.23: Área de cerrado derrubada por trator à esquerda e área de cerrado em regeneração à direita. Ambas em área privada. Foto esquerda: Lívia Caroline César Dias – set/2019. Foto direita: Marcell Soares Pinheiro – set/2019



Figura 7.24: Reviramento da turfa do solo, devido à ocorrência de um incêndio florestal. Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.

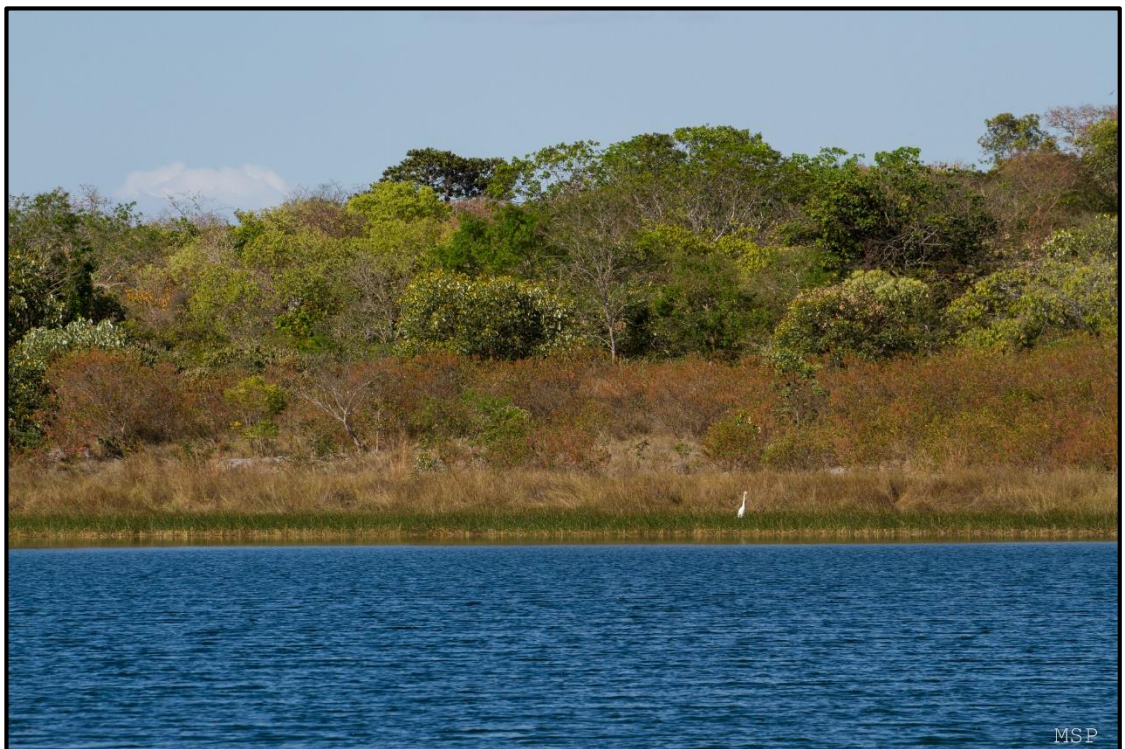
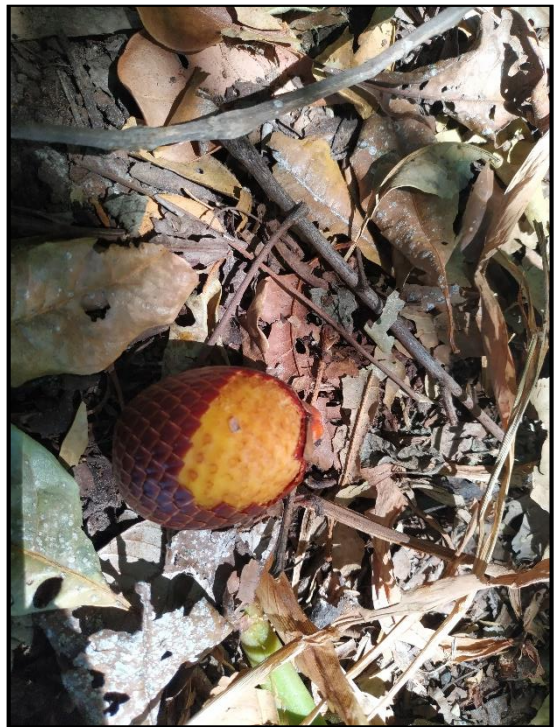


Figura 7.25: Lagoa Azul no Parque Estadual Veredas do Peruaçu. Além da beleza cênica é de extrema importância para a área. Foto: Marcell Soares Pinheiro – set/2019



**Figura 7.26: Palmeira Buriti (*Mauritia flexuosa*) em área de vereda e seu fruto buriti.
Foto: Lívia Caroline César Dias – set/2019.**



**Figura 7.27: Vereda Capivara. Vereda preservada na região da APA Rio Pandeiros.
Foto: Marcell Soares Pinheiro – set/2019.**



Figura 7.28: Rio Catolé na APA Rio Pandeiros. Foto: Livia Caroline César Dias – set/2019.



Figura 7.29: A flor do Pequi (*Caryocar brasiliense*). Foto: Livia Caroline César Dias – set/2019.